

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN
master in de verkeerskunde: mobiliteitsmanagement
(Interfacultaire opleiding)

Masterproef

Calibratie van verkeersmodellen voor Vlaanderen

Promotor :
Prof. dr. Davy JANSSENS

Copromotor :
Prof.dr.ir Tom BELLEMANS

Thomas Vincent

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de verkeerskunde,
afstudeerrichting mobiliteitsmanagement*

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de verkeerskunde: mobiliteitsmanagement
(Interfacultaire opleiding)*

Masterproef

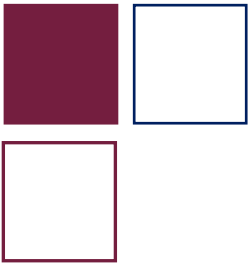
Calibratie van verkeersmodellen voor Vlaanderen

Promotor :
Prof. dr. Davy JANSSENS

Copromotor :
Prof.dr.ir Tom BELLEMANS

Thomas Vincent

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de verkeerskunde,
afstudeerrichting mobiliteitsmanagement*

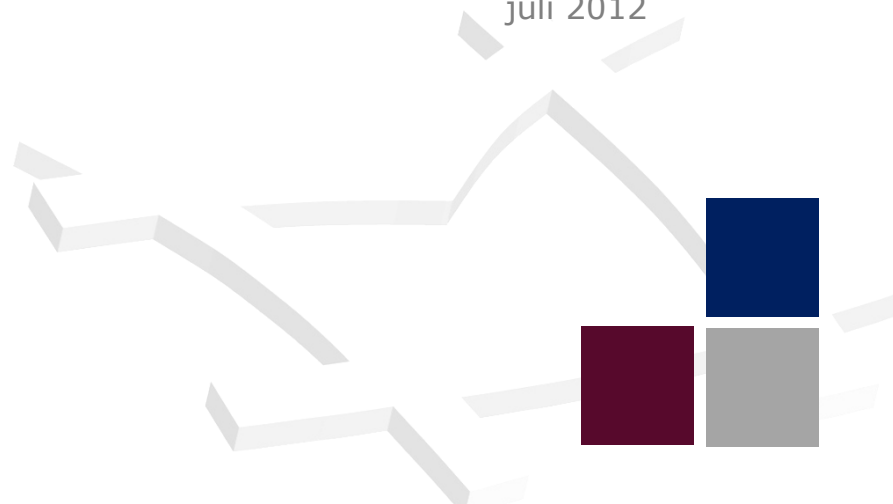


CALIBRATIE VAN VERKEERSMODELLEN VOOR VLAANDEREN

Masterproef voorgedragen tot het behalen van de graad van Master in de
Verkeerskunde, afstudeerrichting mobiliteitsmanagement

THOMAS VINCENT
PROMOTOR: PROF. DR. DAVY JANSSENS
CO-PROMOTOR: PROF. DR. IR. TOM BELLEMANS

juli 2012



SAMENVATTING

In deze thesis wordt een onderzoek gedaan naar de kalibratie van verkeersmodellen. Het is zowel een theoretisch onderzoek als een toegepast onderzoek aangezien alle opgedane kennis direct werd vertaald in oplossingen voor de kalibratie in OmniTRANS. Bij het begin van deze thesis werd nog geen onderzoek gedaan naar de kalibratie binnen OmniTRANS in de Vlaamse verkeersmodellen context.

Er wordt een samenvatting gegeven van gerelateerd onderzoek naar kalibratie van verkeersmodellen die gebeurden tussen de jaren 1970 en 2010. Deze geven aan dat er twee manieren van kalibreren zijn, met een objectieffunctie en op een lineaire manier. De theoretische onderzoeken geven een eerste beeld van de voor- en nadelen van de kalibratiemanieren.

Deze samenvatting wordt gevolgd door een complete uitleg van verkeersmodellen. Deze uitleg is vooral toegespitst op de opbouw van herkomst-bestemmingsmatrices en welke kennis er verwerkt wordt om hiertoe te komen. Deze complete uitleg is nodig om de gevaren van het kalibratieproces te verstaan.

Het belangrijkste theoretische hoofdstuk van de thesis is de werking van kalibratie op de beide manieren. Zowel de werking van kalibreren met objectieffunctie als de werking van kalibreren met lineaire functies wordt bekeken. Dit wordt tot in detail besproken en ter afsluiting van dit hoofdstuk worden de gevaren voor de kwaliteit van het gehele modelproces weergegeven. Kalibratie kan ingrijpen en effecten hebben in een later stadium die ongewenst zijn.

Het toegepaste onderzoek is het verbeteren van het kalibratieproces in OmniTRANS zelf waarbij het gehele proces tijdens het schrijven van deze thesis gebeurde. De verbeteringen werden getest op verkeersmodellen van Sint-Truiden en Kortrijk om te komen tot een correct verkeersmodel. Het uiteindelijke resultaat is een kalibratie die gelijke kenmerken heeft als die van het CUBE gebaseerde model wat nog steeds de standaard is voor

Vlaamse verkeersmodellen die onder beheer zijn van het Vlaams Verkeerscentrum.

Tot slot worden ook nog de toekomstige aanpassingen aan de verkeersmodellen uit de doeken gedaan. Deze ontwikkelingen zijn nodig om de noodzaak/impact van kalibratie te verminderen. Een betere modellering van het verkeersgedrag is noodzakelijk maar de kennis die hiervoor nodig is en het onderzoek dat dient gevoerd te worden is erg groot. Echter zal dit in de toekomst meer van belang zijn dan de kalibratie van bestaande modellen.

Deze thesis is een ideale manier voor een niet wiskundige om het kalibratie proces te begrijpen en zo de gevaren in te zien.

Woord vooraf

Ter afsluiting van mijn masterjaren verkeerskunde afstudeerrichting mobiliteitsmanagement heb ik het geluk gehad dat ik ben kunnen beginnen werken tijdens mijn studies. Deze uitdaging en praktische kennis waren nodig om mijn focus te houden op mijn thesis. De combinatie van leren en werken is echter niet makkelijk aangezien het makkelijker is om opgeslorpt te worden door je werk dan door je thesis. Een voltijdse betrekking hiermee combineren was geen makkelijke opgave maar voor u ligt het resultaat van het onderzoek. Het praktische aan deze thesis gaf de doorslag om ervoor te kiezen. De hands-on aanpak maakte het een heel aangename en leerrijke ervaring zowel voor mij als voor MINT nv waar ik aan de slag ben als medewerker verkeersmodellen en -planning. De thesis heeft mij vervolledigd als verkeerskundige en ik heb nu een betere kijk op verkeersmodellen en kan deze makkelijk interpreteren. Het opzet van de opleiding en waarom ik ervoor koos was het generalistische ervan. Door deze thesis ben ik beter in staat de juiste zaken te bevragen aan een verkeersmodel en andere zaken weer niet.

Deze thesis is echter niet zonder iets tot stand gekomen en ik wil eerst en vooral mijn promotor Prof. Dr. Davy Janssens bedanken voor het eeuwige geduld bij het begeleiden van mijn thesis. Ook mijn begeleider bij MINT nv zelf, Kurt Verlinden die een wandelende encyclopedie is omtrent verkeersmodellen in Vlaanderen aangezien hij aan de wieg ervan stond. Ook Kristof Carlier die mij bijstond bij het programmeren van de codes om de verbeteringen in het programma in te werken.

Tot slot zijn mijn ouders aan de beurt die lang hebben moeten wachten op een diploma van hun zoon die zijn eigen koers koppig bleef varen. Maar de thesis is nu klaar en eind goed al goed.

Zonder deze omkadering was deze thesis nooit tot stand gekomen waarvoor ik jullie allemaal welgemeend wil bedanken!

Thomas Vincent

INHOUDSTAFEL

1. INLEIDING	8
1.1. VERKEERSMODELLEN	8
1.2. TYPES VERKEERSMODELLEN	11
1.3. KALIBRATIE	15
1.3.1. DOEL HB-MATRIX EN GECONGESTEERD NETWERK	16
1.4. PROBLEEMSTELLING	20
2. ALGEMENE MODELOPBOUW EN KALIBRATIE	24
2.1. SCHAAL EN ZONERING	24
2.2. NETWERK	25
2.3. BASMAT	26
2.3.1. METHODE 1: OP BASIS VAN GEOBSERVEERDE RELATIEMATRIX	28
2.3.2. METHODE 2: SYNTHETISCHE VERPLAATSINGSMATRIX	31
2.4. VERVOERWIJZEKEUZE	36
2.5. KALIBRATIE	40
2.5.1. AANPASSEN SCENARIOMATRICES	44
2.5.2. SCENARIOMATRIX	46
2.6. IMPACT VAN KALIBRATIE OP DE ANDERE MODELSTAPPEN	47
2.6.1. VERPLAATSINGSCOËFFICIËNTEN	47
2.6.2. MODAL SPLIT	47
2.6.3. SCENARIO MATRICES	47
2.7. PUNTEN VAN VERBETERING	48
2.7.1. BEVOLKINGSSYNTHEZIZER	48
2.7.2. ACTIVITEITEN GEBASEERDE MODELLEN	49
2.8. OVERZICHT	49
3. KALIBRATIEPROCES IN CLOSE-UP	51

3.1.	SEQUENTIËEL KALIBREREN	51
3.1.1.	OVERZICHT	52
3.1.2.	TOEDELING	52
3.1.3.	INTERCEPTMATRIX	53
3.1.4.	ITERATIE I	53
3.1.5.	KALIBRATIESLAG	56
3.2.	OPTIMALISATIE VAN ZOEKFUNCTIE	57
3.2.1.	UITGANGSPOSITIE	57
3.2.2.	OVERZICHT	57
3.2.3.	TOEDELING	60
3.2.4.	INTERCEPTMATRIX	60
3.2.5.	KALIBRATIECONDITIES	62
3.2.6.	OBJECTIEFFUNCTIE	63
3.2.7.	OBJECTIEFFUNCTIE MINIMALISEREN	64
3.2.8.	VAN OBJECTIEFFUNCTIE TOT ZOEKFUNCTIEMATRIX	65
3.2.9.	ITERATIE	65
3.2.10.	MOGELIJKE VERBETERING	66
4.	VERBETEREN SEQUENTIEEL KALIBRATIEPROCES	68
4.1.	START VAN HET PROCES	68
4.2.	GEBRUIKTE VERKEERSMODELLEN	68
4.2.1.	SINT-TRUIDEN	68
4.2.2.	KORTRIJK	68
4.3.	GEBRUIKTE WOORDEN	69
4.4.	GOEDE KALIBRATIE	69
4.5.	TELLINGEN	70
4.6.	VRIJHEIDSGRAAD KALIBRATIEPROCES	71
4.7.	MASSACORRECTIEFACTOREN	71
4.8.	SPLITSEN GETELDE EN NIET GETELDE RELATIES	72
4.9.	VOLGORDE TELLINGEN	80
4.10.	RESULTAAT	81
5.	SCENARIOMATRICES OMBOUWEN MET KENNIS VAN KALIBRATIE	83

5.1.	GROEIFACTOR	83
5.2.	PROJECT IMPLEMENTATIE	84
5.3.	COMBINATIE VAN GROEIFACTOR EN PROJECT IMPLEMENTATIE	85
5.4.	MANIEREN VAN OMGAAN MET SCENARIOMATRICES EN KALIBRATIE	87
5.5.	VERGELIJKING NEDERLAND/BELGIË	88
6.	AANBEVELINGEN	89
6.1.	OMNITRANS	90
6.2.	KALIBRATIE EN VERDER ONDERZOEK	90
7.	CONCLUSIES	92
8.	LIJST VAN BRONNEN	94

1. INLEIDING

1.1. VERKEERSMODELLEN

Verkeersmodellen worden gebruikt om ingewikkelde vraagstukken op te lossen in de mobiliteitswereld, gaande van de impact van infrastructuurwerken, het invoeren van rekeningrijden en het evalueren van het openbaar vervoer. Een verkeersmodel kan zowel gebruikt worden om huidige situaties te evalueren als toekomstige situaties te onderzoeken.

Aanpassingen aan wegen of andere aanpassingen die het gedrag van mensen in het verkeer beïnvloeden hebben niet alleen een lokaal effect. Het gaat meestal om een effect dat op grotere afstand ook merkbaar is. Voor het bestaan van verkeersmodellen kon men niet met redelijke zekerheid zeggen wat juist het effect zou zijn van een bepaalde maatregel omdat de complexiteit niet te vatten is. De dichtheid van het netwerk, de impact van files en zoveel andere factoren zorgen voor een grote nood aan rekenkundige modellen die verkeersgedrag berekenen en zo de belasting van het netwerk berekenen. In Vlaanderen wordt gebruik gemaakt van het vierstapsmodel¹, dit model is echter geoptimaliseerd en realistischer gemaakt dan de standaard vierstapsmodellen. Het proces wordt hieronder sumier beschreven.

Productie/Attractie

Socio-demografische gegevens² per zone worden gebruikt om te bepalen hoeveel verplaatsingen er gemaakt worden vanuit en naar elke zone en voor welk motief. Dit gebeurt zowel voor de ochtendspits als voor de avondspits. Het opbouwen van andere dagdelen is ook mogelijk maar komt minder voor in Vlaanderen.

Distributie

¹ Het vierstapsmodel is een verkeersmodel dat de verschillende onderdelen (productie/attractie, ritverdeling, modal split en toedeling) stap voor stap overloopt. Dit model is de basis van veel verkeersmodellen die verbeterd zijn na verloop van tijd.

² De gebruikte socio-demografische gegevens zijn gegevens als hoeveelheid inwoners, hoeveelheid 60+, hoeveelheid kinderen, autobezit, grootte van huishoudens,...

Tijdens de distributiestap wordt berekend hoeveel verplaatsingen van een zone naar iedere andere zone worden gemaakt. Na het productie/attractieproces is het geweten hoeveel verplaatsingen een zone aantrekt maar niet van waar deze verplaatsingen komen. Vroeger werd hiervoor gebruik gemaakt van het zwaartekrachtmodel³, dit stelt dat grote zones vooral verplaatsingen aantrekken. Aangezien dit geen werkelijk gedrag van mensen is wordt in België gebruik gemaakt van de socio-economische enquête. Hierbij is voor het overgrote deel van de Belgen geweten waar ze wonen en waar ze werken op het moment van de enquête. Op deze manier wordt dus gebruik gemaakt van werkelijke verplaatsingspatronen van een bepaald basisjaar.

Vervoerwijzekeuze

De vervoerwijze bepaalt hoeveel verplaatsingen met de wagen, openbaar vervoer, met de fiets of te voet gebeuren. Dit gebeurt onder andere op basis van reistijden van alle zones naar elkaar. De modal split is dan ook verschillend per zone-paar.

Toedeling

Na deze 3 stappen is geweten hoeveel mensen van waar naar waar gaan en met welk vervoermiddel. De toedeling⁴ bepaalt welke route men neemt. Er zijn verschillende manieren van toedelen. De alles-of-niets⁵ toedeling deelt alle verplaatsingen toe aan de route met de kortste reistijd⁶. Voor autoverplaatsingen kan ook de evenwichtstoedeling⁷ gebruikt worden. Deze doet meerdere stappen voor het toedelen van het verkeer en herberekent

³ Het zwaartekrachtmodel verdeelt de verplaatsingsproductie over alle attractiepolen met behulp van de afstand en de aantrekkingskracht van de zone. Een grote zone trekt meer aan en een veraf gelegen zone trekt minder aan. Aantrekking/afstand (afstand soms in het kwadraat) geven dit aan in een simpele vergelijking.

⁴ Meer informatie over toedelingen is te vinden bij Syed Rahman (2011).

⁵ De alles-of-niets toedeling deelt alle verkeer tussen een HB-paar toe aan de snelste route. Er wordt geen rekening gehouden met verliestijden en verkeer tussen een HB-paar zal allemaal dezelfde route nemen.

⁶ In werkelijkheid gaat het niet om reistijd maar een combinatie van afstand, tijd en tolkosten die samen de gegeneraliseerde kost voorstellen.

⁷ De evenwichtstoedeling houdt rekening met de verliestijden voor het bepalen van de route. Een evenwichtstoedeling zal in meerdere stappen worden toegedeeld waarbij telkens een kleiner deel van de matrix een nieuwe route mag kiezen. Dit maakt bij gecongesteerde routes voor een beperkter gebruik van deze route.

telkens de reistijd. Het eindresultaat is een toedeling waarbij rekening wordt gehouden met congestie en verkeer dat deze locaties mijdt.⁸

Kalibratie

Herkomst-bestemmingsmatrices opbouwen is een theoretisch proces waarin fouten sluipen en de werkelijkheid niet perfect naar voor komt. Om toch het gedrag in het model waar te nemen zoals dat op de weg zichtbaar is wordt er gekalibreerd. In deze context is kalibreren het aanpassen van de originele matrix naar een matrix die na toedeling beter aansluit op de werkelijkheid. Dit wordt verder in de thesis veel verder uitgewerkt.

⁸ Voor een meer gedetailleerde bespreking van toedelingen op verkeersnetwerken verwijs ik naar "Traffic assignment in practice: overview and guidelines for users" van Said M. Eesa

1.2. TYPES VERKEERSMODELLEN

Verkeersmodellen kunnen worden opgesplitst naargelang verschillende kenmerken.

- Vervoerswijze:
 - Openbaar vervoer
 - Gemotoriseerd verkeer
 - Voetgangersstromen
- Methodiek
 - Deterministisch (steeds dezelfde resultaten bij dezelfde input)
 - Stochastisch (variërende resultaten bij dezelfde input)
- Berekeningstechniek
 - Analytische technieken
 - Simulatietechnieken
- Detailniveau
 - Microscopisch (de kleinste eenheid wordt gemodelleerd, locatie van auto's in de tijd): dynamisch
 - Mesoscopisch (er wordt met uurwaarden gewerkt maar de tijd varieert): dynamisch
 - Macroscopisch (er wordt enkel met uurwaarden gewerkt): statisch

De modellen die in Vlaanderen gebruikt worden op provinciaal niveau zijn macroscopische, deterministische simulaties die naargelang de vraag multimodaal of unimodaal worden berekend en toegedeeld. Er worden echter ook unimodale deterministische microsimulaties uitgevoerd om conflictpunten tot een bepaald beperkt gebied te onderzoeken. De grootste voorbeelden hiervan zijn de R1 rond Antwerpen en de E40. Voor het

beperkte gebied dat deze modellen beslaan hebben ze een enorme rekenkracht nodig waardoor ze niet worden gebruikt in macroscopische studies.

Er zijn echter nog andere verkeersmodellen die gebruikt worden in Europa en de wereld. Het laatste onderzoek in België gebeurt naar activiteiten gebaseerde modellen. Dit zijn veel gedetailleerdere modellen die rekening houden met alle mogelijke facetten in het leven. Activiteiten die gekoppeld worden zoals van het werk eerst winkelen en dan naar huis kan bij de huidige Vlaamse modellen nog niet. De minimaal kleine eenheden bij AB-modellen bieden de beleidsmakers ook de mogelijkheid om nog moeilijkere beleidsbeslissingen te laten modelleren en het effect ervan te zien.

Hieronder is een opsomming gemaakt van een groot aantal Amerikaanse activiteiten gebaseerde modellen⁹ waarnaast de Vlaamse modellen zijn toegevoegd. De opgenomen modellen komen uit de White Paper "A summary of design features of activity-based microsimulation models for U.S. MPOs". Het gaat om modellen uit Portland, San Fransisco, New York, Columbus, Atlanta, Sacramento, Bay Area en Denver. Het Vlaamse Verkeersmodel wordt ter vergelijking in de tabel opgenomen om het niveau te vergelijken ten opzichte van deze AB-modellen. Het Vlaams Verkeersmodel is een gesofisticeerd vierstapsmodel dus is het eigenlijk een moeilijke vergelijking. Alle modellen zijn hiërarchisch opgebouwd waarbij de keuzes bij het einde van het model afhankelijk zijn van keuzes eerder in het model. De verschillende niveaus zijn:

1. Bevolkingssynthese
2. Langere termijn keuzes (autobezit, werklocatiekeuze, schoollocatiekeuze)
3. Persoon/huishouden relaties op dagniveau (hoeveelheid verplaatsingen voor bepaalde motieven)
4. Tour-niveau (bestemming, tijdstipkeuze, hoeveelheid stops)

⁹ Verder AB-modellen genoemd.

5. Trip-niveau (stopkeuzes, moduskeuze en vertrektijdstip van iedere trip)

- De Amerikaanse modellen simuleren persoon per persoon. Dit is meteen het grootste verschil tussen een AB-model en een vierstapsmodel. Op deze manier wordt, ten opzichte van het Vlaamse model, een betere onderverdeling gemaakt tussen inkomenscategoriën, huishoudgrootte en soms hoeveelheid werknemers.
- De Amerikaanse modellen simuleren de werklocatiekeuze soms op het hoogste niveau en soms op het niveau van de dag zelf. Dit is een afzonderlijk type model dat vooral bedoeld is bij het toedelen van werkverplaatsingen van arbeiders of verkopers.
- De hoeveelheid buitenshuis activiteiten is in de Vlaamse Verkeersmodellen 7 of 8, dit is een minstens even hoog cijfer dan dit van de AB-modellen. Het gaat om de motieven die verderop uitvoerig zullen besproken worden.
- De hoeveelheid activiteiten die binnenshuis kunnen worden uitgevoerd zijn beperkt en te weinig beschreven in de Amerikaanse verkeersmodellen om enige extra mogelijkheid te geven. De respons bij bevestigingen over activiteiten binnenshuis is erg beperkt.
- Het dagpatroon, gezamenlijke activiteiten, wegbrengen en huishoudactiviteiten worden in sommige Amerikaanse modellen gelinkt binnen het huishouden. Dit is niet het geval bij het Vlaamse Verkeersmodel.
- De manier van berekenen, de periode, tour-tijd berekening zijn gelijkend tussen de AB-modellen en het Vlaamse Verkeersmodel.

Algemeen kan gezegd worden dat de Vlaamse Verkeersmodellen ver gevorderd zijn richting een AB-model en dat een belangrijke hoeveelheid kenmerken zijn overgenomen uit de AB-modellen. Verdere verbetering (zoals te lezen is in 3.2.10 Mogelijke verbetering) kunnen het verschil verder minimaliseren.

Tabel 1: Vlaams verkeersmodel vergeleken met Amerikaanse modellen

Model design	Portland Metro I/II	San Fran. SFCTA	New York NWMTC	Columbus MORPC	Atlanta ARC	Sacramento SACOG	Bay Area MTC (*)	Denver DRCOG (*)	Vlaanderen MM 3.6.1
# categorieën voor populatie synthese	4 hh groottes 4 inkomencat. 4 leeftijdsdat.	4 hh groottes 3 werkat. 4 inkomenscat.	3 leeftijdsdat. 5 hh groottes 4 werkat.	4 inkomenscat. 5 hh groottes 4 werkat.	4 inkomenscat. >100 comb. van huishoud grootte, #werk, inkomen, leeftijd	4 hh groottes 4 werkat. 4 inkomenscat.	4 hh groottes 4 werkat. 4 inkomenscat. leeftijd (?)	4 hh groottes 3 werkat. 4 inkomenscat. leeftijd (?)	5 hh groottes 9 # werk 8 leeftijd
hh:huishouders									
"Normale" werk & school locaties op hoogste niveau?	Neen /ja	Ja	Neen	Neen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hoeveelheid activiteiten buitenshuis?	3 tot 8	3	4	7	8	7	7 of 8	7 of 8	5
Hoeveelheid activiteiten binnenshuis?	3	1	1	1	1	1	1 of 2	1	1
Dagpatroon type gelinkt binnen hh?	Neen	Neen	Neen	Ja, sequentieel	ja, simultaan	Neen	Ja, simultaan	Neen	Neen
Gezamenlijke activiteiten gelink binnen hh?	Neen	Neen	Neen	Ja	Ja	Neen	Ja	Neen	Neen
"Wegbrengen" trips gelinkt binnen hh?	Neen	Neen	Neen	Neen	Neen	Neen	Neen	Neen	Neen
Toegevoegde hh activiteiten expliciet gealloceerd?	Neen	Neen	Neen	Ja	Ja	Neen	Neen	Neen	Neen
Niveau waarop wordt gemodelleerd	Persoon-dag	Persoon-dag	Tour	Tour	Tour	Persoon-dag en tour	Persoon-dag en tour	Persoon-dag en tour	Trip
Aantal zones in het model	1250	1900	6000	2000	2500	1300	1600	2800	3000
Kleinere eenheden gebruikt onder zones?	Neen /ja	Neen	Neen	Neen	Neen	Ja	OV toegang subzones (?)	OV toegang subzones (?)	Neen
Modus en bestemming model berekening	Simultaan	Sequentieel	Sequentieel	Sequentieel	Sequentieel	Sequentieel	Sequentieel	Simultaan	Sequentieel
Netwerk tijd periodes	5 per dag	5 per dag	4 per dag	5 per dag	4 per dag	4 per dag	5 per dag	8 per dag	2/3 per dag
Gemiddelde tijd periodes	5 per dag	5 per dag	4 per dag	1 hour	1 hour	30 min	30 min (?)	30 min (?)	1 uur
Gebruik van tijdsvenster in planning?	Neen	Neen (kan worden bijgevoegd)	Neen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Tourtijd in de dag relatief tot modus en bestemming?	Boven beide	Boven beide	Tussen beide	Tussen beide	Tussen beide	Tussen beide	Tussen beide	Boven beide	Ja
Vertrekkur gemiddelde leerd gescheiden van de trip level?	Neen	Neen (kan worden bijgevoegd)	Neen	Neen	ja, laagste model	ja, laagste model	ja, laagste model	ja, laagste model	Ja
Toegankelijkheidsaanpassing in bovenste levels?	Persoonspecifieke modus / best logsum	Jobs bereikt per zone/modus en tij	Best keuze logsum van zone /modus /segment	Best keuze logsum van zone /modus /segment	Best keuze logsum van zone /modus /segment	Best keuze logsum van zone /modus /segment	Best keuze logsum van zone /modus /segment	Modus en best logsum van zone /segment	Best en tijd logsums per zone

1.3. KALIBRATIE

Kort door de bocht is kalibratie het bijwerken van de herkomstbestemmingsmatrices via een wiskundig proces gebruik makend van tellingen. In vroegere tijden is de vraag ook omgekeerd gesteld, bouw een HB-matrix die bij toedeling op het netwerk het waargenomen verkeer het beste benadert. De moeilijkheid in kalibreren is de wiskunde die ervoor gebruikt wordt. Maar omdat het een wiskundig proces is dat reeds lang wordt gebruikt/toegepast bij allerlei toepassingen is het al veel onderzocht geworden. Hieronder een korte samenvatting van onderzoeken naar kalibratie bij statische vierstap verkeersmodellen.

	Basis HB matrix	Geen basis HB matrix
Congestie	LeBlanc en Farhangian '82	Fisk '88
	Willumsen '84	Jörnsten en Nguyen '79
	Spiess '90	Jörnsten en Nguyen '83
	Drissi Kätouni en Lundgren '92	Kawakami, Lu en Hirobata '92
	Yang '92	Fisk '89
		Erlander, Nguyen en Stewart '79
Geen congestie	Maher '83	Van Zuylen en Willumsen '80
	Spiess '87	Cascetta '84
	Tamin en Willumsen '89	
	Bell '91	
	Bierlaire en Toint '95	

Om de Vlaamse basis best te benaderen in het bekijken van de verschillende onderzoeken naar kalibratie maken we gebruik van onderzoeken naar kalibratie in een gecongesteerd netwerk met een basis HB-matrix. Voor zeer kleine netwerken (gemeentelijk, is het bij

uitzondering mogelijk om te vertrekken zonder HB-matrix en deze te laten overeenkomen met de telgegevens.

1.3.1. *DOEL HB-MATRIX EN GECONGESTEERD NETWERK*

LeBlanc en Farhangian (1982)

“De selectie van een triptabel die de gemeten voertuigstromen regeneert”

De studie vertrekt op basis van Nguyen (1977) die gebruik maakt van de evenwichtstoedeling om te komen tot de HB-matrix die het dichtst bij de werkelijkheid ligt. Bij het optimalisatie probleem wordt gebruik gemaakt van gegeneraliseerde kleinste kwadraten als begrenzer van de resultaten en van de evenwichtstoedeling als basis. De evenwichtstoedeling gebeurt op basis van het Frank-Wolfe algoritme¹⁰. Deze zoekt een globaal minimum om de oplossing van een kwadratisch probleem te vinden te benaderen.

Het onderzoek werd gedaan op basis van een netwerk van 79 links en de resultaten leken veelbelovend te zijn. Deze studie werd als basis gebruikt door Yang et al (1992)

Willumsen (1984)

Het model van Willumsen stelt voor om gebruik te maken van een doel HB-matrix. Om de congestie op het netwerk te ondervangen wordt de interceptmatrix¹¹ veranderd over de tijd. Een heuristische oplossing wordt aangereikt maar de hoeveelheid variabelen is groot wat zorgt voor een langzaam rekenproces.

Spiess (1990)

Voor het zoeken naar de objectieffunctie gebruikt Spiess in tegenstelling tot LeBlanc en Farhangian (1982) geen lokaal minimum maar maakt hij

¹⁰ Meer informatie is te vinden in Frank, M. Wolfe, P. (1956). "An algorithm for quadratic programming". Naval Research Logistics Quarterly 3

¹¹ De interceptmatrix is één matrix per telling die aangeeft hoeveel verkeer van een bepaald HB-paar erlangs komt. Dit is uitgedrukt in procent voor alle HB-relaties. Later in de thesis wordt dit verder besproken.

gebruik van de steilste gradiënt methode voor het oplossen van het maximale entropie probleem. De evenwichtstoedeling volstaat om de ondergrens te bepalen. Dit is een zwaar rekenproces is maar het is toch aangetoond dat het werkt in grote netwerken van Zwitserland, Zweden en Finland.

Drissi Kätouni en Lundgren (1992)

Drissi Kätouni en Lundgren gebruiken dezelfde gradiënt oplossing als Spiess (1990) die wel consistent is met de evenwichtstoedeling. Hierdoor heeft men een oplossing nodig voor een Jacobiaanse vergelijking. Dit kan door een aantal kwadratische probleemoplossingen en bijkomende berekeningen gevonden worden. Het is merkbaar dat deze oplossing sterk gelijkend is op die van Spiess (1990) maar met een verbetering van de zoekrichting van de gradiënt functie door het gebruik van extra informatie uit de Hessiaanse matrix. Het gebruik van de inverse van de Hessiaan kan aantoonbaar leiden tot goede resultaten maar heeft een enorme hoeveelheid geheugen nodig aangezien het steeds gebruik moet maken van extra informatie uit vorige berekeningen. Bij een testcase in Canada kon aangetoond worden dat de resultaten voldoende correct waren. Verbeteringen in de zoekfunctie versnellen het proces wel maar de resultaten zijn daarom niet beter.

Cascetta (1984)

Cascetta maakte gebruik van een schatter die niet per se de tellingen perfect terugvond. Deze schatter werd gebruikt om de variantie-covariantie matrix aan te sturen en zo dichterbij de werkelijke HB-matrix te komen. Dit werkte goed indien de tellingen een hoge kwaliteit hadden maar de schatter beïnvloedt de matrix maar heel licht. Verder onderzoek diende te gebeuren met de evenwichtstoedeling.

Yang et al (1992)

“Schatting van de HB-matrices op basis van verkeerstellingen op gecongeesterde netwerken.”

Net als LeBlanc en Farhangian (1982) en Jörnsten en Nguyen (1979) stellen Yang et al voor om het schattingsprobleem aan te pakken met het gegeneraliseerde kleinste kwadraat als bovengrens en de

evenwichtstoedeling als ondergrens. Het voordeel van het voorstel van Yang et al is dat de tellingen onderling niet consistent moeten zijn, er wordt gestreefd naar een zo klein mogelijk verschil van de tellingen met de toedeling. De vergelijking van deze studie met andere voorgaande studies leert dat de tellingen niet als voorwaarden worden gebruikt maar eerder als een input voor het GLS (gegeneraliseerde kleinste kwadraat) probleem. Vandaar dat de tellingen onderling niet consistent dienen te zijn.

Per iteratie werd een deel van de matrix gebruikt om zo dicht bij de werkelijke HB-matrix te komen. Deze tests bleken goed te itereren maar hoge kwaliteit van de teldata en consistentie bleken nodig te zijn om zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid te komen.

Zowel de studie van LeBlanc en Farhangian als Yang et al '92 beschrijven een manier van kalibreren met een objectieffunctie. Dit is de manier van kalibreren binnen de Vlaamse verkeersmodellen van het Vlaams Verkeerscentrum.

Yang et al (1994)

Het werken met een objectieffunctie is echter niet hoe OmniTRANS het doet. Men werkt niet met de objectieffunctie maar met een reeks van simpele vergelijkingen tussen de telling en het toegedeelde netwerk. Yang et al hebben dit in 1994 onderzocht en kwamen uit op een een volgorde van lineaire vergelijkingen. Er wordt van uitgegaan dat verkeerstellingen een weerspiegeling zijn van een netwerk dat in evenwicht is. Om dit na te gaan zijn testen mogelijk die zoeken naar mogelijke oplossingen. Van al deze mogelijke oplossingen wordt op basis van GLS een HB-matrix gekozen die dan als werkelijkheid wordt aangenomen. Een goede kwaliteit van de tellingen is onontbeerlijk voor goede resultaten met deze techniek.

RECENTE ONTWIKKELINGEN

De nieuwe studies naar kalibratie van verkeersmodellen richt zich vooral op het kalibreren van dynamische modellen en AB-modellen. Dit zijn de modellen die nog in volle ontwikkeling zijn en hebben andere manieren nodig om te kalibreren. Cools et al 2010 stellen een methode op om AB-modellen te kalibreren aan de hand van verkeerstellingen. Er zijn 2 verschillende manieren die worden aangehaald, het aanpassen van de kenmerken van een bepaalde zone, de hoeveelheid inwoners, wagens enzovoort, maar dit is het aanpassen van de basisdata en wordt niet aanzien als een goede manier. Het aanpassen van deze cijfers geeft aan dat de parameters foutief zijn voor de ontwikkeling van verplaatsingen. In toekomstige scenario's is het meest aangewezen om te zeggen dat er 200 mensen bijkomen in plaats van een factor daarvan door de kalibratie. Daarom is dit de minst aangewezen aanpak.

De beste manier om te kalibreren is de parametrisatie van voor verplaatsingen en modal split aan te passen in elke zone. Dit is eigenlijk het lokale verschil mee laten werken in de berekening van de HB-matrix. Deze matrix zal de tellingen perfect benaderen. Door niet rechtstreeks aan de HB-matrix te raken zijn er minder problemen met het aanpassen aan toekomstige matrices of scenario's zoals later in deze thesis wordt beschreven.

In deze studie wordt aangegeven dat er niet één sluitende manier is om te kalibreren maar een combinatie van de verwerkte manieren een mogelijkheid biedt om AB-modellen te kalibreren. Kalibratie mag niet werken naar het nabootsen van tellingen maar naar verschillende objectieven die worden waargenomen in de werkelijkheid.

Deze manier van kalibreren wordt in de Vlaamse Verkeersmodellen niet gebruikt maar is een interessante insteek voor toekomstige ontwikkelingen.

1.4. PROBLEEMSTELLING

OmniTRANS wordt pas sinds 2007 toegepast in de Belgische markt en moet concurreren met de Cube/Voyager modellen. De gebruikers van Cube/Voyager (voortaan Cube genoemd) zijn bepaalde types resultaten gewoon en verwachten die ook van een OmniTRANS-model. Zo is de hele Vlaamse modelstructuur ingebouwd door middel van extra scripts in OmniTRANS. Dit zorgt voor extra mogelijkheden, vergelijkbare resultaten maar ook voor een tijdrovend rekenproces. Het nadeel van iets nieuws in een bestaand programma te gebruiken is dat de gebruikte technieken moeten worden aangepast en op een dusdanig andere manier gebruikt dienen te worden om met dezelfde resultaten te eindigen. Het ombouwen van de vervoerwijzekeuze in OmniTRANS is veel tijdrovender¹² maar heeft dezelfde resultaten in OmniTRANS en Cube. Dit omdat de vervoerwijzekeuze helemaal buiten OmniTRANS is geschreven. De kalibratie echter maakt gebruik van de reeds aanwezige kalibratiemethode van OmniTRANS. De resultaten van de kalibratie hebben bij het begin van het gebruik van OmniTRANS niet de gewenste kwaliteit en zijn soms onverklaarbaar. Dit was de reden om het onderzoek van deze thesis niet zozeer op de werking van het gehele Vlaamse model in OmniTRANS te zetten maar op het gedeelte dat anders werkt ten opzichte van Cube. Het kan niet zijn dat het gebruik van een ander pakket om dezelfde berekening te doen andere resultaten geeft.

De kalibratie is een wiskundige manier om een herkomst-bestemmingsmatrix te verbeteren ten opzichte van de werkelijkheid. Door een te beperkte kennis en uitmiddeling die nodig zijn om statistisch correcte aannames te doen is de HB-matrix niet perfect wat er in de werkelijkheid te zien is. Bovenstaande beschrijving van de kalibratie door de verschillende onderzoekers geeft aan dat het een belangrijk onderzoek is waar geen unieke of perfecte uitkomst voor gevonden kan worden. De randvoorwaarden die door de tellingen worden bepaald zijn onmogelijk om

¹² Aangezien de bewerkingen gedeeltelijk buiten het programma worden geschreven werkt dit niet met de snelste processen. De snelste processen (OMNITrans standaard bewerkingen) gebeuren in C#. Dit inbouwen is technisch moeilijker en biedt niet dezelfde flexibiliteit.

allemaal correct uit te komen. Een model heeft al snel 1000 zones en 300 of meer tellingen. Dit zijn dus 300 vergelijkingen met een enorme hoeveelheid variabelen.

Dit is de wiskundige aanpak maar net zo goed kan de kalibratie verminderen in belangrijkheid wanneer in het onderzoek de geografische locatie wordt meegenomen in de parameters van de verschillende processen (voornamelijk vervoerswijzekeuze). Zo is het mogelijk om cijfers van verschillende types OVG mee te nemen in de parameters van bepaalde gebieden. Een OVG West-Vlaamse grensstreek kan de parameters bieden voor deze zones. Op deze manier zal de eerste vervoerswijzekeuze reeds een goede inschatting maken van bijvoorbeeld een hoger fietsgebruik aangezien het in deze regio al langer een goed alternatief is voor de auto. Dit is geen deel van het onderzoek zelf maar wordt wel beschreven bij in de thesis.

Om deze thesis een goede structuur te geven is een goed beeld van de vraag belangrijk voor het onderzoeken van het probleem. Deze thesis gebeurt tijdens de professionele bezigheid en is dus een toegepast onderzoek naar verbeteringen. Dagelijks worden er aanpassingen gedaan en tests uitgevoerd om de kwaliteit van het onderzoek te tonen. Vooraleer er kan begonnen worden met deze tests dienen een aantal stappen te worden gevolgd.

Een eerste onderzoek dat dient te gebeuren om efficiënt te kunnen werken is het opzoeken van eerder gedaan onderzoek. Kalibreren is een eerder wiskundig gegeven en verkeersmodellen worden reeds meer dan 40 jaar gebruikt. Hieruit moet blijken wat de manieren zijn van kalibreren en hoe die in hun werk gaan. Onderzoeksvraag 1: Wat zijn in het verleden de manieren van kalibreren geweest? Wat waren de resultaten van deze onderzoeken?

Een logisch vervolg op deze eerste vraag is het dieper onderzoeken van de uitkomsten van manieren van kalibreren. Hoe werkt dit exact, wat is er allemaal voor nodig en wat zijn de voor- en nadelen? Hiervoor is het duidelijk dat een zeer exacte kennis van het kalibratieproces nodig is. Aangezien het een wiskundig project is dient er steeds een duidelijk

voorbeeld te worden gegeven bij de verschillende stappen die ondernomen worden in het proces. Dit is nodig aangezien de opleiding verkeerskunde niet diep is toegespitst op wiskundig onderzoek maar eerder op het generalistisch interpreteren. Het duidelijk kunnen aanbrengen van de gebeurtenissen in het kalibratieproces is daarom hier nodig.

Eens dit duidelijk is en er een duidelijk beeld is op de beste manier van kalibreren en waaraan dit allemaal voldoet kan er gestart worden met OmniTRANS. De manier die OmniTRANS gebruikt moet worden vergeleken met de manier van kalibreren met een objectieffunctie. De resultaten die worden verkregen kunnen op deze manier beter geïnterpreteerd worden. Indien de kalibratie fouten oplevert moeten verbeteringen worden gevonden om het kalibreren kwalitatief hoogstaander te maken. Geen theoretische noch mathematische fouten mogen toegelaten worden. Theoretische fouten zijn fouten die een ongewenst effect hebben op de verkeersstromen en die een foute uitkomst opleveren.

Het dient echter ook duidelijk te worden welke impact kalibratie heeft op het complete proces van een verkeersmodel. Dit is belangrijk aangezien tellingen de werkelijkheid moeten helpen te benaderen maar wat als de tellingen fout zijn of de originele matrix fout is? Hoe zal het model hierop reageren? Is het meteen duidelijk wat de kalibratie doet of zal het pas later in het proces duidelijk worden wat er allemaal gaande is?

Aangezien kalibreren eigenlijk het finetunen is van de HB-matrix omdat de originele matrices niet kwalitatief genoeg zijn dient ook aangegeven te worden welke zaken deze originele matrix moeten verbeteren. Hoe kan de kalibratie een beperktere rol krijgen toebedeeld? Wat zijn de ingrediënten van een betere originele matrix? Is er een alternatief voor de hedendaagse basis herkomst-bestemmingsmatrices?

Op alle bovenstaande vragen dient een antwoord te worden gegeven met twee belangrijke doelen voor de thesis. Het verbeteren van het kalibratieproces in OmniTRANS. Deze kwaliteit dient even hoog te zijn als de huidige CUBE-modellen, deze modellen zijn sinds lange tijd in ontwikkeling en vertonen een logische aanpassing aan de HB-matrix. De Vlaamse Modelstructuur is geënt op de CUBE-modellen en dus dienen

modellen die worden ondersteund door de Vlaamse Overheid vergelijkbare resultaten op te leveren. Maar een tweede en even belangrijk deel van deze thesis is het verduidelijken van de werking van macroscopische modellen en vooral hoe tellingen hierop kunnen inspelen. Na het lezen van deze thesis dient een verkeerskundige in staat te zijn om gevaren in verkeersmodellen te zien en een goede interpretatie te geven aan resultaten. Dit zowel bij de basissituatie en toekomstscenario's door interpretatie van voor en na kalibratie gegevens.

2. ALGEMENE MODELOPBOUW EN KALIBRATIE

Om een goed beeld te krijgen van wat kalibratie doet in een verkeersmodel is een goede kennis van de opbouw en werking van een verkeersmodel nodig. Daarom wordt in dit hoofdstuk een uitgebreide uitleg gegeven over de opbouw van een model en al zijn componenten.

2.1. SCHAAL EN ZONERING

In Vlaanderen zijn verkeersmodellen voorhanden voor verschillende overheden en dienstverleners. Per provincie is er een verkeersmodel opgebouwd, hier maken de gemeenten, steden en Vlaamse overheid gebruik van maar ook De Lijn als openbaar vervoer verlener. Ieder niveau heeft echter zijn eigen model om beter op de vragen van de gebruiker te kunnen antwoorden. Bijvoorbeeld de zonering¹³ is hier binnen de provincie op niveau van statistische sector¹⁴ en de zones worden groter naarmate men verder van de provincie af gaat. Omdat de afstand groter wordt tot het studiegebied en aanpassingen daar weinig effect zullen hebben op het studiegebied worden deze zones geaggregeerd. Het vermindert het rekenwerk sterk. In de provinciale modellen zijn alle N-wegen aanwezig en belangrijke lokale wegen. Echter niet iedere straat is er op aangeduid wat een provinciaal model niet zo geschikt maakt voor wijkcirculatie of stadscirculatie.

De NMBS heeft een eigen verkeersmodel. De zones zijn groter en het netwerk is minder fijnmazig. Dit model beslaat volledig België en gaat tot ver daarbuiten (Amsterdam, Keulen,...).

Sinds geruime tijd in Nederland en sinds kort in België worden modellen gemaakt voor gemeentes. Deze hebben als basis het provinciale verkeersmodel en de zones en verkeersnetwerken zijn nog eens verfijnd in het onderzoeksgebied zodat iedere straat zichtbaar is. Zo worden de

¹³ Zonezwaartepunten zijn de vertrekpunten van verplaatsingen en aankomstpunten. Dit is veronderstelt dat iedereen uit die zone/gebied vanuit dat punt vertrekt.

¹⁴ Gegevens worden in Vlaanderen verzameld op basis van de statistische sector. Dit zijn delen van een gemeente die een ruimtelijke samenhang hebben en zo één geheel vormen.

verplaatsingen van een bepaalde sector weergegeven en worden de verplaatsingen opgesplitst naar de werkelijke vertrekplaats. Een zone wordt bijvoorbeeld in 2 gelijksoortige delen verdeeld, 1 zone met vooral industrie en 1 zone met vooral woongebied. De vrachtbewegingen worden dan bijvoorbeeld voor 90% aan het industriegebied toegekend en 10% aan het woongebied. De vertrekkende werknemers worden dan weer voor 80% aan het woongebied toegekend en 20% aan het industriegebied in de ochtendspits. Dit is een erg werkintensieve manier maar zorgt voor een wezenlijke verbetering van het geheel.

2.2. NETWERK

Ieder netwerk in een verkeersmodel bestaat uit lijnen en knopen. De lijnen zijn wegvakken en hebben karakteristieken zoals capaciteit, weginrichting, aanwezigheid van fietspad,... In Vlaamse verkeersmodellen wordt geen maximumsnelheid opgegeven maar wordt deze berekend aan de hand van de karakteristieken (ligging van de weg, inrichting,...).

De knopen in een verkeersmodel zijn kruispunten of vormpunten. Vormpunten zijn er om een weg zoveel mogelijk te laten aansluiten op de werkelijkheid, maar deze hebben geen impact op capaciteit van de weg. Kruispunten kunnen worden gedefinieerd en deze dragen een bepaalde vertraging met zich mee die een impact hebben op de latere processen. De definitie van een kruispunt kan zo gedetailleerd gaan als gewenst, zoals de lichtenregeling, lengte van een opstelstrook en de aanwezigheid van grote hoeveelheden voetgangers waarop het verkeersmodel anders reageert.

Voor openbaar vervoer kan er aan een bepaalde knoop een halte worden gelegd. Op deze halte is het dan mogelijk om te bepalen of buslijnen er stoppen of niet en wat hun frequentie of aankomst- en vertrektijd is. Afhankelijk van het model wordt een van deze twee gegevens gebruikt. Openbaar vervoerlijnen zijn routes van een buslijn die alle gegevens dragen die nodig zijn voor toedeling van het openbaar vervoer, frequentie, aankomsttijd per halte, halteren of niet aan bepaalde stops.

2.3. BASMAT

BASMAT¹⁵ wordt praktisch ingezet voor de opmaak van basis-verplaatsingsmatrices¹⁶ per motief (HB-matrices), voor een gewenst dagdeel.¹⁷

Het distributiemodel¹⁸ van BASMAT werkt volgens twee verschillende procedures, afhankelijk van het feit of voor het betreffende motief een geobserveerde relatiematrix¹⁹ beschikbaar is of niet.

Voor de motieven werk en school beschikt men over een geobserveerde relatiematrix uit de Socio-economische enquête SEE 2001. Deze matrix geeft de relatie weer tussen de woonplaats enerzijds en de werk- en schoolplaats anderzijds van de inwoners van België. Deze relatiematrix uit 2001 wordt met behulp van de socio-economische gegevens 2006²⁰ omgezet tot een relatiematrix voor 2006. In een volgende stap wordt op basis van de relatiematrix en gebruik makend van verplaatsingscoëfficiënten²¹ een verplaatsingsmatrix voor 2006 opgebouwd.

Voor de motieven Winkel, Sociaal bezoek/Recreatief en Overig beschikken we niet over een geobserveerde relatiematrix 2001. Bijgevolg wordt gewerkt volgens de klassieke weg waarbij er, op basis van de socio-

¹⁵ BASMAT is een module die deel uitmaakt van de Vlaamse modelstructuur. Het berekent de verplaatsingsmatrices voor de verschillende motieven. Meer informatie over BasMAT en andere delen van de Vlaamse Modelstructuur zijn te verkrijgen bij de Vlaamse Overheid.

¹⁶ Verplaatsingsmatrices zijn matrices die voor een bepaald motief aangeven hoeveel verplaatsingen er tussen alle zones in het netwerk gebeuren.

¹⁷ Het is geen echt tijdstipkeuzemodel waarin de tijdstipkeuze gemaakt wordt op basis van kosten. Het is eerder een beschrijvend model die de werkelijkheid, afgeleid uit het OVG, simuleert.

¹⁸ Een distributiemodel doet wat het woord aangeeft. Het distribueert verplaatsingen van herkomst naar bestemmingszones.

¹⁹ Een geobserveerde relatiematrix is onderzocht via een grootschalige socio-economische enquête in het jaar 2001. Hierdoor zijn de werkelijke relaties gekend van 94% van de Belgische bevolking.

²⁰ Wat betreft de socio-economische gegevens dateren enkel de bevolkingsgegevens van 2006, de tewerkstellingscijfers en schoolcijfers dateren van 2001.

²¹ Verplaatsingscoëfficiënten worden toegepast op de matrices van 2001 om te komen tot een goede inschatting van het aantal verplaatsingen in 2006. Bijvoorbeeld wordt een groei in de industriële sector in een bepaalde zone gebruikt om de verplaatsingen naar die zone op te hogen met de groeifactor van de industrie. Dit gebeurt voor alle motieven.

economische gegevens 2006 en verplaatsingscoëfficiënten uit het OVG, producties en attracties worden berekend, die vervolgens worden gedistribueerd met behulp van een op kosten gebaseerde utility-matrix²². Resultaat hiervan is een synthetische verplaatsingsmatrix 2006²³.

Aangezien we niet beschikken over socio-economische gegevens van het buitenland, kan BASMAT geen buitenlandse verplaatsingen genereren. Bovendien beslaat de geobserveerde SEE-matrix²⁴ 2001 ook enkel België. Vandaar dat de buitenlandse verplaatsingen worden overgenomen uit bestaande verplaatsingsmatrices van andere modellen.

Voor het vrachtvervoer is er in BASMAT geen generatie- en distributiemodel, maar worden de verplaatsingen geëxtraheerd uit bestaande vrachtmatrices van andere modellen. In dit kader wordt verwezen naar het in ontwikkeling zijnde vrachtmodel Vlaanderen.

BASMAT bestaat dus uit volgende grote stappen:

- Generatie- en distributiemodel
 - methode 1 : op basis van geobserveerde relatiematrix
 - opbouw van de geobserveerde relatiematrix SEE 2001
 - opbouw van de *relatiematrix* 2006
 - opbouw van de *verplaatsingsmatrix* 2006 voor het gewenste dagdeel
 - methode 2 : synthetische manier
 - opbouw van de kosten- en utilitymatrix
 - opbouw van de verplaatsingsmatrix 2006 voor het gewenste dagdeel

²² Utility is hier echt disutility aangezien het gaat om gegeneraliseerde kost, hoe hoger deze hoe lager de vraag ernaar.

²³ Een synthetische verplaatsingsmatrix geeft aan dat de werkelijkheid er niet voldoende in verwerkt is. Dit in tegenstelling tot de kennis die verwerkt is door het gebruik van geobserveerde matrices.

²⁴ SEE: Sociaaleconomische Enquête

2.3.1. *METHODE 1: OP BASIS VAN GEOBSERVEERDE RELATIEMATRIX*

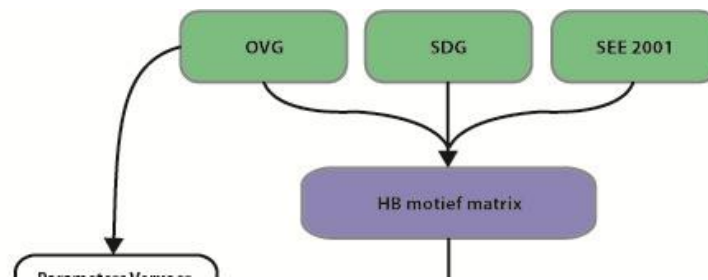
Voor de motieven werk en school beschikken we uit de SEE 2001 over een relatiematrix : een matrix die de relatie aangeeft tussen de woon- en de werk/schoolplaats. Het is logisch dit gekende herkomstbestemmingspatroon te gebruiken bij de distributie.

Ruw geschetst is de werkwijze als volgt :

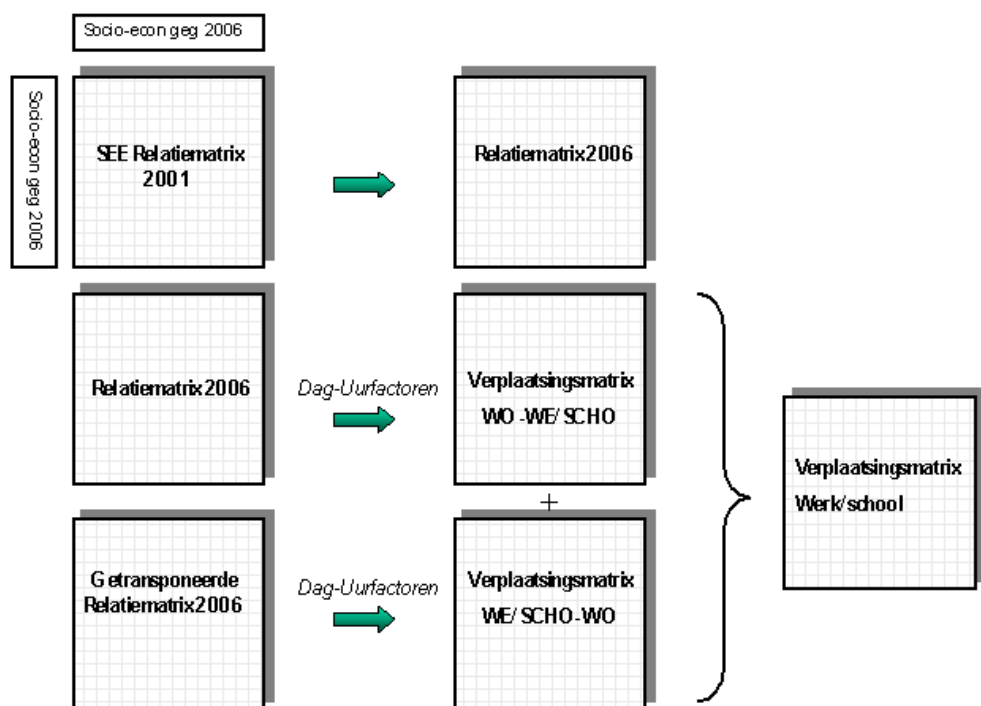
Vooreerst wordt uit de gegevens van de SEE 2001 de geobserveerde relatiematrix afgeleid. Gebruik makend van de socio-economische gegevens 2006, meer bepaald de actieven en de tewerkstellingsplaatsen, wordt deze relatiematrix uit 2001 'opgehoogd' tot een relatiematrix voor 2006. Door deze bekomen matrix te vermenigvuldigen met het aantal woon-werkverplaatsingen dat een actieve per dag maakt, wordt een dagverplaatsingsmatrix bekomen. Let wel, door te vertrekken vanaf de relatiematrix wordt een verplaatsingsmatrix met verplaatsingen in één richting bekomen, het gaat hier om verplaatsingen vertrekkende vanaf de woonplaats en gaande naar de werk/schoolplaats, zoals de naam woon-werk/schoolverplaatsingen aangeeft. Tegelijkertijd worden ook uurfactoren²⁵ uit het OVG toegepast, dit is een percentage om van een hoeveelheid dagverplaatsingen naar een gekozen spitsuur te gaan.. De verplaatsingen in de andere richting, van werk/schoolplaats naar woonplaats worden afgeleid uit de getransponeerde relatiematrix, waarna de twee bekomen matrices gecombineerd worden.

²⁵ De uurfactoren staan beschreven in het OVG Vlaanderen. Dit is voor ieder uur anders en geeft aan hoeveel procent van de verplaatsingen van een dag tussen 2 uren gebeuren.

Schematisch ziet het er als volgt uit :



Figuur 1: Overzicht gebruik OVG en socio-economische gegevens en enquêtes



Figuur 2: ophogen van verplaatsingsmatrixes in BasMAT

Motief werk

Vanuit de databank van de socio-economische gegevens 2006 (op statistische sectorniveau) berekent BasMAT per zone het aantal werkzamen (actieve kant) en het aantal tewerkstellingsplaatsen (passieve kant), en dit per tewerkstellingssector. Resultaat zijn negen lijsten van balanceerfactoren. Deze balanceerfactoren worden per type werk (landbouw, industrie,...) toegepast op de tewerkgestelden. Zo worden voor

industrie de aantal tewerkgestelden bijvoorbeeld verhoogd met een factor 1,005 en voor landbouw verminderd met een factor 1,002.

Deze lijsten worden intern in evenwicht gebracht, zodat het totaal aantal actieven overeenkomt met het totaal aantal tewerkstellingsplaatsen. Hiertoe wordt een dubbele `evenwichtscorrectie uitgevoerd :

- 1) per sector : het aantal tewerkstellingsplaatsen is beter gekend dan het aantal werkzamen, waardoor de werkzamen worden afgestemd op het aantal tewerkstellingsplaatsen ;
- 2) in totaal : het totaal aantal werkzamen is beter gekend dan het aantal tewerkstellingsplaatsen, waardoor het totaal aantal tewerkstellingsplaatsen wordt afgestemd op het aantal werkzamen.

Motief school

Per zone wordt uit de socio-economische gegevens 2006 het aantal schoolgaanden (actieve kant) en de schoolbevolking (passieve kant)²⁶ bepaald, en dit zowel voor lager, middelbaar en hoger onderwijs²⁷. Resultaat zijn drie lijsten van balanceerfactoren.

Ook hier wordt een `evenwichtscorrectie uitgevoerd, meer bepaald wordt de schoolbevolking afgestemd op het aantal schoolgaanden, zodat het totaal aantal schoolgaanden gelijk is aan de totale schoolbevolking. In de SDG-databank zijn deze opgeslagen op statistische sectorniveau.

Voorbeeld

Op onderstaande figuur is een voorbeeld te zien van het ophogen van een bepaald basisjaar naar bijvoorbeeld 2006. Voor het jaar 2001 is gekend hoeveel mensen van A naar B gaan voor het motief werk. Het jaar van het onderzoek is echter 2006 en de HB-matrix dient aangepast aan het nieuwe basisjaar. Daarvoor gebruikt men de SEG's van 2001, vergelijkt deze met

²⁶ Onderscheid schoolgaanden-schoolbevolking:
 -schoolgaanden: kinderen die schoolplichtig zijn in een bepaalde zone (huiskant)
 -schoolbevolking: het aantal leerlingen in de scholen in een bepaalde zone (schoolkant)

²⁷ Kleuters worden niet mee opgenomen.

de SEG's van 2006 en berekent zo de groeifactoren die moeten worden toegepast. In het voorbeeld wordt de hoeveelheid inwoners constant gehouden om het simpeler te maken. Dit veronderstelt dat de inwoners in deze 2 gebieden meer actief worden, dat de tewerkstellingsgraad zal stijgen met x procenten. Als de hoeveelheid inwoners stijgt zal eerst gekeken worden of met gelijke tewerkstellingsgraad de extra tewerkstellingsplaatsen opgevuld zijn. Is dit niet het geval zal de activiteitsgraad verhogen.

Relatiematrix		
2001	1	2
1	20	100
2	40	5
SEG 2001	Inwoners	Tewerkstellingsplaatsen
Zone 1	500	60
Zone 2	200	105
SEG 2006	Inwoners	Tewerkstellingsplaatsen
Zone 1	500	80
Zone 2	200	200
SEG 2006	Inwoners	Tewerkstellingsplaatsen
Zone 1	500	+33%
Zone 2	200	+90%
Relatiematrix		
2006	1	2
1	26	190
2	53	9

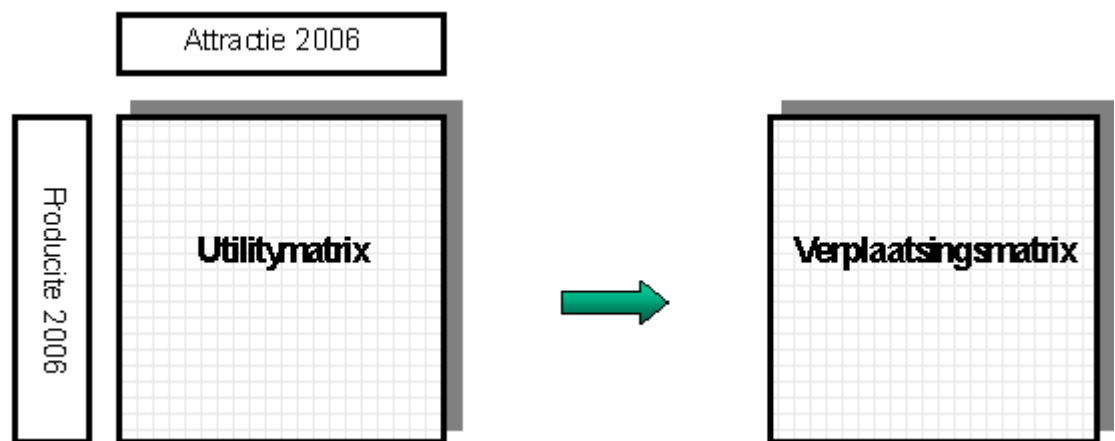
Figuur 3: Voorbeeld van de werking van ophogen relatiematrixes

2.3.2. METHODE 2: SYNTHETISCHE VERPLAATSINGSMATRIX

Voor de motieven Winkel, Sociaal bezoek/Recreatief en Overig beschikt men niet over een geobserveerde relatiematrix 2001. Bijgevolg wordt gewerkt volgens de klassieke weg waarbij er, op basis van de socio-economische gegevens 2006 en verplaatsingscoëfficiënten uit het OVG, producties en attracties worden berekend, die vervolgens, volgens het klassieke zwaartekrachtmodel, worden gedistribueerd met behulp van een

op kosten gebaseerde utility-matrix²⁸. Resultaat hiervan is een synthetische verplaatsingsmatrix 2006.

Voor de opbouw van de verplaatsingsmatrix voor de motieven Winkel, Sociaal bezoek-recreatief en Overig wordt er dus via de kostenmatrices en utilities gewerkt. Aangezien de verplaatsingen van deze motieven, zowel de heen- als terugrichting, verspreid over de hele dag plaatsvinden is er een soort van 'dagkost' nodig waarover kan gedistribueerd worden. De dagkost is het totaal van afgelegde afstand voor een bepaald motief. Dit dient echter te worden opgesplitst om tijdens de berekende spits een beeld te geven. De afstand (kost) van een bepaalde herkomst tot alle bestemmingen (recreatie, winkel,...) wordt berekend en de verplaatsingen worden via VYPA (zie lager) toegekend doormiddel van een intelligent zwaartekrachtmodel²⁹.



Met behulp van de door TRITEL ontwikkelde module VYPA wordt voor de motieven Winkel, Sociaal bezoek/recreatief en Overig berekend hoeveel

²⁸ De kosten gebaseerde utility-matrix is de matrix met daarin de kost (uitgedrukt in geld) om van de ene zone naar de andere te gaan. Deze kost is onder andere samengesteld door de value of time te vermenigvuldigen met de tijd die de verplaatsing kost, de kilometerprijs, ticketprijs, parkeerprijs,...

²⁹ Een zwaartekrachtmodel deelt de verplaatsingen toe aan verschillende bestemmingen waarbij de verplaatsingsafstand (kost) omgekeerdevenredig wordt gebruikt om minder verplaatsingen naar verdere bestemmingen te brengen. De andere randvoorwaarde is de aantrekkingskracht van de bestemming. Zo zal Wijnegem shoppingcenter veel aantrekkingskracht hebben van Brussel, al ligt het er ver vanaf.

verplaatsingen in iedere zone toekomen en vertrekken, en dit voor ieder uur van de dag. Het gaat hier wel om verplaatsingen in één richting, vertrekkend vanaf de woonkant. Voor de verplaatsingen in de andere richting kan dan gewerkt worden met de getransponeerde matrix.

De productie en attractie van een zone wordt per motief verkregen op basis van de socio-economische gegevens: men hanteert voor elk motief productie- en attractiecoëfficiënten op de overeenstemmende relevante socio-economische gegevens. Zo zal voor het motief Winkel bijvoorbeeld de bevolking belangrijk zijn, alsook het aantal tewerkstellingsplaatsen in de detailhandel. De productie- en attractiecoëfficiënten worden afgeleid uit het Onderzoek Verplaatsingsgedrag 2000.

Samengevat heeft VYPA, de module die de productie en attractie op dagbasis berekent, als input volgende gegevens nodig:

- Coëfficiënten uit het OVG, die per motief en per persoon het aantal verplaatsingen, vertrekkend vanaf de woonkant, op dagbasis weergeven;
- Tijdstipdistributie: verdeling van de verplaatsingen over de dag gezien;
- Database met socio-economische gegevens 2006;
- Bestand afgeleid uit het OVG, waarin de verdeling van personen over leeftijdsklasse en wagenbezit in het gezin is weergegeven. Zoals verder blijkt wordt deze verdeling gebruikt bij de bepaling van productie en attractie voor de motieven Winkel, Sociaal bezoek/recreatief en Overig;
- Bestand dat koppeling tussen statistische sectoren en modelzones weergeeft.

Hieronder wordt in detail ingegaan op de verschillende motieven:

Motief Winkel

Werkverplaatsingen worden enkel door actieven gemaakt, schoolverplaatsingen enkel door schoolgaanden, winkelverplaatsingen echter door iedereen. Vandaar dat voor het motief Winkel het aantal verplaatsingen *per gemiddeld persoon* wordt bepaald. Aangezien echter uit het OVG blijkt dat leeftijd en aantal auto's in het gezin factoren zijn die het aantal verplaatsingen beïnvloeden, wordt het aantal

winkelverplaatsingen per persoon gedesaggregeerd naar deze twee factoren bepaald.

Gemiddeld maakt een persoon per dag 0.287 woon-winkelverplaatsingen, of nog, iets meer dan één persoon op vier maakt per dag een winkelverplaatsing. Rekening houdend met het feit dat vaak slechts één persoon per gezin de winkelverplaatsingen maakt en dat winkelverplaatsingen niet iedere dag worden gemaakt, lijkt dit een realistisch cijfer.

De productie per zone voor het motief Winkel wordt bepaald door de OVG-coëfficiënten toe te passen op de totale bevolking per zone, opgedeeld naar leeftijdsklasse en aantal auto's per gezin. Voor de attractie van winkelverplaatsingen per zone wordt het aantal tewerkstellingsplaatsen in de detailhandel als bepalend beschouwd. Productie en attractie worden in evenwicht gebracht door een factor toe te passen op de attractie.

Motief Sociaal bezoek/recreatief

Net zoals voor de winkelverplaatsingen wordt het aantal verplaatsingen voor dit motief uit het OVG bepaald per persoon, gedesaggregeerd naar leeftijdsklasse en wagenbezit in het gezin. Per dag maakt een persoon gemiddeld 0.255 woon-sociaalbezoek/recreatief-verplaatsingen, of anders gezegd, één op vier personen.

Door deze coëfficiënten toe te passen op de bevolking per zone, gedesaggregeerd naar autobezit in het gezin en leeftijdsklasse, wordt de productie per zone bepaald. Voor de attractie wordt eveneens de bevolking als meest relevant socio-economisch gegeven beschouwd, waardoor de attractie gelijk gesteld wordt aan de productie.

Resultaat zijn productie- en attractielijsten, per uur.

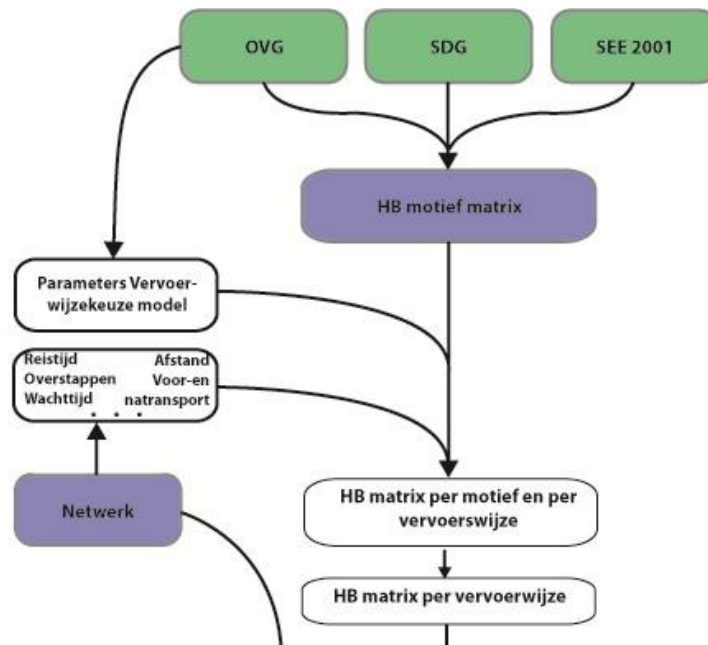
Motief Overig

Het aantal overige verplaatsingen per persoon, gedesaggregeerd naar wagenbezit in het gezin en leeftijdsklasse, wordt uit het OVG afgeleid. Gemiddeld gaat het om 0.219 verplaatsingen per persoon per dag, in één richting.

Net zoals bij het motief sociaal bezoek/recreatief wordt de productie bepaald door de OVG- coëfficiënten toe te passen op de bevolking, gedesaggregeerd naar hoger genoemde factoren, waarna de attractie hieraan wordt gelijk gesteld.

2.4. VERVOERWIJZEKEUZE

De synthetische HB-matrix per motief heeft echter geen waarde en moet worden omgebouwd tot een HB-matrix met onderscheid in de verschillende verkeersmodi.



Figuur 4: Overzicht vervoerswijzekeuze

De vervoerswijzekeuze gebeurt op basis van een disutiliteitsfunctie. Deze disutiliteitsfunctie is een som van een aantal parameters (berekend in het OVG) en een aantal variabelen (deze wordt later in de thesis berekend in het netwerk).

De basis hiervoor is het verkeersnetwerk dat in het verkeersmodel wordt gebruikt. Voor openbaar vervoer is ook de werkelijke dienstregeling van de bussen en treinen nodig. In dit netwerk worden verschillende variabelen berekend die als input dienen voor het vervoerswijzekeuzemodel. De benodigde input voor het vervoerswijzekeuzemodel zijn onder andere tijd in het voertuig, aantal overstappen, afstand, wachttijd, voor- en natransport,... Deze gegevens worden verzameld voor ieder herkomst-bestemmingpaar.

Uit het onderzoek verplaatsingsgedrag (OVG) worden parameters* berekend voor de vervoerwijzekeuze. Meer overstappen met de trein betekent een grotere disutiliteit³⁰ (minder aangenaam) en zal leiden tot minder aantrekkings. Zo is er ook een parameter voor de reistijd. Deze parameters zijn gekend voor ieder motief waardoor er een goede inschatting kan gemaakt worden van te verwachten modal split.

De schatting van deze parameters, waar meestal naar verwezen wordt als beta's, wordt uitgevoerd met behulp van statistische software waarbinnen een voorgestelde modelvorm getoetst wordt aan een set geobserveerde waarnemingen waarin de uitkomst bekend is. Typisch zijn dit grootschalige RP- of SP-onderzoeken³¹. Voor de vervoerwijzekeuze als discreet keuzemodel met 5 hoofdmodi, volstaan de steekproeven uit de gestapelde OVG's. Op verplaatsingsniveau wordt elke trip uitgezet naar modelkosten voor alle hoofdmodi, deze kosten met al hun deelcomponenten worden rechtstreeks uit het verkeersmodel gehaald. De waargenomen vervoerwijzekeuze wordt als uitkomst genomen, de afwijkingen met het synthetische vervoerwijzekeuzemodel over alle waarnemingen wordt gesommeerd en in een iteratief zoekproces geminimaliseerd. De resulterende beta's worden afgetoetst op statistische significantie alsook op het logisch verklarend vermogen: de beta's zelf, en hun onderlinge verhoudingen, leren omtrent gevoeligheid van het keuzeprocess tegenover de gebruikte kostcomponenten. Zo is bijvoorbeeld te verwachten dat de beta voor wachten op OV 2 tot 3 keer hoger ligt dan de beta voor In-Voertuigtijd voor OV. Beta's gerelateerd aan reistijd moeten negatief zijn; De verhouding tussen de beta's rond reistijd en kosten geven een indicatie van de Value-Of-Time. De inhoudelijke aftoetsing bestaat dan uit het bewaken van deze logische verhoudingen. De verhoudingen in beta-

³⁰ Er wordt gesproken over disutiliteit omdat wanneer deze score voor een bepaald transportmiddel te hoog is, er geen gebruik van gemaakt zal worden. De disutiliteit is vergelijkbaar met de kost om zich met een bepaald transportmiddel van A naar B te verplaatsen.

³¹ RP-onderzoeken (revealed preference) zijn een soort enquêtes die worden uitgevoerd met het doel een zicht te krijgen op verplaatsingen in het verleden. Welke verplaatsing met welke reden/kost enzovoort gemaakt worden. SP-onderzoeken (stated preference) zijn enquêtes die toekomstige verplaatsingen proberen te simuleren. Respondenten moeten antwoorden op een bepaalde situatie die hen wordt voorgesteld door de ondervrager.

waarden zijn zo dat de huidige modal split perfect wordt nagebootst bij het gebruiken van deze beta's. Het verschil tussen de beta reistijd auto en reistijd passagier is om ervoor te zorgen dat men maar uitkomt op een bezetting van 1.3 personen per auto. Als deze lager was voor de passagier zou een hogere autobezetting worden gesimuleerd.

*Onderstaand de parameters zoals die gebruikt worden in de Vlaamse modelopbouw.

Motief	Werk	School	Winkel	Recreatief	Overig
Constance auto	-0.18	-1.35	-0.32	-0.85	-0.16
β reistijd auto	-0.024	-0.036	-0.02	-0.022	-0.022
β afstand auto	-0.046	-0.052	-0.05	-0.06	-0.045
β kost auto	-0.09	-0.09	-0.1	-0.1	-0.1
Constance passagier	-2.15	-0.23	-2.3	-1.8	-1.8
β reistijd passagier	-0.085	-0.06	-0.068	-0.047	-0.07
Constance OV	-1.18	0.7	-1.7	-1.5	-1.6
β reistijd OV	-0.019	-0.019	-0.025	-0.023	-0.025
β wachttijd	-0.06	-0.062	-0.084	-0.078	-0.082
β # opstappen	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
β reistijd voor- en natransport	-0.03	-0.03	-0.045	-0.045	-0.043
Constance fiets	0.38	1.32	0.43	0.2	-0.22
β reistijd fiets	-0.14	-0.05	-0.13	-0.13	-0.2
Constance t	1.7	2.5	3	3	1.2
β reistijd te voet	-0.155	-0.085	-0.155	-0.123	-0.25

Tabel 2: beta's voor vervoerwijzekeuze

Met deze bètaparameters en de input van het model kan voor iedere HB-relatie berekend worden wat de disutiliteit is per modus (bijvoorbeeld: $U_A = \text{reistijd auto} * \beta \text{ reistijd auto} + \text{afstand auto} * \beta \text{ afstand auto} + \text{kost auto} * \beta \text{ kost auto}$). Deze disutiliteit wordt vergeleken met de andere disutiliteiten. De modalsplit is de exponent van deze disutiliteit gedeeld door de som van de exponenten van de disutiliteiten van de andere modi.

$$\text{Modal split}_A = \exp(U_A) / (\exp(U_A) + \exp(U_B) + \exp(U_C))$$

$$\text{Modal split}_B = \exp(U_B) / (\exp(U_A) + \exp(U_B) + \exp(U_C))$$

$$\text{Modal split}_C = \exp(U_C) / (\exp(U_A) + \exp(U_B) + \exp(U_C))$$

Deze modal split wordt hierna gecombineerd met de motiefmatrix en de uitkomst is een HB-matrix per motief en modus. Om de rekentijd te verminderen worden deze motief/modus matrices gesommeerd tot modusmatrices. Verder in het proces wordt niet meer geraakt aan de verdeling tussen de motieven behalve in de kalibratie.

Om aan te tonen hoe dit werkt, staat hieronder een rekenvoorbeeld. Hierin wordt de modal split onderzocht van Hasselt naar Brussel voor iemand die in het centrum van Hasselt woont en vlakbij Brussel-Noord werkt. De reistijd met de auto in een gecongeesterd netwerk is 85 minuten terwijl de reistijd met het openbaar vervoer (trein) maar 55 minuten is. Alle gegevens zijn ingevuld en per motief wordt de disutiliteit uitgerekend door de beta met de overeenkomstige waarde te vermenigvuldigen. Zo komt men uit bij een disutiliteit van -6 voor de wagen, -3 voor het openbaar vervoer en zo verder.

In onderstaande tabel worden de exponenten van deze disutiliteiten uitgerekend die worden gebruikt om de modal split te bepalen. Daarna wordt de exponent van de disutiliteit gedeeld door de som van alle exponenten van de disutiliteiten. Hierdoor bekomt men de modal splits voor de verschillende vervoerwijzes.

	Herkomst	Bestemming	Motief	
	Hasselt	Brussel	Werk	Disutiliteit
	Tijd	Beta		
Constante auto		-0.18	Auto	-6.308
β reistijd auto	85	-0.024		
β afstand auto	83	-0.046		
β kost auto	3	-0.09		
Constante passagier		-2.15	Passagier	-9.375
β reistijd	85	-0.085		
Constante OV		-1.18	OV	-3.135
β reistijd OV	55	-0.019		
β wachttijd	10	-0.06		
β # opstappen	1	-0.1		
β reistijd voor- en natransport	7	-0.03		
Constante fiets		0.38	Fiets	-22.02
β reistijd fiets	160	-0.14		
Constante te voet		1.7	Te voet	-114.55
β reistijd te voet	750	-0.155		
	Disutiliteit	exponent	Modal split	
Auto	-6.308	0.001821673	4%	
Passagier	-9.375	8.48182E-05	0%	
OV	-3.135	0.043499754	96%	
Fiets	-22.02	2.73423E-10	0%	
Te voet	-114.55	1.78471E-50	0%	
			100%	

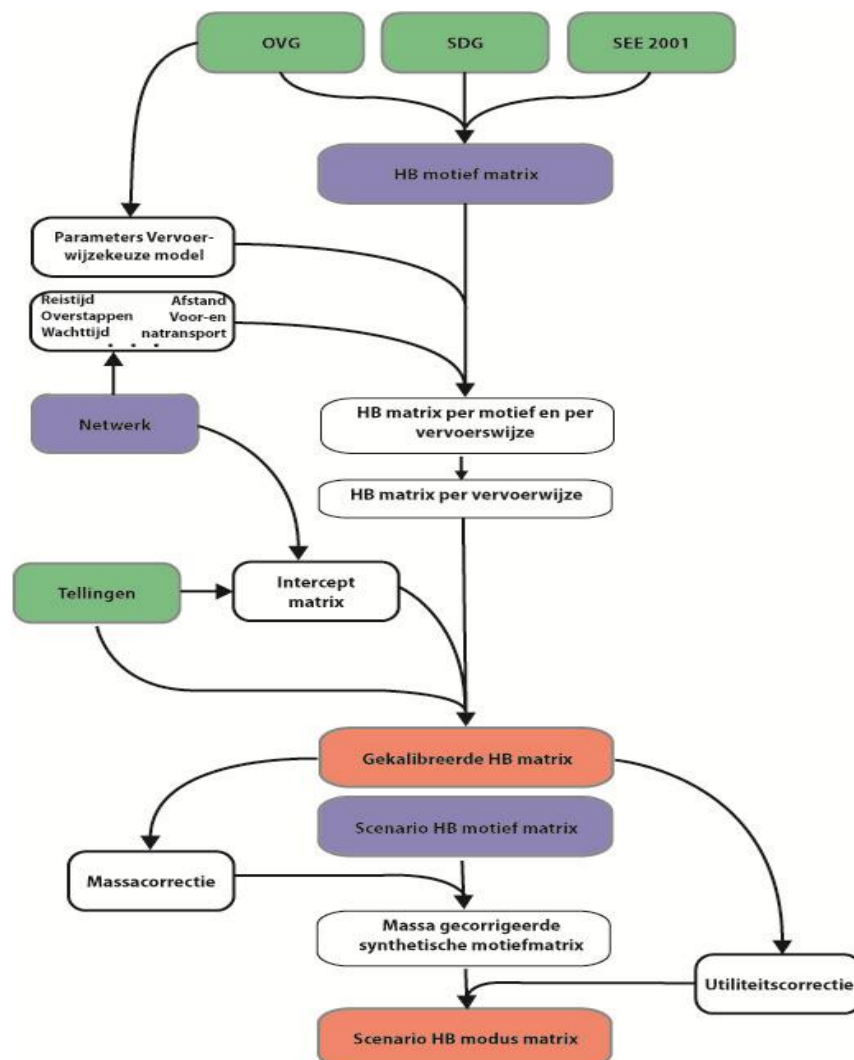
Tabel 3: Rekenvoorbeeld berekening modal split

De uitkomst van de vervoerwijzekeuze is een HB-matrix per verkeersmodus. In Vlaamse verkeersmodellen zijn er 8 verkeersmodi, openbaar vervoer is opgesplitst in 4 verschillende modi. Deze zijn de combinatie van het voor- of natransport met openbaar vervoer (fiets, te voet, auto, passagier)

2.5. KALIBRATIE

Dit is het onderwerp van deze thesis en wordt hier kort en simpel uitgelegd om aan te duiden wat kalibratie doet, wat ervoor wordt gebruikt enzovoort. In latere hoofdstukken wordt er veel dieper ingegaan op de materie.

Voorgaande stappen zijn veronderstellingen van theorieën en zijn niet 100% juist aangezien ze gemiddelde waarden gebruiken voor alle zones in Vlaanderen. Maar er zijn steeds lokale verschillen, een zone in het buitengebied is bijvoorbeeld niet zo mobiel als een zone in het midden van de stad. Mensen met meer middelen gebruiken meer de auto dan mensen met minder middelen. Er is dus een verschil in het verkeersgedrag tussen verschillende locaties in Vlaanderen. Dit kan op dit moment nog niet worden berekend tijdens de opmaak van de synthetische HB-matrix maar is op straat wel duidelijk merkbaar. Om hierop in te spelen wordt de HB-matrix gekalibreerd, of anders gezegd, kalibreren is het fitten van het model op de werkelijkheid.



Figuur 5: Overzicht kalibratiestap

Kalibratie moet de HB-matrix zoveel mogelijk doen overeenkomen met de werkelijkheid zoals te zien is op straat.

De input van de kalibratie zijn tellingen van het aantal voertuigen op wegvakken of het aantal reizigers op een openbare vervoerslijn of een aantal fietsers op een straat. Sommige modellen kunnen werken met verschillende telwaarden in een model zoals personenwagen equivalenten, aantallen personenwagens, aantal lichte vrachtwagens,... Anderen dan weer niet.

De kalibratie probeert de theoretische verkeersstroom³² te laten overeenkomen met de tellingen. Per telling wordt een matrix gemaakt van welke HB-relaties via deze telling gaan (zie 3.1.3 Interceptmatrix) en waarop de kalibratie dus vat heeft. In een verkeersmodel zitten veelal honderden tellingen waardoor het proces heel wat iteraties (zie 3.1.4 Iteratie i) nodig heeft en een lange rekentijd.

De kalibratie past het aantal vertrekken uit iedere zone aan voor een bepaalde verkeersmodus (soms voor verschillende modi tegelijk). Omdat het heel moeilijk is om aan alle tellingen te voldoen, is het doel van de kalibratie om de verkeersstromen aan te passen en een zo klein mogelijke fout te bekomen.

Na dit proces heb je een HB-matrix die de werkelijkheid zo goed mogelijk benadert. Voor het openbaar vervoer zijn extra utiliteitenverschillen meegegeven. Als de kalibratie meer openbaar vervoerreizigers heeft moeten toevoegen, zal hij kijken hoeveel minder disutiliteit hij aan die relatie voor openbaar moet geven om op de juiste modal split uit te komen voor die zone. Deze utiliteitscorrecties worden opgeslaan in de utiliteitscorrectiematrix³³. Ook de massacorrectie, of de aanpassing van de

³² De theoretische verkeersstroom is de ongekalibreerde matrix. Wordt theoretisch gebruikt om aan te geven dat het nog geen werkelijkheid nastreeft.

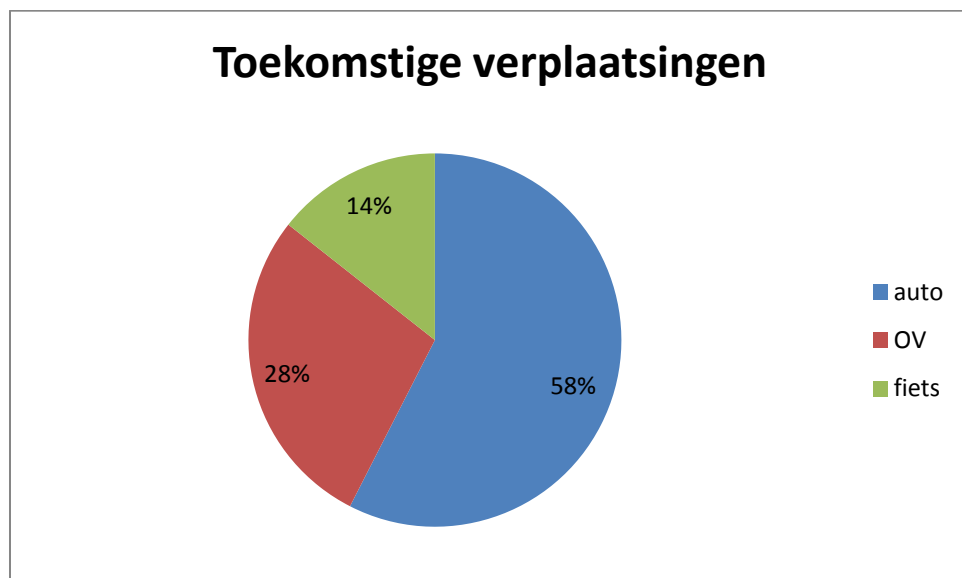
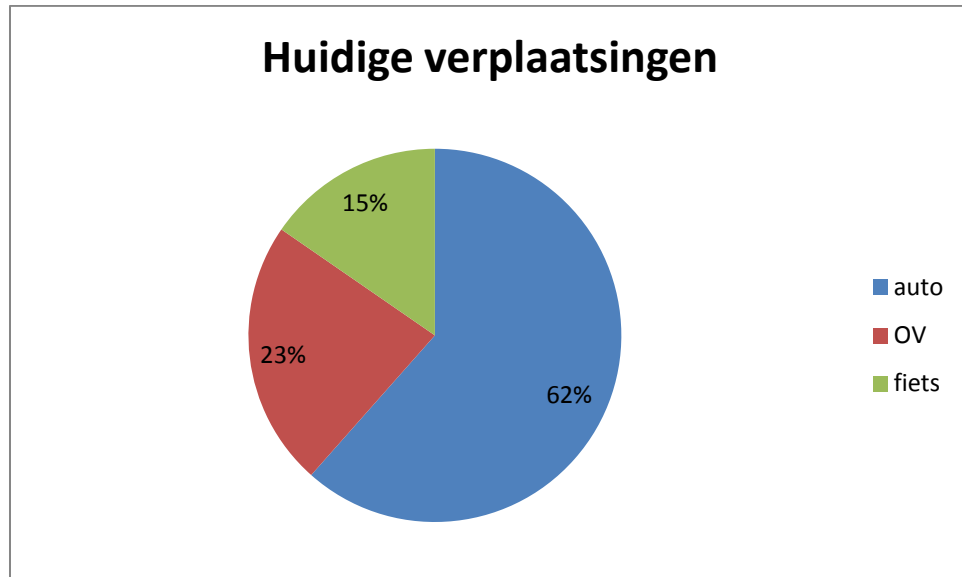
³³ Utiliteitscorrectie wordt toegepast in scenario's om het effect van kalibratie in de huidige situatie op de modal split door te trekken in toekomstige scenario's. De theoretische matrices zijn op dezelfde manier samengesteld en moeten dus ook op dezelfde manier worden aangepast.

hoeveelheid vertrekken, die vanuit een zone worden opgeslaan in een aparte matrix.

Stel dat de kalibratie heeft vastgesteld dat er meer mensen verplaatsingen maken en dat er meer met het OV gereden wordt tussen 2 zones. In het toekomstscenario moet deze aanpassing (op basis van tellingen in de huidige situatie) ook worden doorgevoerd. De massacorrectie zal zorgen dat er meer mensen zich verplaatsen.



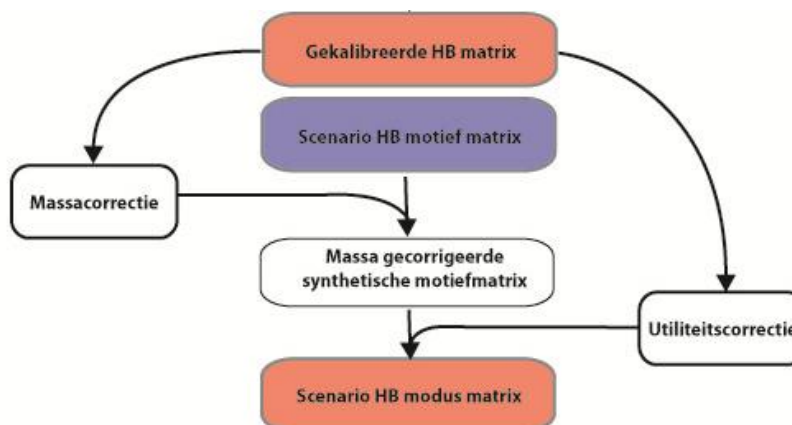
De utiliteitsfactor voegt een 'verschil'-utiliteit toe zodat de modus openbaar vervoer aantrekkelijker wordt.



2.5.1. AANPASSEN SCENARIOMATRICES

Net zoals de HB-motief matrix die aan de basis van de huidige situatie lag, kan er voor een bepaald scenario een HB-motief matrix worden gebouwd. Deze scenario's zijn hoogstwaarschijnlijk gebaseerd op de huidige HB-motief-matrix maar zijn opgehoogd naar een bepaald jaar of met bepaalde veronderstellingen (grote woonuitbreidingen, veroudering,...). In

Vlaanderen worden toekomstscenario's opgebouwd met kennis van het centraal planbureau³⁴ die vastgelegd beleid vertaalt in aanpassingen van de ruimtelijke ordening en infrastructuur.



Figuur 6: overzicht scenario matrix bewerkingen

De eerste stap die wordt genomen, is het aanpassen van de motiefmatrix met de massacorrectie matrix, de matrix wordt cel per cel aangepast met een factor die uit de kalibratie kwam. Hierdoor is het aantal vertrekken uit iedere zone aangepast even sterk aangepast als deze van het basisjaar door de kalibratie.

De volgende stap is de vervoerswijze keuze zoals hoger beschreven. Het enige verschil is dat er een λ ³⁵ (in de formule X_C) bij de utiliteitsmatrix van iedere modus wordt gevoegd die het resultaat is van de kalibratie, dit zijn de utiliteitscorrecties. De aanpassing is gelijk aan die van de kalibratie zodat ook de modalsplit met vergelijkbare resultaten uitkomt. Op deze manier wordt het verkeersgedrag uit het basisjaar gerespecteerd in een scenario.

$$\text{Modal split } A' = \exp(U_A) / (\exp(U_A) + \exp(U_B+X_B) + \exp(U_C+X_C))$$

$$\text{Modal split } B' = \exp(U_B+X_B) / (\exp(U_A) + \exp(U_B+X_B) + \exp(U_C+X_C))$$

$$\text{Modal split } C' = \exp(U_C+X_C) / (\exp(U_A) + \exp(U_B+X_B) + \exp(U_C+X_C))$$

³⁴ Het centrale planbureau doet prognoses omtrent groei van bevolking, industriële activiteiten en andere zaken. Deze groei-of krimp wordt opgenomen in de matrices.

³⁵ Deze λ stelt de utiliteitscorrectie voor bij een bepaalde zone.

2.5.2. *SCENARIOMATRIX*

De scenariomatrix is nu helemaal klaar om te gebruiken en heeft dezelfde correctheid als de gekalibreerde matrix aan het begin van deze beschrijving. Indien er bepaalde grote veranderingen zijn (niet opgenomen in de scenariomatrix) kunnen er steeds een aantal verplaatsingen worden toegevoegd. Dit om een scenario helemaal op punt te stellen.

2.6. IMPACT VAN KALIBRATIE OP DE ANDERE MODELSTAPPEN

Nu het duidelijk is hoe een verkeersmodel in elkaar zit, is het ook mogelijk om aan te geven waarop de kalibratie een effect heeft. Het is de laatste stap in het verkeersmodel dus het verandert alles wat ervoor is gebeurd.

2.6.1. *VERPLAATSINGSCOËFFICIËNTEN*

Kalibratie heeft een effect op de Verplaatsingscoëfficiënten, totalen van de HB-matrix worden veranderd om zijn resultaat te bekomen. Dit kan er dus voor zorgen dat bepaalde gebieden minder/meer verplaatsingen zullen maken dan het Vlaamse gemiddelde.

2.6.2. *MODAL SPLIT*

De utiliteitscorrectie die voor een vervoerwijzekeuze gebeurt, heeft een impact op de HB modus matrix en dus ook op de veronderstelde modal split. De gegevens van het OVG in combinatie met de utiliteitsmatrix zorgen voor een HB modal split matrix. Uit het OVG komen algemene veronderstellingen, niet aangepast aan de omgevingsfactoren zoals niet stedelijk gebied, weinig aanbod van openbaar vervoer, andere houding ten opzichte van openbaar vervoer. De kalibratie diversifieert de utiliteitsfuncties en de daaraan gekoppelde modal split voor alle HB relaties.

2.6.3. *SCENARIO MATRICES*

Het kalibratieproces brengt 3 matrices met zich mee. Een gekalibreerde HB matrix, een massacorrectiematrix en een utiliteitscorrectiematrix. Deze matrices worden gebruikt om een originele HB motiefmatrix van welk scenario ook (toekomst, evenement,...) om te vormen tot een matrix die met de werkelijkheid zou moeten overeenkomen. Deze matrices kunnen het volledige proces van kalibratie niet doorlopen aangezien er voor deze scenario's geen tellingen aanwezig zijn. In Nederland wordt niet gewerkt met een utiliteitsmatrix en massacorrectiematrix zoals in de Vlaamse Verkeersmodellen. Men gebruikt een uniforme factor om de HB-relaties op te hogen per modus per HB-relatie. Hieronder een verduidelijking.

Bepaalde HB-relatie	Gemodelleerd	Na kalibratie	Nederlandse factor
Auto	70 verplaatsingen	65 verplaatsingen	*65/70
OV	20 verplaatsingen	35 verplaatsingen	*35/20

2.7. PUNTEN VAN VERBETERING

Kalibratie is dus erg belangrijk in de huidige verkeersmodellen maar er worden regelmatig belangrijke fouten gemaakt met grote effecten voor het verkeersmodel op zich. Dit toont het belang van deze thesis aan. Maar het is ook steeds mogelijk om de impact van kalibratie te verminderen door te starten met een betere HB motief matrix.

2.7.1. BEVOLKINGSSYNTHEZIZER

De bevolkingssynthesizer is een manier om de uitmiddelen tegen te gaan. Er is veel meer informatie geweten over verkeersgedrag op persoons- en gezinsniveau die op dit moment ongebruikt blijven. De kennis van deze gezinsgegevens wordt bijna meteen geaggregeerd tot op zoneniveau. Eens de gegevens op zoneniveau zijn samengesteld, wordt een gemiddeld verkeersgedrag gebruikt om het aantal verplaatsingen voor ieder motief te gebruiken. Er is echter geweten wat de samenstelling is van een zone door de gezinsgegevens. Stel dat je 2 gebieden hebt, het één met alleen een rusthuis in het buitengebied en een ander met een nieuwe woonwijk vlakbij de stad. Door de aggregatie wordt ervanuit gegaan dat deze zones hetzelfde verkeersgedrag hebben terwijl in werkelijkheid het aantal verplaatsingen per gezin in de woonwijk een veelvoud zal zijn van de verplaatsingen van 'gezinnen' in de zone van het rusthuis. Zo zijn er veel gegevens die een grote impact hebben op de verkeersgeneratie maar die nu niet worden aangewend door de aggregatie.

De bevolkingssynthesizer houdt dus alle kennis over gezinnen apart en gaat veel later in het proces aggregeren. De kennis van bewoners wordt gebruikt om te bepalen hoeveel verplaatsingen gebeuren door een bepaald gezin. De gezinssamenstelling is daarbij belangrijk en de kennis van het OVG wordt gebruikt om het aantal verplaatsingen, de herkomst en bestemming en mogelijk zelfs de modus te berekenen. Eigenlijk weet de

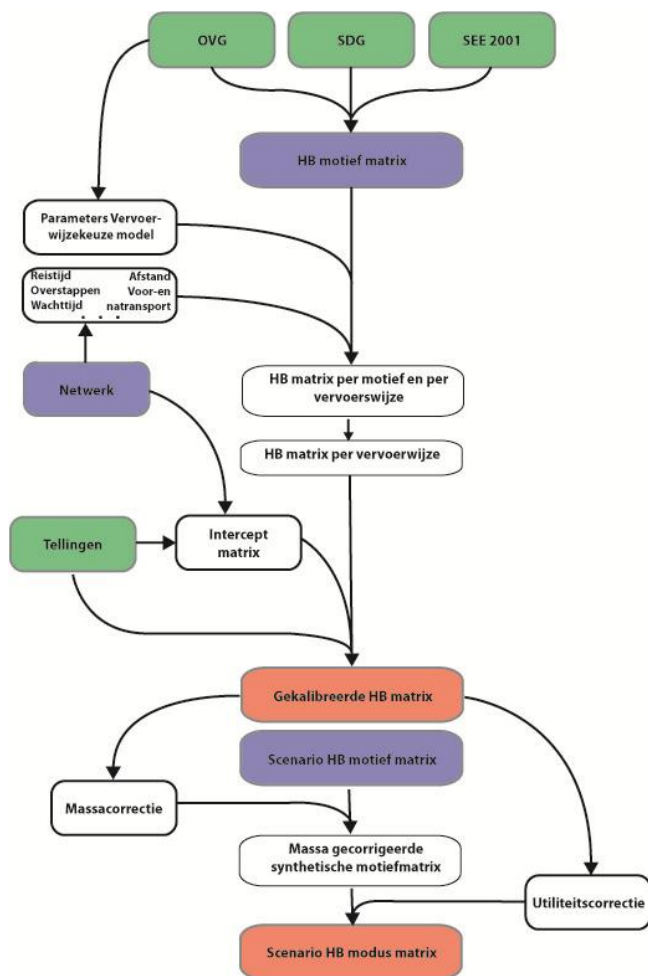
synthesizer dan perfect voor ieder adres wie er woont en wat hun verkeerspatroon is. Uiteindelijk worden deze gegevens opnieuw samengevoegd tot een HB-motief matrix per verkeersmodus.

2.7.2. *ACTIVITEITEN GEBASEERDE MODELLEN*

Activiteiten gebaseerde modellen zijn modellen die uitgaan van individuen en het gedrag van deze personen gedetailleerd in kaart brengen. Dit maakt het mogelijk om veranderingen in het gedrag mee te modelleren maar ook om verder te rekenen met individuen en zo, net als met de bevolkingssynthesizer, een langere tijd met individuele personen te rekenen.

2.8. OVERZICHT

Hieronder staat een algemeen overzicht van het opbouwen van een verkeersmodel waarvan alle delen reeds in bovenstaande tekst werden uitgelegd. Groene vakjes staan voor de werkelijkheid, blauw voor pseudo-werkelijkheid (afgeleid van de werkelijkheid maar niet de perfecte werkelijkheid), wit voor modelgegevens en rood voor gebruiksklare matrices. Hier wordt weinig gezegd over toedeling van matrices alhoewel ook in het hieronder beschreven proces toedelingen worden gebruikt. Er wordt echter van uitgegaan dat dit niet moet worden beschreven aangezien hierdoor te ver van de materie wordt afgeweken en dit een onderzoeksdomein op zich is.



Figuur 7: Overzicht opbouw verkeersmodel

3. KALIBRATIEPROCES IN CLOSE-UP

Kalibratie is het proces waarbij de synthetische herkomstbestemmingsmatrices (HB-matrices) worden bijgestuurd om zo goed mogelijk de werkelijke matrices te benaderen. De werkelijke HB-matrices zijn uiteraard niet gekend. Daarom wordt gezocht naar die HB-matrix die, na toedeling op het gemodelleerde verkeersnetwerk, de gekende tellingen zo goed mogelijk benadert en waarbij de structuur van de originele matrix zo veel mogelijk behouden blijft.

In het vorige hoofdstuk werden de verschillende processen beschreven die worden uitgevoerd om van een oorspronkelijke productie- en attractiematrix (verder synthetische matrix genoemd) naar een bruikbare matrix te komen. De synthetische matrix is dus reeds door het vervoerwijzekeuzeproces omgevormd naar een set matrices per vervoerwijze. Om deze matrices per vervoerwijze te fitten op de werkelijkheid wordt kalibratie gebruikt.

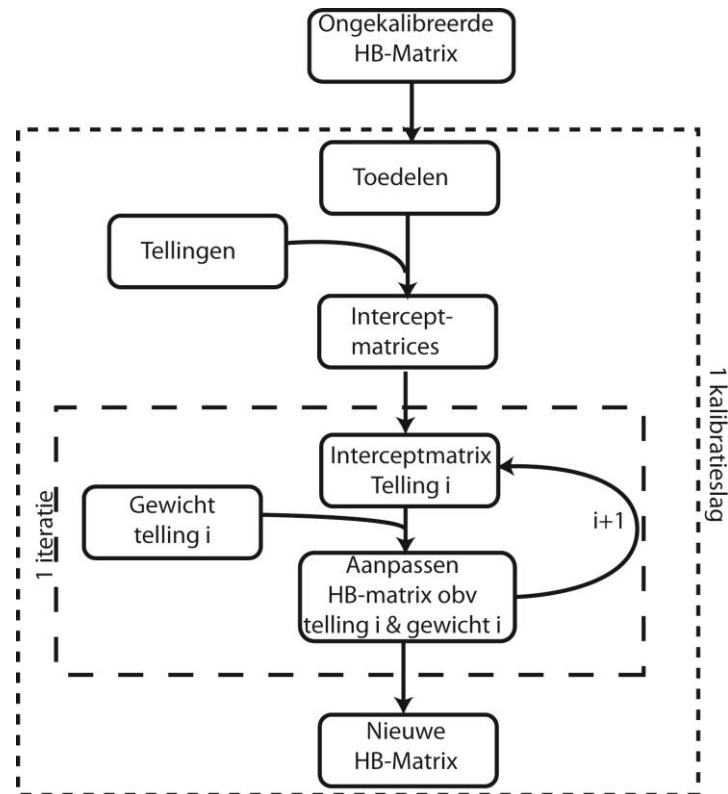
Dit hoofdstuk legt stap voor stap uit hoe de kalibratie gebeurt en hoe dit geïmplementeerd is en dit voor de beide gebruikte technieken in Vlaanderen. Het sequëntieel kalibratieproces is de basis in OmniTRANS en de zoekfunctie is de manier van kalibreren in Cube modellen. Om dit hoofdstuk inzichtelijk te maken wordt er gebruik gemaakt van een eigen rekenvoorbeeld. Dit wordt in het hele hoofdstuk gebruikt om voorbeelden te geven. Alle cijfers en gegevens blijven dus terugkomen zodat kan vergeleken worden vanwaar bepaalde gegevens komen.

3.1. SEQUENTIËEL KALIBREREN

Sequentieel kalibreren is het kalibreren met een opeenvolging van lineaire functies. Deze manier zal hieronder worden uitgelegd. Het is een wiskundig veel eenvoudigere manier van kalibreren ten opzichte van het werken met een zoekfunctie en is bij het begin van deze thesis minder correct.

3.1.1. OVERZICHT

Het sequentieel kalibreren gebeurt in verschillende iteraties³⁶ en 'slagen'³⁷ en verandert een oorspronkelijke HB-matrix in een beter gefitte HB-matrix.

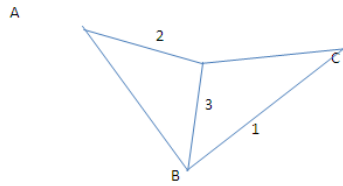


3.1.2. TOEDELING

De synthetische matrices worden toegedeeld volgens hun standaard methode (evenwichtstoedeling). De uitkomst hiervan is een belast netwerk op basis van de synthetische HB-matrices. Op basis hiervan worden intercept matrices gemaakt en worden tellingen vergeleken met de modelresultaten.

³⁶ Een iteratief proces is een proces dat dezelfde berekening gebruikt telkens met de output van de laatste stap als input. Een iteratie is zo één berekening.

³⁷ Kalibratieslagen zijn berekeningen tijdens de kalibratie. Een kalibratieslag kan meerdere iteraties inhouden. Telkens als er wordt gesproken over een kalibratieslag zal men de interceptmatrices opnieuw berekenen.



Figuur 8: Voorbeeld netwerk

3.1.3. INTERCEPTMATRIX

Voor elk telpunt wordt zo een intercept-matrix opgemaakt waarbij via toedeling van de synthetische matrix is geweten welke relaties langs een telpunt komen en welk percentage van een bepaald HB-relatie langs deze telling komt. Zo zal bijvoorbeeld tussen Brussel en Aalst 20% via de steenweg rijden en 80% via de autostrade. Deze verschillende routes probeert de interceptmatrix weer te geven.

3.1.4. ITERATIE I

Per iteratie worden alle tellingen in het netwerk gebruikt. Dit gebeurt echter niet op hetzelfde moment maar na elkaar. Er is dus een volgorde waarin de tellingen worden gebruikt om de HB-matrix te veranderen. In een rekenvoorbeeld ziet dit er als volgt uit.

Matrix	A	B	C	Trip-einde			
A		160	250	410			
B	180		130	310			
C	200	180		380			
Trip-einde	380	340	380	1100			
Interceptmatrix telling 1				Interceptmatrix telling 3			
Matrix	A	B	C	Matrix	A	B	C
A		0	0	A		0	0
B	0		0.8	B	0		0.2
C	0	0.7		C	0	0.3	
	B-C	C-B	Model	Waargenomen	Verschil		
Telling 1	104	126	230	180	28%		
Telling 3	26	54	80	200	-60%		

Figuur 9: rekenvoorbeeld sequentieel kalibreren iteraties (1)

In het bovenstaande voorbeeld staat een iteratie volledig uitgerekend. Bovenaan is de HB-matrix te zien die, om gemakkelijker zaken te kunnen aantonen, maar 3 herkomsten en bestemmingen heeft.

Bij de tellingen is in de kolom HB-matrix de waarde te zien die op het netwerk wordt gemodelleerd. Dit is berekend door de intercept-matrix van iedere tellingen op de HB-matrix te leggen. De intercepten zijn fictieve cijfers vanuit het bovenstaande netwerk. In het tabelletje van de tellingen wordt iedere intercept met zijn overeenkomstig HB-relatie vermenigvuldigd om de gemodelleerde belasting op het netwerk te zien (Model). Het verschil tussen het model en de waargenomen telling staat bij het verschil afgebeeld.

Het aanpassen gebeurt met een lineaire vergelijking. Het verschil tussen de waargenomen waarde en de telling wordt gebruikt om de matrices aan te passen afhankelijk van de intercept. Bijvoorbeeld bij telling 1 wordt 80% van de gevraagde 28% groei toegewezen bij de relatie B-C toegevoegd ($130 + (0.8 * 0.28 * 130) = 159$). Dit gebeurt ook bij de andere relatie.

De uitkomst van dit proces wordt gebruikt voor de volgende telling tot alle tellingen gedaan zijn.

Wat opvalt is dat de verschillen niet meteen klein zijn tussen gemeten en gemodelleerde hoeveelheid verkeer. Op telling 3 is er een sterke verbetering merkbaar maar bij de andere tellingen niet.

Sequentiële kalibratie				
Oorspronkelijke matrix				
Matrix	A	B	C	Trip-einde
A		160	250	410
B	180		130	310
C	200	180		380
Trip-einde	380	340	380	1100
Tellingen				
	HB-matrix	Telling	Verschil	
Telling 1	230	180	28%	
Telling 2	536	430	25%	
Telling 3	80	200	-60%	
Telling 1 via telling				
B naar C	0.8			
C naar B	0.7			
Matrix na telling 1				
Matrix	A	B	C	Trip-einde
A		160	250	410
B	180		159	339
C	200	215		415
Trip-einde	380	375	409	1164
Telling 3 via telling				
B naar C	0.2			
C naar B	0.3			
Matrix na telling 3				
Matrix	A	B	C	Trip-einde
A		160	250	410
B	180		140	320
C	200	176.3		376
Trip-einde	380	336.3	390	1106
Na iteratie 1				
Tellingen				
	HB-matrix	Telling	Verschil	
Telling 1	235.26778	180	0.307043	
Telling 2	536	430	0.246512	
Telling 3	166.85444	200	-0.16573	

Figuur 10: rekenvoorbeeld sequentieel kalibreren iteraties (2)

3.1.5. *KALIBRATIESLAG*

Om de screenline matrices³⁸ te berekenen wordt de HB-matrix toegedeeld op het netwerk. Door de HB-matrix aan te passen aan tellingen zullen er veranderingen in de verkeersstromen zijn die na toedeling een lichtjes andere route volgen. Om ervoor te zorgen dat dit effect wordt tegengegaan, kunnen er meerdere kalibratieslagen gebeuren. Na aanpassing van de matrix worden opnieuw screenlinematrices gemaakt en deze worden gebruikt om nogmaals te kalibreren.

³⁸ Een screenline matrix is een matrix die weergeeft welke HB-paren er langs een telling gaan. Voor iedere telling is er een screenline matrix, vandaar de benaming screenline matrices. Een interceptmatrix geeft weer welk percentage van iedere HB-relatie langs een bepaalde telling gaat. De Screenline matrices worden gebruikt om de matrix op te splitsen in een te kalibreren matrix en een niet te kalibreren matrix. Zie 4.8 Splitsen getelde en niet getelde relaties.

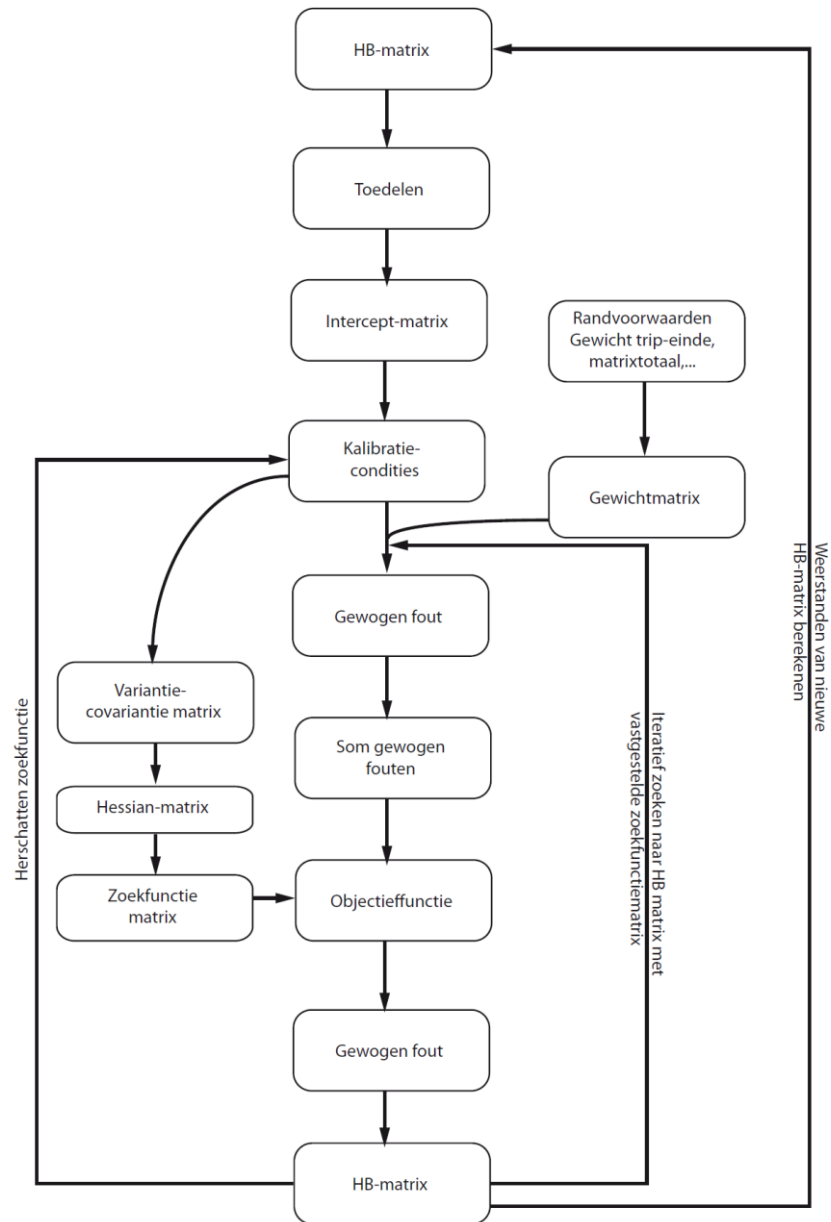
3.2. OPTIMALISATIE VAN ZOEKFUNCTIE

3.2.1. *UITGANGSPOSITIE*

In de theorie is te zien dat het werken met een zoekfunctie wiskundig veel moeilijker is dan het sequentieel kalibreren. Er moet gewerkt worden met een bovengrens en ondergrens om het optimalisatieprobleem te overwinnen. Het voordeel ten opzichte van sequentiële kalibreren is dat het gewogen verschil tussen de gemeten hoeveelheid verkeer en de gemodelleerde hoeveelheid verkeer minimaal zal zijn zonder dat er grote uitschieters worden waargenomen.

3.2.2. *OVERZICHT*

In het overzicht zijn alle processen opgenomen die deel uitmaken van de kalibratie. Om alles duidelijk te maken, wordt er gewerkt vanuit een rekenblad waarin iedere stap wordt getoond.



Figuur 11: Schema van het kalibratieproces

Om het geheel inzichtelijk weer te geven maken we gebruik van een eigen rekenvoorbeeld. Bij iedere stap is een uitsnede van deze tekening te zien. Hieronder een overzicht van het gebruikte rekenvoorbeeld.

Matrix	A	B	C	Trip-einde
A		160	250	410
B	180		130	310
C	200	180		380
Trip-einde	380	340	380	1100

Telling	Voertuigen
Telling 1	180
Telling 2	430
Telling 3	180

Gewichtenmatrix	
Telling	100
Trip-einde	40
Matrix-totaa	80

Interceptmatrices			
Telling 1	A	B	C
A		0	0
B	0		0,8
C	0	0,7	

Telling 2	A	B	C
A		0,2	1
B	0,3		0
C	1	0	

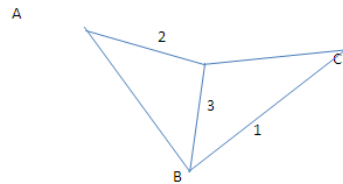
Telling 3	A	B	C
A		0,2	0
B	0,3		0,2
C	0	0,3	

Randvoorwaarden				
Conditie	Uitkomst	Doel	Fout	Gewogen fout
Tellingen				
Intercept1 (i,j)*				
Voertuigen(i,j)	230	180	2500	250000
Intercept2 (i,j)*	536	430	11236	1123600
Intercept3 (i,j)*				
Voertuigen(i,j)	166	180	196	19600
Trip-einde				
Som[, A]	380	380	0	0
Som[, B]	340	340	0	0
Som[, C]	380	380	0	0
Som[A ,]	410	410	0	0
Som[B ,]	310	310	0	0
Som[C ,]	380	380	0	0
Matrixtotaal	1100	1100	0	0
			\sum gewogen fout	1393200

Figuur 12: Overzicht rekenvoorbeeld

3.2.3. TOEDELING

De synthetische matrices worden toegedeeld volgens hun standaard methode (evenwichtstoedeling). De uitkomst hiervan is een belast netwerk op basis van de synthetische HB-matrices. Op basis hiervan worden intercept matrices gemaakt en worden tellingen vergeleken met de modelresultaten.



Figuur 13: Voorbeeld netwerk

3.2.4. INTERCEPTMATRIX

Interceptmatrices zijn matrices die aangeven hoeveel procent van het verkeer tussen iedere herkomst en bestemming langs een telpunt komt. Voor elk telpunt wordt zo een intercept-matrix opgemaakt. Via toedeling van de synthetische matrix is geweten welke relaties langs een telpunt komen en wat de fractie is van het geheel aantal verplaatsingen van deze zone.

Interceptmatrices

Telling 1	A	B	C
A		0	0
B	0		0,8
C	0	0,7	

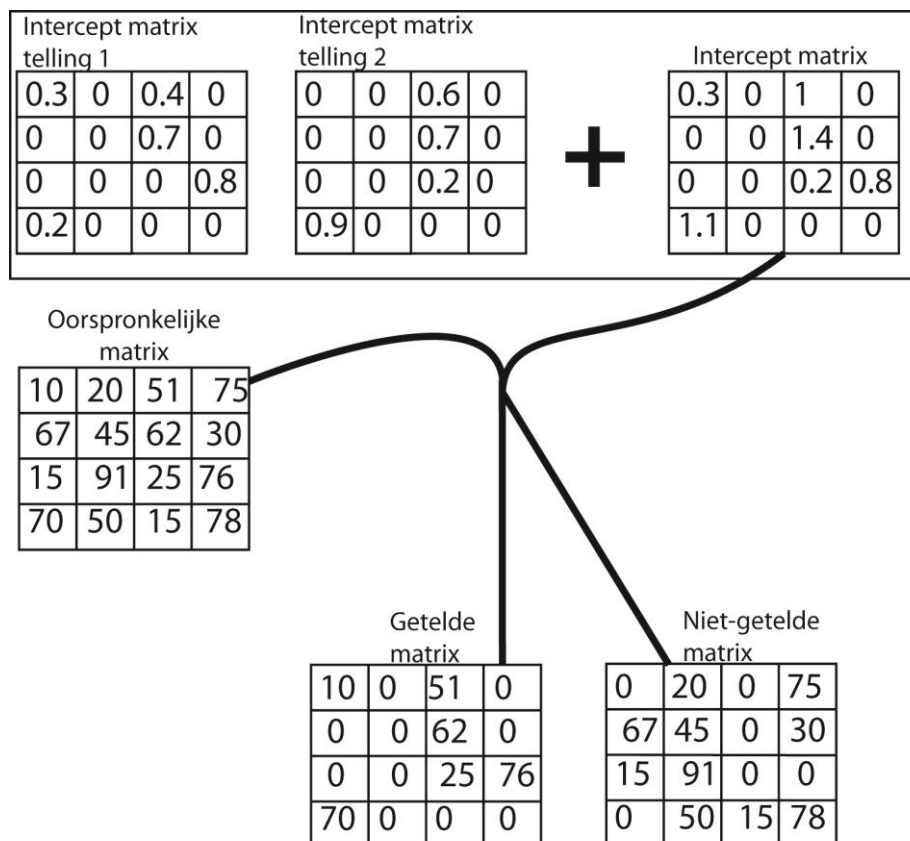
Telling 2	A	B	C
A		0,2	1
B	0,3		0
C	1	0	

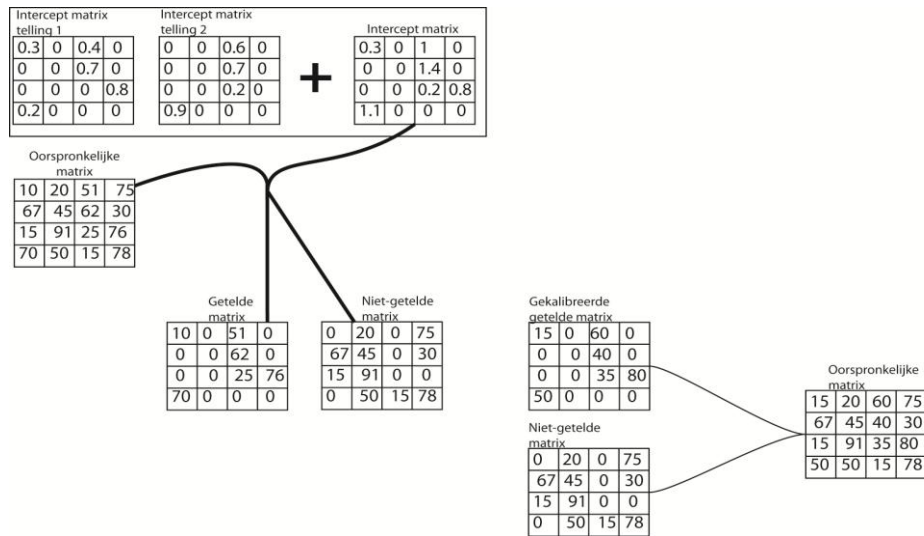
Telling 3	A	B	C
A		0,2	0
B	0,3		0,2
C	0	0,3	

Figuur 14: Interceptmatrices

Voor iedere telling moet er dus een selected link analyse gebeuren. Een berekening van waar verkeer komt en naartoe gaat via dit punt, en hoeveel procent dat van het totale aantal verplaatsingen tussen die 2 punten is. In bovenstaand voorbeeld gaat 80% van het verkeer van B naar C via telling 1 en 20% via telling 3.

Hieronder een voorbeeld hoe de interceptmatrix wordt opgemaakt. De verschillende tellingen leveren verschillende interceptmatrices op. Deze matrices worden opgeteld tot de totale interceptmatrix, maar deze matrix wordt enkel gebruikt om de HB-matrix die gekalibreerd wordt op te splitsen in een getelde HB-matrix en een niet-getelde HB-matrix. De niet-getelde matrix wordt niet veranderd in de kalibratie maar de getelde matrix doorloopt het verderop beschreven proces en wordt veranderd. Eens de kalibratie gedaan is, wordt de niet-getelde matrix bij de getelde/gekalibreerde matrix geteld.





3.2.5. KALIBRATIECONDITIES

De kalibratiecondities zijn een set van vergelijkingen die samen de randvoorwaarden van het kalibratieproces weergeven. Deze randvoorwaarden kunnen ondermeer bestaan uit de relatie tussen HB-relaties en tellingen (dmv de interceptmatrices), de originele productie en attractie van elke zone (de rij- en kolomtotalen van de originele matrix) en de structuur van de originele matrix (het aandeel van de verschillende bestemmingen voor elke oorsprong en omgekeerd). Deze verschillende condities worden hieronder apart toegelicht.

Tellingen

Randvoorwaarden				
Conditie	Uitkomst	Doel	Fout	Gewogen fout
Tellingen				
Intercept1 (i,j)				
Voertuigen(i,j)	230	180	2500	250000
Intercept2 (i,j)	536	430	11236	1123600
Intercept3 (i,j)				
Voertuigen(i,j)	166	180	196	19600
Trip-einde				
Som[,A]	380	380	0	0
Som[,B]	340	340	0	0
Som[,C]	380	380	0	0
Som[A,]	410	410	0	0
Som[B,]	310	310	0	0
Som[C,]	380	380	0	0
Matrixtotaal	1100	1100	0	0
		Σ gewogen fout		1393200

Meerdere HB-relaties passeren tellingen maar een HB-relatie passeert ook meerdere tellingen. Als je dan bij het kalibratieproces bij een HB-relatie 1 autoverplaatsing optelt dan komt er bij meerdere tellingen 1 auto bij, bij andere een halve auto

enzovoort. Doe je aanpassingen voor een volledige matrix dan heeft dat op alle tellingen en kalibratievoorwaarden een effect. De kalibratiecondities moeten dit in beeld brengen. In dit voorbeeld worden een aantal kalibratiecondities getoond uit het eigen rekenvoorbeeld.

In hoofdstuk "3.2.6 Objectieffunctie" wordt bepaald wat de gewichten zijn voor het scoren van deze kalibratiecondities.

In hoofdstuk "3.2.8 Van objectieffunctie tot zoekfunctiematrix" wordt vanuit deze kalibratiecondities een zoekfunctiematrix gebouwd die gebruikt wordt om tot de meest optimale HB-matrix te komen.

Originele productie/attractie

De originele productie/attractiematrix is opgesteld met grote zekerheid van gegevens. Het aantal bewoners in een zone is perfect gekend en de gemiddelde verkeersvraag zorgt voor een bepaalde verkeersvraag van iedere zone. Dit gemiddelde is niet correct aangezien stedelingen zich meer verplaatsen en mensen in het buitengebied minder. Het is echter niet zo dat stedelingen 6 verplaatsingen per dag zullen maken en in het buitengebied maar 1 terwijl het gemiddelde 2.5 is. Dit om aan te tonen dat de synthetische matrix ook een grote waarheid met zich meedraagt en dit gemodelleerde verkeersgedrag moet worden behouden. Onder de noemer trip-einde wordt in de randvoorwaarden de totale attractie en productie van een zone meegenomen.

3.2.6. OBJECTIEFFUNCTIE

De objectieffunctie staat voor het geheel van alle kalibratiecondities. Deze kalibratiecondities hebben variabelen (HB-relaties) en niet-variabelen (uit de intercept-matrix). Door een HB-matrix in te vullen in de kalibratiecondities krijgt men een afwijking van de verwachte waarde (telling of trip-einde van een synthetische matrix). Deze afwijking mag echter niet positief of negatief zijn. Dit om te voorkomen dat bij 2 afwijkingen de negatieve fout de positieve opheft. Daarom worden afwijkingen gekwadrateerd.

Omdat niet alle condities even belangrijk zijn (door de zekerheid van bepaalde gegevens), is het belangrijk om gewichten toe te kennen aan gewichten voor elk type conditie. Deze gewichten worden vermenigvuldigd met de kwadratische afwijking. Een rij- of kolomtotaal moet meer aangehouden worden dan een enkele HB-relatie.

Gewichtenmatrix	
Telling	100
Trip-einde	40
Matrix-totaal	80

Figuur 16: Randvoorwaarden

Randvoorwaarden				
Conditie	Uitkomst	Doel	Fout	Gewogen fout
Tellingen				
Intercept1 (i,j)*				
Voertuigen(i,j)	230	180	2500	250000
Intercept2 (i,j)*	536	430	11235	1123600
Intercept3 (i,j)*				
Voertuigen(i,j)	166	180	195	19600
Trip-einde				
Som[,A]	380	380	0	0
Som[,B]	340	340	0	0
Som[,C]	380	380	0	0
Som[A,]	410	410	0	0
Som[B,]	310	310	0	0
Som[C,]	380	380	0	0
Matrixtotaal	1100	1100	0	0
			\sum gewogen fout	1393200

Figuur 17: Gewogen fout

3.2.7. OBJECTIEFFUNCTIE MINIMALISEREN

De gekalibreerde matrix wordt bekomen door de objectieffunctie te minimaliseren. Dit kan niet analytisch, maar kan in een iteratief proces numeriek benaderd worden, dit proces stopt wanneer aan het convergentie criterium is voldaan.

De objectieffunctie heeft tot doel het vinden van het minimum van de gewogen fout met als input de HB-matrix en de zoekfunctiematrix. In het hoofdstuk "Van objectieffunctie tot zoekfunctiematrix" wordt uitgelegd wat de zoekfunctie is die gebruikt wordt door deze rekenstap.

De objectieffunctie telt de zoekfunctiematrix (of een veelvoud ervan) op of trekt deze af van de huidige HB-matrix. Dit is een iteratief proces dat pas stopt als er aan bepaalde randvoorwaarden wordt voldaan. Het niet laten uititereren tot aan de randvoorwaarden kan ervoor zorgen dat de gewogen fout op een lokaal minimum of zelfs niet op een minimum eindigt aangezien het abrupt afgebroken wordt. De doelstelling van de objectieffunctie is om een globaal minimum te vinden. Aangezien het werkelijke minimum niet kan gevonden worden omdat er teveel variabelen zijn die in de meeste gevallen met elkaar interfereren, is het globale minimum het doel.

De oorspronkelijke HB-matrix wordt aangepast.

3.2.8. *VAN OBJECTIEFFUNCTIE TOT ZOEKFUNCTIEMATRIX*

De objectieffunctie is het geheel van alle kalibratiecondities en de gewichten. Om tot het minimum van de objectieffunctie (het minimum van de som van de gewogen kwadratische afwijking) te komen, worden kleine stapjes gezet waarna de som van de gewogen kwadratische afwijking wordt herberekend. Deze vergelijking is een Multi-dimensionele zoekfunctie die aangeeft dat een aanpassing van x en y een verschil maken op de matrix van z tussen de telling en de matrix.

3.2.9. *ITERATIE*

Om deze kleine stapjes te zetten, wordt gebruik gemaakt van de eerste afgeleide (Jacobiaan) en tweede afgeleide (Hessiaan) van de objectieffunctie met de Newton-Raphson methode³⁹. Het doel is het nulpunt van de eerste afgeleide te vinden. Dit is een iteratief proces met een bepaalde stapgrootte dat pas wordt beëindigd als er aan bepaalde

³⁹ Voor meer informatie over de Newton-Raphson methode zie: <http://mathworld.wolfram.com/NewtonsMethod.html>.

randvoorwaarden wordt voldaan. Deze randvoorwaardes zijn onder andere dat kolomtotalen maximaal 10% mogen afwijken van het oorspronkelijke en dat de gemodelleerde verkeersstromen maximaal 20% mogen afwijken van de waargenomen verkeersstromen.

3.2.10. *MOGELIJKE VERBETERING*

In het kalibratieproces worden voor het berekenen van de gewogen fout gewichten gebruikt. Deze gewichten worden gekozen om een bepaalde waarde te hechten aan de waarheid van gegevens. Men kan zo makkelijk kiezen om de waarden van tellingen minder belangrijk te maken dan de synthetische matrix.

De modelopbouw in Vlaanderen startte zo'n 20 jaar geleden met de eerste onderzoeken van verplaatsingspatronen en verplaatsingsgedrag. Door het prille stadium van het onderzoek werd het gewicht van de tellingen als erg bepalend genomen. De trip-eindes kregen een gewicht van 400 mee en HB-relaties werden maar met een gewicht van 10 geteld. Het verschil in gewicht is er gekomen omdat men zekerder was van de tellingen in die tijd dan van het voorspellen van verkeersgeneratie en verplaatsingsgedrag. Via kalibratie kon dus getracht worden om deze fout te verminderen.

Waarde	Gewicht
Telling	800
Trip-einde	400
HB-relatie	10

Men is ondertussen reeds 20 jaar verder en het onderzoek naar verplaatsingsgedrag en de vraag naar verplaatsingen sterk vooruitgegaan is. Dit terwijl de tellingen na 20 jaar nog steeds op dezelfde manier gebeuren en dus niet beter zijn geworden. Wat nu wel gebeurt, is per telling een zekerheidsfactor meegeven. Als een telling 3 weken lang dezelfde cijfers weergeeft, is de zekerheid hoog maar wanneer hij soms een paar dagen niet heeft aangestaan dan zal de zekerheid sterk verminderd zijn. Dit wordt meegegeven als een gewicht van 1 (erg zeker)

tot 0 (nutteloos). Maar er kan dus niet gezegd worden dat de synthetische matrix volledig mag worden scheefgetrokken om aan de tellingen te voldoen.

Dit in acht genomen dienen de gebruikte gewichten te veranderen naar een groter gewicht van de oorspronkelijke herkomst-/bestemmingsmatrix en dus in verhouding minder belang van de tellingen. Aangezien het onmogelijk is om de scores van verschillende gewichten met elkaar te vergelijken, wordt hier ook geen verdere aandacht aan besteed.

4. VERBETEREN SEQUENTIEEL KALIBRATIEPROCES

Het sequentiële kalibratieproces is een minder gesofisticeerde manier van kalibreren ten opzichte van het werken met een zoekfunctie. Het kalibreren op de sequentiële manier in Vlaanderen staat nog in de kinderschoenen en dus zijn er veel praktijktesten gaande om tot een betere manier van kalibreren te komen. Hieronder volgt een beschrijving van het verbeteringsproces dat het sequentieel rekenproces heeft doorlopen tijdens het onderzoek in deze thesis. Het eerste deel van dit hoofdstuk geeft aan wat dient te gebeuren om een optimale kalibratie te verkrijgen in OmniTRANS, dit zowel op niveau van input data als hoe de zaken berekend worden.

4.1. START VAN HET PROCES

Begin september 2009 begon de kennismaking met verkeersmodellen en de manier waarop deze werken. Om kalibratie en het effect ervan volledig te begrijpen is een goed begrip van het complete proces nodig. De vorige hoofdstukken hebben duidelijk gemaakt dat het een moeilijk proces is waar veel in elkaar verweven zit. Dit hoofdstuk toont hoe het kalibratieproces vooruit is gegaan om te komen tot een betere kalibratie van verkeersmodellen in OmniTRANS. De vooruitgang werd geboekt met de verkeersmodellen van Sint-Truiden en Kortrijk aangezien de verbetering van het kalibratieproces gebeurde tijdens mijn werk bij MINT nv.

4.2. GEBRUIKTE VERKEERSMODELLEN

4.2.1. *SINT-TRUIDEN*

Uitsnedemodel van de provincie Limburg. Bevat 276 zones en een totaal van 28000 voertuigen. Voor de kalibratie beschikken we over 132 tellingen.

4.2.2. *KORTRIJK*

Verfijnd provinciaal model van de provincie West-Vlaanderen. 886 zones en 295 tellingen. Het aantal voertuigen is hier nutteloos om op te geven omdat volledig België in het model zit (>1.000.000 voertuigen in het netwerk), zij het op sommige locaties niet meer gedetailleerd.

Verplaatsingen tussen Antwerpen en Brussel zitten hier ook nog in. Kortrijk is een verfijnd stadsmoedel met de rest van de provincie, België en Frankrijk erbij. Binnen het centrum is Kortrijk even verfijnd als Sint-Truiden.

4.3. GEBRUIKTE WOORDEN

In de hieronder gebruikte scripts (weergegeven in een kader) wordt onderscheid gemaakt tussen de scripts op basis van locatie in het proces. Hieronder een beschrijving van de verschillende scripts.

OmniTRANS Job: Een script dat wordt aangeroepen in OmniTRANS. Het zijn deze instellingen die door een Vlaanderen-object of een OmniTRANS-object worden gebruikt.

Vlaanderen-object: Een object dat werd gebouwd om te voldoen aan de eisen van de Vlaamse overheid zodat de OmniTRANSmodellen de vastgelegde Vlaamse modelstructuur volgen. Deze objecten zijn ook makkelijk om aan bepaalde vragen een antwoord te bieden of om een nieuw soort berekening door te voeren zoals bijvoorbeeld Multi-user class toedelingen van time-slices (overwegenmodel van TucRail).

OmniTRANS-object: Scripts die zijn ingebouwd in OmniTRANS zelf zijn OmniTRANS-objecten. Deze mogen niet worden aangepast maar bevatten alle functionaliteiten die nodig zijn of waarop kan worden verder gebouwd. De parameters of werkingwijze kan door Vlaanderen-objecten worden aangeroepen en gewijzigd zodat je alles kan bouwen naar believen.

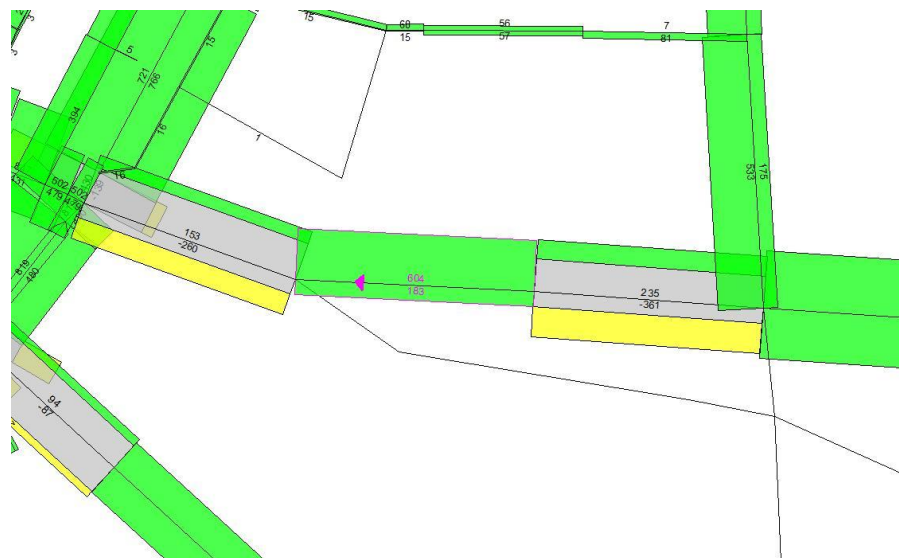
4.4. GOEDE KALIBRATIE

Een kalibratie wordt als goed beoordeeld wanneer alle tellingen in de buurt van de gemodelleerde waarde liggen. Het belang van deze benadering is afhankelijk van het type telling. Jaartellingen moeten tot op 10%-15% correct worden benaderd. Occasionele tellingen dienen een maximale afwijking te hebben van 20% bij verkeershoeveelheden boven de 300 voertuigen per spitsuur.

4.5. TELLINGEN

Het verkeersmodel van Sint-Truiden werd gebruikt om meer inzicht te krijgen in het kalibratieproces. De korte rekentijd van de volledige kalibratie en de overzichtelijkheid van de kaart maken het een handig instrument om alle tests te runnen. De eerste test werd uitgevoerd met het kalibratieproces met de bestaande kalibratiemethode zoals die gebruikt werd in Nederland.

De tellingen en modelresultaten lagen op bepaalde plaatsen betrekkelijk ver uit elkaar. We bekeken de tellingen van dichtbij om te zien of er geen inconsistenties waren in deze waarden. We stellen tellingen vast die vlakbij elkaar liggen maar toch een sterk verschillende waarde hebben terwijl er geen grote verandering van verkeer kan zijn. Aangezien verkeerstellingen van verschillende actoren komen en deze niet allemaal even betrouwbaar zijn is deze stap een van de belangrijkste in het kalibratieproces. Manuele kruispunttellingen zijn meer betrouwbaar dan dubbele slangtellingen, en dubbele slangtellingen zijn betrouwbaarder dan enkele slangtellingen. Maar tellingen kunnen op verschillende dagen zijn genomen waardoor er een groot verschil kan zijn opgetreden. In de winter bijvoorbeeld wordt meer met de auto gereden dan in de zomer.



Figuur 18: verschil van 100 tussen de 2 tellingen op de N79 zonder nieuw verkeer

Stap 1: controleer de tellingen op inconsistenties en fouten

4.6. VRIJHEIDSGRAAD KALIBRATIEPROCES

Na het controleren van de tellingen werd er opnieuw gekalibreerd en met redelijk succes. De kalibratie gaf goede resultaten bij de vergelijking tussen geteld resultaat en modelresultaat. Er waren echter nog een aantal onverklaarbare modelresultaten terug te vinden. Bij het controleren van de matrix-estimator van OmniTRANS bleek dat er restricties zijn voor het kalibratieproces die ervoor zorgen dat de kalibrator maar een bepaalde hoeveelheid mag afwijken van de oorspronkelijke matrix. Deze randvoorwaarden zijn zoals in vorige hoofdstukken gezegd de rij- en kolomtotalen en de HB-waarden. Indien deze niet zijn ingesteld in het eigen script is die standaard ingesteld op 0,2. Aangezien sommige tellingen te ver van hun doel afbleven hebben we deze vrijheid op 0,6 gezet. Deze kalibratie zorgde voor betere resultaten met nagenoeg alle tellingen die redelijk in de buurt kwamen van de modelresultaten.

Stap 2: Pas de vrijheidsgraad van het kalibratieproces aan aan de noodzaak.

Resultaat: 83% van de gemodelleerde resultaten op tellingen hebben een verschil van maximaal 10% met de tellingen.

<u>Elasticiteit</u>	
OmniTRANS	Job
mijnKalibrator.pmturi2CombiNrHsh	= pmturi2CombiNrHsh
mijnKalibrator.tripEndElasticity	= 0.4
TripEndElasticityv → OmniTRANS-objekt	

4.7. MASSACORRECTIEFACTOREN

Op basis van de toedelingen die na deze kalibratie gebeurden leek het een goede kalibratie. Telwaarden en modelwaarden kenden geen groot verschil meer en de hoeveelheden zagen er normaal uit. Van deze kalibratie werden de massafactoren berekend (zie hoofdstuk 2.6.3 Scenario matrices). Deze massacorrectiefactoren werden toegepast op de toekomstmatrix en toegedeeld op het netwerk. Na controle van deze toedeling zagen we verkeershoeveelheden die onmogelijk waren ten opzichte van de huidige situatie. Er werd verondersteld dat de massacorrectiefactoren te groot

mochten worden berekend waardoor sommige HB relaties enorme vermenigvuldigingen zouden meekrijgen.

Stap 3: Top de massacorrectiefactoren af.

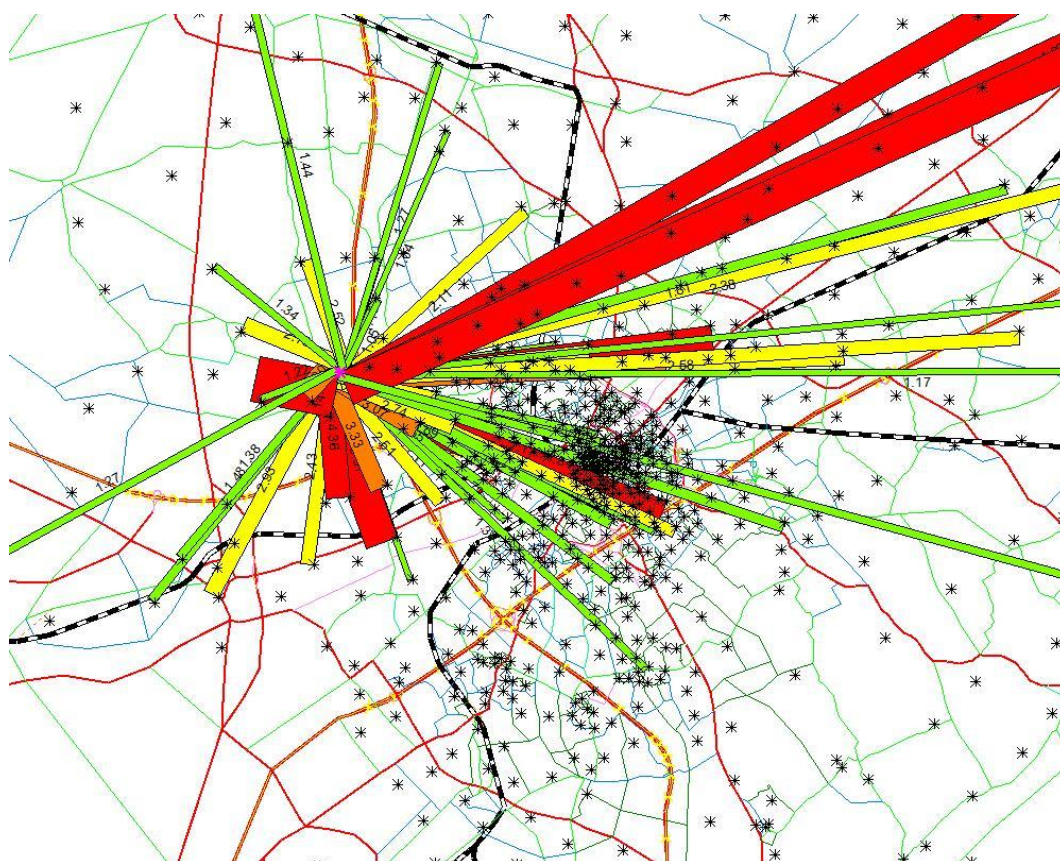
<u>Aftoppen</u>		MC's
OmniTRANS		Job
mijnKalibrator.pmturi2CombiNrHsh	=	pmturi2CombiNrHsh
mijnKalibrator.tripEndElasticity	=	0.4
mijnKalibrator.maxMC	=	5
 <i>OmniTRANS-object</i>		
@maxMC	= nil	#default: niet aftoppen
 #aftoppen massaCorrecties		
		if !@maxMC.nil? Then

Dit gebeurde maar de resultaten van de toedeling van de toekomstmatrix gaven uitzonderlijke en onverklaarbare resultaten. Uit de controle van het omzettingsproces van de massacorrectiefactoren om van gekalibreerd resultaat tot de toekomstmatrix te komen bleek dat het niet aan dit proces lag. We moesten dus terugkeren naar het kalibratieproces en kijken wat er is mis gegaan.

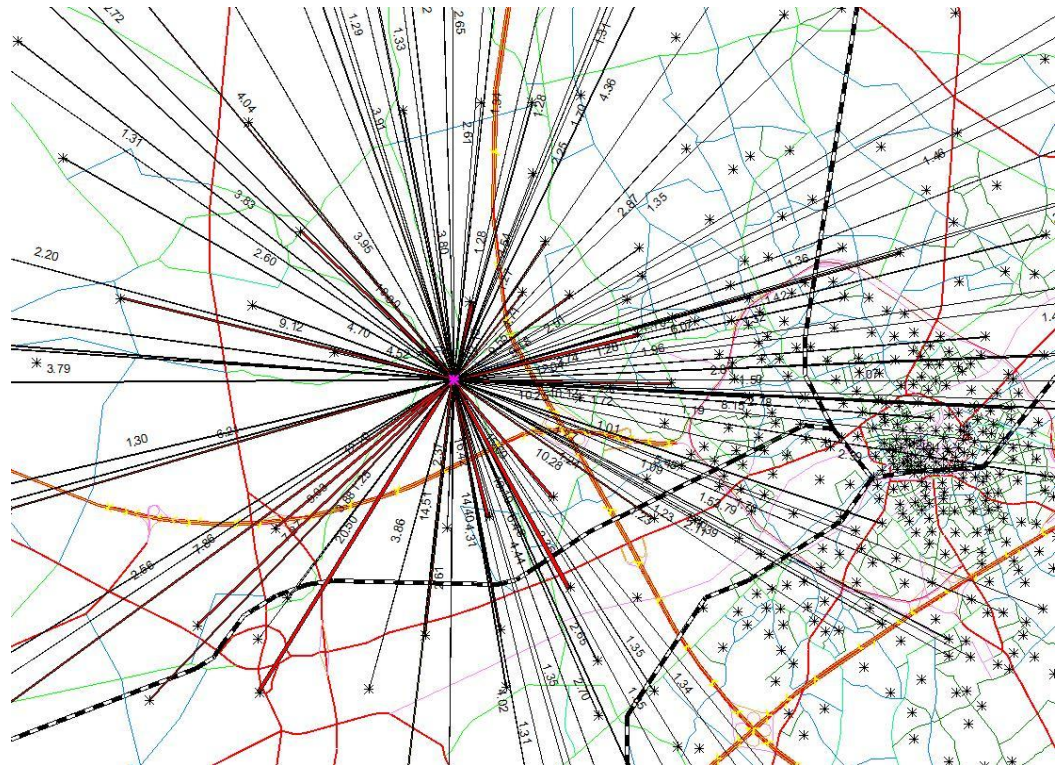
4.8. SPLITSSEN GETELDE EN NIET GETELDE RELATIES

Stel dat er een HB-relatie van Y langs telling A loopt, telling A heeft in het modelresultaat 50% te weinig verkeer. Dus het sequentiële proces verhoogt de vertrekken van relatie Y met 50%. Omdat ook de kolomtotalen opgegeven zijn als randvoorwaarden mag er niet zo'n grote verhoging worden doorgevoerd. Om dit te corrigeren worden andere relatie bijgewerkt tot de maximale aanpassing in kolomtotaal werd behaald. Er werden 500 iteraties gedaan tijdens het proces en alle niet-getelde relaties werden naar beneden geschaald en getelde relaties werden opgehoogd. Met als gevolg dat relaties die niet geteld werden maar in de originele HB-matrix wel bestaan werden verwijderd of erg klein werden gemaakt terwijl getelde relaties net sterk werden vergroot. Dit werd duidelijk bij het

bekijken van het vertrek- en aankomstenpatroon van een zone buiten de ring van Kortrijk. Om dit te weten te komen vergeleken we de oorspronkelijke (na vervoerwijzekeuze) matrix met de nieuwe gekalibreerde matrix. Dit is eenvoudig visueel voor te stellen door het aantal vertrekken of aankomsten vanuit een zone naar alle andere zones te tonen met een ondergrens van 1 verplaatsing (zodat verplaatsingen met minder dan 1 verplaatsing niet worden getoond). Hier ziet men dat de gesplitste gekalibreerde matrix een erg difuus beeld geeft, een gelijkvormig spinnenweb terwijl de gekalibreerde matrix zonder opsplitsing een spinnenweb heeft richting het oosten, waar de tellingen gelegen zijn.



Figuur 19: figuur vertrekken van willekeurige zone na kalibratie zonder opsplitsing



Figuur 20: figuur vertrekken uit willekeurige zone na kalibratie met opsplitsing

Stap 4: splits getelde relaties en niet-getelde relaties, enkel getelde relaties kalibreren

OmniTRANS	job
mijnKalibrator.fixCells	= false

Dit is een bewerking die in meerdere delen dient gesplitst te worden en bewerkt.

In het kalibratieproces worden screenline matrices gebouwd. Deze matrices bestaan er per relatie en zijn gevuld met percentages van 0 tot 100%. In het kalibratieproces wordt echter gebruik gemaakt van zowel de HB-matrix als de screenlinematrices. Om de opsplitsing mogelijk te maken worden alle screenline matrices samengeteld in de 'getelde' matrix.

Screenline matrix 1	Screenline matrix 2	+	Screenline splitsmatrix
0.3 0 0.4 0	0 0 0.6 0		0.3 0 1 0
0 0 0.7 0	0 0 0.7 0		0 0 1.4 0
0 0 0 0.8	0 0 0.2 0		0 0 0.2 0.8
0.2 0 0 0	0.9 0 0 0		1.1 0 0 0

Figuur 21: bepalen getelde relaties

Vlaanderen-object

```

def splitsMatrix(combiNr2LinkDirsHsh,mode,teSplitsenCube)
  report("Analyseren matrices...",@logFile)
  $Ot.indentStart("")
  @pmturi2CombiNrHsh.each{|pmturi,combiNr|
    if pmturi[1] == mode then
      report("PMTURI:  [#{pmturi.join(",")}]    --
combination number #{combiNr}",@logFile)

#pmtu afleiden uit pmturi
      pmtu = pmturi[0..3]

#inlezen te kalibreren matrix
      origTeKalibrerenMat =
teSplitsenCube.get(pmtu).clone

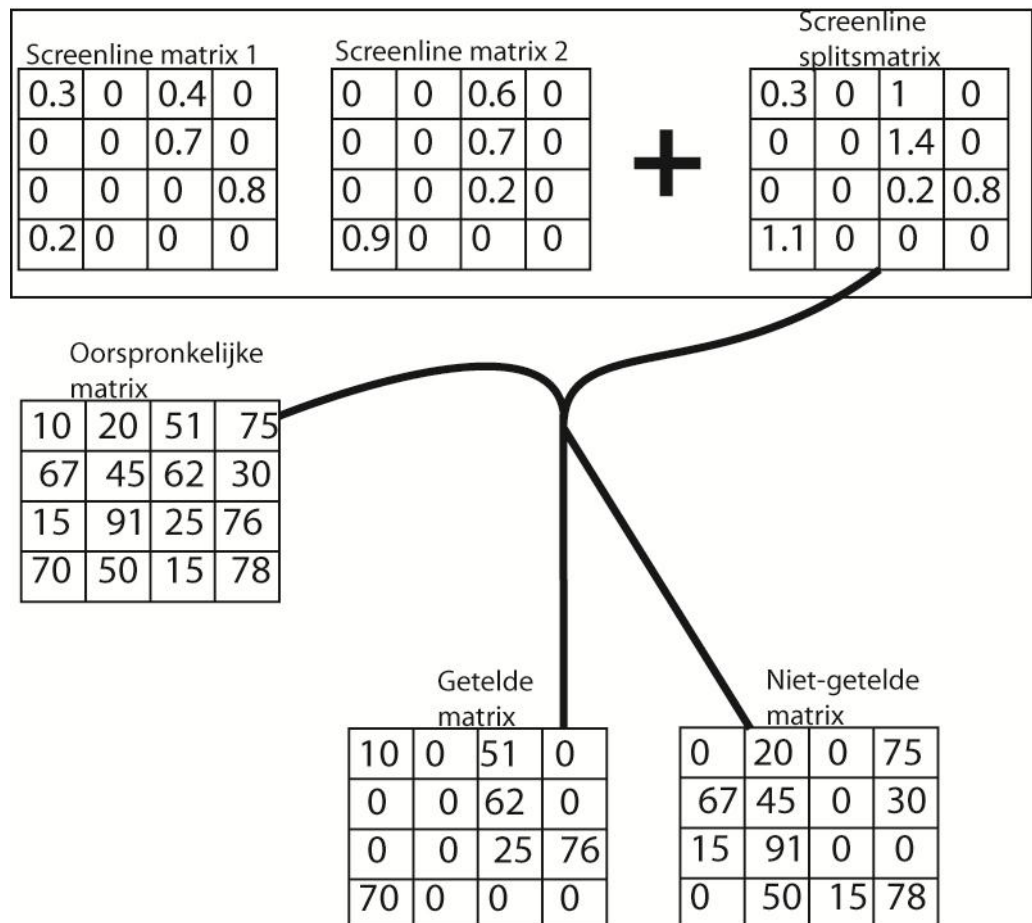
      #sommeer de screenlinematrixes voor alle tellingen die voor deze
combination relevant zijn
      #de cellen die in de gesommeerde matrix '0' zijn, zijn relaties waarvoor
geen enkele telling #beschikbaar is
      sumOfScreenlinesMat = nil
      combiNr2LinkDirsHsh[combiNr].each{|linkDir|
        if !linkDir.nil? then

#inlezen screenlinematrix
          key = pmturi + linkDir
          screenlineMat =
@screenlineCube.get(pmturi,linkDir).clone

#toevoegen aan gesommeerde matrix
#alle nullen worden niet toegevoegd
          if sumOfScreenlinesMat.nil? then
            sumOfScreenlinesMat
          = screenlineMat
#alle niet nullen worden erbij opgeteld
          else
            sumOfScreenlinesMat.add!(screenlineMat)
          end
        end # !linkDir.nil?
      } #linkDir
    end
  }

```

Hierna bestaat een getelde matrix en een niet-getelde matrix. De originele matrix wordt aan de hand van deze matrices uitgesplitst. Voor iedere HB-relatie die een getal >0 heeft in de getelde matrix wordt het gehele getal van de originele matrix in de getelde HB-matrix geplaatst. Alle HB-relaties die een getal = 0 hebben in de niet-getelde matrix krijgen het gehele getal van die HB-relatie in de niet-getelde matrix.



Figuur 22: opsplitsen getelde en niet-getelde relaties

```

def splitsMatrix(combiNr2LinkDirsHsh,mode,teSplitsenCube)
  report("Analyseren matrices...",@logFile)
  $Ot.indentStart("")
  @pmturi2CombiNrHsh.each{|pmturi,combiNr|
    if pmturi[1] == mode then
      report("PMTURI:      [#{pmturi.join(",")}]          --
combination number #{combiNr}",@logFile)
#pmtu afleiden uit pmturi
      pmtu = pmturi[0..3]

      #inlezen te kalibreren matrix
      origTeKalibrerenMat =
teSplitsenCube.get(pmtu).clone

#sommeeer de screenlinematrices voor alle tellingen die voor deze
te kalibreren modes relevant zijn
#de cellen die in de gesommeerde matrix '0' zijn, zijn relaties
waarvoor geen enkele telling beschikbaar is
      sumOfScreenlinesMat = nil
      combiNr2LinkDirsHsh[combiNr].each{|linkDir|
        if !linkDir.nil? then
          #inlezen screenlinematrix
          key = pmturi + linkDir
          screenlineMat = @screenlineCube.get(pmturi,linkDir).clone

#toevoegen aan gesommeerde matrix
          if sumOfScreenlinesMat.nil? then
            sumOfScreenlinesMat = screenlineMat
          else
            sumOfScreenlinesMat.add!(screenlineMat)
          end
        end
      }
    end # !linkDir.nil?
  } #linkDir

```

```

#analyseer gesommeerde matrix: loop over alle relaties en
#bewaar relatie in te kalibreren matrix als hij één of meer
tellingen passeert
#bewaar relatie in de tijdelijke matrix als hij geen enkele telling
passeert

#init te kalibreren matrix en tijdelijke matrix
    aantalZones = sumOfScreenlinesMat.rows
    tempGeteldMat =
OtMatrix.new(aantalZones)
    tempNietGeteldMat = OtMatrix.new(aantalZones)

    (1..aantalZones).each{|rowIdx|
        (1..aantalZones).each{|colIdx|
            relatieOpTelling =
(sumOfScreenlinesMat[rowIdx,colIdx]>0)
            if relatieOpTelling then
#cel naar te kalibreren matrix
                tempGeteldMat[rowIdx,colIdx] =
origTeKalibrerenMat[rowIdx,colIdx]
            else
#cel naar tijdelijke matrix
                tempNietGeteldMat[rowIdx,colIdx] =
origTeKalibrerenMat[rowIdx,colIdx]
            end
        } #colIdx
    } #rowIdx

#wegschrijven matrices (ook temp-mat; dan is die
tenminste bewaard als kalibratie zou crashen)

    @geteldeRelatiesCube.set(pmtu,tempGeteldMat)

    @nietGeteldeRelatiesCube.set(pmtu,tempNietGeteldMat)

```

Na het kalibreren van de getelde matrix worden de gekalibreerde en de niet-getelde matrix opnieuw samengevoegd om te komen tot de nieuwe gekalibreerde HB-matrix. Deze HB-matrix kent geen gebreken meer zoals het fout trekken van niet getelde relaties. Hierdoor is ook zo'n grote hoeveelheid iteraties niet meer nodig om tot een goed resultaat te komen.

Gekalibreerde
getelde matrix

15	0	60	0
0	0	40	0
0	0	35	80
50	0	0	0

Niet-getelde
matrix

0	20	0	75
67	45	0	30
15	91	0	0
0	50	15	78

Oorspronkelijke
matrix

15	20	60	75
67	45	40	30
15	91	35	80
50	50	15	78

Vlaanderen-object

#Opnieuw samenvoegen niet-getelde matrix en gekalibreerde matrix

def samenvoegenNietGeteldEnGekalibreerd(mode)

#terugzetten relaties die geen tellingen passeren in gekalibreerde matrix

report("Hercombineren gekalibreerde matrices voor getelde relaties en ongewijzigde matrix voor niet-getelde relaties...",@logFile)

@logFile.debug("cube #{@gekalibreerdeCube.name}")

+ cube #{@nietGeteldeRelatiesCube.name} => cube #{@gekalibreerdeCube.name}")

\$Ot.indentStart("")

@pmturi2CombiNrHsh.each_key{|pmturi|

#pmtu afleiden uit pmturi

pmtu = pmturi[0..3]

if pmtu[1] == mode then

report("pmtu: [#{@pmturi.join(",")}]",@logFile)

#inlezen gekalibreerde matrix

gekalibreerdeMat =

@gekalibreerdeCube.get(pmtu).clone

#samenvoegen gekalibreerde matrix en temp matrix

gekalibreerdeMat.add!(@nietGeteldeRelatiesCube.get(pmtu))

#wegschrijven samengevoegde matrix

4.9. VOLGORDE TELLINGEN

Nadat de kalibrator geen niet-getelde relaties meer kan aanpassen werden verschillende tests gedaan met de vrijheidsgraden op verschillende hoeveelheden en de massacorrectiefactoren op 5-15. Dit had echter nog niet het gewenste effect. Sommige tellingen leken te worden overruled. Na het bestuderen van de OmniTRANS-objecten die instaan voor het gebruik van de tellingen en de volgorde ervan in het proces bleek dat deze oplopend werden ingepast. Telling nummer 1 (telID 1) wordt eerst gedaan, daarna telling nummer 2 en zo verder. Dit wil zeggen dat een aanpassing van een telling mogelijk door een latere telling ongedaan wordt gemaakt. Om dit tegen te gaan is er gekozen voor een volgorde van tellingen. Eerst op de autosnelwegen, daarna Nx wegen en dan pas de lokale wegen. Dit wil zeggen dat alle herkomst-bestemmingscellen mogen gebruikt worden om aan de telvoorwaarden te voldoen. Alle tellingen werden in oplopende volgorde gebruikt.

Dit zorgde in de buurt van tellingen waar op Nx of lokale wegen grote verschillen te merken waren tussen het modelresultaat en de tellingen dat ook op de snelwegen de kalibratie sterk werd veranderd. Hierdoor was het resultaat niet voldoende.

Als oplossing hierop kozen we voor de tellingen met de grootste waarden eerst te laten kalibreren. De verschillen zijn hierbij steeds kleiner waardoor een achterin geplaatste telling veel beperkter een grotere telling kon aanpassen.

Volgorde tellingen
OmniTRANS Job
 mijnKalibrator.countArrKalibAuto=
 [334,310,324,75,336,309,314,312,316,76,333,313,323,315,84,...]

Om het nog beter en correcter te laten verlopen kozen we om het absolute verschil te laten bepalen in welke volgorde de tellingen worden verwerkt. Per iteratie die gebeurt herberekent OmniTRANS dan het verschil met telkens een nieuwe volgorde tot gevolg. Dit gebeurt enkel indien er geen tellingen volgorde wordt opgegeven door de gebruiker in de OmniTRANS Job.

Automatische volgorde bepalen

Vlaanderen-object

if @countArrKalibAuto.nil? then

#sorteer tellingen op telwaarde zodat aanpassingen aan de laatste ('kleine') tellingen de voorgaande kalibratie (van 'grote' tellingen) minimaal verstoord

```
alleTellingen = OtCountHash.new("countvalue")
combinationNr =
```

```
@pmturi2CombiNrHsh[pmturi]
```

```
alleTellingen.read([combinationNr])
```

#todo: testen en overzetten naar vracht/OV

#inlezen loads

```
linkLoadHash = OtLinkHash.new("load")
```

```
linkLoadHash.read(pmturi)
```

```
countAfwijkingHash = Hash.new
```

```
alleTellingen.each{|countNr,countValue|
```

```
linkDir = @count2LinkHash[countNr]
```

```
load = linkLoadHash[linkDir]
```

```
if load.nil? then
```

```
countAfwijkingHash[countNr] = 0
```

```
else
```

```
countAfwijkingHash[countNr] =
```

```
abs(load-countValue)
```

```
end
```

```
}
```

```
gesorteerdeTellingen =
```

```
countAfwijkingHash.sort{|keyValueA,keyValueB| keyValueA[1] <=>
```

```
keyValueB[1]}
```

#sorteert op values van de hash (de telwaarden)

#gesorteerdeTellingen is nu een array met als elementen [telID,afwijking]; OtMatrixEstimation heeft een array van telID's nodig

```
gesorteerdeTellingen.reverse!
```

```
gesorteerdeTelIDs = []
```

Stap 5: gebruik de beste volgorde van tellingen (groot verschil → klein verschil)

4.10. RESULTAAT

Het resultaat van deze modelstappen –de uiteindelijke correctheid van de tellingen was 94% binnen de 10% van de tellingen - is een aanvaardbare modelkalibratie die de tellingen goed benadert als ze onderling consistent

zijn. Dit werd reeds eerder aangehaald door Yang en kan ondanks alle aanpassingen aan de scripts niet vermeden worden. Op het vlak van de manier van kalibreren in OmniTRANS is er een maximale kwaliteit bereikt die voldoende is voor verkeersmodellen van goede kwaliteit maar die bij tellingen uit verschillende jaren en onderzoeken toch niet perfect is. Het onderzoek om hier ook een antwoord op te kunnen bieden gebeurt op dit ogenblik bij OmniTRANS en is eigenlijk het implementeren van de zoekfunctie in het programma. Dit kan op dit ogenblik reeds gedaan worden via MatLAB maar is een omslachtige manier om een betere kalibratie te verkrijgen.

Vanuit deze nieuwe en correctere manier van kalibreren kunnen met groot gemak toekomstscenario's gebouwd worden. Voor het stadsmodel van Hassel-Genk is voor de interne relaties de methode van Furness⁴⁰ toegepast. Dit is ook tijdens deze studie onderzocht en uitgevoerd maar behoorde niet tot de doelstellingen van deze thesis.

⁴⁰ Furness is een manier van aanpassen van de matrix die de rij- en kolomtotalen in evenwicht houdt. Dit werd getest en uitgevoerd op de matrix van Hasselt-Genk. De andere methoden maken gebruik van de BASmat module om toekomstige matrices op te maken. Voor meer uitleg zie: <http://www.transportmodeller.com/distributionoverview.html>

5. SCENARIOMATRICES OMBOUWEN MET KENNIS VAN KALIBRATIE

Het hierboven beschreven proces bouwt de oorspronkelijke synthetische matrix om naar een HB-matrix die de werkelijkheid beter benadert. Deze benadering is gebeurd door gebruik te maken van tellingen.

Een verkeersmodel dat de huidige verkeersstromen in kaart brengt kan nuttig zijn voor het oplossen van huidige knelpunten in het netwerk. Het doel van een model is meestal om toekomstige problemen op te sporen en hier oplossingen voor te onderzoeken. Deze toekomst kan opgebouwd worden door de verwachte groei toe te passen op alle zones of door projecten in te voegen op één bepaalde zone. Hieronder worden de verschillende manieren besproken waarna een aantal manieren van omgaan met kalibreren worden aangehaald. Het verschil tussen de verschillende manieren van toekomstscenario's maken is belangrijk om weten om het mogelijke effect van de kalibratie erop weer te geven.

5.1. GROEIFACTOR

Het toevoegen van een groeifactor al dan niet afhankelijk van de regio wordt op dit ogenblik gedaan in Vlaamse modellen met de kennis van het Federaal Planbureau⁴¹. De groei of krimp van bepaalde economische sectoren wordt per provincie weergegeven. Bijvoorbeeld is er een voorspelde inkrimping van de werkgelegenheid in de industrie in de provincie Limburg. In het provinciale model van Limburg wordt deze factor gebruikt om de werkgelegenheid in de sector te verminderen. In het model worden ook de tewerkstelling in andere provincies veranderd op basis van de evolutie binnen alle tewerkstellingssectoren. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de werkgelegenheid in Wallonië. Volgens het Federaal Planbureau gaat de tewerkstelling in Vlaanderen blijven stijgen maar zal deze in Wallonië terugvallen. Daardoor is te zien dat bij verkeersmodellen in

⁴¹ Het Federaal Planbureau (FPB) is een instelling van openbaar nut. Het maakt studies en vooruitzichten over economische, sociale en milieubeleidskwesties. Ook wordt de integratie van die beleidskwesties in een context van duurzame ontwikkeling bestudeerd. De inzichten in al deze kwesties zorgen voor verwachte groei op een langere termijn (10j+) van inwoners, werkgelegenheid, migratie,...

grensstreken het verschil tussen 2008 en 2020 enorm is. De Walen worden verondersteld in Vlaanderen te komen werken terwijl dit in het model van 2008 veel minder het geval is. Hierdoor kan er bij het berekenen van de verkeersstromen gedacht worden dat de kalibratie op bepaalde zones zo hard heeft ingespeeld dat deze in de toekomst de nieuw matrix scheef trekken. Maar wanneer de 2 synthetische matrices met elkaar vergeleken worden is te zien dat het aan deze matrices ligt.

Dit was bijvoorbeeld het geval in Sint-Truiden waar de verkeersbeweging in de avondspits in 2008 richting Sint-Truiden ging vanaf Hasselt en in 2020 richting Wallonië ging vanaf Sint-Truiden en Hasselt. Dit achtte het gemeentebestuur weinig waarschijnlijk waardoor er is overgegaan op het implementeren van de gemeentelijke projecten vanaf 2008 en het ophogen van de verplaatsingen naar omliggende gemeentes. Dit is mogelijk voor gemeentelijke en stedelijke modellen maar niet voor provinciale verkeersmodellen.

5.2. PROJECT IMPLEMENTATIE

Het implementeren van projecten in stedelijke of gemeentelijke modellen is een mogelijkheid voor een gemeente- of stadsbestuur om te zien welk effect hun geplande beleid heeft op de verkeersafwikkeling op bepaalde wegen of op de te halen modal split voor een nieuw te ontwikkelen woongebied buiten de stad. Het loslaten van de structuur en groeifactor van de provincie maakt echter dat de modellen niet meer met elkaar kunnen vergeleken worden en dat het model dus enkel kan gebruikt worden voor de stad an sich. Hierdoor kan een stad veel beter dan een provinciaal model de juiste locatie van een BPA inplannen en de lokale impact beoordelen waar een provinciaal model voor werkgelegenheid en provinciale groei of krimp meegeeft en voor inwoners een gemeentelijke groei of krimp verwacht. Dit kan bij gemeentes dus tot het kavel juist worden geplaatst met een goede inschatting van de hoeveelheid wooneenheden of de hoeveelheid werkplaatsen. Hierdoor komen (veel) nieuwe potentiële verplaatsingen bij in een multimodaal model en dit op één punt. Het nadeel is echter dat wanneer de kalibratie voor de huidige situatie voor deze herkomst of bestemming een grote aanpassing heeft

gemaakt. Stel dat de huidige hoeveelheid verplaatsingen van 10 in de toekomst naar 100 en er geen grens zit op de correctie dan zou het kunnen dat er opeens 300 verplaatsingen gebeuren.

5.3. COMBINATIE VAN GROEIFACTOR EN PROJECT IMPLEMENTATIE

In het stadsmodel Hasselt-Genk is voor de toekomstmatrix de keuze gemaakt om de beide manieren te combineren tot de verwachte toekomstmatrix. De matrix van 2008 is opgesplitst in 2 verschillende matrices, een externe matrix en de rest-matrix.

Voor de verplaatsingen van buiten de beide steden is de groei gebruikt die uit de provinciale modellen komt. Hierdoor stijgen de hoeveelheid inwoners en tewerkstellingsplaatsen gelijkmatig voor alle zones buiten Hasselt en Genk. Voor de verplaatsingen binnen Hasselt en Genk, vanaf Hasselt of Genk en naar Hasselt of Genk is gebruik gemaakt van een uitgebreide projecten lijst van de beide gemeentes. Deze leverde een nieuwe hoeveelheid inwoners en arbeidsplaatsen op die echter dubbel zo groot was als de verwachte groei voor Hasselt en Genk vanuit het Planbureau. Deze nieuwe matrix werd toegedeeld om duidelijk te maken aan de beleidsmakers dat het onmogelijk was om al deze nieuwe woonprojecten te bevolken tegen het jaar 2020 en daarom is er gekozen om de projecten af te zwakken tot de grenzen van de predicties van het Planbureau. Projecten die vast liggen worden er voor 100% in verwerkt maar projecten die niet zo zeker zijn maar voor een bepaald percentage. Hierdoor wordt een groei voor Hasselt en Genk bereikt die conform is met de predicties van het Planbureau maar die toch meer detail geeft aan het verkeersmodel dan de matrices van 2020. Om deze verplaatsingen in evenwicht te brengen is de methode van Furness toegepast die de herkomsten met de bestemmingen in evenwicht brengt. Dit is nodig aangezien een verkeersmodel niet kan werken met een onevenwicht tussen vraag en aanbod. Dit is wel mogelijk bij AB-modellen aangezien deze ook een berekening doet het tijdstip van vertrek en de duur van een verplaatsing. Hierbij is een deel van de mensen onderweg maar zijn ze nog niet aangekomen en is er dus een onevenwicht bij vertrekken en aankomsten (kolomtotaal en rijtotaal). Bij een vierstapsmodel wordt wel berekend hoeveel mensen tijdens een bepaald

uur vertrekken maar dan wordt ervan uitgegaan dat deze dan ook aankomen.

5.4. MANIEREN VAN OMGAAN MET SCENARIOMATRICES EN KALIBRATIE

Bovenstaande manieren van het opbouwen van een scenariomatrix hebben elk een andere manier van reageren op het ingrijpen van de kennis van de kalibratie. De kalibratie heeft in de huidige toestand een aanpassing doorgevoerd op de matrices van openbaar vervoer, autoverplaatsingen, vracht en misschien ook fietsverplaatsingen. Stel nu dat het een multimodaal verkeersmodel is waarin deze aanpassingen hebben plaats gevonden. De toekomstmatrix maakt gebruik van deze aanpassingen om het toekomstige gedrag te laten overeenstemmen met het huidige gedrag.

De kalibratie heeft de synthetische matrix aangepast aan de lokale verschillen ten opzichte van het gemiddelde gedrag van mensen in Vlaanderen. Hierdoor kan een stad die het goed doet op het vlak van fietsen dus een lagere disutiliteit⁴² krijgen dan een andere stad. Dit wordt ook gebruikt in de toekomstmatrix zodat er meer fietsgebruik is in deze stad dan in een andere. Als hierbij de toekomstmatrix is opgebouwd met de kennis van het Planbureau heeft dit tot effect dat de groei in de bevolking (verspreid over de hele stad) een gelijke groei in fietsverplaatsingen heeft. Wanneer echter gebruik wordt gemaakt van projecten kan het zijn dat, in geval van een goede gedetailleerde kalibratie van het fietsen in een stad, de kalibratie op één bepaalde zone minder fietsen heeft moeten creëren en dus de disutiliteit heeft moeten verhogen. Stel nu dat deze stad op deze locatie een groot woonproject plant en dit laat evalueren door het model, dan zal het model een overschatting van autoverplaatsingen en openbaar vervoer geven. De veranderde disutiliteit van deze zone zorgt ervoor dat de fietsmatrix net daar verlaagd is in de toekomst.

Om bovenstaand probleem op te vangen is een maximale elasticiteit en maximale massacorrectie ingebouwd voor de kalibratie⁴³. Hierdoor kan een zone in de HB-matrix maximaal een x-aantal procenten aangepast worden ten opzichte van de oorspronkelijke waarde. Dit is een goede

⁴² Zie hoofdstuk 2.4 Modal split

⁴³ Zie hoofdstuk 4.4 en 4.5 omtrent maximale elasticiteit en maximale massacorrectiefactor

werkwijze wanneer aangenomen wordt dat de synthetische matrices erg goed zijn opgebouwd. Er is echter geen feedback van de kalibratie naar de synthetische matrices om te controleren of deze aanpassingen wel kunnen. Het aanpassen van zowel de automatrix als de openbaar vervoermatrix kan ervoor zorgen dat er bepaalde zones zijn die een verschil van 30 procentpunt hebben. Om deze reden is het nodig dat er een multimodale check gebeurt na het kalibreren van de verschillende matrices. Er werd nog geen manier gevonden om automatisch bepaalde zaken bij te sturen maar het optimale is dat de multimodal check gebeurt tussen 2 kalibratieslagen door. Deze geeft dan aan de kalibrator een maximaal verschil mee afhankelijk van de zone waarop aangepast wordt. Wanneer een zone reeds maximaal is aangepast en de modal split foutief zou worden in het model kan de kalibrator een andere zone die langs een bepaalde telling gaat gebruiken om iets meer te verhogen.

5.5. VERGELIJKING NEDERLAND/BELGIË

In Nederland gaat men op een andere manier om met de kennis van de kalibratie dan in België. Men kalibreert de verschillende matrices in de huidige toestand. De veranderingen hierin worden rechtlijnig doorgetrokken naar de toekomst.

Stel dat een zone in de huidige situatie 2 autoverplaatsingen meer krijgt naar een andere zone dan zal de toekomstmatrix voor die relatie opgehoogd worden met 20%. Zo gebeurt dit ook voor de openbaar vervoer matrix. Dit moet echter begrensd worden en dus gebruikt men in Nederland voor de massacorrectiefactor een cijfer tussen 0.33 en 3. Zoals hierboven beschreven kan dit tot modale fouten leiden. Het is echter niet zeker dat dit macroscopisch opvalt wanneer er gewerkt wordt met een groeifactor zoals berekend door het Planbureau aangezien de ene zone wel grote verschillen meemaakt maar de andere absoluut niet. Gemiddeld gezien geeft dit dus de gewenste stijging, al zal het op bepaalde wegvakken drukker zijn dan een correct voorspeld toekomstbeeld.

In Vlaanderen is een complexere methode vastgelegd om deze fouten tegen te gaan. Er worden zowel massacorrecties als chi-correcties uitgevoerd. De massacorrectie die wordt gebruikt is berekend door de

resultaatmatrices van de kalibratie (auto, passagier, ov, fiets en te voet) opnieuw op te tellen en dan te zien hoeveel meer verplaatsingen er zijn gebeurd vanuit elke zone naar elke zone. De chi-correcties zijn de correcties die per HB-paar nodig zijn om met de berekening van de modal split correct uit te komen. Bijvoorbeeld is voor een HB-paar de autoverplaatsing hoger geworden door de kalibratie maar de rest is gelijk gebleven. Hierdoor is de massacorrectie gebruikt om meer verplaatsingen te genereren en is de chi-correctie om aan de correcte modal split te komen een negatief getal wat bij berekening van de modal split⁴⁴ een hogere modal split geeft voor de wagen. Deze correctie wordt in de toekomst doorgetrokken. Dit zorgt dankzij de beperkende factoren die gebruikt worden voor een demping van de sprongen in modal split.

6. AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden de aanbevelingen weergegeven die een Vlaams verkeersmodel in Omnitrans moeten verbeteren. Aangezien het op alle manieren ingrijpt op het verkeersmodel zijn de oplossingen ook van verschillende orde. Hieronder zijn per onderdeel de aanbevelingen te lezen die als resultaat kunnen beschouwd worden van deze thesis.

⁴⁴ Zie hoofdstuk 2.5.1 omtrent berekening modal split.

6.1. OMNITRANS

De stappen voor een betere kalibratie binnen OmniTRANS werden beschreven in hoofdstuk 4. Deze stappen verzekeren een verbetering van het kalibratieproces met sequentieel kalibreren. De stappen zijn de volgende:

Stap 1: Controleer de tellingen op inconsistenties en fouten	70
Stap 2: Pas de vrijheidsgraad van het kalibratieproces aan de noodzaak aan.	71
Stap 3: Top de massacorrectiefactoren af.	72
Stap 4: Splits getelde relaties en niet-getelde relaties, kalibreer enkel de getelde relaties	74
Stap 5: Gebruik de beste volgorde van tellingen (groot verschil → klein verschil)	81

Hiermee zijn de grootste problemen reeds opgelost maar dit kan toch nog niet voldoende zijn, zeker in het geval van een grote hoeveelheid tellingen die van verschillende jaren en momenten tijdens het jaar(inconsistentie) afkomstig zijn. De verschillen hierop zijn niet makkelijk te achterhalen op inconsistentie. Lokaal kan het nog worden achterhaald maar hoe groter het netwerk hoe minder de mogelijkheden hiertoe.

Een mogelijkheid om dit probleem te omzeilen is om de kalibratie uit OmniTRANS te halen en deze door een wiskundig programma de berekeningen te laten doen en zo nog een objectieffunctie te gebruiken bij de kalibratie waarna de nieuwe matrix opnieuw wordt toegedeeld. Men is bij OmniTRANS international echter bezig met het onderzoek van deze implementatie en deze in te voeren in OmniTRANS zelf. Hierdoor wordt het programmeren van een eigen kalibratie overbodig. De manier van werken zou dezelfde zijn als beschreven in hoofdstuk 3.2 Kalibreren met objectieffunctie.

6.2. KALIBRATIE EN VERDER ONDERZOEK

Er mag gesteld worden dat de kalibratie een noodzakelijk kwaad is om te komen tot een goede HB-matrix. Het gebeurt omdat onze kennis omtrent verplaatsingen en het microscopisch modelleren nog niet zo ver staat dat een perfect HB-matrix kan gebouwd worden. Het is echter de bedoeling om verkeersmodellen complexer te maken zodat het gedrag beter berekend

wordt. AB-modellen zorgen er meteen al voor dat veel meer onderlinge relaties kunnen worden berekend en een bevolkingssynthesizer maakt dat er in minimale hoeveelheden kan worden berekend, bijvoorbeeld door 1 persoon. De kwaliteit van de oorspronkelijke matrix zal dus stijgen en geeft méér mogelijkheden met het verkeersmodel en minder noodzaak om te kalibreren.

Alle inspanningen die momenteel gebeuren hebben tot doel om een correctere HB-matrix te fabriceren die ook naar de toekomst toe juist werkt. Het ultieme is een programma dat huidige kennis beter verwerkt tot huidige matrices en matrices die in de toekomst het juiste gedrag - afhankelijk van gezinssituatie, uur van de dag, financiële informatie,... - kan berekenen.

7. CONCLUSIES

In deze thesis gaat het niet alleen over hetgeen de titel zegt. Kalibreren is een klein onderdeel van verkeersmodellen maar een erg belangrijk deel ervan, dat op nagenoeg alles een impact heeft. Het is duidelijk dat men vroeger al geneigd was om te werken met objectieffuncties maar in de literatuur werden ook bronnen gevonden die gebruik maakten van lineaire oplossingen voor de kalibratie.

De opbouw van verkeersmodellen om een synthetische matrix te bekomen is een belangrijk onderdeel om de impact van de kalibratie op een model te zien. Deze stap in de thesis geeft een duidelijk overzicht van de complete werking van het verkeersmodel met de toedeling buiten beschouwing gelaten. Dit complexe proces is echter niet voldoende om deze thesis overbodig te maken. Uitvlakking van verkeersgedrag en het niet beschikken over een grootse enquête voor de recreatieve verplaatsingen en de overige verplaatsingen maken dat de initiële matrix waarmee wordt begonnen in de kalibratie niet kwalitatief genoeg is om op die maniere gebruiken. De keuze is er om de kwaliteit van deze initiële matrix te verbeteren of om de kalibratie te gebruiken om de werkelijkheid beter in kaart te brengen. Aangezien de eerste optie er een is van lange adem en zonder zekerheid van slagen wordt kalibratie gebruikt om de kwaliteit van verkeersmodellen te verbeteren.

Aangezien het op dit ogenblik nog steeds nodig is om modellen te kalibreren op gemeten verkeersintensiteiten dienen aanpassingen gedaan te worden aan de kalibratie in OmniTRANS die ervoor zorgen dat deze dichter gaat aanleunen bij de kalibratie van CUBE modellen. Deze laatste hebben een erg lange rekentijd maar zullen uiteindelijk wel een correctere weergave van de werkelijkheid geven ondanks minder kwalitatieve tellingen. Wanneer in OmniTRANS enkel wordt gewerkt met kwalitatief hoogstaande tellingen zal de kwaliteit van de kalibratie goed zijn. Echter, wanneer de tellingen niet consistent zijn is het nagenoeg onmogelijk om een correct beeld te krijgen op alle tellingen.

De mogelijkheden om de kalibratie te verbeteren zijn wiskundig eindig. Het ombouwen van het kalibratieproces in OmniTRANS naar een kalibratie die

gebruik maakt van een objectieffunctie zal de grootst mogelijke verbetering geven om een gelijkwaardig product te kunnen bieden met gelijke resultaten ten opzichte van CUBE-modellen.

De uiteindelijke resultaten na alle verbeteringen die zijn doorgevoerd zorgen echter reeds voor een goed model met de correcte toekomsteffecten. Dit was in de beginfase niet het geval, wat voor meerdere frustrerende dagen zorgde. Op dit ogenblik is het veilig om te zeggen dat ook de kalibratie de kwaliteitseisen van de Vlaamse verkeersmodellen haalt.

8. LIJST VAN BRONNEN

- M. Bell (1991), The estimation of origin-destination matrices by constrained generalized least squares, *Transportation Research* 25B.
- M. Bierlaire and Ph.L.Toint (1994), Meuse: An origin-destination matrix estimator that exploits structure, *Transportation Research*, 29B.
- Bradley M. and Bowman L., A summary of design features of activity-based microsimulation models for U.S. MPOs, *Austin (VS)*, 2006
- Cascetta E. (1984), Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator, *Transportation Research* 18B.
- Cools et al. - 2010 - Calibrating activity-based models with external origin-destination information, *Transportation Research Record* 2175.
- O. Drissi-Kaitouni and J. Lundgren (1992). Bilevel origin-destination matrix estimation using a descent approach. Technical report LiTH-MAT-R-92-49, Department of Mathematics, Linköping, Institute of Technology, Linköping, Zweden.
- Said M. Eesa (1991), Traffic assignment in practice: overview and guidelines for users", *Journal of transportation engineering*.
- S. Erlander, S. Nguyen and N. Stewart (1979), On the calibration of the combined distribution/assignment model, *Transportation Research*, 13B.
- C.S. Fisk (1988), On combining maximum entropy trip matrix estimation with user-optimal assignment, *Transportation Research* 22B.
- C.S. Fisk (1989), Trip matrix estimation from link traffic counts: the congested network case, *Transportation Research* 23B
- L.H. Immers (2004), *Cursus Verkeersmodellen*, Faculteit toegepaste wetenschappen, KU Leuven
- Jörnsten K. and Nguyen S. (1979), On the estimation of a trip matrix from network data, Technical Report LiTH-MAT-R-79-36, Department of Mathematics, University of Linköping, Linköping, Zweden, (gereviseerd, April 1983).
- Jörnsten K. and Nguyen S. (1983), Estimation of an OD trip matrix from network data: dual approaches, Technical report LiTH-MAT-R-1983-10, Department of Mathematics, Linköping University, Sweden
- S. Kawakami, H. Lu and Y. Hirobata (1992), Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts considering the interaction of the traffic modes, *Papers in Regional Science*, 71

LeBlanc L.J. and Farhangian K. (1982), Selection of a trip table which reproduces observed link flows, *Transportation Research* 16B.

M. Maher (1983), Inferences on trip matrices from observations on link volumes: A Bayesian statistical approach, *Transportation Research* 17B.

Syed Rahman (2011), The evolution of traffic assignment models: the past, present and future

H. Spiess (1987), A maximum-likelihood model for estimating origin-destination matrices, *Transportation Research* 21B

H. Spiess (1990). A descent based approach for the OD matrix adjustment problem. Publication no. 693 at Centre de recherches sur les transports, Université de Montréal, Montréal, Canada.

O.Z. Tamin and L.G. Willumsen (1989), Transport demand model estimation from traffic counts, *Transportation* 16.

H. Van Zuylen and L.G. Willumsen (1980), The most likely trip matrix estimated from traffic counts, *Transportation Research* 14B.

L.G. Willumsen (1984), Estimating time-dependent trip matrices from traffic counts, In Proc. of Ninth international symposium on transportation and traffic theory. A. G. Wilson (1967), A statistical theory of spatial distribution models, *Transportation Research*, 1B: 253-269.

H. Yang, T. Sasaki, Y. Iida and Y. Asakura (1992), Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts on congested networks, *Transportation Research* 26B.

Figuren

Figuur 1: Overzicht gebruik OVG en socio-economische gegevens en enquêtes	29
Figuur 2: ophogen van verplaatsingsmatrices in BasMAT	29
Figuur 3: Voorbeeld van de werking van ophogen relatiematrices	31
Figuur 4: Overzicht vervoerswijzekeuze	36
Figuur 5: Overzicht kalibratiestap	41
Figuur 6: overzicht scenario matrix bewerkingen	45
Figuur 7: Overzicht opbouw verkeersmodel	50
Figuur 8: Voorbeeld netwerk	53
Figuur 9: rekenvoorbeeld sequentieel kalibreren iteraties (1)	53
Figuur 10: rekenvoorbeeld sequentieel kalibreren iteraties (2)	55
Figuur 11: Schema van het kalibratieproces.....	58
Figuur 12: Overzicht rekenvoorbeeld.....	59
Figuur 13: Voorbeeld netwerk	60
Figuur 14: Interceptmatrices.....	60
Figuur 15: Kalibratiecondities.....	62
Figuur 16: Randvoorwaarden	64
Figuur 17: Gewogen fout	64
Figuur 18: verschil van 100 tussen de 2 tellingen op de N79 zonder nieuw verkeer.....	70
Figuur 19: figuur vertrekken van willekeurige zone na kalibratie zonder opsplitsing	73
Figuur 20: figuur vertrekken uit willekeurige zone na kalibratie met opsplitsing	74
Figuur 21: bepalen getelde relaties	75
Figuur 22: opsplitsen getelde en niet-getelde relaties.....	76

Tabellen

Tabel 1: Vlaams verkeersmodel vergeleken met Amerikaanse modellen	14
Tabel 2: beta's voor vervoerwijzekeuze	38
Tabel 3: Rekenvoorbeeld berekening modal split	40

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Calibratie van verkeersmodellen voor Vlaanderen

Richting: **master in de verkeerskunde-mobiliteitsmanagement**
Jaar: **2012**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Vincent, Thomas

Datum: **4/06/2012**