

# Koppeling van ruimtemodel met transportmodel voor berekening toekomstscenario's



Studie uitgevoerd in opdracht van  
MIRA, Milieurapport Vlaanderen

Onderzoeksrapport

MIRA/2012/10, mei 2013  
VITO/2013/TEM/R/29



# Koppeling van ruimtemodel met transportmodel voor berekening toekomstscenario's

Laurent Franckx, Inge Mayeres, Inge Uljee, Guy Engelen

Unit Transitie, Energie en Milieu  
Unit Ruimtelijke Milieuaspecten  
VITO

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,  
Milieurapport Vlaanderen**

MIRA/2012/10  
VITO/2013/TEM/R/29

Mei 2013



## **Documentbeschrijving**

### **Titel**

Koppeling van ruimtemodel met transportmodel voor berekening toekomstscenario's

Dit rapport verschijnt in de reeks MIRA Ondersteunend Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij. Deze reeks bevat resultaten van onderzoek gericht op de wetenschappelijke onderbouwing van het Milieurapport Vlaanderen. Dit rapport is ook beschikbaar via [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be).

### **Samenstellers**

Laurent Franckx, Inge Mayeres, Inge Uljee, Guy Engelen  
Unit Transitie, Energie en Milieu en Unit Ruimtelijke Milieuaspecten, VITO

### **Wijze van refereren**

Franckx L., Mayeres I., Uljee I. & Engelen G. (2013), Koppeling van ruimtemodel met transportmodel voor berekening toekomstscenario's, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2012/10, VITO, VITO/2013/TEM/R/29.

### **Vragen in verband met dit rapport**

Vlaamse Milieumaatschappij  
Milieurapportering (MIRA)  
Van Benedenlaan 34  
2800 Mechelen  
tel. 015 45 14 61  
[mira@vmm.be](mailto:mira@vmm.be)

D/2012/6871/027  
ISBN 9789491385131  
NUR 973/943

## **Woord vooraf**

Dit onderzoek werd gefinancierd door het MIRA O&O-project “Koppeling van ruimtemodel met transportmodel voor berekening toekomstscenario’s”. Het was mogelijk dankzij de gegevens die beschikbaar gesteld werden door het Vlaams Verkeerscentrum. De auteurs danken Jeremy Raw, de ontwikkelaar van TravelR, voor zijn ondersteuning in de toepassing van de software, en Caroline De Geest voor het zorgvuldig doornemen van eerdere versies van het rapport.

## Inhoudstafel

<b>Samenvatting</b> .....	<b>7</b>
<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>Inleiding</b> .....	<b>11</b>
<b>Het ATLAS-model – Assessing Transport and Land Use Scenarios</b> .....	<b>12</b>
Inleiding.....	12
Het ruimtelijk dynamisch landgebruikmodel .....	12
Het RuimteModel Vlaanderen in ATLAS .....	15
Het Transportmodel .....	16
(i) Transport generatie .....	16
(ii) Trip distributie .....	17
(iii) Modale keuze en tijdstipkeuze.....	18
(iv) Toedeling .....	20
(v) Milieu .....	22
De interactie tussen het ruimtelijk dynamisch model en het transportmodel .....	23
Verdere ontwikkelingen van het Transportmodel .....	24
<b>Gegevens basisjaar</b> .....	<b>24</b>
Gegevens Vlaams Verkeerscentrum .....	24
Andere gegevens.....	27
<b>Het gebruik van het ATLAS-model voor toekomstscenario's</b> .....	<b>28</b>
Mogelijke scenario-oefeningen .....	28
De algemene evoluties .....	28
Ruimtelijk beleid .....	28
Transportbeleid .....	29
Milieubeleid .....	30
Welke effecten? .....	30
Modeltest .....	31
Aannames.....	31
Resultaten .....	33
<b>Slotopmerkingen</b> .....	<b>44</b>
<b>Referenties</b> .....	<b>47</b>
<b>Scheikundige symbolen</b> .....	<b>48</b>
<b>Afkortingen</b> .....	<b>48</b>
<b>Bijlage 1: Informaticatechnische aspecten</b> .....	<b>49</b>
<b>Bijlage 2: Algemene kenmerken van het model voor de modale keuze en tijdstipkeuze</b> .....	<b>50</b>
<b>Bijlage 3: Keuze van de congestiefunctie</b> .....	<b>51</b>
<b>Bijlage 4: Berekening van het Wardrop evenwicht</b> .....	<b>51</b>
<b>Bijlage 5: Congestiemodellering met openbaar vervoer – de toewijzing van de reizigers aan het OV-netwerk</b> .....	<b>53</b>
<b>Bijlage 6: Details ruimtelijk beleid</b> .....	<b>54</b>

## Inhoudstafel figuren

Figuur 1: Structuur van het ATLAS-model .....	12
Figuur 2: Toegankelijkheidskaart van “Groothandel, transport en verkeer” met de bevaarbare waterwegen (in paars) op de voorgrond.....	14
Figuur 3: Het principe van de IPF-procedure .....	17
Figuur 4: De MCES-boomstructuur voor de modale keuze en tijdstipkeuze .....	19
Figuur 5: De rasterweergave van de VVC-verkeerszones voor en na de toepassing van de NIBBLE operator ter hoogte van de Schelde ten noorden van Antwerpen.....	26
Figuur 6: Het aandeel van autotechnologieën in autokm (ATLAS modeltest) (exogene assumptie) ...	33
Figuur 7: Evolutie van de bevolking per leeftijdsklasse en socio-economische status in Vlaanderen en Brussel (ATLAS modeltest) .....	34
Figuur 8: Reizigerskm per trip, ochtendspits (08-09 uur) in 2008 (ATLAS modeltest).....	39
Figuur 9: Reizigerskm per trip, avondspits (17-18 uur) in 2008 (ATLAS modeltest).....	40
Figuur 10: Reizigerskm per trip, ochtendspits (08-09 uur) in 2030 (ATLAS modeltest).....	41
Figuur 11: Reizigerskm per trip, avondspits (17-18 uur) in 2030 (ATLAS modeltest).....	42
Figuur 12: PM <sub>2,5</sub> -emissies van het personenvervoer tijdens de 2 spitsuren (ton per dag) (ATLAS modeltest) .....	43
Figuur 13: Emissies van broeikasgassen (in CO <sub>2eq</sub> ) van het personenvervoer tijdens de 2 spitsuren (in ton per dag) (ATLAS modeltest).....	43
Figuur 14: Energieverbruik van het personenvervoer tijdens de 2 spitsuren (TJ per dag) (ATLAS modeltest) .....	44
Figuur 15: Verdeling van de transportstromen, ochtendspits 2030.....	45
Figuur 16: Verdeling van de transportstromen, avondspits 2030.....	46

## Inhoudstafel tabellen

Tabel 1: Overzicht pollutenten.....	23
Tabel 2: Overzicht gegevens Vlaams Verkeerscentrum .....	25
Tabel 3: Overzicht andere gegevens voor het basisjaar .....	28
Tabel 4: Evolutie van bevolking in Brussel en Vlaanderen per leeftijdsklasse tussen 2008 en 2030... 31	31
Tabel 5: Waarde van de tijd (€'09/uur) (ATLAS modeltest) .....	32
Tabel 6: Evolutie van de monetaire kosten tussen 2008 en 2030 (ATLAS modeltest).....	33
Tabel 7: Evolutie van de bevolking per leeftijdsklasse en socio-economische status in Vlaanderen en Brussel (ratio van 2030 t.o.v. 2008) (ATLAS modeltest) .....	34
Tabel 8: Het aandeel van Vlaanderen en Brussel in de bevolking volgens socio-economische status (ATLAS modeltest) .....	34
Tabel 9: Het totaal aantal verplaatsingen per motief (per dag en in periode 8-9u en 17-18u) .....	35
Tabel 10: Reizigerskm tijdens de 2 spitsuren per vervoermiddel en motief (per dag) (ATLAS modeltest).....	36
Tabel 11: Reizigerskm tijdens de 2 spitsuren per vervoermiddel (per dag) (ATLAS modeltest) .....	37



## Samenvatting

Bij het opstellen van transportvooruitzichten is het van belang om de interacties tussen landgebruik en transport op te nemen. De feedback-cyclus tussen transport en landgebruik is als volgt: enerzijds is de locatiekeuze van mensen en economische activiteiten een van de determinanten van de transportstromen. Anderzijds zullen de kenmerken en de performantie van het transportsysteem een invloed hebben op de ontwikkeling van het landgebruik. Bereikbaarheid is immers een van de factoren die de locatiekeuze van mensen en bedrijven bepaalt. Daarnaast kunnen de transportinfrastructuur en transportstromen ook andere effecten hebben op de ruimte (bv. milieueffecten) die de aantrekkelijkheid van een bepaalde locatie kunnen bepalen. Om deze aspecten te kunnen bestuderen, ontwikkelt VITO het ATLAS-model. Het doel is om een model te bekomen op systeemniveau dat kan worden ingezet om maatregelen in drie beleidsdomeinen (transport, ruimte en milieu) op elkaar af te stemmen, met behulp van langetermijn scenario-oefeningen.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het MIRA O&O-project rond “Koppeling van ruimtemodel met transportmodel voor berekening toekomstscenario’s”. De doelstelling van de studie is tweeledig. Enerzijds heeft de studie tot doel om het ATLAS-model te voeden met gegevens van het Vlaams Verkeerscentrum rond transport in Vlaanderen. Ten tweede wil het project verkennen wat de potentiële bijdrage is van het ATLAS-model aan de constructie van toekomstscenario’s.

Hiertoe stelt het rapport de algemene opzet van het ATLAS-model voor. Het model bestaat uit twee geïntegreerde delen: een ruimtelijk dynamisch landgebruikmodel en een transportmodel. Het ATLAS-model is zo opgezet dat beide onderdelen zowel onafhankelijk van elkaar als gekoppeld inzetbaar zijn. In de gekoppelde versie wordt het transportmodel ingebed en dus aangeroepen door het ruimtemodel. In dat geval worden een aantal modules in de geïsoleerde versie van het ruimtemodel ge(de)activeerd.

### *Ruimtelijk dynamisch landgebruikmodel*

Het ruimtelijk dynamisch landgebruikmodel is het bestaande RuimteModel Vlaanderen. Het is een ruimtelijk simulatiemodel op hoge resolutie en wordt gebruikt om de impact van verschillende beleidskeuzes op het toekomstig ruimtegebruik te verkennen. Het combineert de effecten van exogene socio-economische ontwikkelingen, en van bestaand en gepland beleid (ruimtelijk beleid en transportbeleid) in het kader van scenario’s voor mogelijke ontwikkelingen in Vlaanderen, België, Europa of de rest van de wereld. Daarnaast evalueert het de beleidskeuzes in termen van sociale, economische en ecologische criteria met behulp van ruimtelijk expliciete duurzaamheidsindicatoren.

Het model omvat 3 onderling afhankelijke niveaus: het globaal, regionaal en lokaal niveau. Het globaal niveau houdt rekening met verschillende scenario’s voor de groei (positief of negatief) van de bevolking en het aantal werkzame personen in geaggregeerde economische sectoren. Het regionaal model verdeelt deze groei over de verschillende arrondissementen. De groei in de residentiële en in de economische sectoren is de basis voor de vraag naar ruimte per landgebruik in elk arrondissement. Dit is een startpunt voor het lokaal model. Dat laatste model kent de groei in elk arrondissement toe aan individuele cellen van 1 ha.

Er bestaat een feedback tussen de verandering in de patronen van het ruimtegebruik en de kwaliteit van de overblijvende zoekruimte op het lokale niveau en wat er gebeurt op het regionale niveau, omdat dit de aantrekkelijkheid van de arrondissementen en dus de lokalisatie van personen en activiteiten bepaalt. De allocatie houdt rekening met het “neighbourhood effect” (afstandsafhankelijke aantrekkings/afstoting tussen het landgebruik in elke cel en het landgebruik in naburige cellen), de geschiktheid van de cel voor elke activiteit, het beleid en de bereikbaarheid. De bereikbaarheid wordt bepaald in het transportmodel.

### *Transportmodel*

Het transportmodel is een geaggregeerd model voor het personenvervoer in Vlaanderen. Het model opereert op het niveau van verkeerszones die een aggregaat zijn van de cellen uit het ruimtelijk model. In elk jaar vertrekt het van de lokalisatie van de gezinnen en de werkgelegenheid en de kenmerken van de verkeerszones, zoals bepaald in het landgebruikmodel. Het neemt de evolutie van

het voertuigpark mee als een exogene factor. Op basis van deze inputs bepaalt het: (i) het aantal verplaatsingen voor drie motieven: woon-werk, woon-school en overige motieven; (ii) de oorsprong en de bestemming van de verplaatsingen; (iii) de modale keuze en de tijdstipkeuze; (iv) de route tussen elke oorsprong en bestemming; (v) de emissies en het energieverbruik verbonden aan de transportstromen. Ook worden er bereikbaarheidsindicatoren opgesteld, die het landgebruik mede zullen bepalen.

Het innoverende van de ATLAS-benadering bestaat erin dat het transportmodel en het landgebruikmodel interageren met elkaar zodat de wederzijdse beïnvloeding van veranderingen in het transportsysteem en veranderingen in het landgebruik meegenomen worden bij het opstellen van langetermijn vooruitzichten.

Daarnaast beschrijft het rapport hoe de gegevens van het Vlaams Verkeerscentrum, naast andere gegevens, opgenomen werden in het model.

Tenslotte bespreekt het rapport welke scenario-oefeningen kunnen uitgevoerd worden met het ATLAS-model. Het model kan ingezet worden om de impact van algemene demografische en economische evoluties op de transportstromen (en de ermee gepaard gaande emissies en energieverbruik) en het landgebruik in te schatten. Daarnaast kan het gebruikt worden om de effecten van ruimtelijk beleid en verschillende vormen van transportbeleid (prijzetting, regulering en infrastructuur) op de transportstromen en het landgebruik na te gaan. Dit wordt geïllustreerd met een eerste modeltest.

## Summary

When developing a transport outlook it is important to take into account the interactions between land use and transport. The feedback cycle between transport and land use is as follows: on the one hand the location choice of people and economic activities is one of the determinants of the transport flows. On the other hand, the characteristics and the performance of the transport system will have an impact on the development of the land use. Accessibility is one of the factors influencing the location of people and businesses. In addition, the transport infrastructure and transport flows may also have other spatial effects (e.g. environmental) that may determine the attractiveness of a particular location. In order to study these aspects, VITO is developing the ATLAS model. The aim is to construct a model that functions at the system level and that can be used to set up coordinated policy measures in three policy domains (transport, land use and environment), using long run scenario exercises.

This report describes the results of the MIRA R&D-project on "Linking a land use model with a transport model for calculating future scenarios". The objective of the study is twofold. First, the study aims to feed data on transport in Flanders from the Flemish Traffic Centre to the ATLAS model. Secondly, the project aims to explore the potential contribution of the ATLAS model to the construction of future scenarios.

To this end, the report describes the general design of the ATLAS model. The model consists of two integrated parts: a spatial dynamic land use model and a transport model. The ATLAS model is designed so that both parts can be used as stand-alone models or as an integrated model. In the integrated version, the transport model is embedded in, and thus called by the land use model. In that case, a number of modules in the stand-alone version of the land use model are (de)activated.

### *Spatial dynamic land use model*

The spatial dynamic land use model is the existing "RuimteModel Vlaanderen". It is a high resolution spatial simulation model and is used to assess the impact of different policies on future land use. It combines the effects of exogenous socio-economic developments, and of existing and planned policies (spatial planning and transport policy) in the context of scenarios for possible developments in Flanders, Belgium, Europe or the rest of the world. In addition, it evaluates the policy choices in terms of social, economic and environmental criteria by spatially explicit sustainability indicators.

The model comprises three interdependent levels: the global, regional and local level. The global level takes into account different scenarios for the growth (positive or negative) of the population and the number of persons employed in aggregate economic sectors. The regional model divides this growth over the various NUTS3 zones ("arrondissementen"). The growth in the residential and economic sectors is the basis for the demand for land by type of land use in each NUTS3 zone. This is a starting point for the local model. The latter model assigns the growth in each district to individual cells of 1 ha.

A feedback exists between the change in the land use patterns and the quality of the remaining search space at the local level and what happens at the regional level, because this will determine the attractiveness of the NUTS3 zones and therefore the location of persons and activities. The allocation takes into account the "neighbourhood effect" (distance dependent attraction / repulsion between the land use in each cell and land use in neighbouring cells), the suitability of the cell for each activity, policies and accessibility. The accessibility is determined in the transport model.

### *Transport model*

The transport model is an aggregated model for passenger transport in Flanders. The model operates at the level of traffic zones, which are an aggregate of the cells in the land use model. In each year it starts from the location of the population and jobs and the characteristics of the traffic zones, as defined in the land use model. It takes the evolution of the vehicle fleet along as an exogenous factor. Based on these inputs it determines: (i) the number of trips for three trip purposes: commuting, school and "other purposes", (ii) the origin and destination of the trips; (iii) the modal choice and timing (iv) the route between each origin and destination; (v) the emissions and energy consumption associated with the transport flows. The model also determines accessibility indicators, which will partly determine the land use.

The ATLAS-approach is innovative because it takes into account the interaction between the transport and land use model, such that the mutual influencing of changes in the transport system and changes in land use can be incorporated in the development of long term outlooks.

In addition, the report describes how the data of the Flemish Traffic Centre, among other data, were included in the model.

Finally, the report discusses the type of scenario exercises that can be performed with the ATLAS model. The model can be used to assess the impact of global demographic and economic trends on the transport flows (and the associated emissions and energy consumption) and land use. In addition, it can be used to evaluate the effects of spatial policy and various forms of transport policies (pricing, regulation and infrastructure) on the transport flows and land use. This is illustrated by a first model testrun.

## Inleiding

Bij het opstellen van transportvooruitzichten is het van belang om de interacties tussen landgebruik en transport op te nemen. De feedback cyclus tussen transport en landgebruik is als volgt: enerzijds is de locatiekeuze van mensen en economische activiteiten een van de determinanten van de transportstromen. Anderzijds zullen de kenmerken en de performantie van het transportsysteem een invloed hebben op de ontwikkeling van het landgebruik. Bereikbaarheid is immers een van de factoren die de locatiekeuze van mensen en bedrijven bepalen. Daarnaast kunnen de transportinfrastructuur en transportstromen ook andere effecten hebben op de ruimte (bv. milieueffecten) die de aantrekkelijkheid van een bepaalde locatie kunnen bepalen. De impact van de milieueffecten op de aantrekkelijkheid van locaties wordt hier nog niet beschouwd, maar kan aan bod komen in een uitbreiding van het model.

Om deze aspecten te kunnen bestuderen ontwikkelt VITO het ATLAS-model, een geïntegreerd ruimte-transportmodel dat moet toelaten om langetermijn ontwikkelingen in personenvervoer en landgebruik te simuleren. Hiertoe wordt het bestaande Ruimtemodel Vlaanderen, dat reeds enigszins rekening kan houden met een aantal vormen van transportbeleid maar nog niet met alle vormen en alle aspecten, uitgebreid met een gedetailleerd transportmodel. Het doel is een model op systeemniveau dat kan worden ingezet om maatregelen in drie beleidsdomeinen (transport, ruimte en milieu) op elkaar af te stemmen met behulp van langetermijn scenario-oefeningen. Het innoverende van de ATLAS-benadering bestaat erin dat het transportmodel en het landgebruikmodel interageren met elkaar zodat de wederzijdse beïnvloeding van veranderingen in het transportsysteem en ontwikkelingen in het landgebruik meegenomen worden bij het opstellen van langetermijn vooruitzichten.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het MIRA O&O-project rond “Koppeling van ruimtemodel met transportmodel voor berekening toekomstscenario’s”. De doelstelling van de studie is tweeledig. Het eerste doel van het project is om het ATLAS-model te voeden met gegevens van het Vlaams Verkeerscentrum rond transport in Vlaanderen. Ten tweede wil het project verkennen wat de potentiële bijdrage is van het ATLAS-model tot de constructie van toekomstscenario’s.

De structuur van het rapport is als volgt. In het eerste deel wordt de algemene opzet van het ATLAS-model beschreven. Het model bestaat uit 2 delen, een ruimtelijk dynamisch landgebruikmodel en een transportmodel. Beide modellen en hun koppeling worden voorgesteld. Ook worden enkele pistes aangegeven voor de verdere ontwikkeling van het ATLAS-model.

Het tweede deel gaat dieper in op de gegevens die het ATLAS-model gebruikt. Deze omvatten gegevens van het Vlaams Verkeerscentrum rond de definitie van het netwerk, de socio-demografische kenmerken en een aantal oorsprong-bestemmingsmatrices. We geven aan welke bijkomende stappen er gezet zijn om deze gegevens op te nemen in het ATLAS-model. Daarnaast geven we ook een overzicht van de andere gegevens die het ATLAS-model gebruikt.

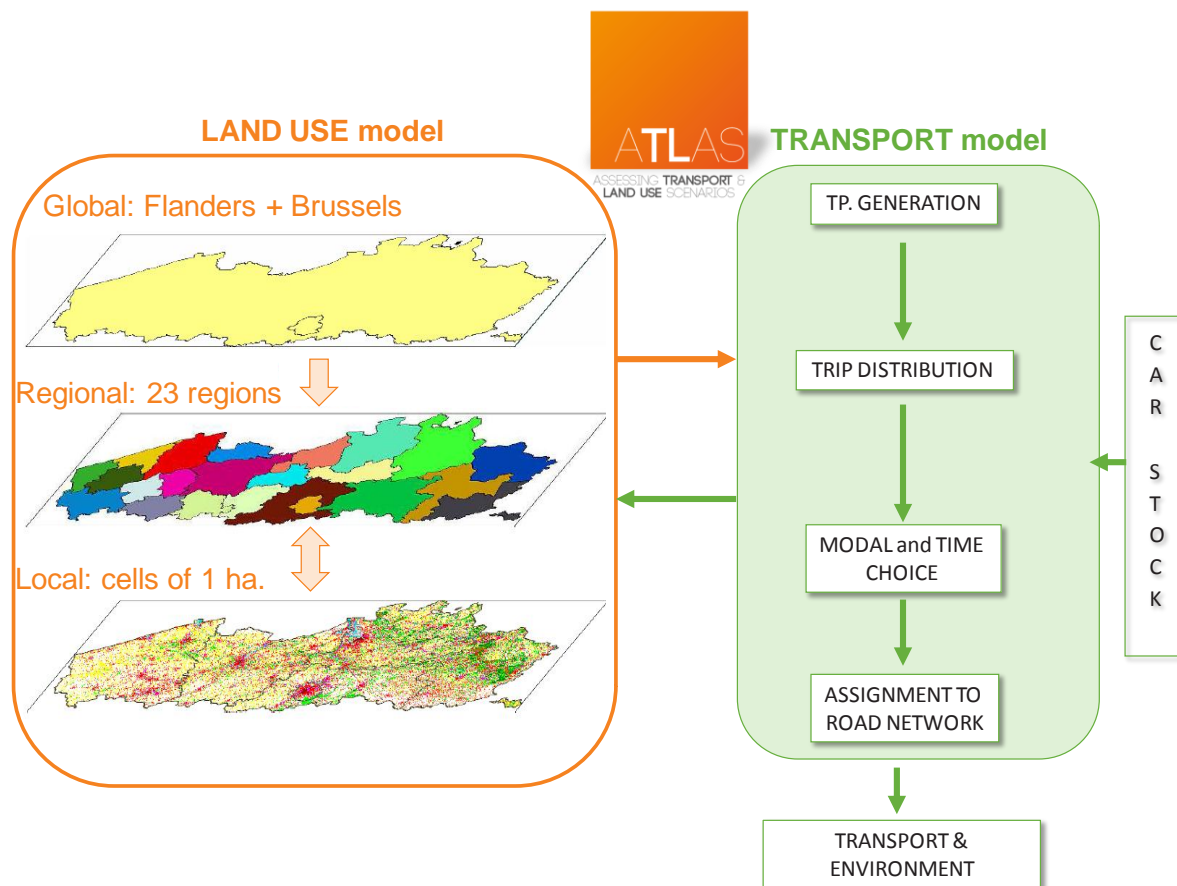
Het laatste deel bespreekt welke soort scenario-oefeningen kunnen uitgevoerd worden met het ATLAS-model. Het model kan ingezet worden om de impact van algemene demografische en economische evoluties op de transportstromen (en de ermee gepaard gaande emissies en energieverbruik) en het landgebruik in te schatten. Daarnaast kan het gebruikt worden om de effecten van ruimtelijk beleid en verschillende vormen van transportbeleid (prijzetting, regulering en infrastructuur) na te gaan. Dit wordt geïllustreerd met een eerste modeltest.

# Het ATLAS-model – Assessing Transport and Land Use Scenarios

## Inleiding

Het ATLAS-model bestaat uit twee geïntegreerde delen die kort besproken worden in de volgende paragrafen. Figuur 1 stelt de algemene structuur van het model voor.

Figuur 1: Structuur van het ATLAS-model



Bron: VITO

Het ATLAS-model is zo opgezet dat beide onderdelen zowel onafhankelijk van elkaar als gekoppeld inzetbaar zijn. In de gekoppelde versie wordt het transportmodel ingebed en dus aangeroepen door het RuimteModel.

Op dit moment is het prototype van het model nog volop in ontwikkeling. Dit rapport beschrijft de algemene opzet. Sommige aspecten zijn voorzien, maar nog niet volledig ontwikkeld. In dat geval wordt dit duidelijk aangegeven.

## Het ruimtelijk dynamisch landgebruikmodel

Hier beschrijven we het RuimteModel Vlaanderen zoals het geïsoleerd gebruikt wordt voor berekeningen aangaande het toekomstige landgebruik in Vlaanderen en Brussel<sup>1</sup>. In de volgende paragraaf gaan we dieper in op het gebruik van het model in het ATLAS-model.

<sup>1</sup> Zones buiten Vlaanderen en Brussel worden nog niet opgenomen in het RuimteModel Vlaanderen. Het is mogelijk om deze zones te incorporeren, mits bijkomende gegevens verzameld worden, wat echter bijkomende tijd en middelen vergt. Bovendien zal de definitie van de zones buiten Vlaanderen en Brussel noodzakelijkerwijze minder gedetailleerd zijn (bv. de NUTS3-zones of arrondissementen),

Het RuimteModel Vlaanderen van VITO is een ruimtelijk simulatiemodel op hoge resolutie en verkent de impact van verschillende beleidskeuzes op het toekomstig ruimtegebruik. Het model rekent op jaarbasis en typisch voor periodes tot 50 jaar in de toekomst. Het combineert de effecten van exogene socio-economische ontwikkelingen, en van bestaand en gepland beleid (ruimtelijk beleid en bepaalde vormen van transportbeleid) in het kader van scenario's gerelateerd aan mogelijke ontwikkelingen in België, Europa of de rest van de wereld. Daarnaast evalueert het de beleidskeuzes in termen van sociale, economische en ecologische criteria met behulp van ruimtelijk expliciete duurzaamheidsindicatoren (zoals bv. de verstedelijkingsgraad, de stedelijke druk op landbouwgebied, de omvang van verstedelijkte clusters, de omvang van clusters van open ruimte (Engelen et al., 2011a) – zie ook de Indicatoratlas (<http://rma.vgt.vito.be/verkenner/verkenning.jsf>)).

In dit project gebruiken we de meest recente en meest geavanceerde implementatie van het model. Ze is in belangrijke mate tot stand gekomen in een MIRA O&O-opdracht (Van Esch et al., 2011) uitgevoerd in 2010-2011 die erop gericht was de landgebruiken en activiteiten waarmee het RuimteModel rekent maximaal af te stemmen op de sectorindeling die gehanteerd wordt door MIRA en VMM meer algemeen. Hierin wordt de bevolking als 1 enkel leeftijdscategorie opgevat (d.w.z. er wordt nog geen onderscheid gemaakt tussen verschillende leeftijdsklassen), en worden de jaarlijkse veranderingen voor 12 geaggregeerde economische sectoren bepaald op basis van het ruimtelijk gedrag. De sectoren zijn: (1) landbouw, jacht, bosbouw, visserij en aquacultuur, (2) lichte industrie, (3) zware industrie, (4) afval, afvalwater; drinkwater en waterdistributie, (5) mijnbouw, (6) energie, (7) groothandel, transport en verkeer, (8) detailhandel en horeca, (9) kantoren en administratie, (10) gezondheidszorg, overheid en overige (publieke) diensten, (11) zeehavens, (12) overige industrieel-commercieel-residentiële activiteiten (zelfstandigen en helpers). Voor de meest actuele en meest uitvoerige technische beschrijving van het RuimteModel wordt verwezen naar Engelen et al. (2011a).

Het model wijst de bijbehorende ruimtelijke landgebruiken toe op een kaart met een resolutie van 1 ha. In totaal worden 35 landgebruiken weergegeven. Behalve de bevolking (1 categorie) en economische activiteiten (12 categorieën), omvatten deze 11 natuurlijke, 5 landbouw, en 6 overige landgebruiken die als statisch gelden, zoals waters, parken en infrastructuur etc.

Het model bestaat uit gekoppelde modellen op 3 onderling afhankelijke schaalniveaus: het globaal, regionaal en lokaal niveau. Hieronder geven we een korte bespreking van deze 3 niveaus.

Het *globaal niveau* vertrekt van een exogeen scenario voor de groei (positief of negatief) van de bevolking en het aantal werkzame personen in elk van de geaggregeerde economische sectoren.

De modellen op het *regionale niveau* verdelen deze groei over de verschillende arrondissementen. De groei van de residentiële en de economische sectoren is de basis voor de vraag naar ruimte per landgebruik in elk arrondissement. Op dit niveau gebeurt het volgende:

- a. Een standaard interactie-gebaseerd model wijst activiteiten toe. Ieder arrondissement moet concurreren met alle andere voor de bevolking en activiteit in iedere economische sector op basis van de geografische positie ten opzichte van de andere arrondissementen, de tewerkstelling, bevolkingsomvang, en het type en de omvang van de bestaande activiteit. Een belangrijke component in deze berekening is de relatieve verkeersligging van elk arrondissement in de context van het Vlaamse grondgebied (eventueel uitgebreid met socio-economisch belangrijke gebieden buiten Vlaanderen). Daarnaast wordt de regionale attractiviteit voor een activiteit bepaald door 3 geaggregeerde maten die ontleend zijn aan het model op het lokale niveau. Dit betreft de overvloed van (of het tekort aan) kwaliteitsvolle ruimte, uitgedrukt in de *fysieke geschiktheid*, de beleidsmatige status van die ruimte, uitgedrukt in zijn *beleidszonerings*, en de *globale toegankelijkheid* van die ruimte, uitgedrukt als een gewogen ontsluiting t.o.v. de voor de activiteit noodzakelijke verkeersinfrastructuur.
- b. Een dichtheidsmodel vertaalt de activiteit en bevolkingsaantallen per sector in de ruimteaanpraak, uitgedrukt in het aantal cellen. Deze worden toegewezen aan het model op het lokale (cf. infra) niveau voor de gedetailleerde toewijzing. Om de verdichting van de gebruikte ruimte en ruimtelijke toewijzing

---

door een verschil in de beschikbare gegevens. Een voorstel om het RuimteModel Vlaanderen uit te breiden naar de buurregio's van Vlaanderen is uitgeschreven in het Aandachtspunt 3, vanaf pagina 189 van het technisch-wetenschappelijk rapport van het RuimteModel (Engelen et al., 2011a).

te controleren wordt het principe van vraag en aanbod gehanteerd. Voor de natuurlijke, landbouw- en recreatieve landgebruiken wordt de ruimtevraag als harde voorwaarde opgelegd, als weerspiegeling van het feit dat eerder het beleid dan de ruimtecompetitie bepalend zijn voor de aan iedere regio toegewezen ruimte.

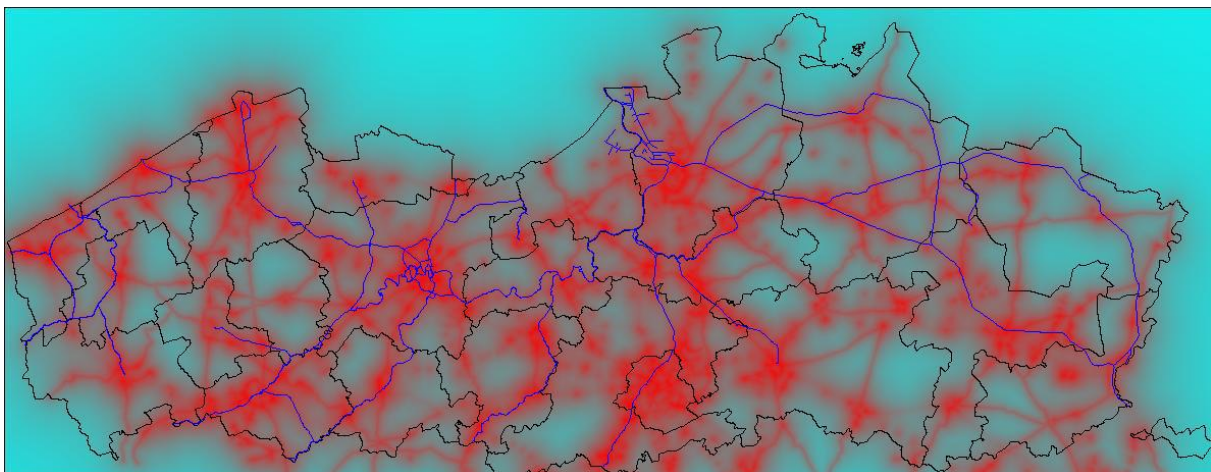
c. Een in het RuimteModel ingebouwd verkeersmodel berekent de interregionale afstanden tussen de centroides (zwaartepunten) van de arrondissementen uitgedrukt in reistijden of gegeneraliseerde kosten (= som van tijdskosten en monetaire kosten) en levert ze aan het interactie-gebaseerde model voor de berekeningen van de attractiviteiten. De afstandenmatrix vertegenwoordigt daarin de ligging van elk arrondissement in de context van het Vlaamse grondgebied (eventueel uitgebreid met socio-economisch belangrijke gebieden buiten Vlaanderen).

Feitelijk beschikt het RuimteModel over verschillende ingebouwde verkeersmodellen die variëren van een eenvoudige kortste pad berekening tot een volledig 4 traps-verkeersmodel. Voor de toepassing in Vlaanderen wordt enkel gebruik gemaakt van de eenvoudige kortste pad berekening en zal op termijn het Transportmodel van ATLAS (volledig 4 traps-verkeersmodel) de verkeersafhandeling doen.

Het regionaal model kan ook rekening houden met exogeen opgelegde evoluties, zoals bv. de vooruitzichten van het Federaal Planbureau over de demografische evoluties op het niveau van de arrondissementen.

Het *lokaal model* vertrekt van de output van het regionaal model en kent de groei in elk arrondissement toe aan individuele cellen van 1 ha. Het lokaal model rekent niet langer met bevolkingsaantallen en werkenden, maar met het ruimtegebruik dat eraan gekoppeld is. Voor ieder arrondissement bepaalt een cellenautomaat het resulterende landgebruik voor elke individuele cel op elk ogenblik op basis van de ruimtelijke interacties met het landgebruik in de onmiddellijke omgeving, onder de beperking van de institutionele, fysische en transportkarakteristieken. Zoals het een cellenautomaat typeert, houdt de allocatie rekening met het "omgevingseffect", zijnde de afstandsafhankelijke aantrekking/afstoting tussen het landgebruik in elke cel en de landgebruiken in naburige cellen in een beperkte omgeving (in het RuimteModel een cirkelvormig gebied met een straal van 800 meter). Daarnaast zijn ook de (fysische) geschiktheid van de cel voor elke activiteit, het beleid en de sectorspecifieke ontsluiting bepalende factoren. De ontwikkeling van de marktprijs wordt niet expliciet gemodelleerd, maar wordt impliciet benaderd door het samenspel van de hierboven vermelde factoren. De sectorspecifieke ontsluiting wordt bepaald aan de hand van de verkeersinfrastructuur. In het model wordt er gerekend met het wegennetwerk (Multinet, een zestal types van wegen), het spoorwegennetwerk en de spoorwegstations, de bevaarbare waterwegen en de haltes van De Lijn. Sectorspecifieke ontsluiting houdt enerzijds rekening met het belang dat elke sector hecht aan een specifiek type infrastructuur, en de afstand waarop het dat type infrastructuur wenst te vinden t.o.v. zijn locatie (Figuur 2).

*Figuur 2: Toegankelijkheidskaart van "Groothandel, transport en verkeer" met de bevaarbare waterwegen (in paars) op de voorgrond*



Nota: blauw: laag toegankelijke gebieden; rood: hoog toegankelijke gebieden

Bron: VITO



Er bestaat een feedback tussen de verandering in de patronen van het ruimtegebruik en de kwaliteit van de overblijvende zoekruimte op het lokale niveau en wat er gebeurt op het regionale niveau, omdat dit de aantrekkelijkheid van de arrondissementen en dus de lokalisatie van personen en activiteiten bepaalt.

Het resultaat bestaat uit het landgebruik per cel van 1 ha. Als afgeleide indicatoren berekent het model ook voor elke cel de woonachtige bevolking en de werkgelegenheid (per sector).

### **Het RuimteModel Vlaanderen in ATLAS**

De beschrijving van het RuimteModel in de vorige paragraaf heeft betrekking op het geïsoleerde gebruik ervan voor berekeningen aangaande het toekomstige landgebruik in Vlaanderen. Wanneer het RuimteModel in ATLAS-verband wordt doorgerekend, dan roept het het Transportmodel aan voor het uitvoeren van de transportgerelateerde berekeningen. Bepaalde rekenmodules worden dus geactiveerd of gedeactiveerd. Hier volgt een korte beschrijving.

1. Op het regionale niveau van het model, dat waarop Vlaanderen en Brussel op arrondissementeel niveau worden weergegeven, wordt het in het RuimteModel ingebouwde transportmodel gedeactiveerd en worden de afstandsberoeeningen (uitgedrukt in tijdsafstanden of gegeneraliseerde kosten) tussen de arrondissementshoofdplaatsen vervangen door de afstanden (uitgedrukt in gegeneraliseerde kosten) berekend in het Transportmodel van ATLAS. In de finale versie van ATLAS zal het RuimteModel daarvoor op jaarlijkse basis het Transportmodel activeren. Voor berekeningen en scenario's uitgewerkt tot op heden is deze jaarlijkse berekening nog niet uitgevoerd. De aandacht gaat eerst nog naar het versnellen van het Transportmodel om de jaarlijkse doorrekening van het gekoppelde verkeer-landgebruik mogelijk te maken (zie ook bijlage 1).
2. Nog op het regionale niveau van het model wordt de geaggregeerde ontsluiting berekend op basis van gegevens die opgehaald worden uit het lokale model, maar berekend worden op basis van de karakteristieken (zoals capaciteit, belasting, congestie, ...) van de wegverbindingen uit het Transportmodel. In de ontsluiting wordt bovendien nog steeds rekening gehouden met het spoorwegennetwerk, het netwerk van bevaarbare waterwegen, de ligging van spoorwegstations en de haltes van De Lijn zoals ze in het RuimteModel zijn opgenomen. Voorlopig is deze koppeling nog niet uitgevoerd. Dit is te wijten aan de verschillen die bestaan tussen het wegennetwerk in Multinet en het wegennetwerk dat gebruikt wordt door het VVC. De één op één relatie tussen beide netwerken is niet systematisch. Bovendien is het netwerk van VVC meer topologisch van aard dan Multinet. Daardoor is de precieze ligging van de wegverbindingen meer gedetailleerd uitgewerkt in Multinet dan in het VVC-netwerk. De precieze geografische ligging van alle wegverbindingen is noodzakelijk voor de correcte berekening van de ontsluiting van alle 1ha entiteiten in het RuimteModel. Uit gesprekken met MINT NV, die de verkeersmodellen voor het VVC bouwt, is gebleken dat pogingen om het VVC-netwerk op het Multinet-netwerk te spiegelen of omgekeerd in het verleden onmogelijk zijn gebleken. Een oplossing dringt zich nochtans op en zal in de nabije toekomst terug worden opgepakt, wellicht in een lopende opdracht waarin VVC, MINT NV en VITO betrokken zijn.
3. Zoals al gesteld in het vorige punt, werkt het RuimteModel op het lokale niveau met een sectorspecifieke ontsluiting berekend op basis van de karakteristieken (zoals capaciteit, belasting, congestie, ...) van de wegverbindingen uit het Transportmodel. De ontsluiting t.o.v. de wegverbindingen gewogen en gecombineerd met die t.o.v. de spoorwegverbindingen en spoorwegstations, de waterwegen en bevaarbare rivieren en de haltes van De Lijn. De laatste drie zijn standaard onderdeel van het RuimteModel. Op termijn is het de bedoeling om de ontsluiting van elke cel aan te vullen met een term die de relatieve toegankelijkheid van de cel t.o.v. het Vlaamse grondgebied in rekening brengt. Dit kan op basis van de bereikbaarheidsindicatoren (cf. infra) die in het Transportmodel berekend worden.

Via een correspondentietabel tussen de lokale cellen van het RuimteModel en de verkeerszones van het transportmodel, wordt als afsluiting van elke jaarlijkse rekenstap de totale bevolking, werkgelegenheid (per economische activiteit) en het landgebruik bepaald per verkeerszone. Het transportmodel omvat 6744 zones die verdeeld zijn over Vlaanderen en Brussel. De definitie van de zones is overgenomen van het Vlaams Verkeerscentrum (cf. infra).

## Het Transportmodel

Het Transportmodel is een geaggregeerd model voor het personenvervoer in Vlaanderen. Het model opereert op het niveau van verkeerszones die een aggregaat zijn van de cellen uit het ruimtelijk model. In elk jaar vertrekt het van de lokalisatie van de gezinnen en de werkgelegenheid en de kenmerken van de verkeerszones, zoals bepaald in het landgebruikmodel. Het neemt de evolutie van het voertuigpark mee als een exogene factor. Op basis van deze inputs bepaalt het:

- i. het aantal verplaatsingen voor drie motieven: woon-werk, woon-school en overige motieven (transport generatie);
- ii. de oorsprong en de bestemming van de verplaatsingen (trip distributie);
- iii. de modale keuze en de tijdstipkeuze;
- iv. de route tussen elke oorsprong en bestemming (toedeling);
- v. de emissies en het energieverbruik verbonden aan de transportstromen (milieu).

Ook worden er bereikbaarheidsindicatoren opgesteld, die het landgebruik mede zullen bepalen.

Het belangrijkste verschil met andere transportmodellen in Vlaanderen bestaat in de expliciete koppeling van het transportmodel met het RuimteModel, waardoor er op een gestroomlijnde manier geïntegreerde scenario-oefeningen mogelijk zijn. Bijvoorbeeld, in de modellen van het Vlaams Verkeerscentrum wordt er één business-as-usual scenario geconstrueerd voor de toekomst waarmee vervolgens bijkomend transportbeleid wordt doorgerekend. De impact van het transportbeleid op het landgebruik, en via het landgebruik op de transportvraag wordt niet bekeken. Door het transportmodel in ATLAS te koppelen aan het RuimteModel kan er wel rekening gehouden worden met dit laatste effect, en kan er bovendien een ander toekomstig scenario worden uitgerekend dat verschilt in functie van de exogene ontwikkelingen en beleid inzake landgebruik, transport en milieu (cf. infra).

Men kan bijvoorbeeld de impact analyseren op het landgebruik van volgende beleidsopties:

- Het invoeren van rekeningrijden.
- Het invoeren van tarieven voor openbaar vervoer die sterker variëren in functie van de afgelegde afstand.

Omgekeerd kan men de impact bekijken op de transportvraag en op de ruimtelijke spreiding van de transportstromen van maatregelen die betrekking hebben op het landgebruik, zoals grootschalige bestemmingswijzigingen.

Het transportmodel is geschreven in R<sup>2</sup>, C++ en bash. ATLAS maakt niet alleen gebruik van meerdere standaard libraries in R ("packages" in R terminologie)<sup>3</sup>, maar ook van het TravelR package, dat zich nog in het "prototype" stadium bevindt en in ATLAS voor het eerst uitgebreid werd getest met reële gegevens<sup>4</sup>. Informaticatechnisch is gestreefd naar een evenwicht tussen de eenvoud en de kracht van de code (zie bijlage 1).

Elk van de stappen wordt hieronder kort toegelicht.

### **(i) Transport generatie**

Het doel van de transport generatie module bestaat erin om het aantal trips te bepalen die vertrekken of aankomen in de verkeerszones. De module vertrekt hiervoor van de bevolking en werkgelegenheid per verkeerszone, op basis van een aggregatie van de bevolking en werkgelegenheid in de cellen van het RuimteModel. Om het totaal aantal trips te bepalen die vertrekken en aankomen in elke verkeerszone, dient de bevolking verder opgesplitst te worden in leeftijdsklassen en socio-economische status. Daarnaast zou men ook een onderscheid kunnen maken volgens het geslacht, maar omdat er hiervoor geen data beschikbaar zijn voor het basisjaar, wordt dit niet gedaan. Het ATLAS-model beschouwt drie leeftijdsklassen (0-17 jaar, 18-64 jaar, en 65+) en drie socio-economische categorieën: werkenden, studenten en overige personen ("inactieven").

---

<sup>2</sup> <http://www.r-project.org/>

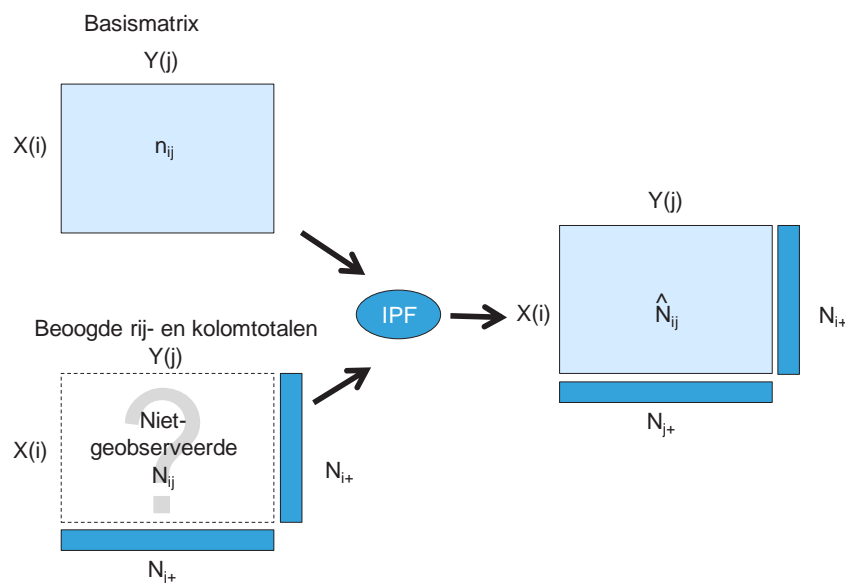
<sup>3</sup> Beschikbaar via <http://cran.r-project.org/>.

<sup>4</sup> <https://r-forge.r-project.org/projects/travelr/>

Voor de toekomstprojecties beschikken we over de volgende informatie om de totale bevolking verder op te delen: de bevolking per leeftijd en arrondissement (Federaal Planbureau) en het aantal werkenden per gewest (Federaal Planbureau). Daarnaast gaan we uit van een constant aandeel van de studenten in de verschillende leeftijdsklassen.

Startend van de informatie in het basisjaar en de vooruitzichten voor de toekomstjaren, voert de transport generatie module twee IPF-procedures uit. De IPF-procedure ("iterative proportional fitting) is een iteratieve procedure om de elementen van een matrix aan te passen zodat nieuw opgelegde kolom- en rijtotalen worden gerespecteerd. Figuur 3 geeft een schematisch overzicht van een IPF-procedure met twee variabelen X en Y. De basismatrix  $n_{ij}$  wordt aangepast zodat de beoogde rij- en kolomtotalen  $N_{j+}$  en  $N_{i+}$  worden behaald. Het resultaat is een geschatte matrix die een benadering is van de niet-gekende objectiefmatrix  $\hat{N}_{ij}$ . In het ATLAS-model gebruiken we de IPF-procedure die voorzien is in TravelR en die gebruik maakt van de Fratar-methode.

*Figuur 3: Het principe van de IPF-procedure*



De eerste IPF-procedure wordt toegepast voor elk arrondissement apart en bepaalt voor elke verkeerszone in het arrondissement de bevolking per leeftijdsklasse en het aantal studenten.

De tweede IPF-procedure bepaalt de socio-economische status voor de leeftijdsklasse 18-64. Zij neemt het aantal studenten uit de vorige stap als gegeven. De procedure wordt toegepast voor de drie gewesten apart en bepaalt voor elke verkeerszone in het gewest de bevolking volgens socio-economische status (student, werkend, inactief). Voor de 0 tot 17-jarigen worden alle niet-studenten ondergebracht in de categorie "inactief". Alle 65-plussers worden toegekend aan de status "inactief".

De informatie over de werkgelegenheid per verkeerszone en bevolking per verkeerszone, leeftijdsklasse en socio-economische status wordt vervolgens vermenigvuldigd met een tripratio per motief. De tripratio geeft het aantal trips per persoon en kan beïnvloed worden door de evolutie van de gegeneraliseerde kost van transport (= monetaire kost + tijds-kost) en het bbp per capita.

### **(ii) Trip distributie**

De module voor de trip distributie bepaalt de oorsprong en de bestemming van de verschillende trips. De trip distributie gebeurt met behulp van een IPF-procedure voor de drie tripmotieven. De basismatrix is de motiefmatrix voor het basisjaar/vorige periode. De rij- en kolomtotalen voor de simulatiejaren worden geleverd door de transport generatie module.

Er wordt nog onderzocht of de data toelaten om een zwaartekrachtmodel te schatten, waardoor de impact van een verandering van de gegeneraliseerde kosten en van de kenmerken van de

verkeerszones op de tripdistributie<sup>5</sup> zou kunnen opgenomen worden. Indien de empirische resultaten toereikend zijn, kan dit opgenomen worden in het ATLAS-model. De code van het transportmodel is reeds zodanig geschreven dat dit kan geïncorporeerd worden.

### ***(iii) Modale keuze en tijdstipkeuze***

Deze module vertrekt van een gegeven aantal trips tussen de verschillende zone-paren en bepaalt de modale keuze en tijdstipkeuze. Voor de resulterende transportstromen berekent de module ook de netto belastinginkomsten en totale transportkosten.

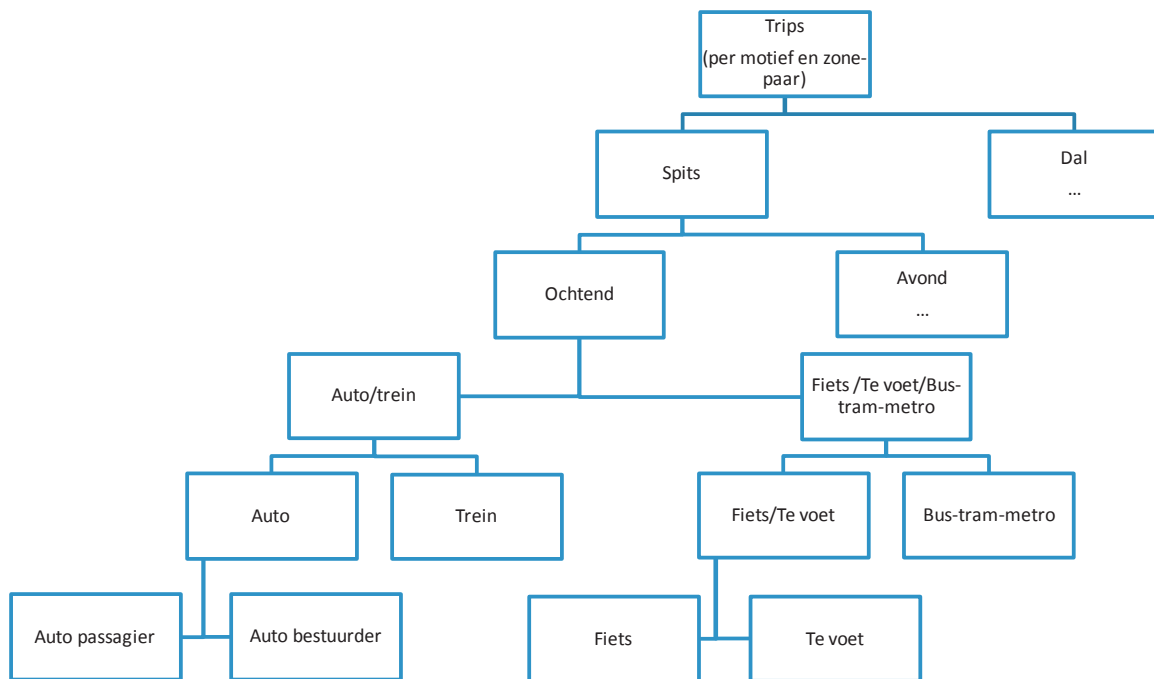
Het keuzemodel wordt gedefinieerd per zone-paar met een positief aantal trips en per motief. De keuze van de transportmodi en het tijdstip gebeurt zo dat de gegeneraliseerde kost om een gegeven aantal trips te maken wordt geminimaliseerd. De “productietechnologie” voor deze trips wordt weergegeven door een MCES-functie met verschillende niveaus. “MCES” verwijst naar “modified constant elasticity of substitution”. In bijlage 2 geven we een korte, meer abstracte, beschrijving van de algemene eigenschappen van het keuzemodel. Hieronder beschrijven we het specifieke keuzemodel dat gebruikt wordt in het ATLAS-model en de wijze waarop dit wordt gekalibreerd.

Figuur 4 geeft de algemene boomstructuur die het ATLAS-model gebruikt voor de modale keuze en tijdstipkeuze. Het model incorporeert de volgende modi: auto bestuurder, auto passagier, bus/tram/metro, trein, te voet, fiets. In de huidige toepassing van het model wordt de keuze tussen de spits- en daluren en de modale keuze in de daluren voorlopig nog achterwege gelaten wegens een gebrek aan gegevens. Op dit ogenblik beschikken we immers enkel over de modus-motiefmatrices voor 2 spitsuren, namelijk 1 uur in de ochtendspits (8u) en 1 uur in de avondspits (17u)(cf. infra). In de toekomst zullen we dit trachten te verbeteren door gebruik te maken van gegevens uit het Onderzoek Verplaatsingsgedrag.

---

<sup>5</sup> Nota: de huidige versie van het model houdt dus nog geen rekening met de invloed van een verandering van de gegeneraliseerde kosten op de bestemming van de trips, maar wel met de impact ervan op het totaal aantal trips vanuit of naar elke zone, de modale keuze en tijdstipkeuze (zie volgende module).

Figuur 4: De MCES-boomstructuur voor de modale keuze en tijdstipkeuze



Bron: VITO

De transportvraag hangt af van de gegeneraliseerde kost, die gelijk is aan de som van de monetaire en de tijdskosten. Voor het wegtransport wordt de gegeneraliseerde kost bepaald met behulp van de toedelingmodule uit het afgelopen modeljaar – we zullen hieronder verder bespreken wat we hier precies onder verstaan. Voor de auto passagiers, fietsers en voetgangers wordt er verondersteld dat de gegeneraliseerde kost enkel uit tijdskosten bestaat.

De kalibratie van de MCES-functie gebeurt zo dat de elasticiteiten van de transportvraag van de verschillende modi t.o.v. de gegeneraliseerde kost overeenkomen met waarden uit de literatuur. De kalibratie is gebaseerd op:

- De trips uit de mode-motiefmatrices voor het basisjaar; ze zijn beschikbaar per zone-paar, transportmodus, per periode van de dag (2 spitsuren) en per motief.
- De gegeneraliseerde evenwichtskosten tussen elk zone-paar in het basisjaar – deze worden berekend in de toedelingmodule voor het basisjaar; ze zijn beschikbaar per zone-paar, transportmodus, per periode van de dag (2 spitsuren) en per motief.

Dit gebeurt voor elk zone-paar, voor elke transportmodus, voor elk verplaatsingsmotief en voor elke periode van de dag in het basisjaar.

Indien we ervan uit gaan dat de parameters van de MCES-functie stabiel blijven doorheen de tijd, dan kunnen we deze gebruiken om de impact na te gaan van veranderingen in externe parameters. Dit kan zowel betrekking hebben op parameters die de kosten rechtstreeks beïnvloeden (kilometerheffing, tol, brandstofbelastingen, veranderingen in de prijzenstructuur van openbaar vervoer,...) als op parameters die deze onrechtstreeks wijzigen (bv. een verandering van de wegcapaciteit zal een impact uitoefenen op zowel de kostprijs per wegsegment als de routekeuze).

Merk op dat een dergelijke gedetailleerde kalibratie ook een aantal nadelen met zich meebrengt:

- Met een zeer fijnmazig net is het mogelijk dat er voor bepaalde zoneparen maar één transportmodus gebruikt wordt voor bepaalde periodes van de dag en/of motieven. De eigen prijselasticiteit van deze modus is dan gelijk aan nul, en veranderingen van de transportkosten zullen nooit leiden tot het ontstaan van een vraag naar andere transportmodi.
- Met een zeer beperkt aantal verplaatsingen per zone-paar, wordt de impact van kleine vergissingen in de gegevens op de bepaling van de prijselasticiteit zeer groot.

Een mogelijke alternatieve benadering zou er dan in kunnen bestaan om de prijselasticiteiten econometrisch te schatten, in plaats van ze te kalibreren. Dit zal verder bekeken worden.

#### **(iv) Toedeling**

In het ATLAS-model worden de verkeerstromen voor elk zone-paar en elke transportmodus expliciet toegewezen aan het netwerk. Dat wil zeggen dat men voor elk zone-paar en verkeersmodus zal berekenen welke route wordt gevolgd om van het punt van oorsprong tot het punt van bestemming te geraken. Op basis hiervan levert deze module, per zone-paar en modus, de afstand, de reistijd en de gemiddelde tol (indien relevant).

ATLAS werkt dus met een expliciete voorstelling van het netwerk – we verwijzen hiervoor naar de beschrijving van de data die verkregen werden bij het Vlaams Verkeerscentrum (cf. infra).

Idealiter wordt er geïtereerd tussen de module voor de modale keuze en tijdstipkeuze en de toedelingsmodule tot er een evenwicht bereikt wordt. De toedelingsmodule vergt echter zeer veel computertijd (cf. infra), waardoor dit momenteel nog niet mogelijk is. In de toekomst zal onderzocht worden hoe dit kan verbeterd worden.

De manier waarop een verkeersstroom wordt toegewezen aan het netwerk hangt af van het type verkeersmodus.

Ten eerste hebben we de **niet-gemotoriseerde modi** (wandelen en fietsen). Voor deze modi gaan we er van uit dat de verplaatsing alleen tijdskosten met zich meebrengt. Deze veronderstelling kan evenwel aangepast worden. Bovendien vindt er geen interactie plaats tussen deze modi en de gemotoriseerde modi<sup>6</sup>. In dit geval worden de verkeersvolumes eenvoudigweg bepaald aan de hand van een kortste pad algoritme: voor elk zone-paar bepalen we de kortste route<sup>7</sup>, en we gaan er van uit dat alle fietsers en voetgangers deze kortste route gebruiken.

Ten tweede beschouwen we **gemotoriseerde modi die gebruik maken van het wegnetwerk**, met name de auto's enerzijds, en de bussen en trams anderzijds. Voor de problematiek van de toewijzing zijn de belangrijkste kenmerken van deze modi:

- Naast de tijdskosten, spelen ook monetaire kosten een rol. Sommige monetaire kosten (bijvoorbeeld brandstofkosten) variëren min of meer evenredig met de afstand, andere zijn grotendeels onafhankelijk van deze afstand (bijvoorbeeld, tickets voor openbaar vervoer).
- Bij deze modi dienen we rekening te houden met congestie. Indien alle voertuigen de kortste route naar de bestemming kiezen, zullen sommige links in het netwerk overbezet geraken, en zal de kortste (in afstand) route niet de route zijn die de kosten minimaliseert. Een deel van de voertuigen zal dan een andere route kiezen, waardoor er weer congestie zal ontstaan op nieuwe links. Uiteindelijk zal het netwerk evolueren naar een zogenaamd “evenwicht van Wardrop”, waarbij geen enkel voertuig nog kosten kan besparen door van route te veranderen. In bijlage 4 wordt uiteengezet hoe dit evenwicht van Wardrop wordt berekend.
- Beide modi zullen elkaar beïnvloeden: auto's vertragen het openbaar vervoer, en vice versa (maar zie verder). Elke modus wordt voorgesteld als een “toewijzingsklasse”: dat wil zeggen

<sup>6</sup> We maken dus abstractie van eventuele congestie die (grote aantallen) fietsers of voetgangers zouden kunnen veroorzaken op een aantal flessenhalzen in stadscentra.

<sup>7</sup> De berekening van de kortste route gebruikt het zogenaamde algoritme van Dijkstra; zie bijvoorbeeld [http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's_algorithm)

dat men voor elke modus specifieke parameters gebruikt die weergeven hoe de netwerkkennmerken de kosten voor deze modus beïnvloeden. Bussen zullen bijvoorbeeld anders reageren op een bepaald congestieniveau dan auto's. Ook *binnen* een modus zou men kunnen werken met meerdere toewijzingsklassen (bijvoorbeeld, indien bepaalde parameters afhangen van het verplaatsingsmotief – maar zie verder). Alle toewijzingsklassen beïnvloeden de kosten van de andere klassen.

- Er wordt geen rekening gehouden met de zoekkosten naar een parkeerplaats.

De kostenfunctie bestaat uit de volgende componenten:

- De kosten die rechtstreeks evenredig zijn met de afstand: brandstofkosten (incl. belastingen), onderhoudskosten, enz. De afstanden per link volgen uit de beschrijving van het netwerk.
- De eventuele tol die wordt opgelegd. Vermits deze geografisch kan worden gedifferentieerd, moet deze ook vervat zitten in de beschrijving van het netwerk.
- De kosten die tijdsafhankelijk zijn (in de praktijk, de opportuniteitskost van de tijd). Deze kosten worden dus beïnvloed door het congestieniveau: indien er meer verkeer is op een bepaalde route, neemt de snelheid af, en nemen de tijdskosten toe. De relatie tussen verkeersvolumes en doorstromingsnelheid wordt weergegeven aan de hand van een congestiefunctie (zie bijlage 3). Merk op dat de opportuniteitskost van de tijd afhangt van het motief. Voor de toewijzing aan het netwerk maken we hier abstractie van, omdat werken met twee toewijzingsklassen (cf. supra) reeds enorm veel computergeheugen en –tijd vereist. Daarom werken we voor de toewijzing met het gewogen gemiddelde van de motiefafhankelijke tijdswaardering. Dit betekent dat er bij de toewijzing voor de spitsuren de waarde van de tijd voor het motief werk een groot gewicht krijgt, en in de dalperiodes een kleiner gewicht.
- Tenslotte zijn er kosten die niet of nauwelijks variëren in functie van de afstand of de tijd, zoals de tickets voor openbaar vervoer. Deze kosten spelen geen rol in de toewijzing aan het netwerk, maar zullen wel een rol spelen in de modale keuze.

Voor de toewijzingsklasse “auto” is de toepassing van deze principes rechttoe-rechtaan.

Voor de toewijzingsklasse “openbaar vervoer” (OV) liggen de zaken anders. De impact van het OV op het verkeer hangt immers niet af van de keuzes van de individuele reizigers, maar van de (vaststaande) routes van de OV-maatschappijen. De kost voor de reizigers wordt echter wel bepaald door de route die ze kiezen. Dus, voor de impact op het autoverkeer zijn de keuzes van de OV-maatschappijen van belang, maar de kost van het OV voor de gebruiker wordt bepaald door individuele keuzes.

In bijlage 5 zetten we bondig uiteen hoe deze problematiek exhaustief kan worden aangepakt. Wegens tijdsbeperkingen hebben we deze oplossing nog niet geïmplementeerd. Voorlopig hebben we daarom volgende benadering gebruikt:

- Elke OV-gebruiker kiest de route die zijn totale kosten minimaliseert. Deze kosten bestaan enkel uit de tijdskost en de (vaste) prijs van het ticket.
- Voor de congestiefunctie maken we gebruik van een aangepaste Akçelik-functie die weergeeft dat bussen en trams ook zonder congestie moeten stoppen om passagiers te laten in- en uitstappen.
- We gaan er van uit dat de routes van de bussen en de trams overeenkomen met de routes die de kosten minimaliseren van de gebruikers.
- Om de impact van de OV-volumes op de congestie te berekenen, delen we het volume door de gemiddelde bezettingsgraad.

Met andere woorden, we gaan uit van een OV-systeem dat zich aanpast aan de routes die individuele reizigers zouden gekozen hebben.

Dit is duidelijk niet realistisch, want het houdt geen rekening met de financiële meerkost van deze soepelheid voor de OV-maatschappij. Het aanpassen van dit stuk van het model is dus een belangrijk aandachtspunt voor de toekomst. Deze benadering heeft ons echter wel de mogelijkheid geboden om de toewijzingsmodule van het model uitgebreid te testen wanneer meerdere toewijzingsklassen worden gebruikt.

Tenslotte beschouwen we **gemotoriseerde modi die geen gebruik maken van het netwerk**: trein en de passagiers van de auto's.

Voor de trein gaan we als volgt te werk:

- Voor elke zone-paar gaan we er van uit dat de afstand in evenwicht gelijk is aan de afstand gekozen door personenwagens, vermenigvuldigd met een stochastische evenredigheidsfactor. In afwachting van meer gedetailleerde empirische gegevens wordt deze factor gebruikt om uit te drukken dat de afstand (niet de reistijd) per trein gemiddeld even groot is als per auto.
- We veronderstellen dat een trein gemiddeld 100 km per uur rijdt, en dat elke treinreis gepaard gaat met een vaste verplaatsingsduur van en naar het station van 30 minuten. Ook dit zijn voorlopige gegevens in afwachting van reële data.

Een optie die we zullen verkennen bestaat erin om elke verkeerszone uit het netwerk "toe te wijzen" aan een station (dat is, ervan uit te gaan dat alle verplaatsingen per spoor van en naar de zone in dat station vertrekken of aankomen), en dan kortste routes te berekenen tussen alle stations in het netwerk.

Voor de passagiers van de auto's gaan we er van uit dat de financiële kosten worden gedragen door de chauffeurs. Voor sommige gevallen (bijvoorbeeld, ouders die hun kinderen naar school brengen) is dat meer realistisch dan andere (bijvoorbeeld, in het geval van een carpoolstelsel). We veronderstellen ook dat de reistijd tussen twee zoneparen gelijk is aan de reistijd tussen deze zoneparen voor auto's. De chauffeur verliest dus geen tijd met zijn eventuele verplaatsing naar een carpool parking. De kosten voor de passagiers worden dus onderschat ten opzichte van de werkelijkheid. In het geval van een georganiseerd carpoolstelsel worden de kosten van de chauffeurs dan weer overschat.

In de huidige versie van het model worden de resultaten van de toedeling niet teruggekoppeld naar de modale en tijdstipkeuze in hetzelfde jaar. Dus, indien in evenwicht blijkt dat de gegeneraliseerde kosten tussen een bepaald zone-paar en voor een gegeven transportmodus hoger zijn dan in het vorig modeljaar, dan zal dit de modale keuze niet beïnvloeden in het lopend jaar. Dit zal wel als een input dienen voor het volgend modeljaar.

Deze benadering is vooral ingegeven door een pragmatische beschouwing (de lange looptijd van de toedelingsmodule). Het is niet duidelijk hoe irrealistisch deze aanname is. Een extreme alternatieve benadering, waarin er voor een gegeven modeljaar (haast) perfecte convergentie moet bereikt worden tussen de modale keuze en de toedeling is waarschijnlijk ook niet realistisch: deze benadering zou immers uitgaan van een zeer hoge mate van rationaliteit. Het lijkt ons niet onredelijk om er van uit te gaan dat de keuze tussen bijvoorbeeld auto en trein op korte termijn stabiel is dan bijvoorbeeld de precieze route die met de auto zou gereden worden.

In de huidige versie van het model worden zowel de routekeuzes als de eenheidskosten van het vorig jaar gebruikt als input voor de modale en tijdstipkeuze. Dit zal worden herwerkt zodat men kan werken met de routekeuze van het afgelopen jaar maar met de eenheidskosten van het lopende jaar.

#### **(v) Milieu**

Voor de resulterende transportstromen berekent de milieumodule de emissies van luchtverontreinigende stoffen en broeikasgassen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de



uitlaatemissies, de niet-uitlaatemissies en de indirecte emissies. De emissies worden berekend voor koolstofmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), deeltjes (PM), niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS) en zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>). Daarnaast beschouwt het ATLAS-model ook drie broeikasgassen: koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). De polluenten kunnen uitgebreid worden tot alle polluenten die opgenomen zijn in het E-Motion model. Op dit ogenblik berekent het model enkel de totale emissies. In een verdere modelontwikkeling zullen de emissies per link gemodelleerd worden voor de luchtverontreinigende polluenten.

Tabel 1: Overzicht polluenten

aard emissies	polluenten
uitlaat	CO, CO <sub>2eq</sub> (op basis van CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O), NO <sub>x</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NMVOS, SO <sub>2</sub>
niet-uitlaat	PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , TSP
indirect	CO <sub>2eq</sub> , NO <sub>x</sub> , PM, NMVOS, SO <sub>2</sub>

Het is daarnaast ook mogelijk om het model uit te breiden met de emissies naar water.

### De interactie tussen het ruimtelijk dynamisch model en het transportmodel

De interactie tussen het RuimteModel Vlaanderen en het Transportmodel verloopt in twee richtingen. Enerzijds levert het RuimteModel Vlaanderen voor elk jaar de bevolking en werkgelegenheid per verkeerszone. Op basis daarvan berekent het transportmodel de verkeersstromen en de gegeneraliseerde kosten, en stelt het bereikbaarheidsindicatoren op die vervolgens als input kunnen gebruikt worden in het RuimteModel Vlaanderen.

Geurs (2006) stelt voor om bereikbaarheid te definiëren als de mate waarin het landgebruik en het transportsysteem (groepen van) individuen de mogelijkheid bieden om activiteiten of bestemmingen te bereiken door gebruik te maken van een (combinatie van) transportmodi. Hij classificeert bestaande bereikbaarheidsindicatoren als volgt:

- Infrastructuur gebaseerd: bijvoorbeeld, de gemiddelde reistijd of het congestieniveau. Het probleem is dat deze indicatoren geen rekening houden met de reële verkeersstromen op een gegeven ogenblik.
- Locatie gebaseerd: bijvoorbeeld, het aantal jobs dat binnen de dertig minuten bereikbaar is, of het gewogen gemiddelde van de bereikbare jobs (waarbij het gewicht afhangt van de afstand). Het probleem is dat deze indicatoren geen rekening houden met de transportvolumes en –kosten.
- Persoons gebaseerd: dit verwijst naar de activiteiten waar een persoon op een gegeven ogenblik aan kan deelnemen. Deze categorie van indicatoren komt dicht in de buurt van de conceptuele definitie, maar kan alleen geïmplementeerd worden met een state-of-the-art activity-based transport model<sup>8</sup>.
- Nuts gebaseerd: deze meten de baten die mensen halen uit hun toegang tot ruimtelijk verspreide activiteiten. Zij kunnen in geld uitgedrukt worden als een maatstaf van economisch nut of als een indicator van sociale gelijkheid. Zij kunnen ook toegepast worden als een gedragsindicator, waarbij de waarde die mensen toekennen aan de bereikbaarheid van bepaalde activiteiten wordt gemeten. Dit zijn de indicatoren die het meest courant zijn in geïntegreerde landgebruik-transportmodellen.

Hunt et al. (2005) bieden een overzicht van bestaande geïntegreerde landgebruik-transportmodellen. Hieruit blijkt inderdaad dat de informatie die vanuit het transportmodel wordt “aangeboden” aan het

<sup>8</sup> Zie bijvoorbeeld de speciale uitgave van Transportation (Vol. 39, Issue 4) rond dit onderwerp.

ruimtemodel altijd de vorm aanneemt van indices van nutswaarden die worden afgeleid uit random nutstheorie<sup>9</sup>. Daarbij bestaan twee grote opties:

- In volledig geïntegreerde modellen wordt de oorsprong-bestemmingsmatrix bepaald binnen het landgebruiksmodel.
- In zogenaamde “geconnecteerde” modellen worden huishoudens toegewezen aan een woonplaats op basis van (onder andere) de toegankelijkheid van deze woonplaats. De werkplaats wordt echter pas bepaald tijdens de tripdistributie in het transportmodel. Dergelijke modellen gebruiken de impliciete hypothese dat de woonplaatskeuze een langetermijn beslissing is, waarin de bereikbaarheid van jobs slechts een van de talrijke bepalende elementen is.

ATLAS kan worden beschouwd als een “geconnecteerd” model. Voor de concrete indicatoren hebben we ons gebaseerd op de benadering van de Palma et al. (2005) voor de integratie van UrbanSim en METROPOLIS:

- Voor elke transportzone wordt de toegankelijkheid berekend vanuit twee standpunten: de zone als vertrekpunt en als bestemming.
- De bereikbaarheid als vertrekpunt wordt berekend als het gewogen gemiddelde van het aantal individuen dat uit de zone vertrekt, waarbij het gewicht wordt berekend als de baten die elke reiziger uit zijn verplaatsing haalt.
- De bereikbaarheid als bestemming wordt berekend als het gewogen gemiddelde van het aantal individuen dat in de zone aankomt, waarbij het gewicht wordt berekend als de baten die elke reiziger uit zijn verplaatsing haalt.
- De baten van de verplaatsing worden berekend aan de hand van een transportmodel (hetzij op basis van enquêteresultaten of op basis van een toewijzingsmodel).

In ATLAS worden de baten per zone-paar gelijkgesteld aan de kosten zoals ze voortvloeien uit de toewijzingsmodule: een verplaatsing zal immers niet plaatsvinden indien de baten niet minimaal even groot zijn als de kosten. Onze indicator is dus een benedengrens van de echte baten.

### **Verdere ontwikkelingen van het Transportmodel**

Bij de verdere ontwikkeling van het Transportmodel zullen wij ons concentreren op twee aspecten: een verbetering van de modellering van het openbaar vervoer (zie bijlage 5) en de mogelijkheid van een iteratie tussen de toedeling en de modale en tijdstipkeuze. Daarnaast moeten er nog een aantal problemen opgelost worden die eerder data-gerelateerd zijn: de uitbreiding van het model naar grensoverschrijdende verplaatsingen, de incorporatie van de transportstromen voor het goederenvervoer over de weg en de incorporatie van gegevens over de modale keuze buiten de twee spitsuren.

## **Gegevens basisjaar**

### **Gegevens Vlaams Verkeerscentrum**

Het doel van het project bestond erin om het model af te stemmen op gegevens van het Vlaams Verkeerscentrum (VVC). Deze waardevolle gegevens hebben betrekking op het jaar 2008 en betreffen 6744 verkeerszones in Vlaanderen en Brussel. Zij omvatten de definitie van de verkeerszones, de definitie van het netwerk, de socio-demografische gegevens, motiefmatrices en mode-motiefmatrices. Tabel 2 geeft een kort overzicht.

---

<sup>9</sup> Zie bijvoorbeeld Hofacker (2007). Een goed overzicht van toepassingen in de transportsector is Train (1993).

Tabel 2: Overzicht gegevens Vlaams Verkeerscentrum

aard gegevens	details
definitie verkeerszones	6744 verkeerszones in Vlaanderen en Brussel
definitie netwerk	<p>Het netwerk wordt gedefinieerd aan de hand van twee soorten gegevens:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ten eerste, beschikken we over een tabel met, per link in het netwerk, de volgende gegevens: het knooppunt van vertrek, het knooppunt van aankomst, de lengte, het soort link (autosnelweg, lokale weg, spoorweg enz.), en alle andere parameters die een impact zouden kunnen hebben op de kosten die voortvloeien uit het gebruik van deze link. Merk op dat deze tabel niet <i>alle</i> bestaande links voorstelt. Het Vlaams grondgebied wordt immers opgesplitst in verkeerszones, die worden voorgesteld aan de hand van hun zwaartepunt en één of meerdere synthetische links naar het fysieke netwerk (zogenaamde “zone-connectoren”).</li> <li>- Ten tweede beschikken we over een tabel met de geografische coördinaten van alle knooppunten in het netwerk. Daarbij wordt ook aangegeven of deze knooppunten “reële” knooppunten zijn, of een verkeerszone voorstellen.</li> </ul>
socio-demografische gegevens	<p>per verkeerszone in 2008:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- bevolking volgens leeftijdsklasse (0-5, 6-11, 12-17, 18-24, 25-34, 35-49, 60-64, 65+)</li> <li>- aantal gezinnen volgens gezinsgrootte (1, 2, 3, 4, meer dan 4 gezinsleden)</li> <li>- aantal schoolgaanden volgens schooltype (huiskant volgens feitelijke woonplaats) (kleuterschool, lagere school, middelbare school, hogeschool, universiteit)</li> <li>- aantal werkzamen volgens leeftijdsklasse (18-24, 25-49, 50-64)</li> <li>- aantal gezinnen volgens autobezit ( 0, 1, 2, meer dan 2 auto's)</li> <li>- aantal leasewagens en totaal aantal auto's</li> <li>- schoolbevolking volgens schooltype (schoolkant) (kleuterschool, lagere school, middelbare school, hogeschool, universiteit)</li> <li>- tewerkgestelden volgens sector (landbouw, industrie, bouw, handel, diensten, huishouden-sector, administratie, onderwijs, gezondheidssector)</li> <li>- de parkeerkost en parkeertijd</li> </ul>
motiefmatrices	<p>voor het personenvervoer in 2008: aantal trips per motief</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- motiefmatrices voor 4 periodes van de dag: 6 tot 9 u, 10 tot 14 u, 15 tot 18u, 19 tot 5 u</li> <li>- 5 motieven: werk, school, winkel, recreatief/sociaal bezoek, overig</li> </ul>
mode-motiefmatrices	<p>voor het personenvervoer in 2008: aantal trips per motief en modus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 periodes: ochtendspits (8 u) en avondspits (17 u); niet beschikbaar voor de andere uren van de dag</li> <li>- 5 motieven: werk, school, winkel, recreatief/sociaal bezoek, overig</li> <li>- 5 modi: autobestuurder, autopassagier, openbaar vervoer (geen onderscheid tussen trein, tram en bus), fiets, te voet</li> </ul>

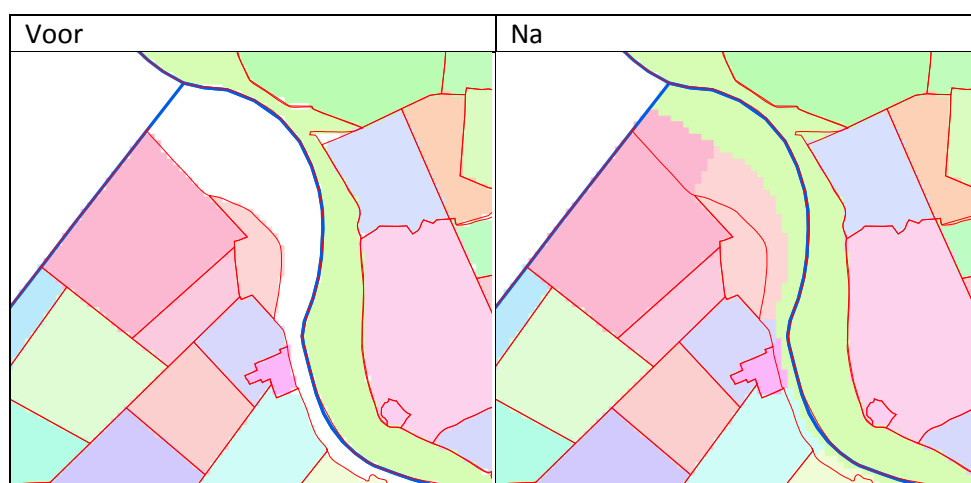
De verkeerszones komen grotendeels overeen met de statistische sectoren, evenwel met een aantal aanpassingen. In sommige gevallen worden er een aantal statistische sectoren samengeteld, terwijl er ook een aantal statistische sectoren verder worden uitgesplitst. De definitie van de verkeerszones blijft onveranderd over de duur van de simulatieperiode.

Om de gegevens in het ATLAS-model te kunnen incorporeren waren een aantal bijkomende bewerkingen nodig, zowel wat betreft de gegevens als wat betreft de modelcode.

Eerst en vooral werd een correspondentietabel opgesteld tussen de verkeerszones van het VVC en de cellen van het RuimteModel Vlaanderen. Aangezien het door het VVC ter beschikking gestelde (GIS) polygonenbestand met de definitie van de zones de ligging en begrenzing van de verkeerszones niet steeds op eenduidige wijze beschrijft, vergde dit een aantal aanpassingen. Het

polygonenbestand werd in eerste instantie verrasterd naar een rasterweergave op 100m resolutie door toepassing van de standaard verrastering procedure in ArcGIS. Deze procedure regelt de mogelijke overlap die er kan bestaan tussen verkeerszones. Na verrastering bleek dat er gaten in de rasterkaart voorkwamen. Dit doet zich bijvoorbeeld voor op plekken waar geen activiteit of bewoners gelokaliseerd zijn zoals wordt aangetoond in Figuur 5 voor de Schelde. Maar, hetzelfde gebeurt verspreid over het grondgebied aan de begrenzingen van de verkeerszones. Het laatste is te wijten aan de wijze waarop het polygonenbestand tot stand is gekomen, waaronder de grofheid van de digitalisatie. Daardoor passen de grenzen van aanliggende polygonen niet perfect op elkaar en kunnen dus zowel kleine zones van overlap ontstaan als kleine gaten overblijven, die in sommige gevallen groter dan één of meerdere cellen van 1 ha zijn. ArcGIS biedt voor het invullen van kleine gaten de NIBBLE operator. Het verrasterde bestand is op basis van die laatste volledig grondgebied dekkend opgevuld. Meer geavanceerde oplossingen zijn mogelijk. Voorlopig is daarvan geen gebruik gemaakt. Er moet eerst overlegd worden met het VVC over het feitelijke nut daarvan.

*Figuur 5: De rasterweergave van de VVC-verkeerszones voor en na de toepassing van de NIBBLE operator ter hoogte van de Schelde ten noorden van Antwerpen*



Nota: wit gekleurde gebieden zijn gaten. Rode begrenzing: verkeerszones, blauwe begrenzing: arrondissementen

Bron: VITO

De socio-demografische data werden vergeleken met recentere statistische gegevens voor 2008 (bv. de historische gegevens in FPB (2011, 2012a, 2012b) en de gegevens in Belgostat van de Nationale Bank België). Zowel voor de bevolking als voor het aantal werkzamen zijn er verschillen, ondanks het feit dat de gegevens voor 2008 opgesteld werden op basis van gelijkaardige bronnen in 2008. Voor de bevolkingsgegevens is dit waarschijnlijk te verklaren door het feit dat sommige statistieken voor 2008 bij het opstellen van de databank nog niet of slechts in voorlopige versie beschikbaar waren. Voor het aantal werkzamen is het waarschijnlijk te wijten aan een verandering van de statistische definitie. De socio-demografische gegevens werden herschaald om rekening te houden met de definitieve bevolkingstotalen voor 2008. Een gelijkaardige eenvoudige en consistente correctie was echter niet mogelijk voor het aantal werkzamen. Daarom is ervoor gekozen om de oorspronkelijke aantallen te behouden, in afwachting van een update van de socio-demografische databank.

Daarnaast moesten de aandelen van de studenten in de verschillende leeftijdsklassen herrekend worden. Het modelopzet van het VVC laat immers toe dat deze groter zijn dan 1, terwijl dit in het ATLAS-model niet mogelijk is. Bij ratio's groter dan 1 werd het teveel aan studenten toegekend aan een hogere leeftijdsklasse.

Bij de vergelijking van de mode-motiefmatrices voor de twee spitsuren en de motiefmatrices voor vier periodes van de dag is ook gebleken dat voor sommige zone-paren en motieven de som van de trips in de twee spitsuren groter was dan het totaal aantal trips per dag. In dat geval werden de motiefmatrices voor de vier periodes van de dag aangepast.

Ook voor de netwerkgegevens waren een aantal aanpassingen noodzakelijk:

- Het gebruik van de toewijzingsmodule in TravelR vereist dat alle knooppunten in het netwerk doorlopend genummerd zijn; dit heeft een hercodering van het netwerk noodzakelijk gemaakt.
- Aangezien het netwerk geen buitenlandse of Waalse zones bevat, was het belangrijk om na te zien of er geen “losse” stukjes weg in het netwerk zaten. We hebben meerdere functies ontwikkeld die toelaten om dergelijke “losse wegsegmenten” te identificeren en het netwerk te corrigeren.
- We hebben de lengte van elk segment berekend op basis van de coördinaten van begin- en eindpunt.
- We hebben de parameters van de Akçelik-kostenfunctie toegekend op basis van de kenmerken van elk wegsegment.

De gegevens die beschikbaar gesteld werden door het VVC omvatten nog niet alle benodigde gegevens. In dit project is ervoor geopteerd om enkel te werken met de ter beschikking gestelde gegevens, waardoor een aantal aspecten nog niet kunnen geïncorporeerd worden. Zo worden grensoverschrijdende verplaatsingen nog niet opgenomen in het model. Ook zijn de goederenstromen nog niet toegewezen aan het netwerk. Dit zorgt ervoor dat de simulaties nog steeds moeten beschouwd worden als een test van het model, eerder dan als echte scenario-oefeningen.

Daarnaast is er een fundamenteel verschil tussen het einddoel van de modellen van het VVC en het ATLAS-model. De modellen van het VVC hebben vooral tot doel om het effect van maatregelen/externe schokken op het verkeer en het gebruik van de infrastructuur in de spits in te schatten. Daarom zijn er voor deze modellen bv. enkel mode-motiefmatrices beschikbaar voor de spitsperiode. Het ATLAS-model heeft tot doel om de langetermijn evoluties in te schatten van het landgebruik, het personenvervoer en de eraan gerelateerde emissies en energieverbruik. Dit vraagt mode-motiefmatrices voor het personenvervoer tijdens meer periodes van de dag/week.

Tenslotte zijn de gegevens voor het openbaar vervoer nog beperkt. In de mode-motiefmatrices worden trein en bus/tram/metro niet als een aparte categorie opgenomen. Op basis van het Onderzoek Verplaatsingsgedrag werd het totaal openbaar vervoer op basis van de afstandsklasse opgesplitst tussen trein en bus/tram/metro. Daarnaast omvatten de matrices geen gegevens met betrekking tot de aanbodzijde van het openbaar vervoer. We hebben bij De Lijn gegevens aangevraagd met betrekking tot het OV-netwerk in Vlaanderen en deze ontvangen, maar ze zijn in dit stadium nog niet geïntegreerd in het model.

### **Andere gegevens**

De volgende tabel geeft een overzicht van de andere gegevensbronnen voor het basisjaar. Het betreft voornamelijk gegevens die gebruikt worden om de gegeneraliseerde kosten van de verschillende vervoersmiddelen te berekenen. Daarnaast hebben ze ook betrekking op de emissies en het energieverbruik van de vervoersmiddelen.

Tabel 3: Overzicht andere gegevens voor het basisjaar

aard gegevens	details
monetaire kosten en belastingen/subsidies	
auto (euro/voertuigkm)	brandstofprijzen: IEA aankooprijzen excl. belastingen: Delhayé et al. (2010) belastingen: Fiscaal memento verzekeringskosten: CBFA keuringskosten: GOCA energieverbruik: E-Motion model
bus/tram (euro/reiziger – per motief)	jaarverslag De Lijn antwoord op parlementaire vragen
trein (euro/reizigerskm – per motief)	statistisch jaarboek NMBS jaarverslag begrotingscijfers
waarde van de tijd (euro/uur – per motief en modus)	HEATCO project (2006) + aanpassing in de tijd op basis van evolutie van reëel bbp per capita (NBB)
emissiefactoren en energieverbruiks-factoren	E-Motion model (de Vlieger et al., 2011, 2012a,b,c)

## Het gebruik van het ATLAS-model voor toekomstscenario's

Het ATLAS-model kan gebruikt worden om verschillende types van scenario-oefeningen uit te voeren. Ten eerste kan de impact berekend worden van algemene demografische en economische evoluties op de transportstromen (en de eraan gerelateerde emissies en energieverbruik) en het landgebruik. Ten tweede kan de impact ingeschat worden van een verandering van het beleid in het domein van transport, milieu of landgebruik, al dan niet in combinatie met verschillende demografische en economische scenario's. Er wordt daarbij verondersteld dat de beleidsmaatregelen nageleefd worden. Omdat het verschillende beleidsdomeinen kan omvatten, laat het modelinstrument toe om de plannen in de verschillende domeinen op elkaar af te stemmen. Het innoverende van de ATLAS-benadering bestaat erin dat het transportmodel en het landgebruikmodel interageren met elkaar zodat de wederzijdse beïnvloeding van veranderingen in het transportsysteem en veranderingen in het landgebruik meegenomen worden bij het opstellen van de scenario's. We geven een kort overzicht van de aard van de simulaties die kunnen gemaakt worden.

### Mogelijke scenario-oefeningen

#### *De algemene evoluties*

De algemene evoluties hebben betrekking op de algemene demografische en economische vooruitzichten, en de evolutie van de monetaire transportkosten vóór belastingen/subsidies, de waarde van de tijd, de samenstelling van het voertuigenpark, en de emissie- en energieverbruiksfactoren van voertuigen. Het betreft evoluties die als exogeen beschouwd worden in het model, in die zin dat er verondersteld wordt dat ze niet beïnvloed worden door ruimtelijk of transportbeleid.

#### *Ruimtelijk beleid*

In het RuimteModel zijn de ruimtelijke beleidsmaatregelen instelbaar op zowel het Regionale als het Lokale niveau.

Op het *Regionale niveau* bestaat een beleidsmaatregel erin om de hoeveelheid activiteit van een bepaald type in een arrondissement te onderwerpen aan een opgelegde trend, die zowel groeiend en dalend kan zijn. Met name laat het model toe om voor één of meerdere regio's de onder- en

bovengrens van de activiteit per jaar op te leggen. Dit betekent dat de activiteit in de betreffende regio nooit kleiner mag zijn dan een bepaalde ondergrens of hoger mag zijn dan een bepaalde bovengrens. Deze grenzen worden buiten het model bepaald als onderdeel van het specifieke beleidsscenario of denkoefening. Dergelijke scenario's kunnen er bijvoorbeeld op gericht zijn om de ruimtelijke consequenties te kennen door de groei van een bepaalde activiteit in bepaalde regio's af te remmen, of juist omgekeerd beleidsmatig te stimuleren door investering in residentiële of economische sectoren. Een goed voorbeeld daarvan kan zijn de bouw van Uplace. De beperkingen hebben niet de bedoeling om de totale activiteit (zoals bepaald op het Globale niveau van het model) te beïnvloeden. Daarom wordt het effect van de beleidsrestricties evenredig gecompenseerd over de overige arrondissementen. In de scenario's uitgewerkt met het ATLAS-model is momenteel nog geen gebruik gemaakt van deze mogelijkheden van het model.

In een scenario kunnen ook dichtheden opgelegd worden voor de omzetting van activiteiten en bevolkingsaantallen naar de ruimteaanspraak, in plaats van ze te laten bepalen door het RuimteModel.

Op het Lokale niveau van het model wordt er met ruimtelijk beleid veeleer uitgegaan van door zonering op te leggen restricties of incentives voor specifieke locaties in Vlaanderen, gedefinieerd op het niveau van de 1 ha-cellen zelf. Er is hier sprake van de beleidsstatus van de cellen. In het voorbeeld van Uplace zou het hier gaan om het afbakenen van een gebied waarin zijn ontwikkeling wordt mogelijk gemaakt. De beleidsstatus van een cel kan veranderen in zowel ruimte als tijd. Er kunnen scenario's gedefinieerd worden waarbij bepaalde types van ruimtelijke interactie worden gestimuleerd (bv. kantoren in de buurt van stations, industrie en commerciële activiteiten op industrieterreinen) of de ruimtelijke inrichting veranderd wordt (bv. niet-bebouwde woonzones veranderen in natuurgebied, herverdichting als reactie op urban sprawl of de ontwikkeling van kleinere steden). Het model maakt het mogelijk, maar niet verplicht, om onderscheid te maken tussen drie periodes. De lengte van elke periode kan verschillend worden ingesteld per landgebruik. Zo kan er bijvoorbeeld onderscheid gemaakt worden tussen een zonering op korte, medium of lange termijn met overeenkomende periodes: 2010-2015; 2016-2025 en 2026-2050. Er wordt aangenomen dat eens een landgebruik is toegestaan in een cel, het landgebruik wordt toegestaan tot de einddatum van de simulatie. Het wordt verder aangenomen dat de verandering in de beleidsstatus van een cel van niet toegestaan (0) in de huidige beleidsperiode naar toegestaan (1) in de volgende beleidsperiode gradueel verloopt. Met andere woorden, er wordt in een vorige beleidsperiode al geanticipeerd op de verandering in de beleidsstatus in de volgende beleidsperiode. De mate van anticipatie is instelbaar met een parameter in het RuimteModel die afhankelijk gemaakt kan worden van het type beleid als onderdeel van een scenario: bijvoorbeeld een scenario met een sterke overheidscontrole (lage anticipatie), ten opzicht van een scenario waarin het private initiatief de overhand neemt (hoge anticipatie). De toestand van de cel verandert als functie van de verstreken tijd in de vorige beleidsperiode.

De beleidsstatus van een cel wordt initieel bepaald op basis van onderliggende beleidsdocumenten die op kaart beschikbaar zijn en deel uitmaken van het vigerende beleid. Ze worden in GIS per landgebruik geaggregeerd op basis van een combinatorisch algoritme. Hierin wordt een landgebruik toegelaten als er minstens één basiskaart is die het type landgebruik toelaat. Een verbod overstemt echter een toelating. Als er over een gebied geen uitspraak wordt gedaan, dan is het in principe verboden.

Voor de toepassing van het algoritme wordt voor elke individuele klasse in elke onderliggende kaart gesteld of ze:

- gebieden aanduidt die toegelaten zijn voor het landgebruik op de korte of langere termijn;
- gebieden aanduidt die verboden zijn voor het landgebruik;
- gebieden bevat waar het landgebruik de facto al aanwezig is (eventueel zonevreemd).

### ***Transportbeleid***

Het transportbeleid omvat aanpassingen van de prijszetting, regulering en infrastructurele maatregelen.

*Regulering* kan bestaan uit emissieregulering of regulering inzake het energieverbruik. Dit zal een invloed hebben op de kenmerken van het voertuigenpark (samenstelling, emissiefactoren, factoren voor energieverbruik). Er wordt rekening mee gehouden dat de verandering van de kenmerken van het voertuigenpark de transportkosten kan beïnvloeden. Onder *prijnsbeleid* verstaan we de hervorming van de belastingen/subsidies voor de verschillende transportmodi. *Infrastructuurmaatregelen* kunnen betrekking hebben op het uitbreiden of het inkrimpen van de capaciteit van de bestaande infrastructuur, het aanleggen van nieuwe infrastructuur of het afschaffen van bestaande infrastructuur.

In het geïsoleerde RuimteModel wordt op het lokale niveau rekening gehouden met beleid m.b.t. uitbreiding of aanpassing van de verkeersinfrastructuur. In zijn dynamische afwikkeling past het RuimteModel de verkeersinfrastructuur jaarlijks aan en berekent het de resulterende gevolgen voor de interregionale afstanden, ontsluiting en de afgeleide toegankelijkheidswaarden en vervolgens ook de gevolgen voor landgebruik en afgeleide indicatoren. Er kan rekening gehouden worden met de aanleg van zogenaamde missing links. Als onderdeel van scenario's kunnen ook aanpassingen van de netwerken ingevoerd worden, zoals verbreding of typeveranderingen. Als onderdeel van andere oefeningen (Engelen et al., 2011b) met het RuimteModel werden ook de sneltram en de lightrail netwerken van het 2020-plan van De Lijn ingevoerd.

In het ATLAS-model worden de infrastructuurmaatregelen voor de weg doorgevoerd in het netwerk waarop de toedeling gebeurt en verloopt de interactie met het RuimteModel via de impact van deze maatregelen op de gegeneraliseerde kosten en de bereikbaarheidsindicatoren.

Wat betreft de prijsmaatregelen voor transport worden de volgende belasting- en subsidie-instrumenten opgenomen in het ATLAS-model: de vaste belastingen op autobezit (BIV, BTW op aankoop, eventuele premies bij aankoop, jaarlijkse verkeersbelasting, belasting op verzekeringen, keuring), de variabele belastingen op autogebruik (brandstofbelastingen, rekeningrijden, belastingen op onderhoud) en de subsidies voor het openbaar vervoer of voor de niet-gemotoriseerde vervoersmiddelen. De effecten van een verandering van de autobelastingen op de samenstelling van het voertuigenpark kunnen niet gesimuleerd worden met het ATLAS-model. Hiervoor moet beroep gedaan worden op andere modellen.

### **Milieubeleid**

Het milieubeleid dat kan worden doorgerekend in het ATLAS-model omvat milieumaatregelen inzake landgebruik of transport. Wat betreft het landgebruik gaat het om de bepaling van de beleidsstatus van de cellen van 1 ha (zie hierboven) in functie van milieudoelstellingen. De milieubeleidsmaatregelen die kunnen doorgerekend worden voor het transport omvatten bv. de regulering van de emissies (naar lucht en water) en het energieverbruik van de voertuigen, de promotie van bepaalde voertuigtypes of het voeren van een infrastructuurbeleid met het oog op ontsnippering. Het ATLAS-model kan bv. in het domein van luchtverontreiniging langetermijn scenario's aanleveren voor de emissies van pollutanten op het transportnetwerk, die men kan gebruiken om de concentraties van de pollutanten langs de wegen te berekenen, en zo te toetsen of deze concentraties beantwoorden aan de doelstellingen. Ook voor de emissies naar water door het transport langs de wegen kunnen scenario's opgesteld worden.

### **Welke effecten?**

Eens de scenario's ingevuld zijn, kan het ATLAS-model gebruikt worden om de effecten ervan te bepalen, en deze te vergelijken met een business-as-usual scenario. Het model berekent het effect op de volgende categorieën van variabelen:

- het landgebruik per economische sector (per cel van 1ha en per verkeerszone);
- ruimtelijk expliciete duurzaamheidsindicatoren (zoals bv. de verstedelijkingsgraad, de stedelijke druk op landbouwgebied, de omvang van verstedelijkte clusters, de omvang van clusters van open ruimte, bodemafdicthting (Engelen et al., 2011a) – zie ook de Indicatoratlas (<http://rma.vgt.vito.be/verkenner/verkenning.jsf>));
- de bevolking per verkeerszone, per leeftijdsklasse en socio-economische status;



- het totaal aantal verplaatsingen per motief, per oorsprong en bestemming, per modus, per periode van de dag en per link van het netwerk, en de ermee gepaard gaande emissies en energieverbruik;
- de bereikbaarheid van de verkeerszones;
- de gegeneraliseerde kost van de verplaatsingen (inclusief de impact van congestie);
- de belastinginkomsten en subsidie-uitgaven van de verplaatsingen.

Tegenover deze berekende impacts kan informatie geplaatst worden rond de kostprijs van de berekende maatregelen, zoals bv. de jaarlijkse investerings- en onderhoudskost van nieuwe infrastructuur, of de implementatiekosten van een systeem zoals rekeningrijden.

### Modeltest

Er werd een eerste simulatie uitgevoerd om het prototype van het ATLAS-model uit te testen. Aangezien sommige gegevens nog ontbreken, kan er nog niet gesproken worden van een volwaardige scenario-oefening. Het doel van deze paragraaf bestaat erin om een overzicht te bieden van de aard van de oefeningen die kunnen uitgevoerd worden met het model en van de aard van de maatregelen die ermee kunnen gesimuleerd worden.

### Aannames

In de modeltest wordt er voor de demografische evolutie uitgegaan van de meest recente bevolkingsvooruitzichten van FPB & ADSEI (december 2011). Deze studie geeft de verwachte evolutie van de bevolking per geslacht, leeftijd en arrondissement. Tussen 2008 en 2030 zou de bevolking met 14 % groeien in Vlaanderen, met 29 % in Brussel en met 14 % in Wallonië, wat overeenkomt met een totale groei van 15 % in België. In Brussel wordt de hoogste toename verwacht voor de leeftijdsklasse 0-17 jaar (+38 %), terwijl er verwacht wordt dat de groei in Vlaanderen en Wallonië het grootste is voor de leeftijdsklasse 65+ (+51 % in Vlaanderen en +49 % in Wallonië).

*Tabel 4: Evolutie van bevolking in Brussel en Vlaanderen per leeftijdsklasse tussen 2008 en 2030*

bevolking (1 000)	2008	2030	ratio 2030 t.o.v. 2008
Brussel	1 087	1 400	1,29
0-17	230	316	1,38
18-64	706	892	1,26
65+	152	193	1,27
Vlaanderen	6 298	7 158	1,14
0-17	1 218	1 413	1,16
18-64	3 980	4 081	1,03
65+	1 100	1 664	1,51

Bron: FPB & ADSEI (2011)

Voor de macro-economische evolutie baseren we ons op de vooruitzichten op middellange termijn van het FPB (mei 2012) en het jaarverslag van de Studiecommissie voor de Vergrijzing (oktober 2012). De jaarlijkse economische groei hierin bedraagt gemiddeld 1,5 % per jaar (met een minimum van 0,1 % en een maximum van 2,1 %) in de periode 2011-2017 en 1,7 % in de periode 2018-2030. Daarnaast geven deze studies ook informatie over de evolutie van de werkgelegenheid en de evolutie van de verschillende economische sectoren. De regionale economische vooruitzichten van FPB, BISA, IWEPS en SVR (juli 2012) geven meer detail over de ontwikkelingen in de drie gewesten.

Er wordt verondersteld dat de waarde van de tijd proportioneel verandert met het bbp per capita. De resulterende waarden worden gegeven in Tabel 5.

Tabel 5: Waarde van de tijd (€'09/uur) (ATLAS modeltest)

	2008	2030
school/andere motieven		
fiets, te voet	7,05	8,31
bus-tram-metro	5,76	6,79
auto pool	6,41	7,56
auto solo, trein	8,01	9,45
werk		
fiets/te voet	8,41	9,91
bus-tram-metro	6,87	8,1
auto pool	7,65	9,02
auto solo/trein	9,56	11,27

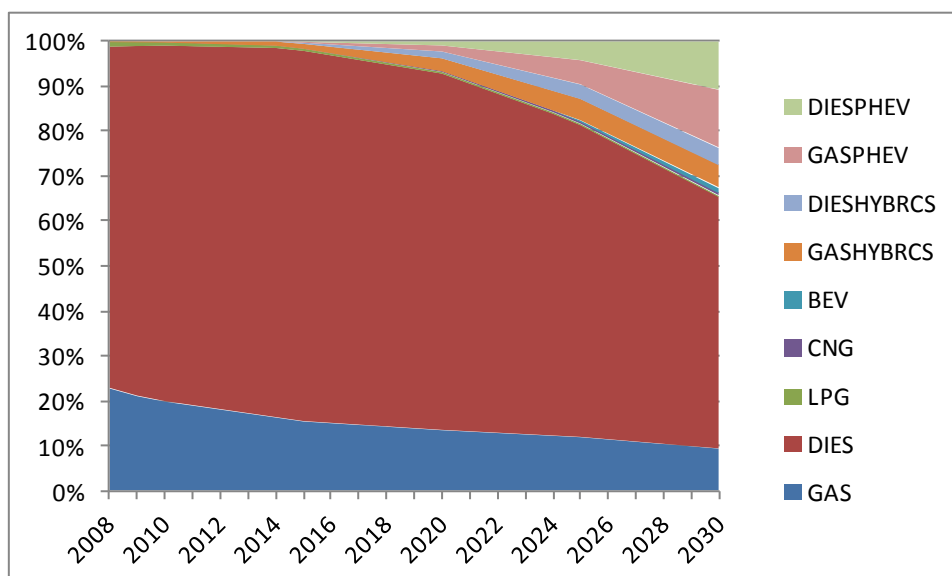
Bron: HEATCO (2006) en eigen veronderstellingen

Wat betreft de monetaire transportkosten voor belastingen worden de volgende assumpties gemaakt. De evolutie van de reële aankoopkosten voor belastingen van de verschillende autotypes: evolutie gebaseerd op De Vlieger et al. (2009). Voor de verwachte evolutie van de reële olieprijs voor belastingen gaat de modeltest uit van de recente World Energy Outlook van IEA (IEA, 2012) waarin een prijs vooropgesteld wordt van 120 \$'11/boe in 2020 en 125 \$'11/boe in 2035. Voor aardgas werd als voornaamste bron de EU Energy Roadmap (Europese Commissie, 2011) gebruikt en voor elektriciteit de energievoorzichten van het FPB (FPB, 2011). De reële prijs van aardgas zou in 2030 43 % hoger zijn dan in 2010, terwijl de elektriciteitsprijs ongeveer constant zou blijven in reële termen in vergelijking met het laatste jaar waarvoor gegevens beschikbaar zijn.

De overige monetaire kosten voor belastingen (bv. verzekeringen, onderhoud, prijs van openbaar vervoer) worden verondersteld constant te blijven in reële termen.

In de modeltest is de evolutie van de emissiefactoren en de energieverbruiksfactoren van de verschillende voertuigtypes gebaseerd op het E-Motion model (zie De Vlieger et al. (2011, 2012a,b,c). Het aandeel van de biobrandstoffen in het brandstofverbruik in liters is 5 % in 2030. Het aandeel van de verschillende autotypes wordt voorgesteld in Figuur 6 en is grotendeels geïnspireerd door het baseline scenario van het CLEVER project (Van Mierlo et al., 2009), waarbij er echter wordt verondersteld dat de waterstoftechnologie geen significant aandeel heeft tegen 2030. De samenstelling van het autopark wordt steeds exogeen opgelegd op basis van resultaten van andere modellen. In 2030 zou ongeveer 34 % van de autokm gereden worden door alternatieve voertuigen (CNG, batterij elektrische, plug-in hybride en charge sustaining hybride auto's).

Figuur 6: Het aandeel van autotechnologieën in autokm (ATLAS modeltest) (exogene assumptie)



Nota: DIES: diesel; GAS: benzine; PHEV: plug-in hybride elektrisch voertuig; HYBRCS: charge sustaining hybride voertuig; BEV: batterij elektrisch voertuig; CNG: aardgas (compressed natural gas); LPG: autogas (liquefied petrol gas)

Tenslotte veronderstelt de modeltest dat de bestaande subsidies en belastingen constant blijven in reële termen ten opzichte van het laatste jaar waarvoor cijfers beschikbaar zijn. Voor het openbaar vervoer gebruiken we voor de toekomstige jaren de reële prijzen en subsidies van het laatste jaar waarvoor observaties beschikbaar zijn. Vermits dat geobserveerde jaar later valt dan 2008, zullen de reële prijzen in de toekomstige jaren iets verschillend zijn van die in 2008. De volgende tabel geeft de resulterende evolutie van de monetaire kosten in €'09.

Tabel 6: Evolutie van de monetaire kosten tussen 2008 en 2030 (ATLAS modeltest)

vervoer- middel	motief	eenheden	2008	2030	2030/2008
auto		€'09/100 voertuigkm	30,09	31,4	1,04
trein	werk	€'09/100 reizigerskm	1,17	1,23	1,05
	school	€'09/100 reizigerskm	1,52	1,66	1,09
	andere	€'09/100 reizigerskm	7,95	8,59	1,08
bus/tram	werk	€'09/rit	0,05	0,05	1,02
	school	€'09/rit	0,15	0,15	1,03
	andere	€'09/rit	0,57	0,59	1,04

De monetaire kost van de auto in Tabel 6 is de kost voor een gemiddelde auto, gegeven de aandelen van de voertuigtechnologieën uit Figuur 6. De monetaire kost per voertuigkm is dezelfde voor alle motieven. In de modeltest wordt er nog geen rekeningrijden ingevoerd, zodat de kost dezelfde is voor alle wegen en tijdstippen. Voor het openbaar vervoer verschillen de monetaire kosten per motief. Dit hangt samen met verschil in het aandeel van abonnementen en tickets en met het verschil in subsidiëring voor de 3 motieven.

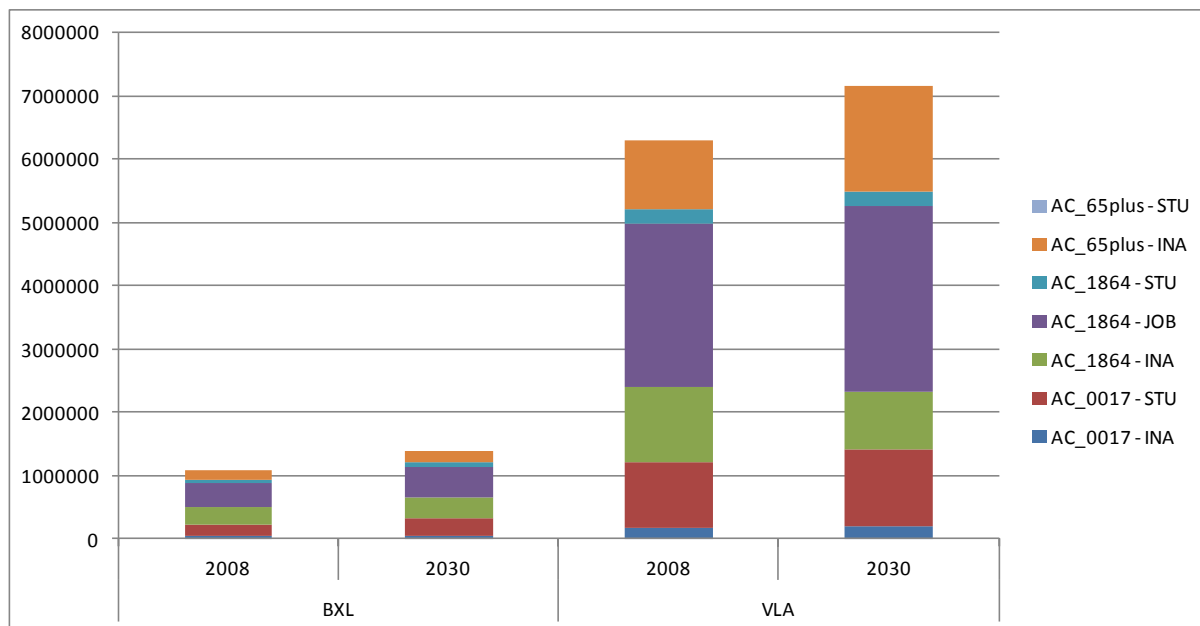
In deze eerste modeltest wordt er verondersteld dat het netwerk niet verandert. Voor het ruimtelijk beleid op het lokaal niveau zijn de voor de modeltest gehanteerde kaarten voor de stedelijke landgebruiken en voor de landgebruiken Natuur en Landbouw opgenomen in bijlage 6.

## Resultaten

Hieronder bespreken we eerst enkele algemene resultaten van de modeltest, om vervolgens een aantal resultaten voor te stellen op het niveau van de verkeerszones.

Figuur 7 geeft de evolutie van de bevolking volgens leeftijd en socio-economische klasse in Vlaanderen en Brussel, zoals bepaald door het ATLAS-model. Het is het resultaat van een sommering over de verschillende verkeerszones in de twee gewesten. Uit Figuur 7 en Tabel 7 blijkt dat in Brussel de grootste stijging tussen 2008 en 2030 wordt opgetekend voor de leeftijdsklasse 0-17 en de studenten in de leeftijdsklasse 18-64. In Vlaanderen daalt het aantal inactieven in de leeftijdsklasse 18-64 en is er een zeer sterke stijging van het aantal 65-plussers. Het aantal werkenden stijgt met resp. 30 % en 14 % in Brussel en Vlaanderen. Het aandeel van Brussel in de werkende en studerende bevolking stijgt tussen 2008 en 2030, terwijl het aandeel in de inactieve bevolking daalt (Tabel 8).

Figuur 7: Evolutie van de bevolking per leeftijdsklasse en socio-economische status in Vlaanderen en Brussel (ATLAS modeltest)



Bron: ATLAS op basis van FPB & ADSEI (2011), FPB (2012), Studiecommissie voor de Vergrijzing (2012)

Tabel 7: Evolutie van de bevolking per leeftijdsklasse en socio-economische status in Vlaanderen en Brussel (ratio van 2030 t.o.v. 2008) (ATLAS modeltest)

	0-17		18-64			65+	totaal
	inactief	student	inactief	werkend	student	inactief	
Brussel	1,32	1,39	1,20	1,30	1,42	1,27	1,29
Vlaanderen	1,16	1,16	0,76	1,14	1,10	1,51	1,14

Bron: ATLAS op basis van FPB & ADSEI (2011), FPB (2012), Studiecommissie voor de Vergrijzing (2012)

Tabel 8: Het aandeel van Vlaanderen en Brussel in de bevolking volgens socio-economische status (ATLAS modeltest)

	2008			2030		
	inactief	werkend	student	inactief	werkend	student
Brussel	16,15 %	12,74 %	15,79 %	17,39 %	14,22 %	18,50 %
Vlaanderen	83,85 %	87,26 %	84,21 %	82,61 %	85,78 %	81,50 %

Bron: ATLAS op basis van FPB & ADSEI (2011), FPB (2012), Studiecommissie voor de Vergrijzing (2012)

Het totaal aantal trips per dag zou stijgen met 17 % tussen 2008 en 2030 (Tabel 9). De stijging is iets lager voor de woon-werktrips dan voor de school- en andere trips. Het totaal aantal trips tijdens de twee spitsuren (8u en 17u) stijgt iets minder snel, met 15 %, waardoor het aandeel van deze twee uren in het totaal aantal trips licht daalt. Ook in dit geval is de stijging iets minder groot voor de woon-

werktrips dan voor de andere motieven. De aandelen van de verschillende tripmotieven verschuiven slechts licht.

Tabel 9: Het totaal aantal verplaatsingen per motief (per dag en in periode 8-9u en 17-18u)

	hele dag			2 spitsuren		
	2008	2030	ratio 2030 t.o.v. 2008	2008	2030	ratio 2030 t.o.v. 2008
trips per dag (1 000)						
totaal	15 777	18 531	1,17	2 912	3 360	1,15
andere	9 199	10 844	1,18	1 227	1 413	1,15
school	2 234	2 650	1,19	634	745	1,18
werk	4 344	5 038	1,16	1 051	1 201	1,14
aandeel 2 spitsuren				18,5 %	18,1 %	
aandeel motieven						
andere	58 %	59 %		42 %	42 %	
school	14 %	14 %		22 %	22 %	
werk	28 %	27 %		36 %	36 %	

Tabel 10 en Tabel 11 geven meer informatie voor de 2 spitsuren (8-9u en 17-18u). In 2008 staat het woon-werkverkeer tijdens de 2 spitsuren in voor 50 % van de reizigerskm, het woon-schoolverkeer voor 17 % en de andere motieven voor 33 %. Bij het woon-werkverkeer en de andere motieven is auto solo de dominante modus (meer dan 70 %), terwijl bij het woon-schoolverkeer bus-tram-metro en auto pool samen instaan voor 67 %.

In 2008 is de lengte per trip iets meer dan 10 km voor de woon-werktrips en iets minder dan 6 km voor de twee andere motieven. De gemiddelde snelheid is 35 km/u voor de woon-werktrips, 18,5 km/u voor de woon-schooltrips en 27 km/u voor de andere motieven. De verschillen kunnen verklaard worden door de verschillen in de gemiddelde afstanden en de modale aandelen. De gemiddelde snelheid voor de trein houdt rekening met het voor- en natransport. De gegeneraliseerde kost per reizigerskm wordt bepaald door de tijds-kost en de monetaire kost. Voor fiets, te voet en auto pool is er verondersteld dat de monetaire kost gelijk is aan nul (cf. supra). De waarde van de tijd hangt af van het motief en de modus.

De veranderingen in 2030 t.o.v. 2008 zijn het gevolg van de wijzigingen van de grootte en samenstelling van de bevolking, van de locatie van de bevolking en werkgelegenheid en van de transportkosten. Bij de interpretatie van de resultaten van de modeltest dient men er rekening mee te houden dat de modeltest sommige verkeersstromen nog niet opneemt (met name het vrachtverkeer over de weg en de grensoverschrijdende km). Als gevolg daarvan is het netwerk nog niet gesatureerd, wat verklaart waarom de gemiddelde snelheid bijna niet verandert bij een toename van de verkeersstromen. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor de verdere dataverzameling.

Uit Tabel 11 blijkt dat het totaal aantal reizigerskm tijdens de 2 spitsuren stijgt met 15 % tussen 2008 en 2030 en dit vooral onder invloed van de veranderingen van de bevolking en de werkgelegenheid. De gegeneraliseerde kosten stijgen onder invloed van de stijging van de waarde van de tijd, de verandering van de monetaire kosten inclusief belastingen en de daling van de snelheid. Voor fiets en te voet hangt de stijging van de gegeneraliseerde kost per trip enkel af van de stijging van de waarde van de tijd, vermits de monetaire kost van deze modi nul is en de snelheid constant wordt verondersteld.

Tabel 10: Reizigerskm tijdens de 2 spitsuren per vervoermiddel en motief (per dag) (ATLAS modeltest)

mo- tief	vervoermiddel	2008				2030		2030 - ratio t.o.v. 2008				
		reizigers- km (1 000)	modale aandelen	snelheid (km/u)	lengte per trip (km)	gegenera- liseerde kost (€'09/rkm)	reizigers- km (1 000)	modale aandelen	reizigers- km	snelheid	lengte per trip	gegenera- liseerde kost per rkm
andere		7 217		26,8	5,9	0,45	8 350		1,16	1,00	1,00	1,13
	fiets	215	3 %	10,0	1,5	0,71	245	3 %	1,14	1,00	1,01	1,18
	bus-tram-metro	426	6 %	12,1	7,0	0,51	474	6 %	1,11	0,96	0,95	1,20
	auto pool	1 149	16 %	37,0	9,1	0,13	1 207	14 %	1,05	0,99	1,00	1,18
	auto solo	5 175	72 %	34,0	7,0	0,49	6 156	74 %	1,19	0,99	1,01	1,10
	te voet	142	2 %	5,0	0,9	1,41	156	2 %	1,10	1,00	1,00	1,18
	trein	110	2 %	34,8	30,5	0,29	112	1 %	1,01	1,03	1,04	1,13
school		3 681		18,5	5,8	0,39	4 323		1,17	1,00	1,00	1,18
	fiets	619	17 %	10,0	2,9	0,71	721	17 %	1,17	1,00	1,00	1,18
	bus-tram-metro	1 243	34 %	12,9	7,9	0,43	1 483	34 %	1,19	0,99	0,99	1,19
	auto pool	1 204	33 %	39,2	8,5	0,14	1 382	32 %	1,15	1,00	1,01	1,17
	auto solo	231	6 %	35,2	6,3	0,50	291	7 %	1,26	1,00	1,00	1,10
	te voet	79	2 %	5,0	1,1	1,41	92	2 %	1,16	1,00	1,00	1,18
	trein	306	8 %	33,5	29,0	0,23	355	8 %	1,16	1,00	1,01	1,17
werk		10 811		35,1	10,3	0,45	12 303		1,14	1,00	1,00	1,14
	fiets	147	1 %	10,0	1,8	0,84	162	1 %	1,11	1,00	0,95	1,18
	bus-tram-metro	1 397	13 %	14,6	11,2	0,43	1 446	12 %	1,03	0,97	0,96	1,22
	auto pool	496	5 %	42,1	10,5	0,15	548	4 %	1,10	0,99	1,04	1,17
	auto solo	7 800	72 %	41,5	10,4	0,49	9 362	76 %	1,20	0,99	1,03	1,10
	te voet	15	0 %	5,0	0,7	1,68	14	0 %	0,95	1,00	0,91	1,18
	trein	956	9 %	40,8	39,0	0,23	770	6 %	0,81	1,00	1,00	1,17

Tabel 11: Reizigerskm tijdens de 2 spitsuren per vervoermiddel (per dag) (ATLAS modeltest)

	2008					2030		2030 - ratio t.o.v. 2008			
	reizigers- km (1 000)	modale aandelen	snelheid (km/u)	lengte per trip (km)	gegenera- liseerde kost (€'09/rkm)	reizigers- km (1 000)	modale aandelen	reizigers- km	snelheid	lengte per trip	gegenera- liseerde kost per rkm
alle motieven	21 709		27,99	7,45	0,44	24 975		1,15	0,99	1,00	1,14
fiets	981	5 %	10	2,24	0,73	1 128	5 %	1,15	1,00	1,00	1,18
bus-tram- metro	3 066	14 %	13,36	8,98	0,44	3 402	14 %	1,11	0,98	0,96	1,20
auto pool	2 849	13 %	38,75	9,04	0,14	3 136	13 %	1,10	1,00	1,01	1,18
auto solo	13 206	61 %	37,74	8,65	0,49	15 810	63 %	1,20	0,99	1,02	1,10
te voet	236	1 %	5	0,94	1,43	262	1 %	1,11	1,00	0,99	1,18
trein	1 372	6 %	38,21	35,45	0,24	1 237	5 %	0,90	0,99	0,98	1,17

In de afwezigheid van bepaalde verkeersstromen is in de modeltest het wegennet niet gesatureerd (cf. supra). Daardoor stijgt de gegeneraliseerde kost van auto solo minder snel dan die van de andere vervoermiddelen, en stijgt het modale aandeel van deze modus terwijl het aandeel van de andere modi daalt. Dit is het meest uitgesproken voor de trein in het geval van woon-werkverkeer (Tabel 10). Volgens de hierboven besproken boomstructuur van de tripproductie, vormt de trein voor oorsprongen en bestemmingsparen waarvoor de trein beschikbaar is het meest directe substituuat voor de auto.

Tabel 10 geeft gelijkaardige informatie, maar opgesplitst per motief. Hieruit blijkt dat de toename van het aandeel van auto solo bij alle motieven optreedt, maar de sterke daling van het modale aandeel van de trein enkel bij het woon-werkverkeer.

Dankzij de gedetailleerde ruimtelijke opsplitsing van het model kunnen we ook nagaan hoe de ruimtelijke structuur de vraag naar transport beïnvloedt: klopt het bijvoorbeeld dat er langere trips vertrekken vanuit landelijke gebieden? De vraag stelt zich dan welke de meest relevante indicator is voor de transportvraag. Werken met het aantal reizigerskm per verkeerszone is bijvoorbeeld betekenisloos, want de verkeerszones zijn niet homogeen. Vermits de grootste verkeerszones zich bevinden in landelijke gebieden, is het niet mogelijk om te bepalen welk aandeel van het totaal aantal reizigerskm toe te schrijven is aan de omvang van de verkeerszones, en welk aandeel aan de lengte van de verplaatsingen. Een op het eerste gezicht voor de hand liggend alternatief zou er dan in bestaan om het aantal reizigerskm per inwoner te nemen (voor de zones van vertrek in de ochtendspits) en het aantal reizigerskm per arbeidsplaats (voor de zones van aankomst in de ochtendspits). Maar ook deze benadering stelt problemen. Er zijn immers een aantal industriezones met een extreem laag aantal inwoners van waaruit 's morgens een niet verwaarloosbaar aantal verplaatsingen vertrekken (arbeiders uit de nachtploeg die huiswaarts keren). Deze zones zullen dan gekenmerkt worden door een zeer hoog aantal reizigerskm per inwoner. Sommige van deze zones (haveengebieden) kunnen gemakkelijk worden geïdentificeerd, maar dat is niet altijd het geval.

We stellen daarom voor om te werken met het aantal reizigerskm per trip.



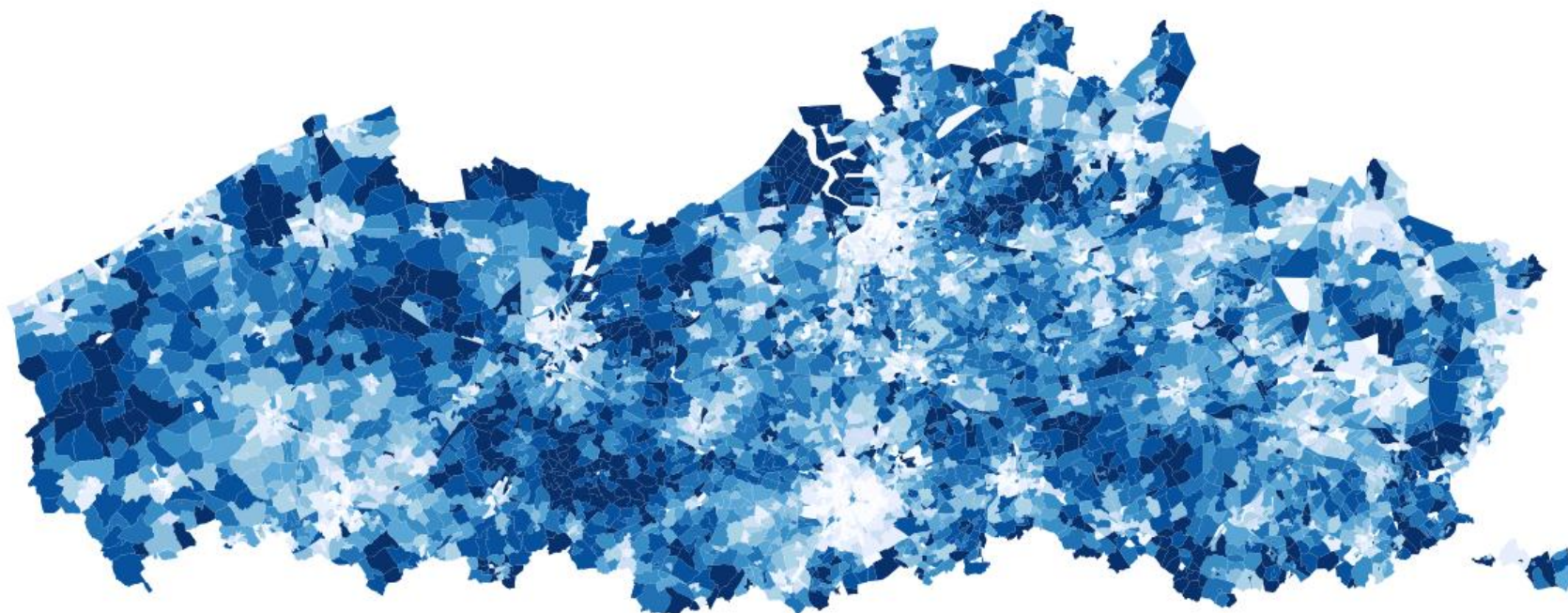
Figuur 8 stelt de ochtendspits voor in 2008. De kleurencodes per verkeerszone komen overeen met het aantal reizigerskm per trip, geclassificeerd per deciel (waarbij donkere kleuren overeenkomen met een hoger aantal reizigerskm per trip). In de zones met de donkerste kleur worden er gemiddeld meer dan 12 km afgelegd per trip, in de zones met de lichtste kleur gemiddeld minder dan 5 km. Een visuele inspectie van de kaart bevestigt dat de langste trips worden gegenereerd vanuit landelijke gebieden (de Westhoek, aan beiden kanten van de E40 tussen Brugge en Gent, landelijk Oost-Vlaanderen, de wijde omgeving van Leuven, de as Antwerpen-Turnhout en de meest landelijke gebieden van Limburg) en vanuit havengebieden. Het valt daarnaast ook op dat de steden quasi witte vlekken op de kaart zijn, wat bevestigt dat de trips vanuit stedelijke gebieden relatief de kortste zijn.

Figuur 10 stelt de ochtendspits voor in 2030. De interpretatie van de kaart is analoog aan deze voor 2008. Ten opzichte van 2008 vallen er geen spectaculaire veranderingen vast te stellen in het algemene patroon.

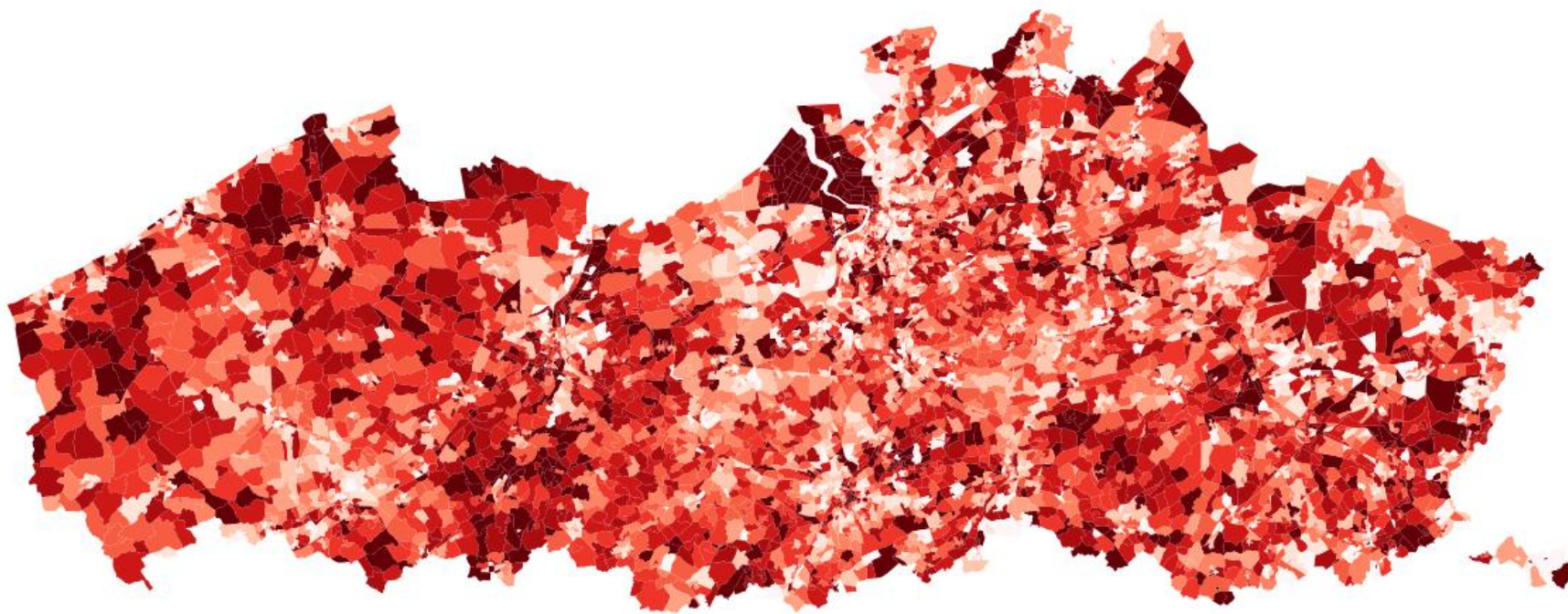
Figuur 9 en Figuur 11 stellen het aantal reizigerskm per trip in de avondspits voor, respectievelijk in 2008 en 2030. De interpretatie van de kleurencodes is analoog aan deze voor de ochtendspits. We stellen vast dat het aantal reizigerskm per trip vooral hoog ligt in industriezones gelegen in landelijke gebieden en in havens. Het hoog aantal kilometers vloeit hier automatisch uit de opgelegde ruimtelijke scheiding tussen de woongebieden en de plaatsen van tewerkstelling. In de grote steden zijn er een aantal zones waar het aantal reizigerskm per trip ook hoog ligt, maar deze zones zijn eerder geconcentreerd. In Brussel gaat het bijvoorbeeld om de oostelijke helft van de kleine ring en de Wetstraat tot aan het Jubelpark, de omgeving van het Noordstation, en de omgeving van de grote ring tussen Strombeek en Zaventem. Dit zijn typisch zones waar zich veel overheidsdiensten en bedrijven bevinden die beroep doen op hoog geschoolde en gespecialiseerde bedienden die over langere afstanden pendelen. In Antwerpen liggen deze zones quasi integraal buiten de ring. Buiten deze zones ligt het aantal reizigerskm per trip echter zeer laag.

Er vallen geen spectaculaire verschillen waar te nemen tussen 2008 en 2030.

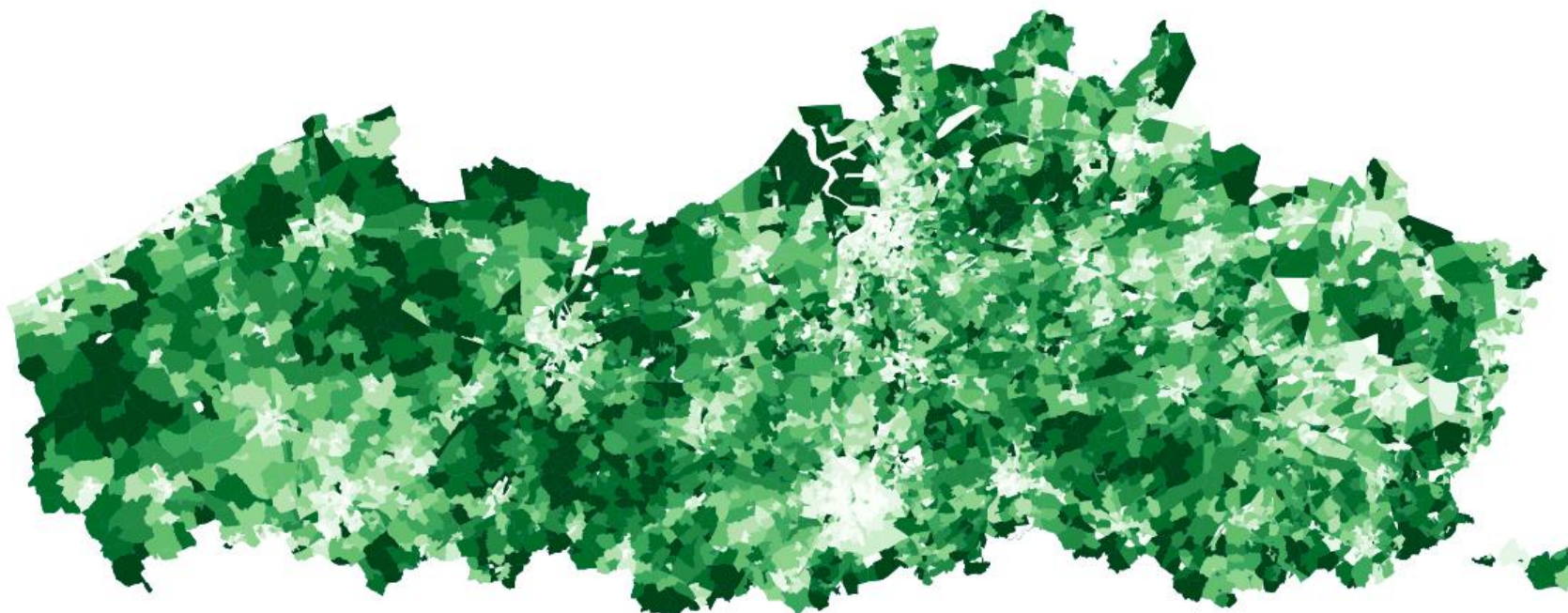
*Figuur 8: Reizigerskm per trip, ochtendspits (08-09 uur) in 2008 (ATLAS modeltest)*



*Figuur 9: Reizigerskm per trip, avondspits (17-18 uur) in 2008 (ATLAS modeltest)*



*Figuur 10: Reizigerskm per trip, ochtendspits (08-09 uur) in 2030 (ATLAS modeltest)*



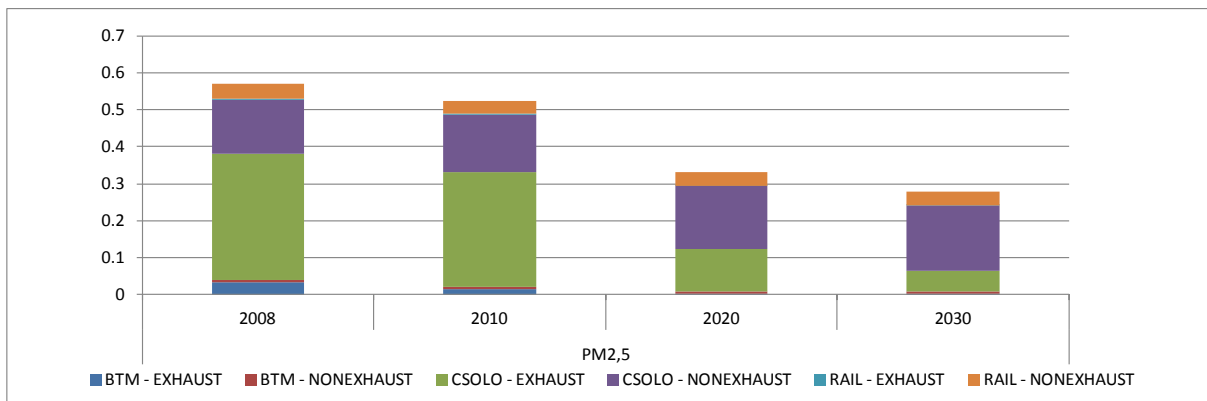
*Figuur 11: Reizigerskm per trip, avondspits (17-18 uur) in 2030 (ATLAS modeltest)*



In de modeltest werden de emissies van meerdere polluenten en het energieverbruik uitgerekend voor het personenvervoer tijdens de 2 spitsuren. De emissies worden berekend voor alle polluenten uit Tabel 1. Hier stellen we kort de resultaten voor het energieverbruik en de emissies van PM<sub>2,5</sub> en broeikasgassen (uitgedrukt in CO<sub>2eq</sub>) voor. Bij de emissies wordt een onderscheid gemaakt tussen de uitlaat-, niet-uitlaat en indirecte emissies. De cijfers zijn een sommering over alle wegen; de berekeningen kunnen ook per weg uitgevoerd worden. Aangezien alle mensen die gebruik maken van het vervoermiddel “auto pool” meerijden met een autobestuurder, zijn hun emissies en energieverbruik reeds opgenomen bij die van het vervoermiddel auto solo.

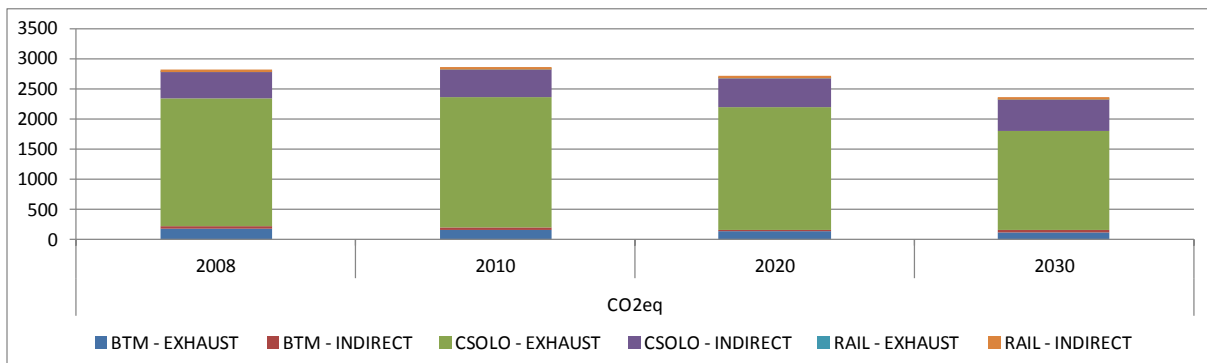
De PM<sub>2,5</sub>-emissies in de 2 spitsuren zouden met iets meer dan 50 % dalen tussen 2008 en 2030 (Figuur 12). Het aandeel van de uitlaatemissies in de PM<sub>2,5</sub>-emissies neemt af van 66 % tot 21 %. De emissies van broeikasgassen (in CO<sub>2eq</sub>) zouden dalen met 16 % (Figuur 13), waarbij het aandeel van de uitlaatemissies zou afnemen van 82 % naar 74 %. Het energieverbruik tijdens de 2 spitsuren zou dalen met 19 % (Figuur 14). Het aandeel van het energieverbruik gerelateerd aan elektriciteit zou stijgen van 1,4 % in 2008 naar 5,6 % in 2030.

*Figuur 12: PM<sub>2,5</sub>-emissies van het personenvervoer tijdens de 2 spitsuren (ton per dag) (ATLAS modeltest)*



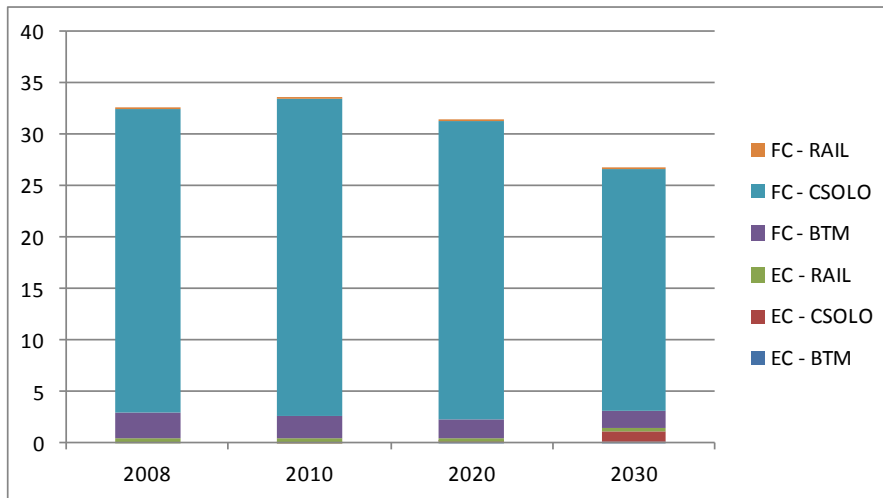
Nota: BTM: bus-tram-metro, CSOLO: auto solo, Rail: trein; Exhaust: uitlaatemissies, Non-exhaust: niet-uitlaat emissies

*Figuur 13: Emissies van broeikasgassen (in CO<sub>2eq</sub>) van het personenvervoer tijdens de 2 spitsuren (in ton per dag) (ATLAS modeltest)*



Nota: BTM: bus-tram-metro, CSOLO: auto solo, Rail: trein; Exhaust: uitlaatemissies, Indirect: indirecte emissies

Figuur 14: Energieverbruik van het personenvervoer tijdens de 2 spitsuren (TJ per dag) (ATLAS modeltest)



Nota: BTM: bus-tram-metro, CSOLO: auto solo, Rail: trein; FC: energieverbruik gerelateerd aan brandstofverbruik, EC: energieverbruik gerelateerd aan elektriciteitsverbruik

Indien we er van uitgaan dat de samenstelling van het wagenpark dezelfde is voor alle wegentypes, dan kunnen we de ruimtelijke spreiding van de uitstoot ook weergeven aan de hand van de ruimtelijke spreiding van de verkeersstromen.

Figuur 15 en

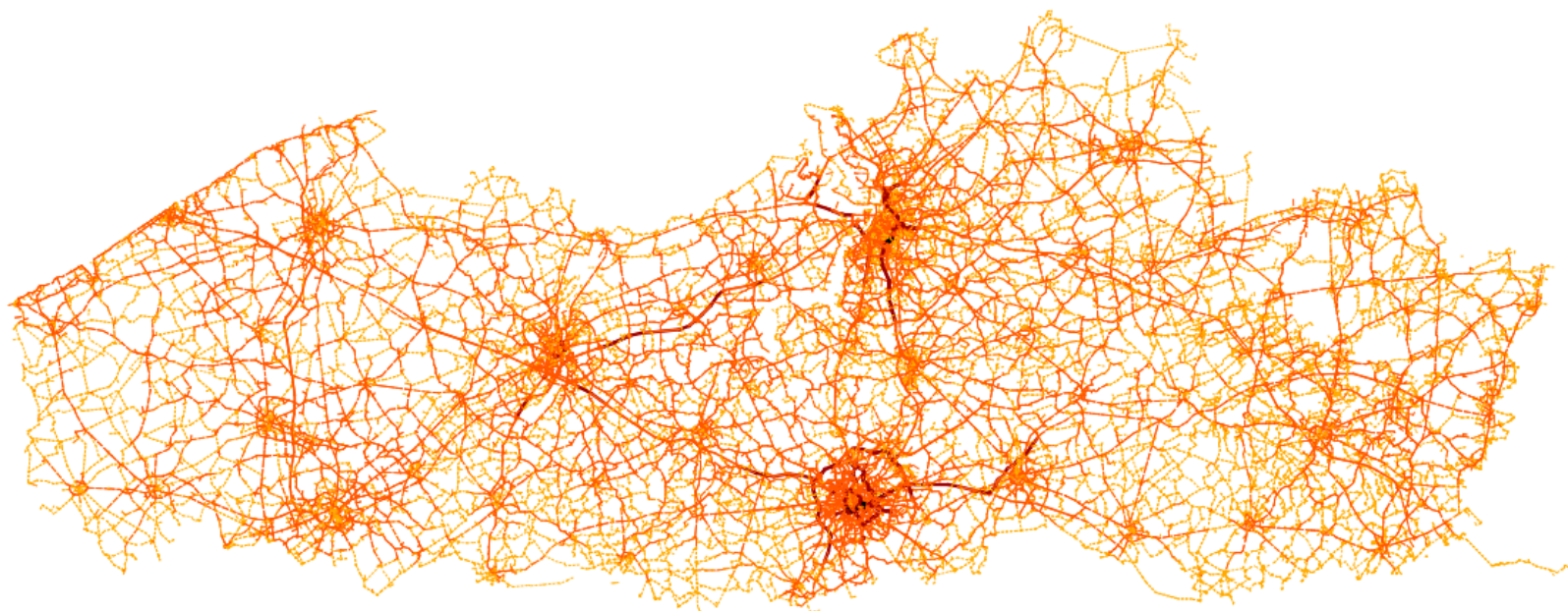
Figuur 16 geven bijvoorbeeld respectievelijk de verkeersstromen weer tijdens de ochtend- en avondspits in 2030. De donkerste kleuren geven de wegstroken weer met het hoogst aantal voertuigkilometers. Hieruit blijkt duidelijk dat de wegstroken met de hoogste verkeersvolumes liggen op de hoofdassen rond en in Brussel, Antwerpen en Gent. Door het ontbreken van gegevens met betrekking tot het vrachtvervoer en het verkeer van en naar het buitenland moeten deze kaarten in dit stadium echter nog met de nodige omzichtigheid worden geïnterpreteerd.

## **Slotopmerkingen**

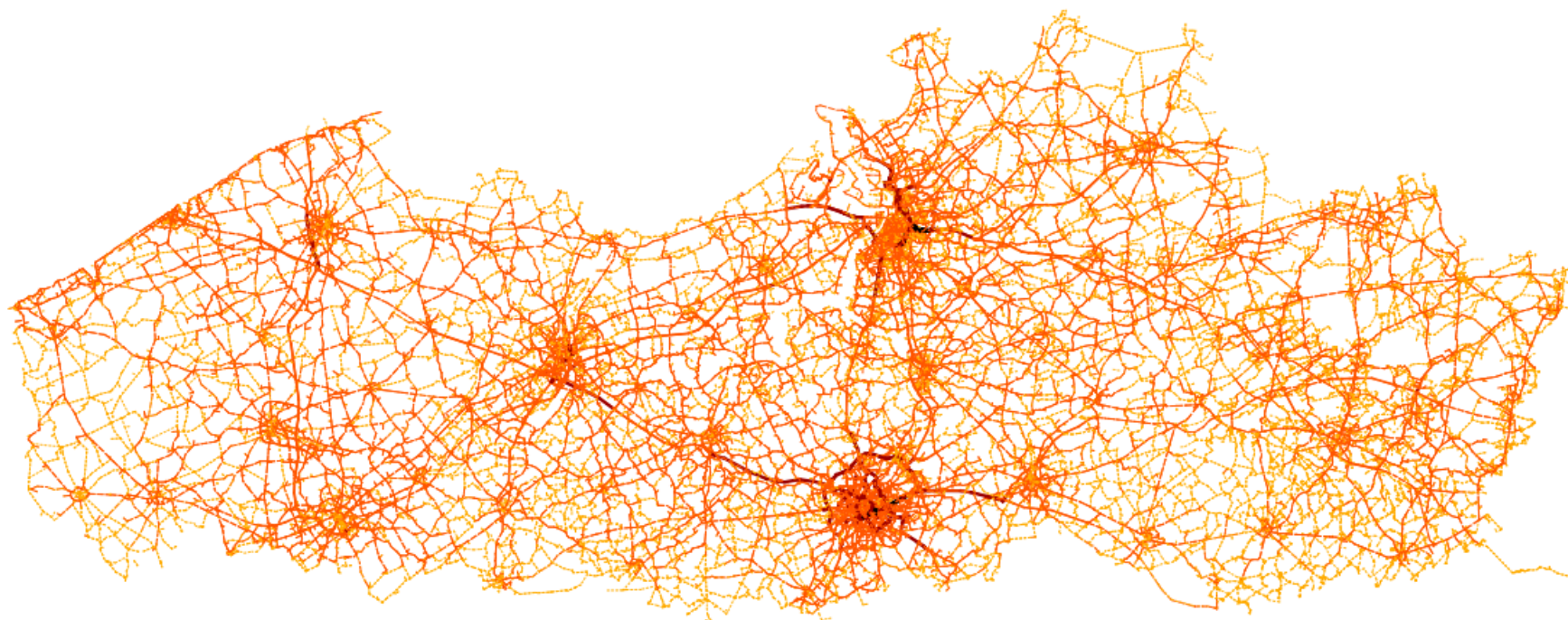
In dit rapport hebben we het prototype van het ATLAS-model voorgesteld en een eerste modeltest. Deze laatste maakte nog gebruik van imperfecte gegevens. In de verdere uitwerking van het model zal er eerst en vooral aandacht geschonken worden aan de aanvulling van de gegevens. Deze betreffen de data rond het grensoverschrijdend vervoer, de goederenstromen over de weg en de verplaatsingen tijdens de hele dag in plaats van enkel de spitsuren. Daarnaast zullen een aantal aspecten verder worden uitgewerkt: een betere voorstelling van het openbaar vervoer en de iteratie tussen de modale keuze en de toedeling aan het netwerk. Ook zal er onderzocht worden of het model kan gedraaid worden op een meer geaggregeerde schaal, wat zou moeten toelaten om sneller scenario's te draaien.



*Figuur 15: Verdeling van de transportstromen, ochtendspits 2030*



*Figuur 16: Verdeling van de transportstromen, avondspits 2030*



## Referenties

- Akçelik R. (1991), Travel Time Functions for Transport Planning Purposes: Davidson's Function, its Time-Dependent Form and an Alternative Travel Time Function, *Australian Road Research* 21(3), 49-59.
- De Cea J. & Fernandez E. (1993), Transit assignment for congested public transport systems: an equilibrium model, *Transportation Science* 27(2), 133-147.
- De Kok J-L., Poelmans L., Uljee I. & Engelen G. (2011), Landgebruiksveranderingen voor de kostenraming van overstromingen. Studie uitgevoerd in opdracht van VMM – Afdeling Operationeel Waterbeheer , VITO-rapport: 2011/RMA/R/269.
- de Palma A., Motamedi K., Moyano J., Nguyen-Luong D.& Picard N (2005), Development of a dynamic integrated Land use-Transportation Model (45th ERSA Congress).
- De Vliieger I., Pelkmans L., Schrooten L., Vankerkom J., Vanderschaeghe M., Grispén R., Borremans D., Vanherle K., Delhaye E., Breemers T. & De Geest C. (2009), Transport: referentie- en Europa-scenario. Wetenschappelijk rapport, MIRA 2009, VMM, [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be).
- De Vliieger I., Schrooten L., Vanhulsel M., Degraeuwe B. & Vankerkom J. (2011), E-Motion, Annex 1 to LIMOBEL final report, project funded by Belgian Science Office (Research Programme Science for a Sustainable Development).
- De Vliieger I., Mayeres I., Michiels H., Vanhulsel M., Gusbin D., Hoornaert B., Vandresse M., De Witte A., Macharis C. & Turcksin L. (2012a), PROLIBIC Final Report, Cluster of the Transport Related Projects PROMOCO, LIMOBEL, BIOSSES and CLEVER, project funded by Belgian Science Office (Research Programme Science for a Sustainable Development).
- De Vliieger I., Degraeuwe B., Vanhulsel M., Beckx C. & Vankerkom J. (2012b), Actualiseren MIMOSA-model (MIMOSA4.2), VITO.
- De Vliieger I., Degraeuwe B., Vanhulsel M., Beckx C., Vankerkom J. & Lefebvre W. (2012c), MIMOSA 4.2 – Prognoseberekeningen voor wegverkeer in Vlaanderen, VITO.
- Delhaye E., De Ceuster G. & Maerivoet S. (2010), Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Eindrapport, Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA, Milieurapport Vlaanderen, MIRA/2010/10.
- Dowling R.G., R. Singh, W.W.K. Cheng (1998a), The Accuracy and Performance of Improved Speed-Flow Curves, *Transportation Research Record* 1646, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 9-17.
- Dowling R.G., R. Singh, W.W.K. Cheng (1998b), The Accuracy and Performance of Improved Speed-Flow Curves, *Road and Transport Research* 7(2).
- Engelen G., Van Esch L., Uljee I., De Kok J-L., Poelmans L., Gobin A. & van der Kwast J. (2011a), Ruimtemodel: Ruimtelijk-Dynamisch landgebruikmodel voor Vlaanderen, VITO-rapport 2011/RMA/R/242 december 2011, 256 p [http://www.steunpuntruimte.wonen.be/steunpuntruimte.wonen/index.php?option=com\\_content&view=article&id=39&Itemid=70&lang=nl](http://www.steunpuntruimte.wonen.be/steunpuntruimte.wonen/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=70&lang=nl).
- Engelen G., Poelmans L., Uljee I., De Kok J-L. & Van Esch L. (2011b), De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden Scenarioverkenning 2050, VITO-rapport, 2011/RMA/R/363, 162 p. [http://www.steunpuntruimte.wonen.be/steunpuntruimte.wonen/index.php?option=com\\_content&view=article&id=129%3Aad-hoc-ruimte-2010-2011-praktijkcoefening-scenario-analyse&catid=30&Itemid=105&lang=nl](http://www.steunpuntruimte.wonen.be/steunpuntruimte.wonen/index.php?option=com_content&view=article&id=129%3Aad-hoc-ruimte-2010-2011-praktijkcoefening-scenario-analyse&catid=30&Itemid=105&lang=nl)
- European Commission (2011), Energy Roadmap 2050, COM(2011) 885 final.
- Federaal Planbureau (2011), Energievooruitzichten voor België tegen 2030 , Federaal Planbureau, Brussel, mei 2012.
- Federaal Planbureau (2012), Economische vooruitzichten 2012-2017, Federaal Planbureau, Brussel, mei 2012.
- Federaal Planbureau & ADSEI (2011), Bevolkingsvooruitzichten 2010-2060, Federaal Planbureau, Brussel, december 2011.
- Federaal Planbureau, BISA, IWEPS en SVR (2012), Regionale economische vooruitzichten 2012-2017, Brussel, juli 2012.
- Geurs K. (2006), Accessibility, land use and transport. Accessibility evaluation of land-use and transport developments and policy strategies. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- HEATCO project (2006), Deliverable 5: Proposal for Harmonised Guidelines, project funded by the 6<sup>th</sup> Framework Programme.
- Hofacker C.F. (2007), Chapter 13: Random Utility, in: *Mathematical Marketing, New South Network Services*. [http://www.openaccesstexts.org/pdf/Quant\\_Chapter\\_13\\_rum.pdf](http://www.openaccesstexts.org/pdf/Quant_Chapter_13_rum.pdf)

Hunt J.D., D.S. Kriger & E.J. Miller (2005), Current Operational Urban Land-use-Transport Modelling Frameworks: A Review, *Transport Reviews* 25 (3), 329-376.

IEA (2012), *World Energy Outlook 2012*, IEA.

Ortúzar J. & Willumsen L. (2011), *Modelling transport*, 4th edition, John Wiley & Sons.

Singh R. (1999), Improved Speed-Flow Relationships: Application to Transportation Planning Models, Paper Presented at the 7th TRB Conference on Application of Transportation Planning Methods, Boston, Massachusetts. [http://www.mtc.ca.gov/maps\\_and\\_data/datamart/research/boston1.htm](http://www.mtc.ca.gov/maps_and_data/datamart/research/boston1.htm).

Speciale uitgave van *Transportation* (Vol. 39, Issue 4) rond activity-based modelling.

Spieß H. & Florian M. (1989), Optimal strategies: a new assignment model for transit networks, *Transportation Research B* 23(2), 83-102.

Studiecommissie voor de vergrijzing (2012), *Jaarverslag, Hoge Raad van Financiën*, Brussel, oktober 2012.

Train K. (1993), *Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics, and an Application to Automobile Demand*. MIT Press. <http://emlab.berkeley.edu/books/choice.html>.

Transportation Research Board (2000), *Highway Capacity Manual*.

Van Esch L., Uljee I., De Kok J-L., Poelmans L. & Engelen G. (2011), *Verfijning RuimteModel*, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2011/08, VITO 2011/RMA/R/212.

Van Mierlo J., Boureima F., Messagie M., Sergeant N., Govaerts L., Denys T., Michiels H., Vernailen S., Schrooten L., Beckx C., Macharis C., Turcksin L., Bernardini A., Hecq W., Klopfert F., Englert M., De Caemel B. & De Vos M. (2009), *CLEVER, Clean Vehicle Research: LCA and Policy Measures*, Final Report, project funded by Belgian Science Office (Research Programme Science for a Sustainable Development).

#### Websites:

Indicatoratlas: <http://rma.vgt.vito.be/verkenner/verkenning.jsf>

R-software: <http://www.r-project.org/>

R-libraries: <http://cran.r-project.org/>

TravelR: <https://r-forge.r-project.org/projects/travelr/>

Beschrijving van algoritme van Dijkstra: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's_algorithm)

## Scheikundige symbolen

CH <sub>4</sub>	methaan
CO	koolstofmonoxide
CO <sub>2</sub>	koolstofdioxide
N <sub>2</sub> O	luchgas
NO <sub>x</sub>	stikstofoxiden
SO <sub>2</sub>	zwaveldioxide

## Afkortingen

boe	barrel of oil equivalent (vat olie-equivalent)
IPF	iterative proportional fitting
MCES	modified constant elasticity of substitution
NMVOS	niet-methaan vluchtige organische stoffen
OV	openbaar vervoer
PM	particulate matter (stof)
rkm	reizigerskilometer

## Bijlage 1: Informaticatechnische aspecten

Zoals werd aangehaald in de hoofdtekst, wordt voor het Transportmodel gebruik gemaakt van drie programmeertalen.

Het grootste deel van de code is geschreven in R, een open source scripting taal. De keuze voor R is gebaseerd op volgende elementen:

- R is een “high level” taal, gericht op de noden van wetenschappers die niet noodzakelijk een uitgebreide IT-vorming hebben genoten. De drempel om eerste bruikbare toepassingen te ontwikkelen is dus relatief laag.
- R werd ontworpen voor statistische toepassingen, en biedt bijgevolg talrijke tools aan voor datamanipulatie.
- Omdat R een open source taal is, hebben we ook kunnen gebruik maken van talrijke bestaande libraries, die we aan onze eigen behoeften hebben kunnen aanpassen. Dit laatste punt was essentieel. Aangezien het de bedoeling is om een transportmodel te ontwikkelen dat kan gekoppeld worden aan het bestaand RuimteModel Vlaanderen, is het werken met “off-the-shelf” commerciële software geen optie.

Volgende R-libraries waren bijzonder nuttig:

- TravelR, een library voor transportmodellering die zelf nog in volle ontwikkeling is; we hebben meerdere aanpassingen aan TravelR aangebracht om problemen op te lossen met betrekking tot het geheugengebruik door het model (zie verder)
- shapefiles: een library voor het creëren van shapefiles, zodat de resultaten van ATLAS kunnen gevisualiseerd worden in een GIS-software.
- reshape: een library die toelaat om gegevenstabellen in “lang” formaat om te zetten in een “breed” formaat, en omgekeerd
- slam: een library die toelaat om efficiënt te werken met “sparse” matrices: aangezien er slechts tussen een kleine minderheid van de bijna 49 miljoen zone-paren verplaatsingen plaatsvinden, is dit zeker geen overbodige luxe

R werkt echter relatief traag in vergelijking met bijvoorbeeld C++. Voor bepaalde stukken code (zoals bv. de berekening van alle kortste paden in het netwerk) weegt het nadeel van de traagheid niet op tegen het voordeel van de gebruiksvriendelijkheid. Deze stukken code zijn dan ook in C++ geschreven – er bestaan meerdere tools om een interface te creëren tussen R en C++; en de integratie van beide talen kan dus naadloos.

Tenslotte moet ATLAS meerdere R-scripts parallel kunnen laten lopen<sup>10</sup>. Dit wordt verwezenlijkt door deze scripts in batch-mode op te roepen met een script dat in de Unix shell bash wordt geschreven. Vanuit dit script kunnen eventueel ook andere programma’s opgeroepen worden.

Zonder in details te treden, wensen we een idee te geven van de technische uitdagingen waarmee we geconfronteerd zijn;

- Met 6 744 verkeerszones, moeten voor bijna 49 miljoen zone-paren (dus niet enkel voor de zone-paren waar er verplaatsingen tussen plaatsvinden) de kortste routes en evenwichtskosten berekend worden.
- De beschrijving van de kortste paden na één iteratie met twee toewijzingsklassen vereist ongeveer 14 Gb aan geheugen.

---

<sup>10</sup> Er bestaan ook libraries voor parallel computing onder R, maar werken met een bash script bleek robuuster en eenvoudiger.

- Het uitvoeren van 15 iteraties in de toewijzingsmodule met twee toewijzingsklassen vraagt 5 uur; het berekenen van de overeenkomende kosten ongeveer 4 uur. Het is dus absoluut noodzakelijk om de toewijzingen zoveel mogelijk parallel uit te voeren.
- Het grootste netwerk waar de toewijzingsmodule tot nog toe op was getest, is een orde van grootte kleiner dan het Vlaams netwerk, maar de uitvoeringsduur neemt meer dan proportioneel toe met de omvang van het netwerk.

Het belangrijkste probleem is dat men de beschrijving van de kortste paden moet bijhouden voor alle iteraties in de toewijzingsmodule, en dat daarmee heel snel de geheugencapaciteit van de computer wordt overschreden. Onder Linux is het mogelijk om deze gegevens weg te schrijven naar een tijdelijke folder op de harde schijf (en op te roepen wanneer nodig) zonder de berekeningen substantieel te vertragen. Zelfs dan loopt het geheugengebruik tegen het einde van de iteraties op tot tegen 60 Gb. Meer dan een derde van de uitvoeringstijd wordt dan ook ingenomen door swap operaties tussen het geheugen en het virtueel geheugen op de harde schijf, eerder dan door berekeningen.

## Bijlage 2: Algemene kenmerken van het model voor de modale keuze en tijdstipkeuze

In het algemeen worden in een MCES-functie met verschillende niveaus voor elk niveau  $k$  ( $k=0, \dots, K$ ) de componenten op het volgende niveau ( $k+1$ ) zodanig gekozen dat de productiekosten geminimaliseerd worden, gegeven de MCES-productietechnologie:

$$\begin{aligned} \text{Min } C_{k,i} &= \sum_{j \in i} p_{k+1,j} x_{k+1,j} \\ \text{s.t. } x_{k,i} &= \Phi_{k,i} \left[ \sum_{j \in i} (\alpha_{k+1,j})^{\frac{1}{\sigma_{k,i}}} (x_{k+1,j})^{\frac{(\sigma_{k,i}-1)}{\sigma_{k,i}}} \right]^{\frac{\sigma_{k,i}}{(\sigma_{k,i}-1)}} \end{aligned}$$

$x_{k,i}$  is de component  $i$  op niveau  $k$ .  $C_{k,i}$  is de kost van component  $i$  op niveau  $k$  en bestaat uit de inputkosten van de componenten  $j$  op het volgende niveau ( $k+1$ ) die gerelateerd zijn met component  $i$  op niveau  $k$ .  $j \in i$  geeft aan dat de set componenten  $x_{k+1,j}$  gerelateerd is aan  $x_{k,i}$ .  $p_{k+1,j}$  is de eenheidsprijs van de component  $x_{k+1,j}$ . De kost  $C_{k,i}$  wordt geminimaliseerd onder de voorwaarde dat  $x_{k,i}$  geproduceerd wordt volgens een MCES-functie. In deze functie is  $\Phi_{k,i}$  een constante die de meeteenheid definieert.  $\alpha_{k+1,i}$  is een wegingsfactor.  $\sigma_{k,i}$  is de substitutie-elasticiteit en geeft de gevoeligheid van de ratio van twee onderliggende componenten op niveau  $k+1$  t.o.v. de ratio van de inputkosten van die componenten.

Het oplossen van het minimaliseringsprobleem leidt tot de volgende vraagfuncties:

$$x_{k+1,j} = \frac{x_{k,i}}{\Phi_{k,i}} \alpha_{k+1,j} \left( \frac{p_{k,i}}{p_{k+1,j}} \right)^{\sigma_{k,i}}$$

$p_{k,i}$  is een prijsindex en wordt als volgt gedefinieerd:

$$p_{k,i} = \left[ \sum_{j \in i} \alpha_{k+1,j} (p_{k+1,j})^{(1-\sigma_{k,i})} \right]^{\frac{1}{(1-\sigma_{k,i})}}$$

De kost van component  $i$  op niveau  $k$  wordt dan gegeven door:

$$C_{k,i} = x_{k,i} \Phi_{k,i} p_{k,i}$$

### Bijlage 3: Keuze van de congestiefunctie

Voor ATLAS maken we gebruik van de zogenaamde Akçelik-congestiefunctie.

Deze functie beschrijft de relatie tussen snelheid en congestie als volgt (Akçelik, 1991):

$$T = T_0 + 0,25 T_0 \left( \left( \frac{V}{C} - 1 \right) + \sqrt{\left( \frac{V}{C} - 1 \right)^2 + 8J \frac{V}{C^2}} \right)$$

waarbij:

- T: de tijd die nodig is om een bepaalde afstand af te leggen
- $T_0$ : de tijd die nodig is om dezelfde afstand af te leggen indien er geen congestie is
- V: het verkeersvolume per tijdseenheid
- C: de capaciteit van de link per tijdseenheid
- J: de Akçelik-parameter, die aangeeft hoe deze relatie wordt beïnvloed door het type link (autosnelweg, gewestweg, afrit, lokale weg, enz.).

Een alternatieve mogelijkheid bestaat er in om gebruik te maken van de "klassieke" BPR-congestiefunctie van de Bureau of Public Roads (TRB, 2000):

$$T = T_0 \left( 1 + \alpha \left( \frac{V}{C} \right)^\beta \right)$$

waarbij:

- T,  $T_0$ , V en C dezelfde betekenis hebben als hierboven
- $\alpha$  en  $\beta$  empirisch te bepalen parameters zijn.

Ten opzichte van de BPR-congestiefunctie, leidt het gebruik van de Akçelik-functie tot een snellere convergentie van de toewijzingsalgoritmes en tot een meer accurate voorspelling van de doorstroomsnelheden bij een hoog congestieniveau (Dowling et al., 1998a en 1998b). Dit inzicht in de literatuur werd bevestigd in de ontwikkeling van ATLAS. Bij het gebruik van de BPR-congestiefunctie convergeert de procedure niet, terwijl bij het gebruik van de Akçelik-functie een vijftiental iteraties volstaat.

Voor de waarde van J hebben we gebruik gemaakt van bevindingen uit de literatuur (Singh, 1999) die we (na aanpassing van de parameters aan lokale maateenheden) hebben toegepast op het Vlaams netwerk.

### Bijlage 4: Berekening van het Wardrop evenwicht

Voor de berekening van het evenwicht van Wardrop maken we gebruik van volgende iteratieve benadering:

- In eerste stap berekenen we voor alle zone-paren de "goedkoopste" route, dat is de route die de totale kosten minimaliseert tussen elk zone-paar. In deze eerste stap is er geen congestie, en rijden alle voertuigen aan de wettelijke maximumsnelheid. We wijzen de totale verkeersvolumes toe aan de individuele links op het netwerk alsof alle voertuigen inderdaad de goedkoopste route kiezen.

- Op basis hiervan worden de kosten herberekend. Inderdaad, omwille van de congestie zal de snelheid op bepaalde links nu afnemen, en de kost voor het gebruik van deze link toenemen. Hierdoor zal voor bepaalde zone-paren de goedkoopste route veranderen: in sommige gevallen zal het inderdaad beter zijn om een langere route te nemen om congestie te vermijden. Voor elke link wordt het totaal verkeersvolume nu herberekend als een gewogen gemiddelde van het volume uit de vorige iteratie en het volume uit deze iteratie.
- De kosten op elke link worden nu opnieuw herberekend met het gewogen gemiddelde van de volumes.
- Deze procedure wordt herhaald totdat “voldoende” convergentie wordt bereikt (zie hieronder).

Het berekenen van een gewogen gemiddelde vereist natuurlijk dat er, voor elke iteratie, een gewicht wordt bepaald voor het aandeel van de meest recente berekening.

In de methode van de zogenaamde “Moving successive averages” is het gewicht omgekeerd evenredig met het aantal uitgevoerde iteraties. In dit geval neemt het relatief belang van de iteraties dus steeds verder af. Het probleem is dat er geen garantie bestaat dat dit algoritme effectief tot een evenwicht zal convergeren.

Wij maken hier daarom gebruik van het zogenaamde Frank-Wolfe algoritme. In elke stap wordt het gewicht zodanig berekend dat de snelheid van convergentie wordt gemaximaliseerd.

Concreet gebeurt dit door een waarde voor  $\lambda$  te kiezen<sup>11</sup> die de volgende doelfunctie minimaliseert:

$$\sum_a \int_0^{V_a^n} C_a(v) dv$$

Waarbij:

- $a$  een link voorstelt op het pad dat gekozen wordt tussen twee zone-paren
- $V_a^n$  het transportvolume is op link  $a$ ;  $V_a^n = (1 - \lambda)V_a^{n-1} + \lambda F_a$  waarbij  $n$  het aantal iteraties voorstelt en  $F_a$  het volume is dat voortvloeit uit de laatste iteratie.
- $C_a$  de kosten op deze link, als functie van het transportvolume  $v$ .

De doelfunctie bestaat dus in de som, over alle gekozen links in het netwerk, van de integraal van de kostenfunctie per link, genomen van nul tot het transportvolume op de link.

Ortuzar & Willumsen (2011, p. 392-399) bespreken in detail waarom deze benadering sneller convergeert dan de “Moving successive averages” methode.

Men kan dan het algoritme afsluiten op basis van de “vooruitgang” die wordt geboekt in het minimaliseren van de doelfunctie. De mogelijkheid bestaat ook om a priori een maximaal aantal iteraties op te leggen, of om een maximale uitvoeringsduur op te leggen.

In het geval van ATLAS hebben we vastgesteld dat het algoritme relatief snel convergeert tijdens de eerste 14 iteraties, maar daarna nauwelijks nog vooruitgang boekt. We hebben daarom besloten om het aantal iteraties tot 14 te beperken.

---

<sup>11</sup>  $\lambda$  wordt berekend op basis van numerieke technieken.



## **Bijlage 5: Congestiemodellering met openbaar vervoer – de toewijzing van de reizigers aan het OV-netwerk**

Het modelleren van openbaar vervoer stelt twee specifieke problemen: enerzijds de interactie tussen openbaar vervoer (OV) en privé vervoer in het veroorzaken van congestie, anderzijds de toewijzing van de passagiers die het openbaar vervoer gebruiken aan individuele OV-lijnen.

Ortuzar en Willumsen (2011, p. 404) wijzen op de volgende vormen van interactie tussen openbaar vervoer en privé vervoer:

- De congestie veroorzaakt door auto's en vrachtwagens beïnvloedt de snelheid van openbaar vervoer (en dus ook de veralgemeende kosten van OV)
- Bussen en trams veroorzaken congestie die de veralgemeende kost van auto's en vrachtwagens beïnvloeden
- Sommige personen gebruiken meerdere modi, en de aantrekkelijkheid van intermodaal vervoer wordt mede bepaald door het niveau van congestie op park-and-ride en kiss-and-ride faciliteiten

De meeste modellen die dit type interactie behandelen, zijn “naïef iteratief”, in de zin dat men opeenvolgende netwerktoewijzingen uitvoert, waarbij men telkens de gewogen gemiddeldes van de volumes van de vorige iteratie gebruikt als input voor de volgende, enz. Ortuzar en Willumsen wijzen er op dat er bij deze methodes geen garantie op convergentie bestaat. Bovendien stellen deze modellen serieuze problemen qua voorspelling van intermodaliteit op lange termijn.

Er bestaan ook volledige “geïntegreerde” toewijzingsmodellen, maar deze zijn analytisch enorm complex. Bovendien heeft de ervaring met de bestaande versie van ATLAS aangetoond dat het modelleren van een zeer gedetailleerd netwerk zoals het Vlaamse, enorm veel computergeheugen en computertijd vereist. Een volledig geïntegreerd model lijkt ons dan ook niet realistisch voor de nabije toekomst.

Het kan wel zinnig zijn om te verkennen of een “naïef iteratief” model een realistische kaart is. Zoals eerder aangehaald, volstaan de oorsprong-bestemmingsmatrices voor openbaar vervoer hiervoor niet.

De Lijn heeft ons gedetailleerde gegevens bezorgd met betrekking tot hun bestaand netwerk en de bestaande routes. Deze data van De Lijn zouden kunnen geïntegreerd worden met onze netwerkdata. Concreet moeten we dan nagaan hoe we de “verkeersvolumes” voor het OV kunnen “plaatsen” op het wegennetwerk, en weergeven hoe de aanwezigheid van bussen en trams leidt tot een afname van de “effectieve” capaciteit.

Busvervoer bedraagt echter minder dan 1 % van het modaal aandeel in de voertuigkm (niet in auto-equivalenten, maar zelfs dan blijft het klein). Men zou dus kunnen stellen dat een expliciete modellering van het OV niet veel zal veranderen aan de resultaten van de toewijzing.

Daarbij kunnen twee bedenkingen worden geformuleerd:

- Zelfs indien het totaal aandeel van bussen klein is, kunnen ze (zeker in stedelijke gebieden en in de buurt van belangrijke knooppunten) leiden tot belangrijke plaatselijke bottlenecks die wel degelijk een impact zouden kunnen hebben op de routekeuze. We weten niet hoe groot dat effect is.
- Een deel van het openbaar vervoer rijdt in eigen bedding, en dan is de impact op congestie onafhankelijk van het effectief aantal bussen of trams. Dit laatste effect pleit er in elk geval voor om de congestie NIET te modelleren.

We hebben daarom besloten dat deze oefening niet prioritair is, maar wel verder zal uitgewerkt worden in een volgende fase.

Een tweede vraag die we moeten bekijken is het probleem van de toewijzing van de passagiers aan het OV-netwerk.

Dit probleem is veel complexer dan de toewijzing van voertuigen aan het wegennetwerk. Men moet immers niet alleen rekening houden met de snelheid van de bussen en de trams wanneer ze rijden, maar ook met de wachttijden aan de haltes. Een passagier die een bepaalde route kiest waarbij hij zal overstappen, moet dus rekening houden met de verwachte wachttijd aan elke overstap. Bovendien moet men ook hier rekening houden met congestie: indien bepaalde routes veel gebruikt worden zal dat ook een impact hebben op de verwachte wachttijd (en uiteraard ook op het reiscomfort).

De Cea en Fernandez (1993) hebben in 1993 een model ontwikkeld voor het netwerk van Santiago de Chile.

Het netwerk van De Lijn is echter meer dan een orde van grootte complexer dan het netwerk van Santiago – het is dus niet duidelijk of de voorgestelde algoritmes toepasbaar zijn. De gebruikte software is bovendien commercieel, en er is geen broncode beschikbaar. We denken daarom dat een eventuele toepassing van deze benadering alleen realistisch is op lange termijn.

Het zou echter wel op middellange termijn mogelijk moeten zijn om een “OV toewijzing” module te ontwikkelen die het algoritme implementeert van Spiess en Florian (1989). Dit algoritme houdt géén rekening met de vertraging die kan optreden indien te veel mensen dezelfde buslijnen willen gebruiken.

Dit model zou sneller kunnen geïmplementeerd worden dat het model van de Cea en Fernandez omdat het algoritme voldoende expliciet wordt beschreven in het artikel om in code te kunnen worden omgezet. Het algoritme volgt bovendien de logica van het algoritme van Dijkstra voor kortste routeberekening, en dat algoritme zit in de C++ code van TravelR. Maar zelfs dan vereist een eventuele toepassing nog veel bijkomend werk:

- Om bruikbaar te zijn voor het algoritme van Spiess en Florian, moeten de “ruwe” data van De Lijn nog worden gereorganiseerd (uurroosters omzetten in frequenties, link leggen met de verkeerszones, e.d.)
- De belangrijkste complicatie bij OV-toewijzing is echter dat rekening moet gehouden worden met de wachttijden aan de haltes. Dit vereist het creëren van een tweede “abstract” netwerk waar de haltes worden beschreven als een “virtueel” segment.

De verdere uitwerking van deze problematiek zal dus deel uitmaken van een volgende fase in de ontwikkeling van ATLAS.

## **Bijlage 6: Details ruimtelijk beleid**

De voor dit project gehanteerde kaarten voor de stedelijke landgebruiken zijn opgenomen in Tabel A1. De kaarten voor de landgebruiken Natuur en Landbouw zijn tot stand gekomen in nauwe samenwerking met INBO. Ze zijn opgenomen in Tabel A2.

De tabellen bevatten het overzicht van de gebruikte instellingen voor elke klasse. De verklaring van de gebruikte symbolen is als volgt:

- |      |   |
|------|---|
| '+'  | staat voor toegelaten op de korte termijn;                                |
| '++' | staat voor toegelaten op de langere termijn (komt niet voor in de tabel); |
| '-'  | staat voor verboden voor het landgebruik;                                 |
| 't0' | staat voor een de facto aanwezigheid van het landgebruik;                 |
| ''   | staat voor geen uitspraak.  |

De instellingen zijn voor de korte termijn vooral gebaseerd op de uitbreidingsgebieden in de RuimteBoekHouding 2010. Voor de langere termijn is uitbreiding mogelijk in gebieden buiten het landschappelijk waardevol agrarisch gebied die niet door natuur (VEN, GNBS en/of Natura) geclaimd worden. 'Korte termijn' betekent vanaf 2005 in zijn geheel beschikbaar, dit betekent echter niet dat de ruimte ook volledig is ingenomen door dat landgebruik. 'Lange termijn' betekent vanaf 2030 volledig beschikbaar. Deze laatste ruimte komt geleidelijk beschikbaar vanaf 2005 volgens de assumptie m.b.t.

de graduele anticipatie van veranderend beleid (zie hoger). Een voorbeeld van resulterende beleidskaarten is te raadplegen in Figuur A 1 en Figuur A 2.

Tabel A1: Instellingen voor de Beleidskaarten van verstedelijkte landgebruiken

kaartlaag	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	overig industrieel/commercieel/residentieel	zeehaven	recreatie- en sportterrein	residentieel/commerciële bebouwing_Brussel	industrie_Brussel
RBH Vlaanderen 2009	wonen	+							+	+	+	+			+	
	recreatie													+		
	natuur en reservaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	overig groen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	bos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	landbouw															
	industrie buiten poorten*		+	+	+	+	+	+				+				+
	industrie binnen poorten*	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+
	overige															
gewestplan Brussel 2001	wonen														+	
	recreatie															
	natuur en reservaat														-	-
	overig groen														-	-
	bos														-	-
	landbouw															
	industrie															+
overige																
VEN	GEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	GENO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NVWG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
landschappelijk waardevol agrarisch gebied	0															
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
slikke en schorre beleid	grasland landbouw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	grasland multifunctioneel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	grasland natuur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	slik en schor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
landgebruik	overig															
	niet geregistreerd grasland met natuurwaarde															
	niet geregistreerde landbouwgrond															
	moeras zonder natuurbeheer															
	heide zonder natuurbeheer															
	kustduin zonder natuurbeheer															
	residentieel	t0														
	lichte industrie		t0													
	zware industrie			t0												
	afval & afvalwater, waterwinning & waterdistributie				t0											
	mijnbouw					t0										
energie						t0										
groothandel en transport & verkeer							t0									
detailhandel en horeca								t0								

kaartlaag	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	overig industrieel/commercieel/residentieel	zeehavens	recreatie- en sportterrein	residentiële/commerciële bebouwing_Brussel	industrie_Brussel
	kantoren & administratie									t0						
	onderwijs, gezondheidszorg en overige diensten										t0					
	overig industrieel/commercieel/residentieel											t0				
	zeehavens												t0			
	grasland met natuurbeheer															
	productiegrasland met natuur- en milieudoelen															
	productiegrasland															
	akker met natuurdoelen															
	akker met milieudoelen															
	akker															
	bos met natuurbeheer															
	bos met bosbeheer															
	moeras met natuurbeheer															
	heide met natuurbeheer															
	kustduin met natuurbeheer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	slik en schorre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	recreatie- en sportterrein													t0		
	residentiële/commerciële bebouwing_Brussel														t0	
	industrie_Brussel															t0
	park															
	militaire voorziening															
	infrastructuur															
	water															
	nodata															

\* Onder de 'Poorten van Vlaanderen' worden verstaan de zeehavens Antwerpen, Gent, Zeebrugge en Oostende; de luchthavens Zaventem en Oostende; en de HST-stations Antwerpen en Brussel.

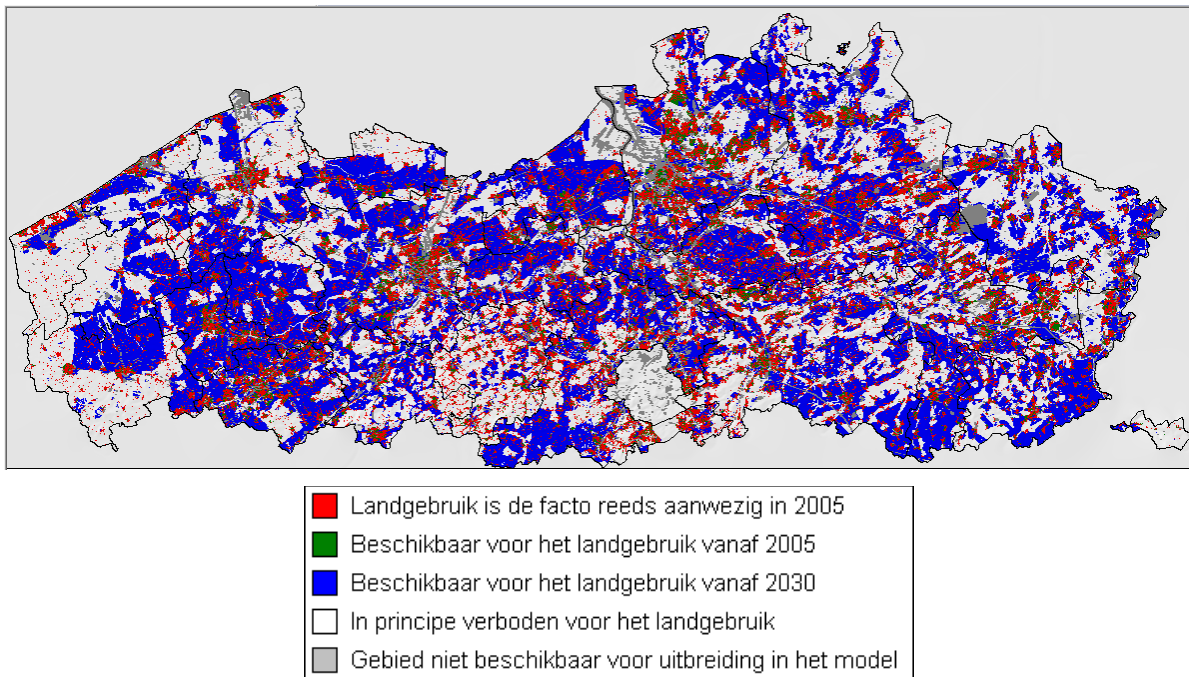
Tabel A2: Instellingen voor de Beleidskaarten van landbouw- en natuurlandgebruiken

		heide met natuurbeheer	moeras met natuurbeheer	bos met bosbeheer	bos met natuurbeheer	productiegrasland	productiegrasland met natuur- en milieudoelen	grasland met natuurbeheer	akker	akker met milieudoelen	akker met natuurdoelen	slik en schorre	kustduin met natuurbeheer
studiegebied				+		+			+				
eigendom		+	+		+			+					
Natura2000	SBZ-V	+	+		+			+					
	SBZ-H	+	+		+			+					
	beide	+	+		+			+					
SBZ-V	integraal												
	niet integraal overig												
	niet integraal geel												
uitbreidings- perimeters		+	+		+		-	+		-	-		
VEN	GEN	+	+		+	-		+	-	-			
	GENO	+	▪		+			+					
	NVWG	+	+		+			+					
GNBS	militair natuur verweving												
akkervogels											+		
botanisch beheer							+				+		
hamster											+		
weidevogels	▪						+						
HNVF													
HAG		-	-	-	-			-					
VVW	graslandvegetatie			-	-			-	-	-	-		
	niet-graslandvegetatie			-	-	-	-	-	-	-	-		
erosie potentieel	1 - hoog												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6 - laag												
RBH	wonen												
	recreatie												
	natuur en reservaat					-			-				
	overig groen					-			-				
	bos					-			-				
	landbouw												
	industrie buiten poorten*												
	industrie binnen poorten*												
	overige												
geel groene bestemmingen													

	heide met natuurbeheer	moeras met natuurbeheer	bos met bosbeheer	bos met natuurbeheer	productiegrasland	productiegrasland met natuur- en milieudoelen	grasland met natuurbeheer	akker	akker met milieudoelen	akker met natuurdoelen	slik en schorre	kustduin met natuurbeheer
landschappelijk waardevol agrarisch gebied												
buffer rivierlopen												
bosreservaten												
slik en schorre beleid					+	+	+				+	
grasland landbouw												
grasland multifunctioneel												
grasland natuur												
slik en schor												
kustduin												+
landgebruik												
<i>overige niet geregistreerd grasland met natuurwaarde niet geregistreerde landbouwgrond</i>												
<i>moeras zonder natuurbeheer</i>												
<i>heide zonder natuurbeheer</i>												
<i>kustduin zonder natuurbeheer</i>												
<i>residentiële/commerciële bebouwing</i>												
<i>agrarische bebouwing</i>												
<i>industrie</i>												
<i>zeehaven</i>												
<i>luchthaven</i>												
<i>grasland met natuurbeheer</i>							t0					
<i>productiegrasland met natuur- en milieudoelen</i>						t0			+			
<i>productiegrasland</i>					t0	▪ +	▪	▪	▪	t0		
<i>akker met natuurdoelen</i>						+			+	t0		
<i>akker met milieudoelen</i>						+			t0			
<i>akker</i>					t0	+	t0		+			
<i>bos met natuurbeheer</i>				t0								
<i>bos met bosbeheer</i>			t0									
<i>moeras zonder natuurbeheer</i>		t0										
<i>heide zonder natuurbeheer</i>	t0											
<i>kustduin zonder natuurbeheer</i>												
<i>slik en schorre</i>											t0	
<i>recreatie- en sportterrein</i>												
<i>park</i>												
<i>militaire voorziening</i>												
<i>infrastructuur</i>												
<i>water</i>												t0

\* Onder de 'Poorten van Vlaanderen' worden verstaan de zeehavens Antwerpen, Gent, Zeebrugge en Oostende; de luchthavens Zaventem en Oostende; en de HST-stations Antwerpen en Brussel.

*Figuur A 1: Beleidskaart residentiële bebouwing*



*Figuur A 2: Beleidskaart Heide met natuurbeheer (Legenda als in Figuur A 1)*

