

# **Strategisch modelleren met behulp van grootschalige agent-gebaseerde simulatie: toepassing in Vlaanderen**

Kurt Verlinden – Significance – verlinden@significance.nl

Eveline Helder – Significance – helder@significance.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk  
24 en 25 november 2016, Zwolle**

## **Samenvatting**

De 4<sup>de</sup> generatie strategische modelvoering in Vlaanderen beoogt een sterk verhoogde onderbouwing van het volledige keuzegedrag op individueel agent-niveau om zodoende rekening te houden met een breed palet aan bepalende factoren op vlak van persoons- en gezinskenmerken. Via deze aanpak wordt een grote schaalbaarheid over verschillende niveaus bekomen, waarbij een omvattende modellering het gehele mobiliteitsvraagstuk in zijn geheel vat, en zo consistentie in modelvoering op alle niveaus wordt bekomen.

Het momenteel ontwikkelde modelsysteem volgt een systeem op basis van Monte Carlo microsimulatie van alle aparte personen in het ruime studiegebied. Het resultaat wordt gevormd door een volledige discrete beschrijving van het verplaatsingspatroon per aparte persoon op etmaalbasis met inbegrip van beschrijving van de gehele verplaatsingsketen, hoofd- en nevenactiviteiten, tijdstip heen en terug, herkomst en bestemming en vervoerwijze. Door de gedetailleerde aanpak blijven bovendien alle persoons- en gezinskenmerken behouden voor verdere bevraging.

Een prototype-model werd succesvol geïmplementeerd voor heel België, waarmee een gedetailleerde simulatie van de huidige situatie 2013 wordt uitgevoerd. Aan de hand van verschillende synthetische scenario's wordt het gedrag en functioneren van dit model verder onderzocht.

Scenario's rond autobezit tonen een genuanceerd beeld van de verschuivingen rond vervoerwijzekeuze, bestemmingskeuze en algemene tourvorming ten gevolge van het beperken van autobezit op gezinsniveau. Oefeningen rond werkzaamheidsgraad illustreren de impact van de persoonsstatus van de gehele populatie om het mobiliteitsgedrag, en illustreren de uitwisseling tussen werkverplaatsingen en overige verplaatsingen. Een synthetische verkenning rond het afschaffen van fiscale gunstmaatregelen rond autogebruik en stimulering van OV via volledige tegemoetkoming in ticketkosten tonen de uiteindelijke sterke impact van dergelijke kostenmaatregelen, maar bakenen ook de operationaliteit van de werking van het verkeersmodel af.

De agent-gebaseerde simulatie-aanpak vormt een aanzienlijke breuk met de klassieke meer geaggregeerde of gestratifieerde aanpak maar biedt door zijn efficiënt raamwerk met een krachtig data-model en flexibele formulering van de keuzemodellen op basis van beproefde en bewezen kennis een krachtig instrument om verdere ondersteuning te bieden bij voorziene en steeds complexer wordende vraagstukken.

## 1. Inleiding en context

Strategische verkeersmodellen worden in Vlaanderen ondertussen ook al reeds 20 jaar succesvol ingezet bij beleidsondersteunende mobiliteitsstudies. Sinds geruime tijd vormen de 3<sup>de</sup> generatie verkeersmodellen de kern van het instrumentarium. Deze strategische verkeersmodellen volgen nog steeds een klassieke geaggregeerde aanpak met verschillende state-of-the-practice uitbreidingen om diverse bekende problemen op te vangen, zoals vertical queueing aan bottle-necks, aparte P+R-modellering, keuzemodellen geschat op individuele waarnemingen, vraag-aanbod evenwichtsmechanismes, ...

Typisch opereren de strategische modellen op niveau van provincies, met sterke focus op fijnmazige zonering op wijkniveau, adequate multimodale netwerken met voldoende detail tot op kruispunt- en OV-halte-niveau. De globale modelstructuur is zodanig opgebouwd dat een veelvoud aan noodzakelijke data centraal opgebouwd en verzameld wordt en tamelijk eenvoudig overdraagbaar is naar verschillende toepassingen. Op deze manier wordt een aanzet gegeven naar een zo goed mogelijke schaalbaarheid, wat resulteert in toepassingen van eenzelfde modelaanpak tot op kleiner stedelijk niveau.

In praktijk wordt het beschikbare model-areaal meestal ingeschakeld om uitspraken te doen op niveau van netwerk-oefeningen. Uitbreiding of optimalisering van het auto-netwerk en herstructurering van OV-netwerken staan meestal centraal in de dagelijkse praktijk. Deze eerder strikte focus vertaalt zich historisch in een modelopzet die op haar beurt erg aanbodgericht is, zowel in gehanteerde keuzemodellen als in pragmatisch instrumentarium om de modellen te bedienen.

Nochtans is er reeds geruime tijd vraag naar bredere modeltoepassingen, waar een duidelijker en meer onderbouwde gevoeligheid voor diverse kenmerken opgenomen is. In een steeds complexere samenleving met meer interactie tussen gebruikers én keuze-alternatieven is het duidelijk dat een te sterk geabstraheerde en geaggregeerde benadering niet langer toereikend is om ondersteuning te bieden bij beleidsvragen die meer en meer de netwerk-aanpak ontgroeien.

Daarnaast is er technische nood aan een modelraamwerk dat zo makkelijk en consistent mogelijk schaalbaar is over verschillende niveaus, zodanig dat het instrument in zijn geheel kan gebruikt worden voor verschillende doeleinden en niet altijd een specifiek afgeleid doelgericht model moet ontwikkeld worden. Dergelijke insteek verzekert robuustheid in analyses waarbij steeds eenzelfde gedrag gemodelleerd wordt, en vergroot zo het draagvlak van het instrument. In dezelfde context is het essentieel dat een nieuwe generatie aan modellen makkelijker en meer efficiënt aanpasbaar is om nieuwe inzichten en data-bronnen constructief op te nemen.

Vertrekkend van deze vereisten werd in 2013 een nieuw ontwikkelingstraject richting 4<sup>de</sup> generatie strategische verkeersmodellen opgestart, dat momenteel resulteert in een prototype-toepassing van een volledig discreet agent-gebaseerd simulatiemodel.

In voorliggend document wordt in gegaan op de vereisten van dit instrumentarium en de feitelijke invulling van de verschillende onderdelen. Vervolgens worden eerste resultaten gepresenteerd en wordt aan de hand van enkele voorbeelden de meerwaarde van het ontwikkelde modelraamwerk aangetoond.

## **2. Modelvereisten en uitdagingen**

Gegeven de verwachte toepassingen van de toekomstige strategische verkeersmodellen binnen steeds complexere en meer breedvoerige beleidsondersteuning dient de volgende 4<sup>de</sup> generatie van verkeersmodellen een meer volledige en nauwkeurige simulatie van het totale mobiliteitsgedrag te integreren, met inbegrip van meer verklarende variabelen op persoons- en gezinsniveau. Hierbij is interactie en afstemming tussen enerzijds gezinsleden en anderzijds verplaatsingsketens onderling essentieel. De modelschattingen op basis van de meest recente dagboeken verplaatsingsgedrag zijn maatgevend en moeten de meest verklarende sensitiviteiten voor het volledige verplaatsingsgedrag opnemen, waarbij het hele keuzeprocess afgedekt wordt, gaande van ketenformatie over tijdstip-, bestemmings- en vervoerwijzekeuze. Elk van deze keuzemodellen moet naar wens in- of uitgeschakeld kunnen worden, zodanig dat de impact van een maatregelenpakket op diverse vlakken kan geanalyseerd worden.

In de implementatie van het instrumentarium is een structurele schaalbaarheid noodzakelijk, zodanig dat het ontwikkelde model op alle niveaus kan ingeschakeld worden, gaande van grootschalig Vlaams niveau tot lokale toepassingen op (sub)gemeentelijk vlak. Daarbij moet het nodige modeldetail op alle niveaus gehandhaafd blijven zodanig dat resultaten binnen alle toepassingsvelden onderling consistent zijn. Tenslotte moet het raamwerk voldoende open en modulair zijn zodanig dat verschillende bijkomende of gewijzigde functies en modules efficiënt kunnen gekoppeld worden, en dat het gehanteerde data-model steeds flexibel uit te breiden is zonder het modelraamwerk te moeten aanpassen.

Belangrijkste uitdagingen liggen daarbij op vlak van efficiënte rekentechnieken die alle vereiste gevoeligheden en detaillering kan integreren in een open systeem dat zowel nauwkeurig als performant kan rekenen. Hierbij blijft de keuze en gebruik van aanvullende externe modelsoftware voor bijvoorbeeld toedelingen of netwerkcalibratie open.

## **3. Uitwerking van nieuw raamwerk op basis agent-gebaseerde microsimulatie**

### *3.1 Uitgangspunten*

Gegeven de hoge mate van detaillering naar persoons- en gezinskenmerken wordt over gegaan naar individuele modellering van aparte personen of agenten, eerder dan classificatie in vooraf gedefinieerde groepen of gebruik te maken van sample enumeration. Voorgaande ervaringen op vlak van matrix-geöriënteerde aanpak en overdadige classificatie in aparte gebruikersgroepen leren dat deze uitwerking niet langer computationeel efficiënt is: fjnschalige zoneringen gecombineerd met een groot aantal stratificaties leidt naar een overdaad aan nutteloze berekeningen. In vergelijking hiermee is het apart modelleren van een populatie van 11 miljoen agenten minder belastend.

Meerwaarde van deze individuele agent-benadering is het feit dat eenvoudig alle persoons- en gezinskenmerken kunnen opgenomen worden zonder een vooraf gedefinieerde classificatie op te leggen.

Binnen alle keuzemodellen wordt terug gevallen op het GEV type II raamwerk om de verschillende alternatieven te beoordelen en hun onderlinge marktaandeelen te verrekenen. Aangezien de modellering op agent-niveau verloopt, is er de noodzaak om

de resultaten in een discrete vorm op te leveren en te bewaren. Daarom wordt er gebruik gemaakt van een Monte Carlo stochastische aanpak waarbij op basis van de berekende utiliteiten en marktaandelen telkens één discrete uitkomst getrokken wordt. Op deze manier wordt de stap gezet van modellering naar agent-gebaseerde simulatie in het gehele vraagmodel. Teneinde de inherente simulatie-error te beheersen wordt inherent gebruik gemaakt van meervoudige replicaties of lotingen: door op een slimme manier de afzonderlijke replicaties te vergelijken met een verwachte uitkomst, kan een meest plausibele unieke replicatie geselecteerd worden. Het eindresultaat wordt dan gevormd door een volledig discrete beschrijving van het totale mobiliteitspatroon dat op zich een best mogelijke benadering vormt voor de verwachte uitkomsten uit de discrete keuzemodellen.

### *3.2 Opzet van raamwerk*

Het volledige vraagmodel voor personenvervoer wordt geïmplementeerd volgens de hiervoor gedefinieerde uitgangspunten. Vertrekkende van een gedetailleerde beschrijving van de totale bevolking aangereikt door een Population Simulator, zowel voor de huidige referentie-situatie als voor relevante toekomstscenario's, voeren de verschillende deelmodellen voor tourformatie en een simultaan conditioneel geformuleerd discreet keuzemodel voor tijdstip-, bestemmings- en vervoerwijzekeuze een simulatie uit over alle personen in de populatie. Het resultaat betreft een gedetailleerd beeld van de totale verplaatsingsbehoefte voor een gemiddelde werkweekdag als een weekenddag. Alle relevante modi voor autobestuurder, -passagier, trein, bus/tram/metro, fiets en te voet worden opgenomen, en een etmaal wordt onderverdeeld in 11 representatieve periodes. Meervoudige replicaties van het Monte Carlo-model worden automatisch geïncorporeerd, waarbij ervaring leert dat tussen de 2.000 en 5.000 lotingen een voldoende robuust beeld geven.

De ontwikkelde modellen worden uitgewerkt in een efficiënt .NET-platform onder 64-bit architectuur, waarbij gebruik gemaakt wordt van parallele doorrekening op verschillende rekenkernen. Door de conditionele formulering van de vraagmodellen is het mogelijk elke apart deelmodel afzonderlijk aan of uit te schakelen, om zo de grootst mogelijke flexibiliteit in doorrekening te bekomen. De volledige vraagmodellering kan uitgevoerd worden binnen de 6 tot 7 uur op een krachtige multi-CPU machine.

Het raamwerk zelf alsook het interne data-model is open en modulair uitgewerkt. Hierdoor is het eenvoudig om achteraf kenmerken toe te voegen aan zowel de data-structuur als aan de utiliteits-formulering van de vraagmodellen. Na opbouw van het basismodel ligt de theoretische modelvorm dan ook niet gebetonneerd. Het gehele systeem wordt dan ook ingeschakeld als een proef-omgeving waarin makkelijk nieuwe paden kunnen onderzocht en getest worden.

Het vraagmodel zelf verloopt in zijn volledigheid op individueel agent-niveau. In theorie is een opdeling in zones van het studiegebied dan ook niet noodzakelijk, maar om redenen van enerzijds privacy en anderzijds de koppeling met een extern netwerkmodel om de kosten te berekenen en de toedelingen uit te voeren, wordt een open zonering als invoer aangeboden. Op basis van geïntegreerde GIS-functionaliteiten worden alle agenten en bijhorende socio-economische datasets automatisch getransformeerd naar een vanuit het netwerk opgegeven zonering.

### *3.3 Verhouding tot klassieke aanpak in 3<sup>de</sup> generatie-modellen*

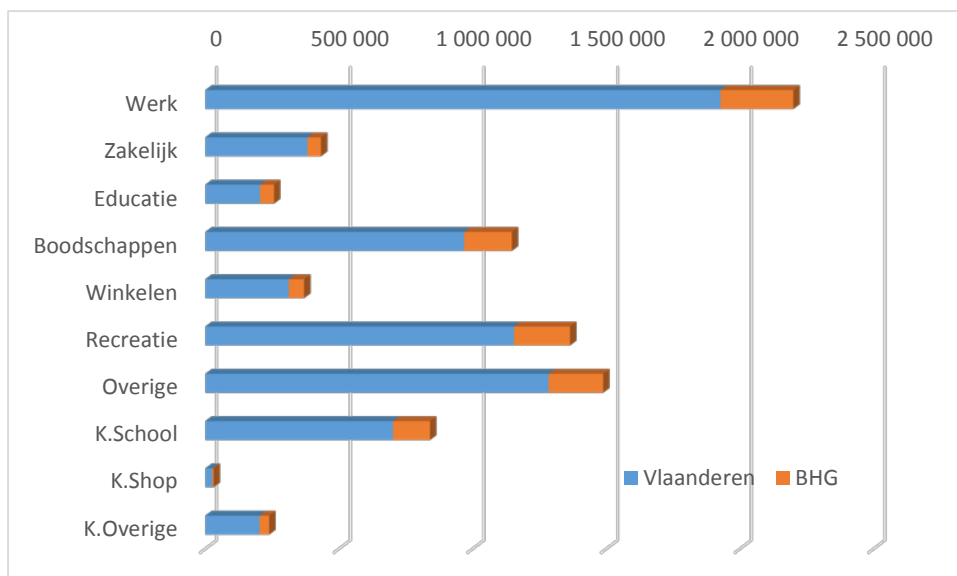
Door de volledig discrete uitwerking van het agent-gebaseerd vraagmodel, wordt het uiteindelijke resultaat gevormd door een volledige beschrijving van alle mobiliteitsketens van de gemodelleerde dag, mét alle kenmerken rond vorm van de keten, motief van verplaatsing, tijdstip heen en terug, gebruikte mode en verrijking met alle persoons- en gezinskenmerken van de agent die deze tour maakt. Gegeven de feitelijke efficiëntie om enkel deze relevante tour-resultaten te bewaren eerder dan breed uitgesmeerde meervoudige matrices die grotendeels nullen bevatten, blijft dit resultaat-bestand voor de gehele Belgische populatie verrassend compact en uitermate eenvoudig en gedetailleerd te bevragen. Het is mogelijk om elk kenmerk en elke keuze gericht te bekijken om zo inzicht te krijgen in doelgroepen of deelfacetten. Gegeven de intrinsiek stochastische aanpak op agent-niveau, is hier de nodige omzichtigheid geboden, maar op ruimer geaggregeerd niveau blijven ook de verzamelde details voldoende robuust.

Net deze meer verfijnde opzet laat dan ook toe om analyses in meer detail te voeren en zo een beeld te vormen van het exacte hoe en waarom van bepaalde effecten, wetende dat persoons- en gezinsgebonden kenmerken dikwijls een aanzienlijke verklarende waarde hebben. Deze 'nieuwe' rijkdom biedt een groter speelveld om analyses uit te voeren, maar stelt de gebruiker ook voor verdere uitdagingen omtrent het spectrum en diepgang nodig bij scenario-evaluaties. Het is wel evident dat de ontwikkelde aanpak uiteindelijk een grote stap zet buiten het enge kader van analyse van netwerk-varianten en bijhorende effecten op routekeuze en eventuele modale verschuiving. Te verwachten valt dan ook dat toekomstige verkenningen een bredere ondersteuning zullen bieden, waar bij alle facetten van het verplaatsingsgedrag opgenomen worden.

### *3.4 Verkenning van de modelresultaten huidige toestand 2013*

Hoewel alle resultaten in volle detail op het laagste niveau kunnen onderzocht worden, blijft een globale verkenning op generieke cijfers de hoeksteen van een analyse van bovenuit. Ter illustratie van de modelvoering, en vooruit lopend op verdere vergelijkende analyses van synthetische scenario's, wordt een greep gemaakt in de globale uitkomsten van het verkeersmodel voor de huidige situatie met basisjaar 2013.

Hoewel heel België wordt gesimuleerd en het grens-overschrijdend gemotoriseerd verkeer statisch wordt opgenomen, beperkt het studiegebied zich tot Vlaanderen en het omsloten Brussels Hoofdstedelijk Gewest BHG. Binnen dit studiegebied worden op een gemiddelde werkweekdag in totaal ongeveer 8,4 miljoen huisgebonden hoofdtours gemaakt, waarbij verder 2,9 miljoen nevenactiviteiten aangedaan worden. Er worden, samenvattend, 10 duidelijk onderscheiden hoofdmotieven onderscheiden.



Figuur 1: oplijsting aantal hoofdtours per motief

Duidelijk te zien is dat het motief werk voor volwassenen het grootste deel van de hoofdtours uitmaakt. De motieven boodschappen en winkelen tikken ook aan, en zijn bovendien ook deels verwerkt bij de andere hoofdtours als nevenactiviteiten ! Het BHG weegt duidelijk minder zwaar door, maar bovenstaande cijfers focussen op huisgebonden verplaatsingen of naar inwoners, en zeggen op zich niks over de bestemming van de tours, waar het BHG wel degelijk een grotere slokop is.

Wanneer de cijfers verder verfijnen naar aparte benen van de volledige ketens en tours, zijnde de afzonderlijke ritten, wordt meer inzicht gegeven in de samenstelling van deze ketens.

# Ritten	Wonen	Werk	Zakelijk	Educatie	Boodschappen	Winkelen	Recreatie	Overige	Totaal
Wonen	-	1 706 429	375 863	191 169	1 006 419	264 779	1 048 756	1 638 763	6 232 178
Werk	1 462 635	49 294	163 130	9 041	121 933	642	100 141	130 676	2 037 492
Zakelijk	462 325	60 007	363 872	9 055	55 519	3 190	40 893	45 908	1 040 769
Educatie	173 724	4 212	8 096	8 075	24 289	772	13 159	14 569	246 896
Boodschappen	1 153 826	50 225	42 522	12 439	172 209	18 452	109 064	90 290	1 649 027
Winkelen	265 757	613	2 982	934	22 766		6 043	12 867	311 962
Recreatie	1 194 366	44 485	22 345	5 255	92 696	4 991	122 994	145 491	1 632 623
Overige	1 519 545	122 227	61 959	10 928	153 196	19 136	191 573	145 800	2 224 364
<b>Totaal</b>	<b>6 232 178</b>	<b>2 037 492</b>	<b>1 040 769</b>	<b>246 896</b>	<b>1 649 027</b>	<b>311 962</b>	<b>1 632 623</b>	<b>2 224 364</b>	<b>15 375 311</b>

Tabel 1: overzicht aantal ritten naar motief herkomst en bestemming

Bovenstaande tabel beperkt tot de verplaatsingen van volwassenen, en neemt nu expliciet de huiskant van de ritten op en is door de richting-gevoeligheid van de nevenactiviteiten niet symmetrisch. Zo wordt duidelijk dat op de terugrit van werk naar huis meer nevenbestemmingen aangedaan worden dan in de heenrit: van de in totaal 2 miljoen werktours passeren er in de heenrichting ongeveer 300.000 langs een andere activiteit, in de terugrichting loopt dit op tot ruim 500.000.

De volledige tour wordt verondersteld om met één hoofdvervoerwijze plaats te vinden, in de toedelingen aan het netwerk zijn verdere mengvormen mogelijk.

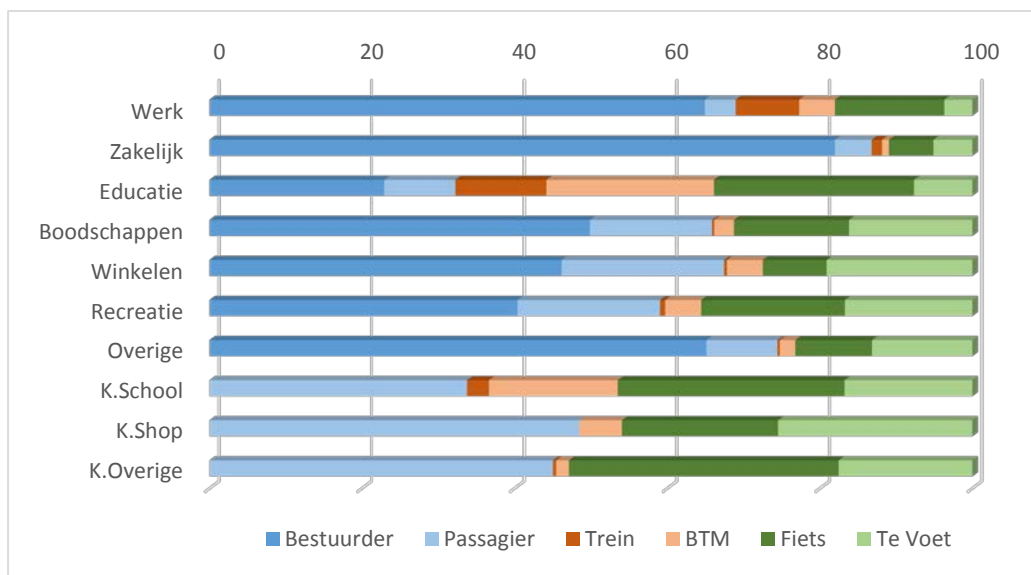
Gewest	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Vlaanderen	3 630 860	1 039 106	247 592	350 220	1 111 143	783 657	7 162 578
BHG	473 230	155 764	15 292	101 952	247 512	210 639	1 204 389
<b>Totaal</b>	<b>4 104 090</b>	<b>1 194 870</b>	<b>262 884</b>	<b>452 172</b>	<b>1 358 655</b>	<b>994 296</b>	<b>8 366 967</b>

Gewest	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
Vlaanderen	50.7	14.5	3.5	4.9	15.5	10.9
BHG	39.3	12.9	1.3	8.5	20.6	17.5
<b>Totaal</b>	<b>49.1</b>	<b>14.3</b>	<b>3.1</b>	<b>5.4</b>	<b>16.2</b>	<b>11.9</b>

Tabel 2: verdeling naar hoofdvervoerswijze

Net meer dan de helft van de verplaatsingen vertrekkend in Vlaanderen worden als bestuurder van een personenwagen gemaakt, nog eens 14 procent schuift bij als passagier in de wagen. De langzaam vervoer-modi fietsen en te voet komen net boven het kwart van het marktaandeel uit, de openbaar vervoer-modi trein en bus/tram/metro BTM komen net boven de 8 procent uit. Logischerwijze zijn er geografische verschillen tussen landelijke en verstedelijkte gebieden, en dit is manifest duidelijk voor de resultaten van het BHG, waar meer ketens binnen de stedelijke omgeving blijven waardoor het langzaam verkeer oppikt, en typisch ook BTM eerder dan de trein die enkel voor de langere inter-gewestverplaatsingen interessant wordt.

Verdere analyse laat ook de duidelijke verschillen in vervoerswijzekeuze zien tussen de verschillende reis-motieven.



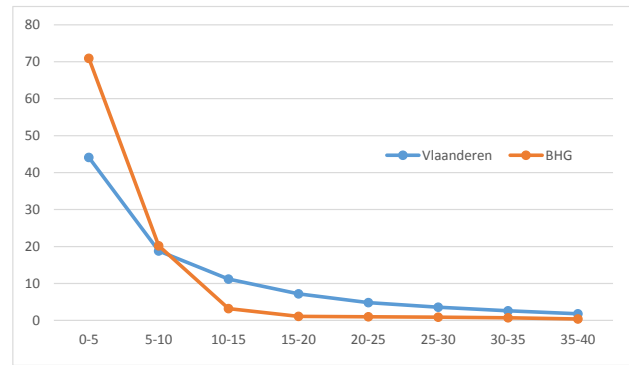
Figuur 2: verdeling vervoerswijze over motieven

Bepaalde motieven zoals werk en zakelijk zijn typisch meer auto-georiënteerd, waarbij voor werk ook de OV-modi nog steun bieden. Het motief educatie voor volwassenen, voor het overgrote deel gevuld door studenten, kent een bredere verdeling, maar ook hier biedt de auto als bestuurder nog steeds een marktaandeel van 20 procent. De niet-captive motieven voor volwassenen hebben typisch door hun meer disperse karakter een zeer laag OV-gebruik, en, gegeven het feit dat er een grotere kans is dat de personenwagen in het gezin gebruikt wordt voor werk-doeleinden, we zien een ruimer gebruik van fiets en te voet. Bij de kind-motieven biedt de auto als passagier geen optie, waardoor de andere modi een groter deel krijgen.

Gem.Ritlengte	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
Vlaanderen	13.7	13.4	49.9	14.1	3.9	2.0
BHG	7.0	6.3	35.3	6.0	2.6	2.3

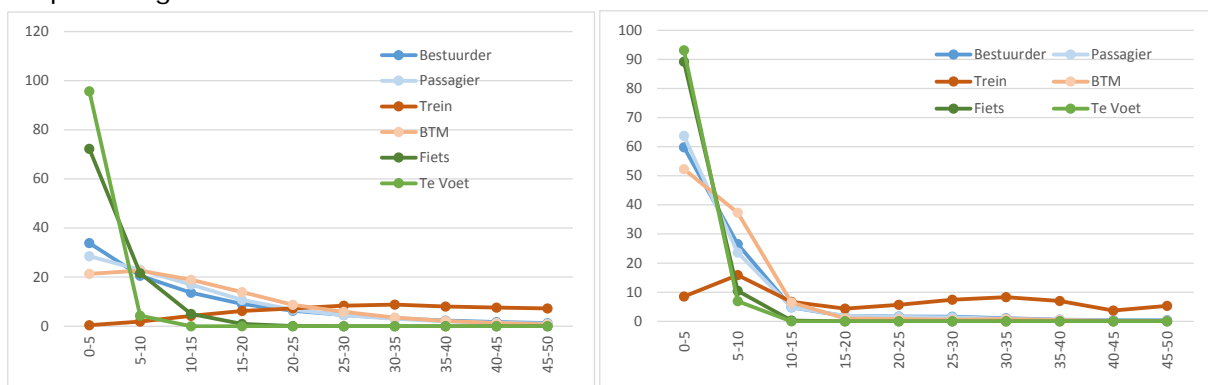
Tabel 3: gemiddelde ritlengtes naar mode

Gemiddelde ritlengte, als zijnde de afstand tussen huis en de hoofd-activiteit, ligt in Vlaanderen gevoelig hoger dan in het BHG. Ook de verdeling in ritlengtes voor de gewesten Vlaanderen en BHG illustreert dit: een ruim groter deel van de verplaatsingen van inwoners van het BHG blijft binnen het eigen gewest, uitwisseling met Vlaanderen of Wallonië is verrassend klein.



Figuur 3: verdeling ritlengtes naar gewest

De specifieke rol van de mode trein springt in het oog, waar typisch aanzienlijk grotere verplaatsingsafstanden mee afgelegd worden. Deze ritlengte-verdeling opgesplitst naar mode verduidelijkt verder het specifieke karakter van elke aparte vervoerwijze. De langzaam vervoer-modi komen op bij de kortste verplaatsingen, met in Vlaanderen nog een niet verwaarloosbaar aandeel van de fietsers die tussen de 5 en 10 kilometer zitten. De OV-mode BTM is in Vlaanderen eerder uniform aanwezig tot 20 kilometer, en in BHG zeer manifest op de intra-Brussel tours. De mode trein pikt gradueel op en heeft boven de 25 kilometer relatief haar grootste aandeel. De auto-modi zitten ook over het gehele gamma, maar er zijn toch ook opvallend veel korte verplaatsingen: in Vlaanderen zijn meer dan de helft van de auto-verplaatsingen korter dan 10 kilometer !



Figuur 4: verdeling ritlengtes naar mode voor Vlaanderen en BHG

Voorgaande summier oplijsting van de voornaamste kenmerken van de verplaatsingsvolumes in het studiegebied voor een gemiddelde werkweekdag sluiten nauw aan bij de gevoerde Onderzoeken Verplaatsingsgedrag. Toedelingen op het netwerk laten, voor kalibratie-slag, reeds een goede globale fit zien. Op basis van deze validaties biedt het instrument een op dit moment voldoende onderbouwd systeem om verkennende analyses uit te voeren.

#### 4. Illustratieve toepassing via verkennende generieke scenario's

##### 4.1 Aanleiding

Op dit moment, najaar 2016, is het volledige strategische modelinstrument geïmplementeerd in een werkend prototype om de nodige verdere validaties uit te voeren. Het geheel is operationeel in een werkbare gebruikersinterface en biedt de mogelijkheid om



een breed spectrum aan beleidsoefeningen te onderzoeken. Gegeven de radicaal verschillende aanpak tegenover de vorige generaties van strategische verkeersmodellen, wordt onderkend dat de inzet, het gebruik en de interpretatie van de resultaten een aanpassing vraagt in het heersende evaluatie-paradigma: gevoeligheid van het model, en daarbij horende voeling met verschuivingen tot zelfs afwenteling in keuzes moeten vanuit een ander perspectief bekeken worden dan de meer vigerende aanpak waarbij typisch louter aanbodsverbeteringen leiden naar bepaalde modale verschuivingen.

In deze context worden een set verkennende grootschalige en generieke oefeningen opgezet om enerzijds deze gevoeligheden in de vingers te krijgen en anderzijds net de nieuwe en verruimde mogelijkheden van het agent-gebaseerde raamwerk te illustreren. In volgende paragrafen worden enkele van deze verkenningen voorgesteld. In elke oefening wordt de voorgestelde maatregel vanuit verschillende perspectieven, of termijnen, bekeken: aangezien het ontwikkelde raamwerk toelaat om naar keuze onderdelen van het keuzemodel naar wens in of uit te schakelen, is het aantrekkelijk om de impact te bekijken op gefaseerde basis. Telkens wordt eerst onderzocht wat het effect is geïsoleerd naar vervoerwijzekeuze, dus bij ongewijzigde patronen. Een stap verder wordt bekeken wat de impact is van de maatregel op bestemmingskeuze, waarbij verschuiving van patronen mogelijk is. Als laatste wordt een meest lange-termijn effect bestudeerd waarbij de agenten ook reis-beslissing zelf kunnen aanpassen, wat kan resultaten in toe- dan wel afname van aantal verplaatsingsketens.

#### 4.2 Scenario vermindering autobezit

De Belgische bevolking, met het gewest Vlaanderen op kop, kent een relatief hoog autobezit, deels veroorzaakt door gunstige fiscale regelingen rond kosten-aftrek en bedrijfswagens. Slechts een kwart van de gezinnen bezit geen eigen personenwagen, 20 procent van de gezinnen bezit twee of meer wagens. Dit hoge autobezit heeft niet onverwacht een directe impact op gebruik ervan, en beheersing van de auto-mobiliteit kan dan ook efficiënt aangepakt worden door het autobezit binnen de perken te houden. In voorliggende oefening wordt één op de acht personenwagens verwijderd door in de gedetailleerde populatie over heel België op gezinsniveau een deel van de wagens te schrappen.

Autobezit	Voor	(%)	Na	(%)	Evolutie
Gezinnen met 0 auto's	1 257 946	26.4	1 604 005	33.7	27.5
Gezinnen met 1 auto	2 537 649	53.2	2 385 398	50.1	-6.0
Gezinnen met 2 auto's	854 835	17.9	697 227	14.6	-18.4
Gezinnen met 3 auto's	113 279	2.4	77 789	1.6	-31.3
Gezinnen met meer dan 3 auto's	2 285	0.0	1 575	0.0	-31.1
<b>Totaal aantal auto's</b>	<b>4 597 854</b>		<b>4 020 838</b>		<b>-12.5</b>

Tabel 4: insteek scenario autobezit

In de nieuwe populatie in het scenario wordt één op drie gezinnen zonder wagen gezet en ongeveer 5 procent van de gezinnen met meer dan één wagen verliezen een voertuig. In volgende tabellen wordt het effect op marktaandeelen vervoerwijze opgelijst, beperkt tot de inwoners van het Vlaams gewest, en dit in de verschillende fasen van het totale keuzeproces.

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	3 630 860	1 039 106	247 592	350 220	1 111 143	783 657	7 162 578
Impact M	3 354 704	1 100 336	275 050	401 082	1 184 767	846 639	7 162 578
Impact MD	3 337 834	1 089 907	286 651	406 584	1 186 851	854 749	7 162 576
Impact volledig	3 304 853	1 059 705	283 721	394 598	1 156 440	828 003	7 027 320

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
Referentie	50.69	14.51	3.46	4.89	15.51	10.94
Impact M	46.84	15.36	3.84	5.60	16.54	11.82
Impact MD	46.60	15.22	4.00	5.68	16.57	11.93
Impact volledig	47.03	15.08	4.04	5.62	16.46	11.78

Tabel 5: aandelen vervoerwijze voor alle motieven binnen verschillende fasen

In de referentie-situatie huidige toestand 2013 wordt bijna 51 procent van de totale tours met de wagen als bestuurder uitgevoerd. Bij het gewijzigde autobezit waarbij enkel de vervoerwijze wordt vrij gegeven, daalt dit naar net geen 47 procent. Dit effect kan gesteld worden representatief te zijn voor de situatie daags na het wegnemen van de bewuste wagens, waarbij alle tours uitgevoerd blijven, én nog steeds naar dezelfde hoofd-bestemming gaan. In deze situatie nemen de overige modi ongeveer gelijkmatig dit verloren auto-aandeel op. Wanneer een stap verder gezet wordt en de agenten ook de keuze krijgen om hun bestemming te wijzigen, rekening houdende met het feit of ze een wagen minder hebben. Tegenover de voorgaande situatie zijn de veranderingen subtiel, maar toch relevant: de getroffen populatie tracht nu lichtjes andere bestemmingspatronen te kiezen waarbij de auto minder relevant is, in dit geval daalt ook het aandeel auto-passagier en relatief gezien richten de langere tours zich nu iets makkelijker op bestemmingen die per trein te bereiken zijn.

Een derde fase van de berekening geeft het gehele keuzeprocess rond verplaatsingen vrij, waarbij de agenten ook de keuze krijgen om tours wel of niet uit te voeren. Duidelijk te zien is dat het totaal aantal tours uitgevoerd nu met bijna 2 procent daalt. Het totale aantal verplaatsingen als auto-bestuurder daalt ook met een goeie 30.000, maar het relatieve marktaandeel auto stijgt opnieuw. Hoewel contra-intuïtief laat het totale model hier een meer genuanceerd beeld zien: gezinnen met een lager autobezit maken in globo iets minder tours, wat pragmatisch resulteert in een set van uiteindelijke tours die op zich gemaakt worden door agenten met een relatief hoger aandeel auto's ter beschikking. Het effect is niet heel erg groot, maar wel voldoende significant om het totale auto-aandeel opnieuw lichtjes te zien stijgen.

Werk	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	1 277 312	80 694	173 646	83 018	252 715	59 142	1 926 527
Impact M	1 189 788	98 081	198 217	98 233	278 467	63 741	1 926 527
Impact MD	1 179 537	95 607	208 639	96 542	281 177	65 025	1 926 527
Impact volledig	1 177 227	96 094	207 664	96 806	282 205	65 473	1 925 469

Werk	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
Referentie	66.30	4.19	9.01	4.31	13.12	3.07
Impact M	61.76	5.09	10.29	5.10	14.45	3.31
Impact MD	61.23	4.96	10.83	5.01	14.60	3.38
Impact volledig	61.14	4.99	10.79	5.03	14.66	3.40

Tabel 6: aandelen vervoerwijze voor motief werk binnen verschillende fasen

Voor het motief werk is de directe impact van het wegnemen van de wagen zichtbaar groter aangezien dit motief op zich in grotere mate steunt op beschikbaarheid van de

wagen. Bovendien is het minder evident om de werkverplaatsing niet langer te maken wanneer het autobezit daalt.

Overige	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	858 285	123 419	4 492	20 309	125 623	152 058	1 284 186
Impact M	758 006	157 123	5 447	37 579	152 595	173 436	1 284 186
Impact MD	754 993	149 868	6 323	41 289	154 774	176 938	1 284 185
Impact volledig	754 848	132 555	5 080	30 510	135 415	158 796	1 217 204

Overige	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
Referentie	66.83	9.61	0.35	1.58	9.78	11.84
Impact M	59.03	12.24	0.42	2.93	11.88	13.51
Impact MD	58.79	11.67	0.49	3.22	12.05	13.78
Impact volledig	62.01	10.89	0.42	2.51	11.13	13.05

Tabel 7: aandelen vervoerwijze voor motief overige binnen verschillende fasen

In dit licht laat net het niet-captive motief overige een grotere variatie zien: in totaal zakt bij de volledige benadering het aantal tours met meer dan 5 procent, wat de grotere volatiliteit ten opzicht van autobezit illustreert. Met een perverse bril kan ook geformuleerd worden dat een lager autobezit resulteert in het wegvallen van tours voor motief overige met niet-auto modi, maar theoretisch modelleert het instrument niet het wegnemen van personenwagens maar eerder het ter beschikking zijn van minder personenwagens: het totale instrument heeft geen 'geheugen' en simuleert elke situatie vanaf een wit blad.

Aansluitend laat een overzicht van de gemiddelde ritlengtes per mode een eerder kleine impact zien van de voorgestelde maatregelen.

Gem.Ritlengte	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	13.73	13.40	49.85	14.11	3.87	2.01	12.14
Impact M	13.89	13.56	49.14	13.90	3.91	2.01	12.14
Impact MD	13.92	13.77	50.06	14.11	3.85	2.00	12.27
Impact volledig	13.87	13.80	50.06	14.23	3.88	2.00	12.30

Tabel 8: gemiddelde ritlengtes naar mode binnen verschillende fasen

In een eerste fase wordt geen bestemmings-verschuiving gemodelleerd, de globale ritlengte blijft dan ook identiek op 12,14 kilometer. Toch stijgt de gemiddelde autoritlengte wat betekent dat eerder de kortere auto-verplaatsingen wegvallen, waar de andere modi een ruimer alternatief kunnen bieden. Wanneer bestemmingskeuze vrij gegeven wordt, zien we dat de gemiddelde ritlengte iets toeneemt, vooral voor de mode trein, wat wijst op een verschuiving naar tours die beter aansluiten aan stations-locaties. Deze manifestatie van de keuzemodellen op agent-niveau en de soms onverwachte uitkomsten illustreert de kracht van de gedetailleerde modellering waarbij alle kenmerken mee genomen worden in het keuzegedrag, en waarbij inherent keuzes en kenmerken elkaar onderling kunnen beïnvloeden.

Over het geheel aan berekeningen laat het raamwerk een geloofwaardig resultaat zien, waarbij het wegnemen van één auto op 8 resulteert in een afname van het auto-gebruik, weliswaar niet in dezelfde relatieve omvang.

#### 4.3 Scenario verhoging werkzaamheidsgraad

In België ligt de werkzaamheidsgraad over de gehele populatie net boven de 40 procent, bijna 20 procent is gepensioneerd en 8 procent is gecatalogeerd als werkzoekende. In

een fictieve oefening wordt onderzocht wat de impact op de mobiliteit is wanneer de werkzaamheidsgraad zelf stijgt met 5 procent vertrekkende van activering van werkzoekenden, niet-actieven en gepensioneerd door bijvoorbeeld een hogere pensioensleeftijd. De populatie op detail-niveau wordt op volgenden manier aangepast.

Kenmerk	Voor	(%)	Na	(%)	Evolutie
<b>Actief</b>	4 474 571	40.3	5 090 402	45.8	13.8
<b>Zoekend</b>	912 274	8.2	622 496	5.6	-31.8
<b>Inactief</b>	732 312	6.6	632 553	5.7	-13.6
<b>Gepensioneerd</b>	2 166 521	19.5	1 940 227	17.5	-10.4
<b>Baby</b>	320 795	2.9	320 795	2.9	0.0
<b>Leerling</b>	1 975 364	17.8	1 975 364	17.8	0.0
<b>Student</b>	384 091	3.5	384 091	3.5	0.0
<b>Niet-zelfstandig</b>	149 786	1.3	149 786	1.3	0.0

Tabel 9: insteek scenario werkzaamheidsgraad

Deze oefening is op zich sterk synthetisch: een dusdanige drastische wijziging van de populatie-kenmerken zal ongetwijfeld ook impact hebben op andere socio-demografische kenmerken zoals gezins-samenstelling, autobezit, inkomen, ... maar deze verdiscontering werd niet door de Population Simulator uitgevoerd net om een abstracte directe impact op mobiliteit alleen te bekomen.

De verschillende fasen van de berekeningen zijn daarom ook met de nodige omzichtigheid te bekijken: de eerste twee fasen waar respectievelijk enkel vervoerwijzekeuze dan wel vervoerwijze- en bestemmingskeuze worden vrij gegeven, werken beide met een basis set aan tours waarbij er geen nieuwe werktours gevormd werden. Of anders gesteld, deze geïsoleerde oefeningen bekijken de impact van het wijzigen van hoedanigheid van de agent zonder daar de logische wijziging van tourmotieven per se aan vast te koppelen.

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
<b>Referentie</b>	3 630 860	1 039 106	247 592	350 220	1 111 143	783 657	7 162 578
<b>Impact M</b>	3 636 252	1 041 643	247 181	344 052	1 110 910	782 540	7 162 578
<b>Impact MD</b>	3 637 755	1 040 368	246 781	344 056	1 110 477	783 140	7 162 577
<b>Impact volledig</b>	3 665 732	1 026 832	264 027	351 319	1 113 959	768 844	7 190 713

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
<b>Referentie</b>	50.69	14.51	3.46	4.89	15.51	10.94
<b>Impact M</b>	50.77	14.54	3.45	4.80	15.51	10.93
<b>Impact MD</b>	50.79	14.53	3.45	4.80	15.50	10.93
<b>Impact volledig</b>	50.98	14.28	3.67	4.89	15.49	10.69

Tabel 10: aandelen vervoerwijze voor alle motieven binnen verschillende fasen

Werkzamen hebben in het vraagmodel een hogere voorkeur voor autogebruik en daardoor zullen bij het herzien van vervoerwijzekeuze, afzonderlijk dan wel gecombineerd met bestemmingskeuze, de aandelen van de automodi lichtjes stijgen. Bij de volledige doorrekening wijzigt de samenstelling van de tours, waarbij meer werk- en minder andere verplaatsingen zullen gemaakt worden, met een netto toename van bijna 30.000 tours voor Vlaanderen. Typische werk-modi zoals auto en trein trekken daarbij verder aan, motieven met hogere aandelen langzaam vervoer zakken weg en bijgevolg ook die marktaandelen in de modale verdeling.

Gem.Ritlengte	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	13.73	13.40	49.85	14.11	3.87	2.01	12.14
Impact M	13.74	13.39	49.84	14.10	3.87	2.01	12.14
Impact MD	13.72	13.42	49.78	14.11	3.87	2.01	12.13
Impact volledig	14.05	13.45	50.00	14.18	3.89	2.01	12.43

Tabel 11: gemiddelde ritlengtes naar mode binnen verschillende fasen

Deze verschuiving manifesteert zich ook in de ritlengtes, waarbij zowel auto als trein net hoger uit komen. De toename van ritlengte auto met één derde kilometer lijkt in globaal weinig, maar komt wel neer op een verhoging van totale autoprestaties op het net van 2 procent.

#### 4.4 Scenario aanpassing fiscaliteit rond kosten auto en OV

In België is het mogelijk om kosten gerelateerd aan auto- of OV-verplaatsingen fiscaal in mindering te brengen voor werkgerelateerde verplaatsingen, waardoor de gebruiker slechts gedeeltelijk de werkelijke kosten aanreken. Daarnaast is er een sterke aanwezigheid van bedrijfswagens die ter beschikking gesteld worden voor privé-gebruik, waardoor gebruikers ook hun andere niet-werkgerelateerde autoverplaatsingen als het ware gratis kunnen maken. Daarnaast bestaan er verschillende formules voor schoolgaanden om OV-kosten te reduceren. Het ontwikkelde raamwerk neemt deze kenmerken op in de modelvoering, waarbij grosso modo woon-werk en –school voor auto en OV sterk in prijs verminderd ofwel geheel gratis aangeboden worden, en agenten die over een bedrijfswagen beschikken, goed voor bijna één op vier, slechts marginale autokosten hebben voor alle verplaatsingen.

Deze historisch gegroeide regeling maakt het moeilijk om direct via financiële maatregelen in te spelen op het autogebruik waardoor één van de meest efficiënte sturingen onbruikbaar zijn. Daarom worden enkele extreme oefeningen uitgevoerd om de impact in te kunnen schatten. In eerste instantie worden alle reducties voor autokosten opgeschort, wat voor een aanzienlijk deel van de verplaatsingen een kostenstijging met factor 10 of meer voorstelt. Een verdere oefening maximaliseert vervolgens de OV-reducties naar alle gebruikers en verplaatsingen, en stelt alle OV gratis beschikbaar.

Het voorgestelde scenario is eerder buitensporig van opzet, en zou ongetwijfeld ook significante verschuivingen in andere kenmerken en omstandigheden veroorzaken, maar die worden hier opnieuw buiten beschouwing gelaten teneinde een idee te krijgen van de maximale impact. Aangezien de kosten voor auto noch OV directe impact hebben op het tour-model, en met andere woorden geen aanleiding geven tot andere tours, worden enkel de effecten op vervoerwijze- en bestemmingskeuze bekeken.

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	3 630 860	1 039 106	247 592	350 220	1 111 143	783 657	7 162 578
Impact M	2 864 318	1 577 892	235 563	373 762	1 301 713	809 330	7 162 578
Impact MD	3 002 882	1 246 122	152 336	339 655	1 538 462	883 121	7 162 578

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
Referentie	50.69	14.51	3.46	4.89	15.51	10.94
Impact M	39.99	22.03	3.29	5.22	18.17	11.30
Impact MD	41.92	17.40	2.13	4.74	21.48	12.33

Tabel 12: aandelen vervoerwijze voor alle motieven binnen verschillende fasen met volle autokosten

De directe impact is zeer groot te noemen, waarbij het aandeel bestuurder met 10 procent terug valt wanneer enkel vervoerwijzekeuze wordt uitgevoerd. Opvallend dat in deze situatie er een sterke verschuiving naar auto-passagier plaats vindt, zonder uitspraak te doen of deze mogelijkheid zich altijd aanbiedt. Wanneer de agenten ook de mogelijkheid hebben om hun bestemming te wijzigen, zien we een rechtzetting waarbij gekozen wordt voor bestemmingen die duidelijk dichter bij de herkomst liggen, waardoor ook de langzame modi oppikken.

Gem.Ritlengte	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	13.73	13.40	49.85	14.11	3.87	2.01	12.14
Impact M	10.74	20.22	47.20	14.25	4.74	2.06	12.14
Impact MD	8.29	15.00	39.77	12.88	4.22	2.04	8.70

Tabel 13: gemiddelde ritlengtes naar mode binnen verschillende fasen met volle autokosten

De verdeling van de ritlengtes ondersteunt deze conclusie. Verder manifesteert een typisch verschijnsel dat de bereikbaarheid van één mode naar een bepaalde bestemming intrinsiek ook de andere modi beïnvloedt door het feit dat de globale aantrekkelijkheid van die bestemming in zijn geheel afneemt.

Zoals gezegd is de gemodelleerde impact zeer groot. Enerzijds moet in het achterhoofd gehouden worden dat dit scenario de gehele populatie treft, waar de vorige scenario's rond autobezit en werkzaamheidsgraad enkel geldt voor een kleiner deel van de bevolking. Anderzijds kan niet anders gezegd worden dat de fictieve maatregel bijzonder extreem is en in feite te sterk afwijkt van de huidige situatie waarop het model en het keuzegedrag geschat werden: de momenteel geldende fiscale stimuli vinden hun weg in de schatting en geven inherent aanleiding tot sensitiviteiten en keuzeparameters die eerder 'scherp' gezet worden op de zeer lage huidige kostenstructuur. Waar deze punt-elasticiteit op dit moment een goed beeld geeft voor normale varianties binnen de kosten, riskeren ze te extreem te zijn voor zeer grote verschuivingen zoals in dit scenario aangeboden. Naar verwachting vlakken deze gevoeligheden af naarmate verder verwijderd wordt van de huidige omstandigheden ten gevolge van andere mogelijke compensaties.

Desalniettemin biedt het verkeersmodel een duidelijk beeld op de grote impact en de mogelijkheden die afschaffing van fiscale gunstmaatregelen kan bieden. De effecten worden verder uitvergroet wanneer ter ondersteuning ook alle OV gratis aangeboden wordt, bovenop de eerdere afschaffing van reductie autokosten.

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	3 630 860	1 039 106	247 592	350 220	1 111 143	783 657	7 162 578
Impact M	2 636 822	1 231 572	647 720	601 056	1 241 970	803 438	7 162 578
Impact MD	2 389 464	1 077 770	1 455 115	455 044	1 011 895	773 290	7 162 578

Totaal	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet
Referentie	50.69	14.51	3.46	4.89	15.51	10.94
Impact M	36.81	17.19	9.04	8.39	17.34	11.22
Impact MD	33.36	15.05	20.32	6.35	14.13	10.80

Tabel 14: aandelen vervoerwijze voor alle motieven binnen verschillende fasen met volle autokosten en gratis OV

Het aandeel auto als bestuurder zakt nog verder weg, en vooral de mode trein profiteert hier het meest van. Dit op zich is het logische gevolg van het feit dat tegenover de mode BTM in praktijk de trein relatief behoorlijk duur is, zeker op langere afstanden waar de prijs blijft toenemen. In de meest extreme situatie waar agenten ook hun bestemming kunnen wijzigen neigt het modelinstrument naar een in praktijk onrealistisch hoog

aandeel trein: het bestemmingskeuzemodel wordt in deze omstandigheden een alternatief per trein gekozen waar de kosten quasi wegvallen en de daadwerkelijke afstand tussen herkomst en bestemming nog slechts zeer beperkt speelt.

Gem.Ritlengte	Bestuurder	Passagier	Trein	BTM	Fiets	Te Voet	Totaal
Referentie	13.73	13.40	49.85	14.11	3.87	2.01	12.14
Impact M	9.06	14.64	43.01	16.70	4.42	2.04	12.14
Impact MD	8.47	14.13	61.90	19.06	3.91	2.02	16.15

Tabel 15: gemiddelde ritlengtes naar mode binnen verschillende fasen met volle autokosten en gratis OV

De verdeling van ritlengte per mode illustreert deze aberratie verder. Zonder bijkomende condities zoals capaciteitsbeperkingen op OV of correcties op sensitiviteiten ten opzichte van extreme instellingen komt het model uit op een gemiddelde ritlengte met de trein van meer dan 60 kilometer !

Hoewel het agent-gebaseerd raamwerk op zich het effect wel degelijk onderkent, en naar alle waarschijnlijk ook correct als zeer sterk inschat, toont dit scenario nogmaals aan dat elke modeltoepassing met gezond verstand moet getoetst worden op relevante met oog voor inzet binnen de juiste grenzen van gevoeligheid.

## 5. Conclusies en verder onderzoek

Het ontwikkelde agent-gebaseerde raamwerk voor het vraagmodel voor personen op basis van microsimulatie biedt de vereiste eigenschappen en mogelijkheden om op een volledig gedetailleerd niveau aparte personen te modelleren, en daarbij rekening te houden met alle relevante kenmerken. Door de hoge bekomen performantie kan deze opbouw eenvoudig geschaald worden naar verschillende niveaus, waarbij een omvattend keuzegedrag garandeert dat met alle gekende gevoeligheden in het keuzegedrag rekening gehouden wordt. De bekomen resultaten van zowel referentie als sensitiviteits-oefeningen tonen een gezonde werking van de keuzemodellen, en bieden een rijke en volledige bron aan informatie via de totale discrete beschrijving van de verplaatsingspatronen.

Het gehele systeem biedt een makkelijk platform voor verdere uitbreiding en koppeling van bijkomende functionaliteiten en beperkt zich in opzet niet tot vooraf gedefinieerde groepen of afbakeningen.

Verder validatie-werk wordt uitgevoerd om de gehele werking volledig in de vingers te krijgen en de bestaande 3<sup>de</sup> generatie verkeersmodellen in Vlaanderen gradueel te vervangen vanaf 2017.

Daarnaast wordt verder onderzoek aangevat om onder andere het autobezitsmodel te vertalen naar een autobeschikbaarheidsmodel op gezinsniveau, om een discreet simulatie-model voor P+R toe te voegen, om het bestaande geaggregeerde grensoverschrijdend verkeersmodel in een discrete aanpak te gieten en om de interne simulatie-error nog verder te controleren.

## Referenties

- Arentze, Theo, en Harry Timmermans. Albatross: a learning based transportation oriented simulation system. Eindhoven: Eirass, 2000.
- J.L. Bowman, M.A. Bradley, J. Gibb (2006) THE SACRAMENTO ACTIVITY-BASED TRAVEL DEMAND MODEL: ESTIMATION AND VALIDATION RESULTS. Paper presented at the European transport Conference, Strasbourg.
- De Bok, M., G. De Jong, J. Baak, E. Helder, Eveline Helder, C. Puttemans, K. Verlinden, D. Borremans, R. Grispen, J. Liebens, M. Van Criekege. A Population Simulator and Disaggregate Transport Demand Models for Flanders. In Transportation Research Procedia, Current practices in transport: appraisal methods, policies and models – 42nd European Transport Conference Selected Proceedings, Vol 8, 2015, Pages 168–180.
- Castiglione, J., J. Freedman en M. Bradley, Systematic Investigation of Variability due to Random Simulation Error in an Activity-Based Microsimulation Forecasting Model. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1831, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2003, pp. 76–88.
- Cools, Mario, et al. Assessment of the effect of micro-simulation error on key travel indices: Evidence from the activity-based model feathers. (2011).
- Daly, A. Prototypical sample enumeration as a basis for forecasting with disaggregate models. TRANSPORTATION PLANNING METHODS. PROCEEDINGS OF SEMINAR D HELD AT AET EUROPEAN TRANSPORT CONFERENCE, LOUGHBOROUGH UNIVERSITY, UK, 14-18 SEPTEMBER 1998. VOLUME P423. 1998.
- Freedman, J., J. Castiglione en B. Charlton, Analysis of New Starts Project by using tour-based model of San Francisco, California. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1981, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2006, pp. 24–33.
- Grebe, Stefan, et al. Redeveloping the Strategic Flemish Freight Transport Model. Commercial Transport. Springer International Publishing, 2016. 3-21.
- Helder, Eveline en Kurt Verlinden. SVM Vlaanderen 4<sup>de</sup> generatie: modelvoering en resultaten, 2016.
- Horni, A. DESTINATION CHOICE MODELING OF DISCRETIONARY ACTIVITIES IN TRANSPORT MICROSIMULATIONS, (thesis 2013)
- Miller, E.J., en M.J. Roorda. A Prototype Model of Household Activity/Travel Scheduling. Presented at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2003.
- Rasouli, Soora, en Harry Timmermans. "Probabilistic forecasting of time-dependent origin–destination matrices by a complex activity-based model system: effects of model uncertainty." International Journal of Urban Sciences 17.3 (2013): 350-361.
- Veldhuisen, J., H. Timmermans, en L. Kapoen. Microsimulation Model of Activity-Travel Patterns and Traffic Flows: Specification, Validation Tests, and Monte Carlo Error. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1706, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000, pp. 126–135.



- Verlinden, Kurt et al. Micro-simulation with discrete choice models: application in Flanders, ETC proceedings 2015.
- Verlinden, Kurt. Personenmodel 4de generatie: technische rapportage, 2016.
- Verlinden, Kurt en Cindy Puttemans. Population Simulator v4: technische rapportage, 2016.
- P. Vosha, R. Donnelly, S. Gupta (2008) Network equilibrium with activity-based microsimulation models – The New York Experience. Transportation Research Record No 2054, pp. 102-109.
- Walker, Joan. Making household microsimulation of travel and activities accessible to planners. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1931 (2005): 38-48.
- Yasmin, F., C. Morency en M. J. Roorda. Macro-, meso-, and micro-level validation of an activity-based travel demand model. Presented at the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 2014.