

# Kalibratie op tellingen in een agent-gebaseerd model

Bart Wesseling – Significance – wesseling@significance.nl

Kurt Verlinden – Significance – verlinden@significance.nl

## Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 21 en 22 november 2019, Leuven

### Samenvatting

Deze paper beschrijft de kalibratie en correctie methodiek in het Vlaams Strategisch transport model. De 4<sup>e</sup> generatie van deze modellen bestaat uit een volledig agent-based vraagmodel, waarbij de hele Belgische populatie met al zijn individuele en huishoudkenmerken wordt gemodelleerd. Het model gebruikt de algemeen geaccepteerde logit formulering maar kan door de agent-based aanpak een veel rijker hoeveelheid aan interacties meenemen dan in de klassieke geaggregeerde of gedesaggregeerde aanpak, waardoor het reisgedrag nauwkeuriger en realistischer gemodelleerd wordt.

Het agent-based ontwerp van het model zorgt voor een geïntegreerde aanpak waarbij het gedrag op het micro level wordt gemodelleerd waarbij nog steeds allerlei grootschalige en generieke beleidsmaatregelen door zijn te rekenen, waarbij de gedragsreactie tot op het micro-level beschikbaar zijn.

Een algemeen geaccepteerde methode in het bouwen van de strategische transport modellen is het combineren van synthetische OD-matrices met verkeerstellingen gemeten op specifieke locaties in het netwerk. In deze paper presenteren wij een nieuwe methode om de extra informatie die verkeerstellingen bieden mee te nemen in grootschalige strategische transport modellen. Deze nieuwe methode bestaat uit twee delen:

1. Het kalibratie probleem wordt geherformuleerd waarbij direct de resultaten uit het vraagmodel worden geoptimaliseerd. In het Vlaams strategisch verkeersmodel bestaat dat uit een tourpartroon dat door een agent wordt afgelegd. In deze herformulering worden niet zoals gebruikelijk OD-matrices geoptimaliseerd maar gewichten voor tours geoptimaliseerd om tellingen te matchen.
2. De uitkomsten van het kalibratie proces worden niet direct in het model gebruikt maar het agent-based vraag model wordt gecorrigeerd om beter aan te sluiten bij verkeerstellingen.

Een voordeel van deze nieuwe aanpak is dat de relatie tussen het vraagmodel en de kalibratie methodiek niet verloren gaat. Omdat deze relatie niet verloren is gegaan in het kalibratie-proces is het mogelijk om het vraagmodel niet alleen te corrigeren op basis van tellingen maar ook het vraagmodel inhoudelijk te verbeteren.

De relatie tussen de kalibratie en het vraagmodel is op het meest gedetailleerde niveau te maken. De resultaten zijn terug te brengen tot een gewicht per tour van een specifiek individu. Dit maakt het mogelijk het model te verbeteren met de extra informatie die de kalibratie op tellingen het model geeft. Deze extra informatie wordt meegenomen door correctiefactoren te berekenen voor de algemene logit formules. Deze correcties hebben het voordeel dat de resultaten van het model nog steeds volledig discreet zijn. Waardoor de enorme rijkdom van een agent-based aanpak behouden blijft ook nadat het model gecorrigeerd is om beter overeen te komen met verkeerstellingen.

## 1. Vierde generatie strategische transport modellen in Vlaanderen

In 2014 is de Vlaamse overheid begonnen met de ontwikkeling van de 4<sup>e</sup> generatie strategische transport modellen. Deze 4<sup>e</sup> generatie modellen bestaan voor de modellering voor het personenverkeer uit een volledig agentgebaseerd vraagmodel. Het vraagmodel gaat uit van een synthetische populatie gemaakt door de populatie simulator (De Bok et al. 2014) die op basis van 'bekende' logit formulering de verschillende keuzes in het vraagmodel afgaat. Deze logit formulering wordt gecombineerd met een volledig discrete keuze tot op het grootste detail niveau van personen en huishoudens. Het voordeel van deze discrete formulering van het vraagmodel maakt het mogelijk om een veel grotere set aan verklarende variabelen en interactie tussen verschillende variabelen mee te nemen dan in klassieke geaggregeerde of gedesaggregeerde keuzemodellen.

Het verkrijgen van de keuzes op het persoonsniveau gebeurt aan de hand van Monte-Carlo simulatie technieken. Hiermee ontstaat voor de gehele Belgische populatie voor ieder individu een volledige beschrijving van zijn of haar reispatroon. Het Vlaamse model modelleert zo goed mogelijk een representatieve werkdag. Voor elk inwoner van Vlaanderen wordt een typische dag gemodelleerd, zodat het verkeer en vervoerspatroon op de gemodelleerde dag zo goed mogelijk overeen komt met een gemiddelde niet vakantie werkweekdag in Vlaanderen.

Het strategische verkeersmodel Vlaanderen is gebaseerd op toers, die discreet bepaald zijn. Bijvoorbeeld: toer 1 heeft motief woon-werk, begint in zone 15, is gemaakt door een jongvolwassene van 28jaar en gaat naar zone 21 met de trein. Tour 2 heeft motief werk, begint in zone 1, is gemaakt door iemand van 52 en gaat naar zone 4 met de wagen. Deze resultaten zijn discreet, en worden geloot uit een kansverdeling die gebaseerd is op waargenomen reisgedrag.

Het strategische personenmodel Vlaanderen is opgebouwd uit verschillende deelmodellen. Deze verschillende deelmodellen zijn op basis van verschillende enquêtes geparametriseerd, zoals de Onderzoeken Verplaatsingsgedrag (OVG's). De uitkomsten van het model komen zo goed mogelijk overeen met de uitkomsten uit deze enquêtes. Naast deze enquêtes is er ook nog andere data beschikbaar op basis waarvan de uitkomsten kunnen worden gekalibreerd. Het gaat hierbij klassiek om telgegevens voor het autoverkeer en het openbaar vervoer, zowel trein als BTM. Het strategische personenmodel Vlaanderen versie 4.2.1-model wordt gekalibreerd op basis van deze telgegevens. Het doel van deze kalibratie is om de resultaten van het model beter te laten corresponderen met de telgegevens.

De modellering van verplaatsingspatronen is gebaseerd op onderstaande deelmodellen:

- Toerfrequentiemodel, ook wel toergeneratiemodel genoemd, voor hoofdtoers: wat is de kans dat een persoon op een bepaalde dag één of meer toers maakt, en met welk motief ?
- Toerfrequentiemodel voor neventoers: wat is de kans op het maken van een nevenverplaatsing bij een gegeven hoofdtoer ?
- Simultaan geformuleerd vervoerwijze-, bestemmings- en tijdstipkeuzemodel: welke vervoerwijze, welke bestemming en welk tijdstip wordt gekozen om een bepaalde toer te maken ?

- Nevenbestemmingskeuzemodel: indien er neventoers zijn, welke bestemming wordt in dat geval gekozen ?

Waar noodzakelijk en relevant, wordt een terugkoppeling gebruikt tussen de verschillende deelstappen om desgevallend gewijzigde omstandigheden voor eerdere keuzes te herbekijken. Alle deelmodellen zijn discrete keuzemodellen. Deze worden gebruikt om de keuze van een beslissingsnemer voor één alternatief uit een set van alternatieven te modelleren.

De strategische verkeersmodellen worden door de Vlaamse overheid ingezet bij onder andere netwerkevaluaties, het evalueren van effecten van verschillende ruimtelijke scenario's, het opstellen van mobiliteitsprofielen van grootschalige projecten en ter ondersteuning van MER- en MKBA-studies om zo beleidsondersteuning te bieden.

## **2. Literatuur overzicht**

The greatest part of International literature in calibration of travel demand models focus on which optimization technique should be used. In (Lindveld, 2003) and (Cascetta & Russo, 1997) an overview is given of optimization techniques. All these techniques have in common that they optimize OD matrices. In (Lindveld, 2003) an extension to dynamic OD matrices to traffic counts is presented.

The attention in the development of travel demand models shifted from conventional 4-steps models to more complex travel demand models: such as tour-based-models, activity-based-models and travel demand models that include microsimulation (agent-based). In (Davidson, et al., 2007) an overview of these new modelling techniques is given. The paper describes the advantages of these models and the valid concerns regarding these models. The first step was making these more complex travel demand models, an important second step in making a model that is suitable for policy analysis is that the model adequately reproduces base year situations. Because of the availability of traffic counts these are mostly one of the important sources of extra information regarding the base year. The focus on calibration techniques shifted towards how in an agent-based or activity based travel demand model calibration to traffic counts should be done.

A first approach is presented in (Bowman, Bradley, & Gibb, 2006) where the activity-based travel demand model is calibrated and validated. The calibration of the model to other external data than the household travel survey, on which the model was build on, consists of comparison to: census data, transit on-boards surveys and screenline and other counts.

The parameters of the modal are sequentially calibrated from top to bottom following the hierarchy of the calibrated model. In the calibration adjustment to the distribution of the commute distance is made, also specific attention is paid to calibration of the car availability model. A third topic of interest for the calibration is the calibration to counts, screenlines and transit trip counts. The paper mentions that this calibration is still ongoing while writing the paper. They expected to adjust the modal-split model, with

alternating mode specific constants and introducing submode-specific parameters and subregion specific calibration constants.

In our view trip length distributions and car ownership rates are important matrices for a travel-demand model. In the case of the Flemish agent-based model the output of the model is all-ready checked for reproduction of these statistics before the calibration starts. The best available data for these matrices (trip length distribution and car ownership) is in the travel survey used to make the model in the first place. This means that it can't be used as extra source of information to calibrate the model to.

In (Cools, Moons, & Wets, 2010) different ideas for calibration of activity based models with external information are presented. The ideas presented consist of:

- A 'crude' approach in which data is altered to better correspond the data to which is calibrated.
- Introducing fractional weights to activity patterns of persons
- Alter the core of the travel demand model, in this case the scheduling rules which makes the activity patterns. And altering the scheduling rules with zone-specific rules. The paper shows practical examples of the second and third option, while route choice modelling and mode choice were not taken into account. So reducing the complexity of the problem that needs to solved. The paper recommends the combination of the different ideas of calibration of an activity based model.

A third approach in calibration of agent-based modal systems is presented in (Najmi, Rashidi, & Miller, 2018). This modal not only focus on how the model parameters can be calibrated on the bases of link counts but also includes how simulation-error in the model can be reduced. Because all agent-based and activity based models use sampling techniques the issue of estimation-error is real and should have the attention of modelers. Large Scale Transport Planning Model Systems consist of two components the travel demand model and the network model. Most (maybe all) techniques that are reported in literature focus on calibration of one of these models. Calibration techniques of the network model is mostly limited to calibration of OD-matrix. Extension of the calibration by replacing the OD-matrix with the demand model itself "are quite challenging due to intense computation complexities" (Najmi, Rashidi, & Miller, 2018). In the paper a few conventional calibration techniques of a network model are discussed:

- Using OD K-factors, where an extra utility of disutility is added to logit formulation
- Adjusting alternative-specific constants in the logit formulation
- OD matrix estimation and using a pivot-point method to come to a simulated forecast year. In this paper there is suggested that using absolute differences are most commonly used method. In our view a more widely used system is using relative differences and only in certain extreme situations a combination of relative and absolute differences. See for instance (Daly, Fox, Patrui, & Milthorpe, 2012) for such a combination of pivot-point rules.

The paper (Najmi, Rashidi, & Miller, 2018) proposes a new calibration method in which a structured manner certain candidate parameters are considered and the best adjustments are selected. While reducing simulation error and calibrating the network and travel demand model and the same time. For the technical details of the new method the readers is referred to the original paper (Najmi, Rashidi, & Miller, 2018). The authors of this paper claim that they showed on a large scale transport planning model system

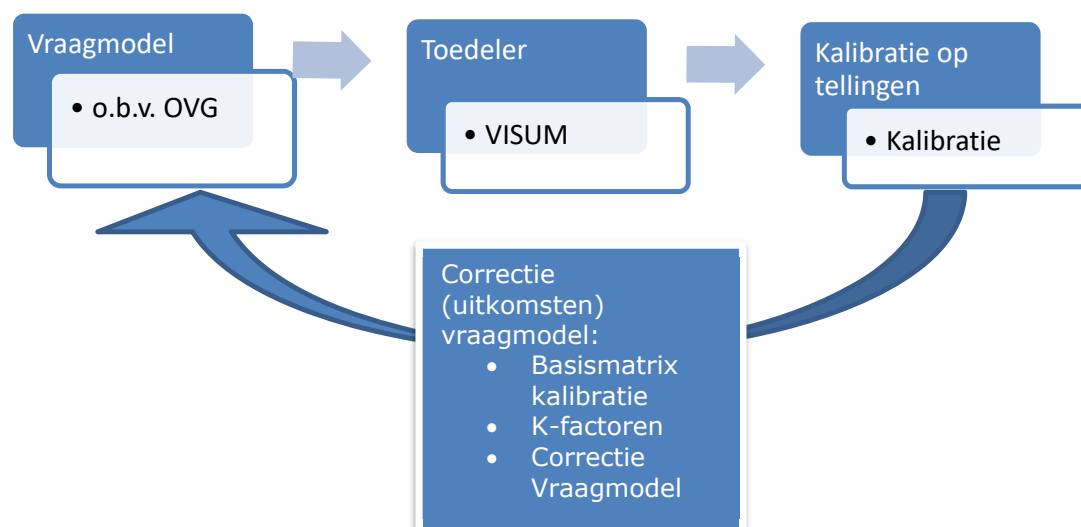
that there method is working. The model they used with 4 time periods and a network of 1753 links is a lot less complex that the Flemish transport planning model system with 24 time periods and 100.000+ network links. Because of the many different iterations over the whole model system that are needed in the proposed framework we do not think it's practically feasible to implement this idea in the Flemish strategic transport model.

### 3. Kalibratie op tellingen – hoe het beter kan

In onderstaand schema wordt schematisch de opbouw van een strategische verkeersmodel weergegeven. Een strategisch verkeersmodel bestaat uit het vraagmodel dat de verkeersvraag voor de verschillende vervoerswijze voorspelt. Deze verkeersvraag wordt vervolgens toegedeeld. In de vierde generatie strategische transportmodellen in Vlaanderen wordt gebruik gemaakt van toedelingen in het pakket VISUM. Bij het maken van strategische transportmodellen bestaat naast het ontwerpen en afzonderlijk parametrizeren van het vraagmodel en de toedelingen in de praktijk ook uit het uitvoeren van een kalibratie op locatie specifieke metingen, en dit voor meerdere modi. Verkeerstellingen zijn meestal een belangrijk onderdeel van deze locatie specifieke metingen.

De kalibratie op tellingen (en andere informatie) leidt tot een correctie van de uitkomsten van het vraagmoel en de toedelingen. Er bestaan hiervoor een aantal correctiemethodieken die vaak in strategische transport modellen wordt gebruikt. In het literatuur overzicht zijn deze correctie methodes ook al kort besproken. De belangrijkste twee methodes die veel worden toegepast bestaan het uitvoeren van een pivot op een gekalibreerde basismatrix of het toevoegen van zogenaamde K-factoren in het vraagmodel. Pragmatisch kan gesteld worden dat de eerste methodiek ingrijpt op bijsturing van de modelresultaten zelf, en de tweede mikt op het aanpassen van het vraagmodel zodat de modelresultaten beter passen bij de observaties.

Idealiter ligt de voorkeur niet bij het herwerken van de resultaten maar zou je het vraagmodel zelf willen verbeteren om beter overeen te komen met tellingen.



In deze paper presenteren wij een manier van kalibreren van een strategische transportmodel waarbij het mogelijk wordt om enkel de uitkomsten van het vraagmodel te corrigeren met de extra informatie die tellingen bieden maar om het vraagmodel zelf ook te optimaliseren. Met deze methode wordt de extra informatie die de kalibratie oplevert, gekoppeld aan de volledige rijkdom aan discrete resultaten die als resultaat van het agentgebaseerd vraagmodel beschikbaar is. Bovendien wordt de kalibratie-oefening zelf niet langer geaggregeerd over verplaatsingsmatrices uitgevoerd, maar meteen op de individuele agenten en hun toers. De methode bestaat uit een tweetal stappen:

1. Het kalibratie probleem wordt geherformuleerd waarbij direct de resultaten uit het vraagmodel worden geoptimaliseerd. In het Vlaams strategisch verkeersmodel bestaat dat uit een toerpartroon dat door elke agent wordt afgelegd. In deze herformulering worden dus niet langer HB-matrices geoptimaliseerd maar gewichten voor aparte toers geoptimaliseerd om tellingen te benaderen;
2. De uitkomsten van het kalibratie proces worden niet direct in het model gebruikt maar het agentgebaseerd vraagmodel wordt bijgestuurd om beter aan te sluiten bij verkeerstellingen.

Deze twee stappen worden in meer detail beschreven in de volgende paragrafen.

#### **4. Kalibratie op tellingen**

Klassieke kalibratie op basis van tellingen verloopt typisch op één vervoerwijze voor één bepaalde periode, bijvoorbeeld een auto-kalibratie voor de ochtendspits. De vraag zelf wordt in HB-matrixvorm aan het proces gegeven, net omdat de toedeling zelf zonaal geïënteerd is en de vraag in fit formaat toedeelt. Per HB-relatie of cel in de HB-matrix wordt informatie uit de toedeling gehaald om te bepalen welke fractie langs welke telling loopt. Het optimalisatie-proces zoekt naar de best mogelijke verschuiving in de opgegeven HB-matrix om zo goed mogelijk te voldoen aan de condities die door de tellingen, of eventuele andere bronnen, worden gevormd. Veel optimalisatie-processen werken hierbij intern met rij- en kolomfactoren, en behandelen dus geen aparte cellen. Het resultaat van deze aanpak is dan een gekalibreerde HB-matrix voor de bewuste mode en periode, waarmee de toedeling hopelijk zo goed mogelijk op de tellingen zal uitkomen.

In deze klassieke opzet vormen meerdere aspecten een beperking binnen ambitieuze modellen met een breed gamma aan uren en modi. Meest problematisch is het feit dat er niet of slechts benaderend kan gewerkt worden met échte simultane kalibratie: meeste pakketten zijn net beperkt tot één matrix tegelijkertijd, of opereren enkel parallel waarbij meerdere matrices in de berekening gaan maar er geen uitwisseling mogelijk is tussen die matrices. Net die uitwisseling is essentieel, want laat toe om verder te gaan dan enkel optimalisatie binnen één matrix wat pragmatisch neerkomt op verschuiven van herkomsten en bestemmingen, de enige 2 dimensies die aangeboden worden. In vele gevallen is het meer wenselijk dat bijvoorbeeld een autoverplaatsing die in uur 8 weggekalibreerd wordt, naar uur 9 verschuift indien een telling in dat uur meer verkeer vraagt. Identiek kan het aantrekkelijker zijn om binnen een bepaald uur een autoverplaatsingen te verschuiven naar een OV-trip, in geval tellingen op een corridor aangeven dat de vraag naar auto naar beneden moet, en de vraag naar OV omhoog.

Deze substitutie mogelijkheden kunnen enkel in de optimalisatie gebruikt worden indien er echte simultane kalibratie plaats vindt, waarbij ook tussen opgegeven HB-matrices kan geschoven worden.

Een andere eerder technische beperking binnen de optimalisatie zelf is de focus op correctie op rij- en kolombasis, eerder dan op individuele cel-basis. Wanneer volgens een telling een bepaalde cel omhoog moet, dan impliceert dit praktisch ook een verhoging van alle andere cellen in de rij en kolom. Soms is dat gewenst, maar evengoed zijn er redenen om onafhankelijkheid binnen rij en kolom te garanderen. Optimalisatie per cel legt natuurlijk een aanzienlijk groter beslag op resources aangezien het stelsel van onbekenden wijzigt van 2 x aantalzones naar maximaal aantalzones x aantalzones indien de HB-matrix volledig gevuld is.

Binnen het agentgebaseerde raamwerk van de Vlaamse 4<sup>de</sup> generatie verkeersmodellen vormt het ontbreken van simultaneïteit een eerste inhoudelijke verarming. Per agent is de volledige toer bekend met heen- en terugtijdstip gedetailleerd tot op 24 uren, en met daarbij de probabiliteiten naar gebruik van de verschillende vervoerwijzen. Kalibratie met opdeling naar modi en uren komt dan snel neer op 3 getelde modi x 24 getelde uren, zonder enige vorm van binding tussen deze aparte oefeningen: het is hierbij zomaar mogelijk dat een toer 's ochtends om 8 uur met de wagen naar beneden gekalibreerd wordt, maar 's avonds in de terugrit net omhoog.

Vertrekkende van deze uitgangspunten werd een volledig nieuw kalibratie-proces ontwikkeld en geïmplementeerd met nadruk op een zo open mogelijke formulering van het optimalisatie-vraagstuk. Basisidee is het verlaten van het object HB-matrix in de aanpak, maar eerder te richten op afzonderlijke cellen als onbekende. Dit laat toe om tegelijkertijd de twee eerder geformuleerde beperkingen te omzeilen: onbekenden kunnen uit diverse matrices, of uren of modi of motieven of klassen, komen zolang ze binnen de optimalisatie maar correct aan condities gekoppeld zijn die gelden voor de aangebrachte dimensies. Inherent is de aanpak via rij- en kolomcorrecties ook voorkomen.

Meer generiek kan deze nieuwe aanpak als volgt geformuleerd worden. Gegeven een set variabelen  $\mathbf{X}_i$  die op zich uit eender welke matrix kan komen. In dit geval vormt elke cel dan een aparte variabele  $\mathbf{X}$ . Naast de onbekenden is er ook een set aan condities  $\mathbf{C}_n$ . Voor elke conditie  $\mathbf{C}$  geldt:

$$\mathbf{C} = \sum_{p=1..k} \rho_p \mathbf{X}_p \rightarrow \mathbf{T}^*$$

Of anders geformuleerd, elke conditie  $\mathbf{C}$  wordt gevormd door een sommatie van een sub-selectie van  $\mathbf{X}_p$ , elk met hun eigen fractie  $\rho$ , en moet worden zijn aan een richtwaarde  $\mathbf{T}^*$  opgegeven door een observatie zoals een telling. Voor kalibratie komt de sub-selectie uit op  $\mathbf{T}'$ , optimalisatie leidt naar gekalibreerde  $\mathbf{X}^*_p \approx \mathbf{T}^*$ . Een uitgeïtereerde optimalisatie beoogt alle condities  $\mathbf{C}$  zo goed mogelijk te benaderen, én beoogt  $\mathbf{X}^*$  zo dicht mogelijk bij  $\mathbf{X}$  te houden.

Deze uitwerking laat eenvoudig simultaneïteit toe. Het is evident dat condities dusdanig geformuleerd kunnen worden dat de sub-selectie  $\mathbf{X}_p$  over matrices of dimensies heen kunnen gaan. Daarnaast biedt de formulering van condities de mogelijkheid om alle mogelijke condities te omvatten, gaande van verkeerstellingen per klasse of over klassen

heen, trip-ends, partiële HB-informatie, GSM-data tussen deelgebieden, triplengteverdelingen, ...

Deze uitgewerkte kalibratie-methodiek kan de nodige multi-dimensionaliteit van het agent-gebaseerde model eenvoudig opnemen. Toch blijft de aanpak via meervoudige matrices ontoereikend omdat de aparte uur- en mode-matrices de notie van toers die een heen- en terugrichting hebben, én meerdere nevenbestemmingen kunnen tellen, niet kan bewaren.

In de 4<sup>de</sup> generatie modelaanpak wordt dit principe dan ook verder verfijnd. Eerder dan te trachten gekalibreerde matrices, die finaal op basis van gekalibreerde ritten eigenlijk 'opgebroken' toers bevatten, over alle dimensies opnieuw in een discrete opzet te transformeren, wordt de werkwijze omgekeerd. In een klassieke opzet wordt de gemodelleerde synthetische vraag omgevormd naar matrices en via intercept-informatie op matrix-niveau gekalibreerd, in de omgekeerde nieuwe aanpak wordt de intercept-informatie die een verband legt met welke gebruikes wanneer aan welk telpunt passeren, getransformeerd naar het agent-gebaseerde formaat. Kalibratie zelf behandelt vervolgens geen matrix-cellen meer, maar elke individuele toer als een onbekende  $X$ , die synthetisch met een weegfactor van  $1$  aangeboden wordt aan de optimalisatie. Praktisch komt dit er op neer dat de vraag naar autoverplaatsingen niet via een matrix met  $Z \times Z$  cellen gaat, maar dat alle toers op een dag, over alle modi en periodes heen, elk apart in een onbekende  $X$  landen met startwaarde 1. In praktijk betekent dit niet per definitie dat het vraagstuk explodeert in aantal onbekenden, omdat regelmatig HB-matrices voor een veelvoud aan modi en periodes een zeer grote massa aan niet-nul cellen tellen, waar de agent-gebaseerde vraag naar toers over de dag net efficiënt aftelbaar is door de discrete aard.

Kalibratie zelf optimaliseert vervolgens alle weegfactoren die synthetisch aangeboden worden, waarbij bepaalde toers al naargelang hun kenmerken rond tijdstip, bestemming en mode een relatief hoger dan wel lager gewicht krijgen. Een gekalibreerde weegfactor groter dan 1 betekent dat de toer in kwestie in positieve zin bijdraagt aan de fit op de opgegeven condities, een gewicht kleiner dan 1 leert dat de toer zelf niet bijdraagt en pragmatisch minder kansrijk zou zijn. Spreiding van de hele reeks aan gekalibreerde gewichten geeft een eerste zicht op de daadwerkelijke impact van de agent-gebaseerde kalibratie, waar uitschieters en structurele afwijkingen voor bepaalde modi of periodes aanzet geven tot verbeterpunten in het synthetische vraagmodel. Het verwerken van deze gekalibreerde gewichten is het onderdeel van het volgende hoofdstuk.

## 5. Correctie van het vraagmodel

Nu het kalibratieprobleem geherformuleerd is dat toers van agents geoptimaliseerd worden om zo goed mogelijk bij tellingen aan te sluiten, volgt de volgende stap. Op welke wijze worden de resultaten in het vraagmodel meegenomen? De meest rechtstreekse aanpak zou zijn de gevormde toers uit het vraagmodel te wegen met de berekende kalibratie gewichten per toer. Belangrijkste voordeel hiervan is dat de gekalibreerde uitkomst dan ideaal blijft passen op de opgegeven tellingen. Keerzijde is dat dit enkel werkt bij de gekalibreerde basissituatie aangezien ze direct linken aan individuele bestaande toers. Principieel nadeel van deze aanpak is bovendien dat je de gevonden oplossing in de kalibratie als waarheid aanneemt, waar in de praktijk we weten



dat ook de tellingen in werkelijkheid een onzekerheidsmarge hebben en er in een groot netwerk altijd onbedoelde route-problemen zijn. Het is om die reden beter om te trachten het vraagmodel te verbeteren met de extra informatie die de match met tellingen oplevert. De beste methode zou zijn om de structurele verschillen tussen tellingen en vraagmodel op te lossen door tegelijkertijd het vraagmodel en het toedelingsmodel aan te passen. In de praktijk is de toedelingsmethodiek meestal een vast gegeven dat niet direct aangepast kan worden, doordat het bijvoorbeeld gaat om een commercieel extern pakket, in dit geval VISSUM, waarbij niet alle parameters en processen volledig instelbaar zijn. Daarnaast is het herformuleren van de verschillende parameters en indicatoren van een vraagmodel zelf ook een taai exercitie. Daarom is er gekozen om het vraagmodel niet te sturen aan de hand van correctiefactoren die worden afgeleid uit het kalibratie resultaat en ingrijpen in de utiliteits-formulering. Bij het vinden van de juiste correctiemethodiek moet een balans worden gevonden tussen te veel correctiefactoren waardoor de gevoeligheden in het vraagmodel veranderen en te weinig correctiefactoren waardoor de match op tellingen nauwelijks verbetert.

Het uiteindelijke correctie algoritme bestaat uit de volgende stappen:

- Bepaal de gewogen gemiddelde kalibratie gewicht op de dimensies waarop de correctie bepaald moet worden;
- Bepaal of het gemiddelde kalibratie gewicht geschikt is om te gebruiken als correctie, en bepaal de hoogte van de correctie die moet worden toegepast;
- Omdat meerdere keuzemodellen worden gecorrigeerd en dubbele correctie ongewenst is, worden de kalibratie gewichten na het bepalen van de door te voeren correcties ook aangepast;
- Ga door met de uitrekenen van correcties voor een volgende deelmodel in het personenmodel. De volgorde van Tabel 1 wordt hierbij gevolgd.

De verschillende deelmodellen van het vraagmodel worden achtereenvolgens gecorrigeerd op basis van de volgorde waarin deze 'meestal' wordt gebruikt. Hierbij sluiten we aan bij het volgen van de hiërarchie zoals in Bowman, Bradley, & Gibb, 2006 ook is gedaan.

**Tabel 1: Correcties en dimensies van correcties**

Nr.	Correctie	Dimensies
1	Toerformatie	Motief{0...9}, VKM <sup>1</sup> gebied herkomst {0...19}
2	Vertrektijdstip	Motief {0...9}, vertrektijdstip {0 ...23}
3	Duur	Motief {0...9}, activiteitsduur {0 ...23}
4	Bestemmingskeuze	Vertrektijdstip {0 ...23}, VKM gebied herkomst{0..19}, VKM gebied bestemming {0..19}
5	Vervoerswijzeaandeel auto	Vertrektijdstip {0 ...23}, VKM gebied herkomst{0..19}, VKM gebied bestemming {0..19}

<sup>1</sup> VKM gebied staat voor: verkeersmodelgebied, een specifieke indeling in de Vlaamse modellen die het grondgebied opdeelt in 19 onderscheidende deelgebieden.

6	Vervoerswijze-aandeel openbaar vervoer	Vertrektijdstip {0 ..23}, VKM gebied herkomst{0..19}, VKM gebied bestemming {0..19}
---	--	---

### 5.1 Intellen van kalibratie gewichten

Het intellen van kalibratiegewichten voor toerformatie, vertrektijdstip, de duur en de bestemmingskeuze gaat volgens de volgende generieke formule:

$$\overline{Kal} = \frac{\sum_{t=1..n} \sum Kal^{car} \cdot Ms^{car} + Kal^{ov} \cdot Ms^{ov} + Kal^{rest} \cdot Ms^{rest}}{\sum_{t=1..n} \sum Ms^{car} + Ms^{ov} + Ms^{rest}}$$

Waarin:

$\overline{Kal}$  = gewogen gemiddeld kalibratie gewicht

$Kal^{car}$  = kalibratiegewicht tour t, uit de auto kalibratie

$Kal^{ov}$  = kalibratiegewicht tour t, uit de ov kalibratie

$Kal^{rest}$  = kalibratiegewicht tour t voor de overige vervoerwijzen

$Ms^{car}$  = Mode share auto van tour t

$Ms^{ov}$  = Mode share ov van tour t

$Ms^{rest}$  = Mode share van de overige vervoerwijzen van tour t

De kalibratie gewichten zijn neutraal bij een waarde 0. Is een kalibratie gewicht negatief dan zou deze toer omlaag moeten, wanneer een kalibratie gewicht positief is, moet deze toer omhoog gekalibreerd worden. De kalibratie gewichten van de overige vervoerswijzen, passagier fietsen en lopen, wordt niet gekalibreerd. Deze worden aan het begin van de correctie allemaal op 0 geïnitieerd. Doordat aanpassingen aan het vertrektijdstip, ctiviteitsduur en bestemmingskeuze op alle vervoerswijzen worden toegepast, zal bij deze correcties ook het aantal toers met deze modaliteiten worden aangepast. Dit is ongewenst, bij de correctie nemen we aan dat het aantal toers van de niet gekalibreerde modaliteiten op zich correct is en niet gewijzigd moet worden. Daarom wordt bij de bepaling van correctie voor de vervoerwijzekeuze deze kalibratie gewichten voor de overige vervoerwijzen meegenomen.

Het intellen van de kalibratie gewichten voor een aanpassing van de vervoerswijze aandelen gaat met een andere formule. De formule voor de berekening van het gewogen gemiddelde kalibratie gewicht auto voor de aanpassing van de vervoerswijze-aandeel auto is onderstaand gegeven:

$$\overline{Kal^{car}} = \frac{\sum_{t=1..n} \sum Kal^{car} \cdot Ms^{car}}{\sum_{t=1..n} \sum Ms^{car}}$$

waarin:

$\overline{Kal^{car}}$  = gewogen gemiddeld kalibratie gewicht voor auto

### 5.2 Bepaal correctie voor het vraagmodel

Een correctie wordt alleen toegepast wanneer 5 of meer toers vallen in de bepaalde dimensie waarop de correctie wordt doorgevoerd. Bij een kleiner aantal tours zijn de uitkomsten wel heel gevoelig uitschieters in de gekalibreerde toers. De volgende stap is

het bepalen van de correctiefactor die in het strategische personenmodel Vlaanderen versie 4.2.1 zal worden ingelezen. Onderstaande formule geeft de berekening van deze correctiefactor:

$$Corr = \overline{Kal} + 1$$

Waarin: *Corr* de toe te passen correctie factor is.

Deze correctiefactor wordt in het personenmodel toegepast op de geëxponeerde nutten, op de wijze zoals in onderstaande formule is weergegeven:

$$P = \frac{Corr * e^{U1}}{Corr * e^{U1} + \sum e^{U2,3,4...}}$$

Bij de bepaling van de correctie voor het vervoerswijze aandeel auto en openbaar vervoer wordt rekening gehouden met de opgebouwde aanpassing aan de andere modaliteiten. Dit wordt uitgevoerd via volgende formule:

$$\overline{Kal}^{PT} = \frac{(\overline{Kal}^{pt} + 1)}{(\overline{Kal}^{rest} + 1)} - 1$$

$$\overline{Kal}^{car} = \frac{(\overline{Kal}^{car} + 1)}{(\overline{Kal}^{rest} + 1)} - 1$$

$\overline{Kal}^{rest}$  is het gewogen gemiddelde kalibratie gewicht van de overige vervoerwijzen. Deze wordt op gelijke wijze als  $\overline{Kal}^{car}$ ,  $\overline{Kal}^{ov}$  uitgerekend, zie de formule in paragraaf 5.1.

### 5.3 Correctie gewichten

Na het bepalen van de correcties voor een keuzemodel moeten de kalibratie gewichten worden aangepast om dubbeltelling van correcties te voorkomen. Deze aangepaste kalibratie gewichten worden vervolgens gebruikt om voor het volgende keuzemodel correcties te berekenen. De kalibratiegewichten worden aangepast met de volgende formule:

$$Kal^{Corr} = \frac{Kal^{orig} + 1}{Corr} - 1$$

## 6. Conclusies

In dit paper behandelden we de specifieke vereisten die een agent-gebaseerde modelopzet heeft aangaande kalibratie ne correctie. De rijkdom aan individuele toergegevens per agent heeft nood aan een slimmer kalibratie-raamwerk dan de klassieke één-matrix-optimalisatie. Op zijn minst is het inschuiven van simultaneïteit over dimensies zoals modi, periodes, ... essentieel om voldoende gevoeligheid te behouden in de optimalisatie over deze dimensies heen, en zo het proces toe te laten om de optimale oplossing uit te werken met alle vrijheidsgraden, of andersom zonder deze optimalisatie te beperken tot louter herkomst en bestemming. Daarnaast is het cruciaal om het concept van een complexe toer te bewaren in de kalibratie zelf, en zodoende geen ongewenste opbreking te krijgen over de toerkenmerken: één toer vereist interne

consistentie over tijdstippen, nevenactiviteiten, ... heen en verschillende condities die ingrijpen op deze toer, moeten rekenschap geven aan deze consistentie. Om die reden wordt kalibratie verschoven van afgeleid matrixniveau op basis van aparte ritten, naar directe optimalisatie van de aparte toers zelf. Na kalibratie heeft elke toer een gewicht waarmee de totale massa aan ritten per mode en periode zo goed mogelijk aansluit bij externe observaties zoals tellingen.

Naast deze kalibratie tonen we in dit paper aan dat een meer doorgedreven manier van corrigeren na kalibratie een daadwerkelijk toegevoegde waarde heeft. Standaard aanpak waarbij een bekomen resultaat met behulp van correctie factoren, of een variant daarvan, bijgetrokken wordt, komt niet tegemoet aan de essentie van het vraagmodel, en leidt tot lastige, omslachtige en in se niet-gedragskundig onderbouwde verrekningen. In de Vlaamse modelvoering wordt net uit toetsing van de gekalibreerde uitkomsten tegenover de synthetische resultaten inzicht verkregen in onderdelen van het vraagmodel die intern kunnen verbeterd worden. Door te zoeken naar structurele bijstellingen op dimensies zoals herkomst, bestemming, tijdstip, mode of motief kan vorm gegeven worden aan correctiefactoren die in de utiliteitsformulering van de vraagmodellen geschoven kunnen worden. Kalibratie resulteert dan in feite in intrinsieke bijsturing van het vraagmodel, zodat dit bij verdere toepassingen vanuit het synthetisch resultaat zo goed mogelijk fit op werkelijke observaties. Belangrijk voordeel is dan ook dat deze correctie-methodiek eenvoudig toe te passen is bij verdere scenario-werking.

## **Literatuur of Referenties**

- Bok, M. d. et al., 2015. A population simulator and disaggregate choice models for the fourth generation strategic passenger transport model for flanders. *Transportation Research Procedia* 8 , p. 168 – 180 .
- Bowman, J. L., Bradley, M. A. & Gibb, J., 2006. The Sacramento activity-based travel demand model: estimation and validation results. *Strasbourg, Association for European Transport and contribution*.
- Cascetta, E. & Russo, F., 1997. Calibrating aggregate travel demand models with traffic counts: Estimators and statistical performance. *Transportation*, pp. Volume 24, Issue 3, 271-293.
- Cools, M., Moons, E. & Wets, G., 2010. Calibrating Activity-Based Models with External Origin-Destination Information: Overview of Possibilities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 98-110.
- Daly, A., Fox, J., Patruni, B. & Milthorpe, F., 2012. Pivoting in Travel Demand Models. Perth, [https://www.atrf.info/papers/2012/2012\\_Daly\\_Fox\\_Patruni\\_Milthorpe.pdf](https://www.atrf.info/papers/2012/2012_Daly_Fox_Patruni_Milthorpe.pdf).
- Davidson, W. et al., 2007. Synthesis of first practices and operational research approaches in activity-based travel demand modeling. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, pp. Volume 41, Issue 5, 464-488.
- Lindveld, K., 2003. Dynamic OD matrix estimation: A behavioural approach. Delft: Netherlands TRAIL Research School.
- Najmi, A., Rashidi, T. H. & Miller, E. J., 2018. A novel approach for systematically calibrating transport planning model systems. *Transportation*, pp. 1-36.