

MODELLEREN VAN ROUTEKEUZE VOOR DE FIETS

BACHELOR OPDRACHT EINDVERSLAG



Auteur:
Studentnummer:
E-mail:
Begeleider Universiteit Twente:
Tweede beoordelaar Universiteit Twente:
Begeleiders Dat.Mobility / Goudappel Coffeng:
Opdrachtperiode:
Publicatiedatum:

S.J. van Steenis
S1737872
s.j.vansteen@student.utwente.nl
Dr. T. Thomas (Tom)
Dr. M.S. Krol (Maarten)
Bastiaan Possel en Luuk Brederode
september – december 2019
27 januari 2020

Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van mijn Bachelor opdracht genaamd 'Modelleren van routekeuze voor de fiets' als onderdeel van het bachelorprogramma Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Halverwege de zomer klopte ik bij DAT.Mobility aan voor een leuke opdracht en die heb ik gelukkig daar kunnen vinden.

Ruim 10 weken heb ik plaats mogen nemen op de afdeling in Deventer. Ik heb dit als een erg fijne periode ervaren en voelde me al snel welkom op de afdeling. Ook voor vragen kon ik altijd terecht bij mijn vele collega's. In het bijzonder wil ik Bastiaan Possel en Luuk Brederode bedanken voor hun begeleiding en hun betrokkenheid. Zonder hun hulp en feedback had ik het zeker niet gered.

Ook wil ik Tom Thomas, mijn begeleider aan de universiteit, bedanken voor de nuttige feedback en discussies die we hebben gehad. Na een feedbackgesprek met Tom zat ik altijd weer vol nieuwe ideeën.

Als laatste wil ik graag mijn familie en mijn vriendin bedanken. Het afronden van dit project is niet altijd even makkelijk gegaan. Gelukkig zijn jullie altijd in mij blijven geloven.

Veel plezier met het lezen van mijn verslag!

Sven van Steenis, Baarn, 27 januari 2020

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1. Introductie	3
1.1. Probleemstelling	3
1.2. Onderzoeksdoel	6
1.3. Hoofdvraag en deelvragen.....	6
1.4. Onderzoeksstrategie	7
1.5. Leeswijzer.....	7
2. Factoren voor fietsroutekeuze.....	8
2.1. Onderzoeken naar fietsroutekeuze	8
2.2. Classificatie van factoren	9
2.2.1. Individuele eigenschappen	10
2.2.2. Netwerk eigenschappen	11
2.2.3. Contextuele eigenschappen.....	13
2.3. Beschikbaarheid en kwaliteit van data	13
2.3.1. Individuele eigenschappen	13
2.3.2. Netwerk eigenschappen	14
2.3.3. Contextuele eigenschappen.....	15
3. Modeleren van fietsroutekeuze.....	16
3.1. Kostenfunctie	16
3.2. Toedeele methodes	16
3.2.1. Alles-of-niets	16
3.2.2. Multinomial logit.....	17
3.2.3. Path-size logit.....	21
4. Methode	23
4.1. OmniTRANS model.....	23
4.2. Kostenfunctie	24
4.2.1. Snelheidsalgoritme Hogenkamp	24
4.2.2. Snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer	25
4.3. Toedeele methodes	27
4.4. Casusroutes.....	28
5. Resultaten	30
5.1. Routekeuze sets	30
5.2. Toedeele methodes	32
5.3. Path-size factor	34
6. Discussie.....	37
7. Conclusie	38

8.	Aanbevelingen	40
9.	Verwijzingen.....	41
10.	Bijlagen.....	10-1
10.1.	Overzicht factoren uit de literatuur	10-1
10.2.	Kenmerken Fietzersbondnetwerk.....	10-3
10.3.	Toedeelresultaten	10-5

Samenvatting

Ruim een kwart van alle verplaatsingen in Nederland gaat al per fiets, maar helaas is nog meer dan de helft van alle autoritten korter dan 7,5 kilometer. Ook kiezen veel mensen voor de auto als ze naar het werk gaan, ondanks dat meer dan de helft van de werknemers binnen 15 kilometer van hun werk woont. Al dit autoverkeer zorgt voor veel files op de Nederlandse wegen.

Afstanden tot 7,5 of 15 kilometer zijn, zeker met de intrede van de e-bike, goed te doen met de fiets. Daarom heeft het kabinet de ambitie om deze mensen uit de auto en op de fiets te krijgen en een fundamenteel aspect van het promoten van fietsgebruik is het aanbrengen van wijzigingen in de gebouwde omgeving om de veiligheid, efficiëntie en de aantrekkelijkheid van het fietsen te verbeteren. Zodoende investeert het kabinet, samen met de provincies en de gemeenten, ruim 345 miljoen euro aan snelle fietsroutes en fietsenstallingen tijdens deze regeerperiode (Rijksoverheid, 2019).

Strategische verkeersmodellen geven inzicht in waar deze investeringen het beste tot hun recht komen. Helaas zijn de verkeersmodellen voor de fiets van DAT.Mobility nog niet goed in staat om het complexe routekeuzegedrag van fietsers te modelleren. Een mogelijke verbetering kan worden gerealiseerd door aanpassingen door te voeren tijdens het toedelen van het fietsverkeer. Tijdens deze stap wordt het fietsverkeer volgens een bepaalde set regels over het netwerk toegedeeld. Hierdoor ontstaan de routes die van punt A naar punt B worden gereden.

Voor het toedelen van het fietsverkeer wordt in het huidige model gebruik gemaakt van een alles-of-niets toedeling op basis van de afstand of snelheid. Dit houdt in dat alle fietsers hun routekeuze baseren op de afstand van de route of de tijd die een bepaalde route kost. Er is daarnaast geen ruimte voor verschillende percepties van reizigers en/of segmentering van reizigerstypen mogelijk. Met behulp van een logit model kan dit wel gemodelleerd worden.

Hiervoor wordt eerst onderzoek gedaan naar de factoren die invloed hebben op de fietsroutekeuze. Uit deze literatuurstudie blijkt dat de fietsroutekeuze wordt bepaald door drie soorten eigenschappen: persoonlijke eigenschappen, netwerk eigenschappen en contextuele eigenschappen. Uit de bestudeerde literatuur blijkt dat de netwerk eigenschappen zoals lengte, wegdek, soort fietsinfrastructuur en de aanwezigheid van kruisingen (met of zonder verkeersregelinstallatie) het meeste effect hebben op de gekozen route. Ook is de beschikbaarheid van data voor deze soort eigenschap het beste dankzij het Fietzersbond netwerk. Dit netwerk bevat alle wegvakken waarop gefietst kan worden en voor deze wegvakken zijn tevens de hierboven, belangrijke eigenschappen voor fietsroutekeuze, gedefinieerd.

Uit de literatuurstudie volgt ook dat fietsers niet alleen voor de kortste of de snelste route kiezen, maar dat de aantrekkelijkheid van een route ook invloed heeft op de routekeuze. Deze aantrekkelijkheid is veelal ook samen te vatten door één van de eigenschappen gedefinieerd in het Fietzersbondnetwerk.

Er zijn verschillende methodes om het fietsverkeer toe te delen. De eerdergenoemde alles-of-niets toedeling is hier het meest simpele voorbeeld van. Een aanpassing hierop is de drievoudige alles-of-niets toedeling. Hiervoor wordt al het verkeer tussen een herkomst en bestemming in drieën gedeeld. Het eerste deel wordt toegedeeld op basis van afstand, het tweede deel op basis van snelheid en het derde deel wordt toegedeeld op basis van een evenredig verdeelde afstand en snelheid. Hierdoor kunnen in theorie drie routes ontstaan tussen een bepaalde herkomst en bestemming.

Een andere methode is door gebruik te maken van een vooraf gegenereerde route set en het fietsverkeer toe te delen over deze route set met behulp van een multinomial logit model. De routekeuze set hiervoor wordt gegenereerd met de StreamLine Route Generator. Op basis van een Monte Carlo analyse is deze generator in staat om redelijk snel een volledige en realistische route set te genereren. Hiervoor is wel een aanpassing nodig van het multinomial logit model, want dit model gaat er vanuit dat alle mogelijke alternatieven onafhankelijk van elkaar zijn. Bij overlappende routes is dit niet het geval en daarom wordt er een path-size factor toegevoegd aan het model. Deze factor corrigeert de kans dat een route gekozen wordt aan de hand van de hoeveelheid overlap met andere routes.

Uiteindelijk worden er 4 toedelmethodes geïmplementeerd in het model. Hiervan zijn er twee op basis van een drievoudige alles-of-niets toedeling. De eerste gebruikt de afstand, snelheid en een combinatie van die twee om de kosten van een route te bepalen. De tweede gebruikt de afstand, de snelheid en de aantrekkelijkheid samen en een combinatie van die twee om de kosten te bepalen. Deze twee manieren om de kosten te bepalen worden ook gebruikt om het fietsverkeer via het multinomial logit model en een vooraf gegenereerde route set toe te delen. Daarnaast wordt geëxperimenteerd wat de invloed van de path-size factor is op deze toedeling.

Uit het onderzoek blijkt dat de implementatie van een kostenfunctie gebaseerd op de snelheid en de aantrekkelijkheid tot geen verschillend leidt. De verklaring hiervoor is dat de kosten voor de snelheid en de kosten voor de aantrekkelijkheid bij elkaar zijn opgeteld en dat in dit geval de invloed van het kosten voor de snelheid veel groter waren dan de kosten voor de aantrekkelijkheid.

Een duidelijk merkbaar verschil is dat het implementeren van een multinomial logit model leidt tot een veel betere spreiding van routes tussen punt A en B. Waar de drievoudige alles-of-niets toedeling 2 of soms maar 1 route genereert varieert dit voor de gegenereerde routekeuze set tussen de 2 en de 5. Met het implementeren van de path-size factor kan duidelijk op een redelijk eenvoudige manier gestuurd worden op overlappend dan wel unieke routes.

De conclusie die daarom wordt getrokken is dat het implementeren van een multinomial logit model een waardevolle toevoeging is aan het verkeersmodel voor de fiets. De aanbevelingen die gedaan worden zijn vooral van invloed op de te gebruiken kostenfunctie. Deze is nu namelijk ontleend uit de literatuur, maar kan veel beter zelf geschat worden op basis van eigen onderzoeksresultaten.

1. Introductie

DAT.Mobility beschikt met OmniTRANS over het verkeersmodelleringplatform van Nederland. Al 30 jaar helpen OmniTRANS-modellen beleidsmaker met het oplossen van complexe verkeersproblemen. Met OmniTRANS is het mogelijk veel verschillende verkeersstromen inzichtelijk te maken. Helaas zijn de huidige verkeersmodellen voor de fiets niet goed in staat om de fietsstromen goed te verklaren.

Dit hoofdstuk schetst de context van het probleem en wat de maatschappelijke- en wetenschappelijke relevantie is van nauwkeurige verkeersmodellen voor de fiets. Aan de hand hiervan wordt een onderzoeksdoel geformuleerd wat leidt tot een aantal onderzoeksvragen en een onderzoeksstrategie.

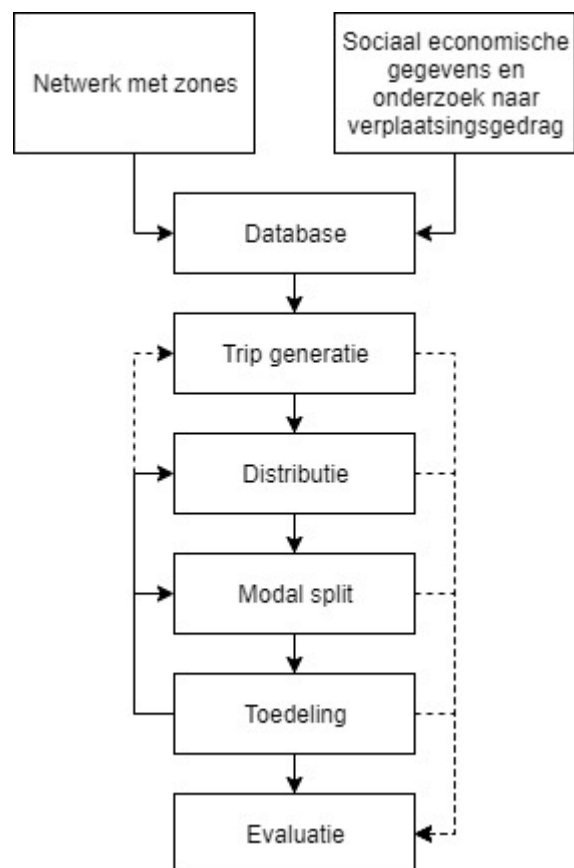
1.1. Probleemstelling

Ruim een kwart van alle verplaatsingen in Nederland gaat al per fiets, maar helaas is nog meer dan de helft van alle autoritten korter dan 7,5 kilometer. Ook kiezen veel mensen voor de auto als ze naar het werk gaan, ondanks dat meer dan de helft van de werknemers binnen 15 kilometer van hun werk woont. Al dit autoverkeer zorgt voor veel files op de Nederlandse wegen.

Afstanden tot 7,5 of 15 kilometer zijn, zeker met de intrede van de e-bike, goed te doen met de fiets. Daarom heeft het kabinet de ambitie om deze mensen uit de auto en op de fiets te krijgen en een fundamenteel aspect van het promoten van fietsgebruik is het aanbrengen van wijzigingen in de gebouwde omgeving om de veiligheid, efficiëntie en de aantrekkelijkheid van het fietsen te verbeteren. Zodoende investeert het kabinet, samen met de provincies en de gemeenten, ruim 345 miljoen euro aan snelle fietsroutes en fietsenstallingen tijdens deze regeerperiode (Rijksoverheid, 2019).

Om te bepalen waar deze investeringen het beste tot hun recht komen, is het van belang om inzicht te hebben in waar mensen fietsen en op basis van welke factoren routekeuzes worden gemaakt. Verkeersmodellen spelen hier een belangrijke rol in en geven inzicht in de grootte van bepaalde verkeersstromen, waar deze mogelijk problemen veroorzaken en wat de effecten zijn van bepaalde beleidskeuzes.

OmniTRANS is een macroscopisch verkeersmodelleringplatform, ontwikkeld door DAT.Mobility, dat wordt toegepast op strategisch niveau. Het platform volgt in hoofdlijnen de klassieke structuur voor macroscopische verkeersmodellen dat ontstaan is door jaren van experimenteren en ontwikkelen. Dit klassieke verkeersmodel kan worden onderverdeeld in vier itererende deelmodellen (De Dios Ortúzar & Willumsen, 2011) zoals te zien is in Figuur 1 en wordt beschreven op de volgende pagina.



Figuur 1: Vierstaps verkeersmodel (De Dios Ortúzar & Willumsen, 2011)

1. Trip generatie

Tijdens de trip generatie wordt op basis van sociaaleconomische gegevens en onderzoek naar verplaatsingsgedrag zoals het OViN (Onderzoek Verplaatsingen in Nederland) per zone in een netwerk bepaald hoeveel mensen er zullen vertrekken en zullen aankomen voor een bepaalde onderzoeksperiode. Dit kan bijvoorbeeld een etmaal of een ochtendspits zijn.

2. Distributie

Tijdens de distributie wordt bepaald hoeveel mensen van een bepaalde zone naar een andere zone vertrekken of aankomen. Hierdoor ontstaat een matrix met daarin het aantal vertrekken van herkomst naar bestemming: de HB-matrix. Een veelgebruikte methode is het zwaartekrachtmodel.

3. Modal split

Tijdens de Modal-Split wordt bepaald welke vervoerwijze er gebruikt wordt.

4. Toedeling

Tijdens het toedelen van het verkeer worden de ritten volgens een aantal regels of principes over een netwerk verdeeld, waardoor een set van routes ontstaat. Het uitgangspunt hierbij is dat een reiziger de route neemt met de minste waargenomen (en verwachte) individuele kosten.

Echter, de realiteit is dat de huidige verkeersmodellen in OmniTRANS het fietsverkeer niet optimaal beschrijven, omdat het netwerk met de zones vaak te grof is en dat niet alle kennis die er over fietsverkeer aanwezig is in de modellen wordt toegepast. Ook krijgt de fiets bij de bouw van een verkeersmodel vaak als laatste de aandacht, omdat het modelleren van het auto- en vrachtverkeer als belangrijker wordt beschouwd.

Een begin om het verkeersmodel te verbeteren, is gelegd door het fietsnetwerk van het autonetwerk te scheiden. Aan het netwerk is namelijk het fietsnetwerk van de Fietzersbond toegevoegd. Dit netwerk bevat alle schakels en kwaliteitskenmerken die voor een fietser van belang kunnen zijn. Vooral in stedelijke gebieden, waar bijvoorbeeld veel fietsdoorsteekjes zijn, is de kwaliteit van het model al verbeterd door een fijnmaziger netwerk te creëren.

Een tweede verbetering van het model zou kunnen worden gerealiseerd door de toedeling van het fietsverkeer te verbeteren. Hiervoor wordt namelijk een simpele vorm van 'alles-of-niets' toedelen gebruikt. In een 'alles-of-niets' toedeling staan de waargenomen (en verwachte) individuele kosten voor een bepaalde route vast en ervaren alle fietsers dezelfde kosten. De alles-of-niets toedeling biedt dus geen ruimte voor het modelleren van verschillende percepties van reizigers en/of segmentering van reizigerstypen. Dit betekent dat elke fietser van punt A naar punt B, ook wel herkomst en bestemming (HB-paar) genoemd, dezelfde route moet kiezen en geen enkele fietser een minder 'aantrekkelijke' route kiest.

De aantrekkelijkheid (ook wel kosten genoemd) van een route kan bijvoorbeeld worden bepaald op basis van afstand of snelheid van de route, maar het vermoeden heerst dat de routekeuze door meerdere factoren wordt beïnvloed. Zo blijkt ook uit een onderzoek van Genugten en Van Overdijk (2016); de aanwezigheid van fietsinfrastructuur, wegdekwaliteit en hellingen hebben een grotere invloed op de routekeuze dan een reistijdverkortung van vier minuten. En bovendien wordt de invloed van deze aspecten groter bij toenemende afstand.

Ook binnen Goudappel Coffeng, waar DAT.Mobility nauw mee samenwerkt, was het vermoeden dat dat afstand en snelheid niet de enige factoren zijn die invloed hebben op de routekeuze. In 2018 is daarom in samenwerking met de NS, ThuisraadRo en de universiteit van Amsterdam in opdracht van verschillende gemeentes in Nederland een onderzoek naar reistijdbeleving van fietsers afgerond (Olde Kalter & Groenendijk, 2018).

Uit de resultaten van dat onderzoek kunnen drie conclusies worden getrokken:

1. De routekeuze tussen twee routes met een vergelijkbare afstand wordt met name bepaald door de aantrekkelijkheid, gevolgd door afwisseling en comfort. Hoe snel een route wordt ervaren speelt een minder belangrijke rol.
2. De aantrekkelijkheid van een route wordt bepaald door zowel ruimtelijke factoren (bebouwing, inrichting) alsmede sociale omgevingskenmerken (drukke, geluiden). Over het algemeen geldt: hoe minder prikkels, hoe aantrekkelijker een bepaalde route.
3. Er is een significant verband tussen de aantrekkelijkheid van een route en de subjectieve reistijdbeleving van een route. Een aantrekkelijke route wordt dus als korter ervaren en kan zo invloed hebben op de routekeuze.

Ook heeft er de afgelopen jaren een tal van onderzoeken naar fietsroutekeuze plaatsgevonden waarbij een model geschat wordt op basis van factoren die fietsroutekeuze beïnvloeden. Veelal wordt hiervoor een logit model gebruikt (Menghini, Carrasco, Schüssler, & Axhausen, 2010) (Hood, Sall, & Charlton, 2011) (Broach, Gliebe, & Dill, 2010) (Bernardi, La Paix Puello, & Geurs, 2018) (Ton, Cats, Duives, & Hoogendoorn, 2017). Een logit model is wel in staat om aan de ene kant op basis van factoren, zoals de aanwezigheid van fietsinfrastructuur, wegdekkwaliteit en hellingen, een toedeling te maken. Daarnaast is het met een logit model ook mogelijk om de verschillende percepties en/of segmentering van reizigerstypen te modelleren.

1.2. Onderzoeksdoel

Het doel van het onderzoek is tweeledig; het implementeren van een verbeterde kostenfunctie waarin rekening wordt gehouden met factoren die fietsroutekeuze beïnvloeden en het implementeren van een logit model dat wel ruimte biedt voor het modelleren van verschillende percepties van reizigers en/of segmentering van reizigerstypen.

Dit model kan mogelijk beter verklaren waarom fietsers bepaalde routes nemen en zorgen voor een betere spreiding van de gekozen routes dan de 'alles-of-niets' toedeling die nu gebruikt wordt in het model. De doelstelling van het onderzoek is daarom om te onderzoeken tot welke verschillen het implementeren van een logit model met aangepaste kostenfunctie leidt.

1.3. Hoofdvraag en deelvragen

De doelstelling van het onderzoek kan worden vertaald in een hoofdvraag die luidt:

Tot welke verschillen leidt het implementeren van een logit model met aangepaste kostenfunctie ten opzichte van de huidige toedelmethode?

Deze hoofdvraag wordt beantwoord door een aantal deelvragen te beantwoorden:

Deelvragen over factoren die fietsroutekeuze beïnvloeden

1. Welke factoren hebben invloed op de fietsroutekeuze?
2. Wat is de beschikbaarheid van data voor deze factoren?

Deelvragen over logit routekeuze modellen

3. Wat is een logit model?
4. Welke logit modellen zijn geschikt voor het modelleren van routekeuze?

Deelvragen over het implementeren en valideren van het routekeuze model in een strategisch verkeersmodel

5. Hoe kunnen deze factoren worden vertaald naar een kostenfunctie?
6. Welke kostenfunctie(s) word(t)(en) geïmplementeerd in het strategische verkeersmodel?
7. Welke logit model(len) wor(t)(en) geïmplementeerd in het strategische verkeersmodel?

1.4. Onderzoeksstrategie

De onderzoeksstrategie vertaalt de deelvragen naar enkele onderzoeksmethoden om zo tot een antwoord op de hoofdvraag te komen, waarna conclusies en aanbevelingen kunnen worden gedaan.

Deelvragen over factoren die fietsroutekeuze beïnvloeden

Deze deelvragen zullen worden beantwoord door een literatuurstudie te houden. De focus zal liggen op het inventariseren van zoveel mogelijk factoren die fietsroutekeuze kunnen beïnvloeden. Hierna zal op basis van beschikbaarheid van data een selectie gemaakt worden van de factoren die in aanmerking komen voor implementatie in het nieuwe routekeuze model. Vervolgens wordt op basis van de factoren een kostenfunctie gekozen.

Deelvragen over logit routekeuze modellen

Veel van de onderzoeken waarin factoren voor fietsroutekeuze worden beschreven, proberen ook een logit model te schatten. Er wordt gekeken welke modellen in het verleden zijn toegepast voor de fietsroutekeuze en of deze modellen te combineren zijn met de beschikbaarheid van data.

Deelvragen over de implementatie en validatie van een logit routekeuze model in een strategisch verkeersmodel

Op basis van de bevindingen uit de literatuurstudie naar factoren voor fietsroutekeuze wordt een kostenfunctie opgesteld. Deze kostenfunctie wordt samen met een logit model geïmplementeerd in het OmniTRANS model. Hiervoor moet het OmniTRANS model worden geïnspecteerd om te begrijpen welke stappen er worden genomen om de fietsroutekeuze te bepalen.

1.5. Leeswijzer

De rest van het verslag is als volgt opgebouwd; In Hoofdstuk 2 volgt de literatuurstudie naar factoren voor fietsroutekeuze. Vervolgens komt de beschikbaarheid van data voor deze factoren aan bod. In Hoofdstuk 3 volgt informatie over de mogelijke toedeelethodes. Hoofdstuk 4 begint met een beschrijving van het gebruikte strategische model, vervolgens wordt onderbouwd welke toedeelethodes er worden geïmplementeerd in dat model. Hierna worden in Hoofdstuk 5 de belangrijkste resultaten hiervan beschreven. Hierna volgen een conclusie, discussie en de aanbevelingen van het onderzoek.

2. Factoren voor fietsroutekeuze

De keuze voor een bepaalde fietsroute staat niet vast en hangt af van veel factoren. Kiest een fietser de kortste route naar het station? Of wordt er toch een stukje omgefietst om dat drukke kruispunt te vermijden?

In de afgelopen jaren is het belang van de fiets als volwaardig vervoersmiddel toegenomen. Niet alleen in Nederland wordt er daarom onderzoek gedaan naar het routekeuzegedrag van fietsers, maar ook in het buitenland.

Dit hoofdstuk dient als theoretische achtergrond voor het routekeuzegedrag van fietsers en het modelleren van dat routekeuzegedrag. Het hoofdstuk begint met een literatuurstudie naar factoren die invloed hebben op fietsroutekeuze. Vervolgens wordt onderzocht wat de beschikbaarheid en kwaliteit van data is voor deze factoren.

2.1. Onderzoeken naar fietsroutekeuze

Om te achterhalen welke factoren invloed hebben op het routekeuzegedrag van fietsers kan op twee manieren data worden verkregen: revealed preference (RP) en stated preference (SP).

Onderzoeken gebaseerd op RP gaan over keuzes die individuen daadwerkelijk hebben gemaakt. In het kader van onderzoek naar fietsroutekeuze is dit data die de daadwerkelijk gemaakte reis beschrijft. Dit kan in de vorm van het tekenen van de gereden route op een kaart of met behulp van GPS data. Hieraan kan dan bijvoorbeeld de herkomst, de bestemming en het doel van de reis worden gekoppeld. Het sterke punt van dit soort data is dat ze de werkelijke keuzes van de gebruikers in een bepaalde context (de routekeuzemogelijkheden) aanbieden.

Aan de andere kant bestaat SP data uit de antwoorden op hypothetische situaties die aan de gebruikers wordt gepresenteerd door middel van bijvoorbeeld een enquête. Door RP data aan te vullen met SP data kunnen de nadelen van RP data worden overwonnen. Een beperking van RP data is namelijk dat er in veel scenario's onvoldoende variabiliteit is in de waarnemingen, dat het geobserveerde gedrag vaak moeilijk in verband kan worden gebracht met kwalitatieve variabelen (zoals bijvoorbeeld gewontegedrag) en dat het onmogelijk is om keuzes te meten tussen alternatieven die nog niet bestaan (Louviere, Hensher, & Swait, 2000). Met SP data kunnen dus wel de keuzes worden beschreven van gebruikers wanneer ze worden geconfronteerd met hypothetische situaties zoals een nieuw aan te leggen fietsroute met duidelijk geformuleerde kwantitatieve en kwalitatieve eigenschappen. Zo kan ook de voorkeur voor kwantitatieve eigenschappen in kaart worden gebracht.

De literatuurstudie bestaat uit literatuur gebaseerd op beide methodes van dataverzameling, van binnen en buiten Nederland, om zo een compleet beeld te krijgen van factoren die invloed hebben op daadwerkelijk gereden routes en op factoren die niet gevangen kunnen worden met alleen revealed preference data, waarvoor ook hypothetische keuzes nodig zijn.

Een overzicht van de onderzoeken die mee zijn genomen in de literatuurstudie is weergegeven in Bijlage 10.1.

2.2. Classificatie van factoren

Om overzicht te houden in factoren voor fietsroutekeuze is door Ton et al. (2017) onderscheid gemaakt in drie categorieën factoren: Individuele eigenschappen, netwerk eigenschappen en contextuele eigenschappen:

- 1. Individuele eigenschappen**
Zijn te koppelen aan de fietser en dus aan degene die de daadwerkelijke routekeuzes maakt.
- 2. Netwerk eigenschappen**
Bestaan uit het netwerk en alle mogelijke eigenschappen van dat netwerk.
- 3. Contextuele eigenschappen**
Zijn niet toe te schrijven aan het individu of aan het netwerk, maar kunnen wel van invloed zijn op de routekeuze.

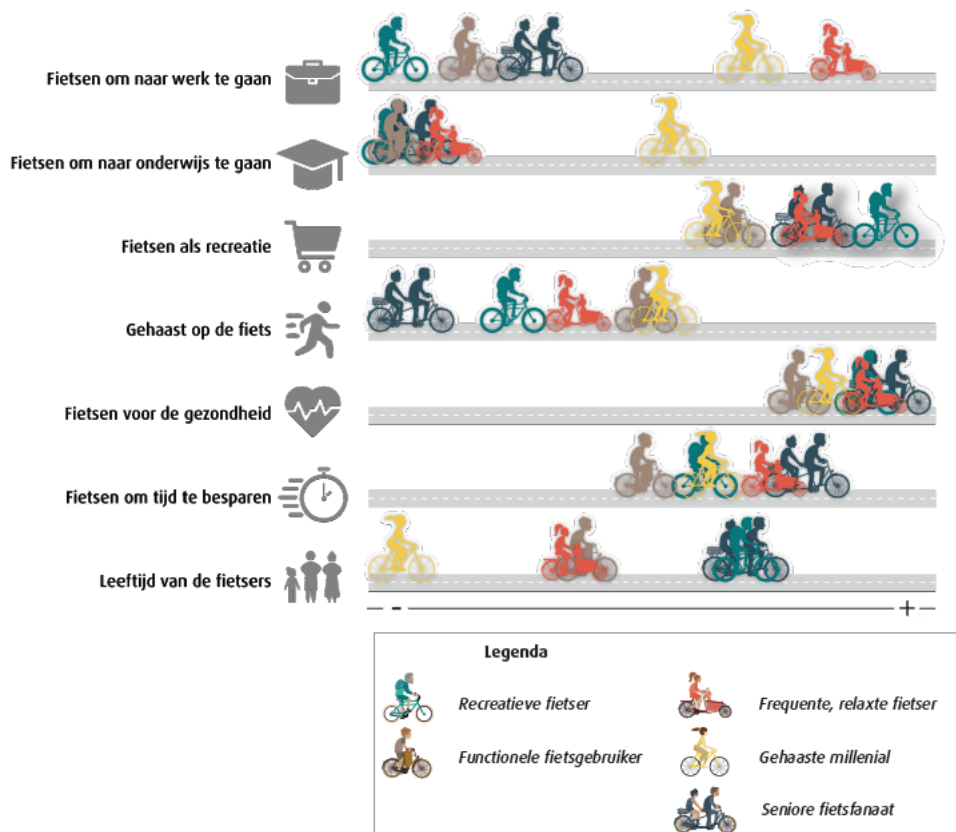
Tabel 1: Onderscheid categorieën factoren voor fietsroutekeuze (Ton, Cats, Duives, & Hoogendoorn, 2017)

Individuele eigenschappen	Netwerk eigenschappen	Contextuele eigenschappen
Geslacht	Afstand	Tijd zonsopgang en zonsondergang
Leeftijd	Snelheid	Weer
Ervaring	Fietsinfrastructuur en continuïteit	Misdaadpercentages en sociale veiligheid
Inkomen	Helling	Strooiroutes
Gezingsgrootte	Overlast overige verkeer	Seizoen
Motief	Aantal kruispunten	
	Aantal linkse afslagen	
	Aantal bruggen/tunnels	
	Ondergrond en kwaliteit	
	Aantrekkelijkheid	

De volgende paragrafen beschrijven wat de invloed is van de bovenstaande factoren op de fietsroutekeuze. Waar mogelijk wordt aangegeven hoe groot die invloed en of de invloed ook significant blijkt uit de geschatte modellen.

2.2.1. Individuele eigenschappen

De gemiddelde fietser bestaat niet en er zijn grote onderlinge verschillen tussen bepaalde fietsersgroepen. In het Reistijdsbelevingsonderzoek (Olde Kalter & Groenendijk, 2018) worden 5 soorten fietsers onderscheiden zoals te zien is in Figuur 2.



Figuur 2: Verdeling vijf fietsers naar verschillende dimensies (Olde Kalter & Groenendijk, 2018)

De fiets wordt door de verschillende groepen voor een tal van motieven gebruikt en dat bepaalt dat elke fietsgroep ook weer met een andere instelling op de fiets zit. Aan de hand hiervan zijn 6 verschillende individuele eigenschappen te onderscheiden. Deze eigenschappen en de invloed van deze eigenschappen op de fietsroutekeuze is weergegeven in Tabel 2 op de volgende pagina.

Tabel 2: Invloed van individuele eigenschappen op de routekeuze

Eigenschap	Invloed	Bron
Geslacht	Mannen kiezen eerder voor een langere route als ze daarmee verkeerslichten kunnen omzeilen.	Bernardi et al. (2018)
Leeftijd	Uit de overige bestudeerde onderzoeken blijkt het onderscheid in leeftijd niet significant en dus geen duidelijke invloed te hebben op de routekeuze.	
Ervaring	Onervaren fietsers in het buitenland maken eerder gebruik van de aanwezige fietsinfrastructuur, ervaren fietsers kiezen liever voor de snelste route. In Nederland is die niet significant bevonden aangezien bijna overal wel goede fietsinfrastructuur aanwezig is.	Hood et al. (2011) Ton et al. (2017) Bernardi et al. (2018)
Inkomen	Uit de overige bestudeerde onderzoeken blijkt het onderscheid in inkomen niet significant en dus geen duidelijke invloed te hebben op de routekeuze	
Gezinsgrootte	Uit de overige bestudeerde onderzoeken blijkt het onderscheid in gezinsgrootte niet significant en dus geen duidelijke invloed te hebben op de routekeuze	
Motief	Het motief recreatie is een belangrijke factor om voor een langere route te kiezen. Voor de andere motieven zoals werk, winkelen, terug naar huis is dit niet significant gebleken.	Bernardi et al. (2018)

2.2.2. Netwerk eigenschappen

De netwerk eigenschappen zijn toe te schrijven aan de wegvakken van een netwerk. Deze ruimtelijke of sociale omgevingskenmerken bepalen of het wel of niet gunstig is om op dit wegvak te fietsen en hebben daarmee invloed op de routekeuze.

Uit alle onderzoeken blijkt dat de afstand veruit de belangrijkste factor is om voor een bepaalde route te kiezen. Zo heeft de afstand in de meeste modellen die zijn geschat, een invloed die 5 tot 10 keer zo groot is als de overige factoren. Toch willen fietsers onder bepaalde omstandigheden wel een langere route kiezen als ze hierbij drukke kruispunten en wegen, en steile hellingen kunnen omzeilen. Ook een glad wegdek van goede kwaliteit, goede fietsinfrastructuur en een aantrekkelijke route vergroten de kans om voor een langere route te kiezen. De netwerk eigenschappen en de invloed van deze eigenschappen is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Invloed van netwerk eigenschappen op de routekeuze

Eigenschap	Invloed	Bron
Afstand	Heeft de grootste negatieve invloed op de routekeuze. Fietsers kiezen het liefst de kortste route.	Menghini et al. (2010) Broach et al. (2010) Hood et al. (2011) Ton et al. (2017)
Snelheid	Fietsers houden van snel doorfietsen en willen daarom best een stuk omfietsen als de ervaren snelheid daarmee hoger wordt.	Genugten en Van Overdijk (2016) Claasen en Rienstra (2017)

Fietsinfrastructuur en continuïteit	Fietzers kiezen eerder voor een langere route als ze gebruik kunnen maken van een goed aaneen lopende schakel van speciale fietsinfrastructuur.	Hood et al. (2011) Genugten en Van Overdijk (2016) Ton et al. (2017) Claasen en Rienstra (2017) Bernardi et al. (2018)
Helling	Fietzers proberen zoveel mogelijk steile hellingen te vermijden. In het buitenland zijn er meer onderzoeken gedaan waar deze factor significant was. Dit is logisch te verklaren, omdat Nederland een vlak land is met weinig steile hellingen.	Menghini et al. (2010) Broach et al. (2012) Genugten en Van Overdijk (2016)
Overlast overige verkeer	Fietzers mijden zoveel mogelijk wegen met veel overlast van het overige verkeer. Dit kunnen geparkeerde auto's zijn of het fietsen op een drukke weg zonder goede fietsinfrastructuur.	Broach et al. (2012) Genugten en Van Overdijk (2016) Bernardi et al. (2018)
Aantal kruispunten	Het aantal kruispunten zorgt voor vertraging. Vooral kruispunten met verkeerslichten worden door fietsers ontweken en kiezen dan liever voor een voorrangs- of gelijkwaardige kruising. Maar op plekken waar veel verkeer samenkomt, kunnen verkeerslichten juist een positief effect hebben op de keuze van een bepaalde route.	Menghini et al. (2010) Broach et al. (2012)
Aantal linkse afslagen	Een linkse afslag is in theorie een gevaarlijke manoeuvre en zou daarom fietsers kunnen afschrikken. Blijkt uit de onderzoeken niet significant.	
Aantal bruggen/tunnels	De aanwezigheid van een brug of tunnel impliceert vaak ook de aanwezigheid van een helling en worden daarom het liefst ontweken, behalve als er geen andere mogelijkheid is om een drukke straat over te steken. Tevens worden tunnels als sociaal onveilig beschouwd. Blijkt uit de onderzoeken niet significant.	Hood et al. (2011)
Ondergrond en kwaliteit	Een glad wegdek en een goede kwaliteit daarvan verhoogt het comfort van het wegvak en daarmee de kans dat fietsers erop willen fietsen.	Genugten en Van Overdijk (2016) Claasen en Rienstra (2017)
Aantrekkelijkheid	Heeft bij een routekeuze tussen twee routes met een vergelijkbare afstand een grotere rol dan de snelheid. Aantrekkelijkheid wordt bepaald door zowel ruimtelijke factoren (bebouwing, inrichting) alsmede door sociale omgevingskenmerken (drukke, geluiden). Over het algemeen geldt: hoe minder prikkels, des te aantrekkelijker de route.	Olde Kalter en Groenendijk (2018) Bernardi et al. (2018)
Verlichting	In het donker verhoogt de aanwezigheid van goede verlichting de aantrekkelijkheid van de route en is de kans groter dat de route wordt gekozen. Is in de onderzoeken niet meegenomen of significant bevonden.	

2.2.3. Contextuele eigenschappen

De contextuele eigenschappen zijn niet toe te schrijven aan de fietser of het netwerk, maar hebben mogelijk wel invloed op de fietsroutekeuze. Geen van de bestudeerde onderzoeken hield rekening met de onderstaande factoren en deze zijn dan ook niet significant bevonden. Wel staat in Tabel 4 beschreven wat de mogelijke invloed van de factoren zou kunnen zijn.

Tabel 4: Invloed van contextuele eigenschappen op de routekeuze

Eigenschap	Invloed	Bron
Tijd zonsopkomst en zonsondergang	Of het donker of licht is kan invloed hebben op de keuze op routes te nemen die goed verlicht zijn.	
Weer	Vooraf regen kan ervoor zorgen dat de voorkeur ligt bij kortere en snellere routes.	
Misdaadpercentages en sociale veiligheid	Als er door gebieden gefietst wordt waar de misdaadpercentages hoog liggen, zorgt dit voor een onveilig gevoel. Fietzers kunnen deze gebieden mijden of de meest directe route door het gebied kiezen.	
Strooiroutes	De strooiroutes worden bepaald door de gemeente. Mocht het in de winter glad zijn dan kan waar wel en waar niet gestoord is, bepalen welke route wordt gekozen.	
Seizoen	De seizoenen bepalen de temperatuur en de hoeveelheid daglicht. In koude donkere maanden zullen fietsers sneller voor een zo direct mogelijke route gaan.	

2.3. Beschikbaarheid en kwaliteit van data

De beschikbaarheid van data voor de significante factoren bepaalt voor een groot deel of de factoren implementeerbaar zijn in een strategisch verkeersmodel. Vanzelfsprekend kan ontbrekende data niet gebruikt worden, maar ook onjuiste of onnauwkeurige data kan grote invloed hebben op het functioneren van het model.

2.3.1. Individuele eigenschappen

Data van de individuele eigenschappen is meestal opgeslagen als zonale data. Dat betekent dat deze eigenschappen worden toegeschreven aan een gehele zone. Wegens privacy wetgeving is het namelijk niet mogelijk om de individuele eigenschappen aan een individu te koppelen.

Veel van deze data wordt verzameld door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) waar een database van alle verplaatsingen in Nederland (OVIN) wordt bijgehouden. Het doel van het OVIN is om adequate informatie te geven over de dagelijkse verplaatsingen van de Nederlandse bevolking en het verplaatsingsgedrag wordt beschreven aan de hand van de herkomst en bestemming van een verplaatsing, het tijdstip van de verplaatsing, de veroverkeuze en het motief voor het verplaatsen. Daarnaast wordt ruime aandacht geschonken aan de achtergrondvariabelen zoals sociaaleconomische gegevens.

De bron van de dataset is zeer betrouwbaar en er kan dus worden verwacht dat de kwaliteit dat ook is. Echter, er is in Nederland maar één onderzoek geweest waaruit blijkt dat één van de

sociaaleconomische variabelen significant is en dat is het mannelijke geslacht. Het geslacht en het motief voor de verplaatsing zouden dus meegenomen kunnen worden als factoren voor de fietsroutekeuze.

2.3.2. Netwerk eigenschappen

De meest complete bron met netwerk eigenschappen is het Fietzersbond netwerk. Dit netwerk, dat wordt bijgehouden door ruim 100 vrijwilligers, bevat alle wegvakken (links) waarop gefietst kan worden. Dit maakt het fietsnetwerk niet alleen een stuk fijnmaziger dan het autonetwerk, wat de kwaliteit van de fietsroutekeuze al bevordert, maar hierdoor is ook veel informatie over deze links bekend.

Zo zijn voor ieder wegvak de volgende eigenschappen vastgesteld:

- Lengte van het wegvak in kilometer
- Mate van bochtigheid zoals gedefinieerd door Hogenkamp (2014)
- Type fietsvoorziening
- Soort ondergrond
- Kwaliteit ondergrond
- Hinder van het overige verkeer
- De omgeving van het wegvak
- Kwaliteit van verlichting van het wegvak
- Kruispunt begin: geeft aan met wat voor soort kruispunt het wegvak begint
- Kruispunt eind: geeft aan met wat voor soort kruispunt het wegvak eindigt

Deze eigenschappen zijn , op de lengte en de mate van bochtigheid, kwalitatief gedefinieerd. Zo is de schaal van het hinder van het overige verkeer:

1. Zeer weinig
2. Weinig
3. Redelijk
4. Veel
5. Zeer veel
6. Onbekend

Een compleet overzicht van alle kenmerken van het Fietzersbondnetwerk met beschrijving en schaal is toegevoegd in Bijlage 10.2.

Een nadeel van het Fietzersbondnetwerk is dat het bijgehouden wordt door vrijwilligers en daardoor kan een kanttekening worden geplaatst omtrent de betrouwbaarheid van de data. Alhoewel er sprake is van een zeker handboek voor deze vrijwilligers voor het intekenen van de wegen en het juist hanteren van de verschillende linkkenmerken is het de vraag in hoeverre de gestelde definities ook daadwerkelijk zijn nageleefd. Vooral de nominale schalen die voor veel van de netwerk eigenschappen zijn gedefinieerd worden voor een groot deel bepaald door de eigen interpretatie van deze vrijwilligers.

Het Fietzersbondnetwerk bevat veel eigenschappen die volgens de literatuurstudie ook significant zijn en dus invloed hebben op de fietsroutekeuze. Alleen de helling, aantal linkse afslagen, aantal bruggen en tunnels, en aantrekkelijkheid van het wegvak zijn niet in het Fietzersbondnetwerk gedefinieerd. Voor de helling, het aantal linkse afslagen en het aantal bruggen en tunnels is dit geen groot probleem, aangezien deze in geen van de in Nederland gehouden onderzoeken significant zijn. Uit het

Reistijdbelevingsonderzoek (Olde Kalter & Groenendijk, 2018) blijkt dat de aantrekkelijkheid van een wegvak grotendeels wordt bepaald door de omgeving en de Fietzersbondnetwerk eigenschap 'omgeving' zou hiervoor gebruikt kunnen worden. Het is dus mogelijk om veel van de netwerk eigenschappen mee te nemen als factor voor fietsroutekeuze.

2.3.3. Contextuele eigenschappen

Over de contextuele eigenschappen is wel data beschikbaar. Zo kan de tijd van zonsopgang en zonsondergang alsmede het seizoen en de bijbehorende neerslag in Nederland worden opgehaald bij het KNMI. De criminaliteit van een gebied kan worden opgevraagd bij het CBS en de lokale strooiroutes zijn veelal te vinden op websites van gemeenten. Dit zijn allemaal betrouwbare bronnen, dus waarschijnlijk is de data wel van hoge kwaliteit.

Een nadeel van de data is dat deze moeilijk te koppelen is aan de stated preference en revealed preference data voor fietsroutekeuze. Er is nog geen stated preference onderzoek gedaan, waar één van deze eigenschappen is meegenomen en ook in de revealed preference onderzoeken is de data niet bruikbaar, omdat de looptijd van het onderzoek vaak te kort is om genoeg variatie te krijgen. Het is dus niet mogelijk om één van de contextuele eigenschappen mee te nemen als factor voor fietsroutekeuze.

3. Modeleren van fietsroutekeuze

Voor het toedelen van het fietsverkeer kunnen verschillende modellen worden gebruikt. Dit hoofdstuk geeft een theoretische inleiding op gangbare modellen die gebruikt worden voor het toedelen en aan welke belangrijke eigenschappen het model moet voldoen.

3.1. Kostenfunctie

De kosten voor een bepaalde route kunnen bestaan uit bepaalde netwerk gebonden, persoonlijke of contextuele factoren zoals in het vorige hoofdstuk is vastgesteld. De invloed van deze factoren kunnen worden weergegeven door een kostenfunctie. De kosten, ook wel nut genoemd, worden dan beschouwd als een lineaire functie van een aantal factoren geschaald door enkele coëfficiënten.

$$V_{n,i} = \beta_i * x_{n,i} + ASC_i \quad (1)$$

Hierin is $V_{n,i}$ het nut (kosten) van de route, $x_{n,i}$ een vector met de factoren die invloed hebben op alternatief i, β_i is een vector van coëfficiënten die de invloed van een bepaalde factor bepaalt voor alternatief i. De functie bevat ook een restterm, de alternatieve specifieke constante (ASC). Deze term omvat de rest van de kosten, of het nut, dat niet uitgedrukt kan worden in factoren.

3.2. Toedeelmethodes

Als de kosten van een route bekend zijn kan het fietsverkeer op verschillende manier over de route(s) toegedeeld worden. De volgende paragrafen gaan in op deze verschillende toedeelmethodes.

3.2.1. Alles-of-niets

De meest simpele vorm van toedelen is een 'alles-of-niets' toedeling. Bij deze toedeling staan de bepaalde kosten van een route vast en ervaart iedere fietser dezelfde kosten. Met de aanname van een rationele reiziger impliceert dit dat alle fietsers van punt A naar punt B de route nemen met de minste kosten.

Een aanpassing van de alles-of-niets toedeling is de drievoudige alles-of-niets toedeling. Hiervoor wordt de HB-matrix in drieën gedeeld en voor elk van de drie delen wordt een andere kostenfunctie gebruikt. Dit is de toedeelmethode die momenteel veel gebruikt wordt in de modellen van Goudappel Coffeng om het fietsverkeer toe te delen. De gebruikte kostenfuncties bestaan uit een kostenfunctie voor de afstand en een kostenfunctie voor de snelheid. De derde kostenfunctie is een combinatie van deze twee:

1. Op basis van afstand

Het eerste deel wordt toegedeeld op basis van afstand. Iedere fietser neemt de kortste route van A naar B. Dit impliceert dus een constante snelheid. Voor fietsverkeer binnen de bebouwde kom wordt met een snelheid van 12 km/uur gerekend en buiten de bebouwde kom met een snelheid van 15 km/uur. Door de snelheid per link om te rekenen naar een tijd en vervolgens de tijd te sommeren ontstaan de kosten voor de hele route.

2. **Op basis van snelheid**

Het tweede deel wordt toegedeeld op basis van de snelheid. Voor ieder wegvak is een fietssnelheid berekend afhankelijk van verschillende omgevingsfactoren (lengte, bochtigheid, wegtype, soort kruispunt) (Goudappel Coffeng, 2015). Uit onderzoek (Hogenkamp, 2014) blijkt dat hierdoor een realistischere fietssnelheid per wegvak ontstaat en dat daardoor de snelste routes beter berekend worden.

3. **Evenredig verdeelde afstand en snelheid**

Om te variëren tussen afstand en snelheid en nog meer spreiding te creëren, wordt het derde deel toegedeeld met een evenredig verdeelde afstand en snelheid. De kosten van een link zijn dus: $0,5 \times \text{afstand} + 0,5 \times \text{snelheid}$.

In theorie kunnen er voor elk HB-paar dus drie verschillende fietsroutes gegenereerd worden, waardoor er meer spreiding ontstaat dan bij een enkelvoudige alles-of-niets toedeling.

3.2.2. **Multinomial logit**

Bij een multinomial logit (MNL) wordt er vanuit gegaan dat voor degene die de routekeuze moet maken bekend is wat de verwachte kosten zijn voor een route. Voor de onderzoeker die het routekeuzegedrag observeert is dit alleen niet duidelijk. De onderzoeker weet niet precies op basis van welke factoren de keuze gemaakt wordt en weet dus ook niet welke verwachte kosten de fietser heeft. Daarom bestaat de kostenfunctie naast een waarneembaar deel ook uit een niet-waarneembaar deel (Train, 2002).

$$U_{n,i} = V_{n,i} + \varepsilon_{n,i} \quad (2)$$

Hierin is epsilon gedefinieerd als het verschil tussen de daadwerkelijke kosten, waarop de fietser zijn keuze baseert, en de kosten die worden waargenomen door de onderzoeker op basis van factoren zoals in vergelijking 1 is verondersteld. Afhankelijk van de grootte van epsilon is er dus een kans dat de fietsers een andere keuze neemt dan de onderzoeker verwacht.

De keuze voor een bepaalde fietsroute is een zogenaamde 'discrete choice', dus voor het bepalen van de routekeuze kunnen discrete choice modellen worden gebruikt. Om binnen het kader van deze modellen te vallen moet de keuze set (de alternatieven waaruit gekozen kan worden) aan drie karakteristieken voldoen (Train, 2002):

1. De alternatieven van de keuze set moeten wederzijds exclusief zijn. Dit houdt in dat de keuze voor het ene alternatief inhoudt dat voor een ander alternatief niet meer gekozen kan worden. Er wordt dus maar één alternatief uit de keuze set gekozen.
2. Daarnaast moet de keuze set uitputtend zijn. Dit houdt in dat alle mogelijke alternatieven meegenomen zijn in de keuze set.
3. Als laatste moet het aantal alternatieven in de keuze set eindig zijn. Er kan dus niet een oneindig aantal alternatieven in de keuze set zitten.

Anders dan bij een 'alles-of-niets' toedeling moeten bij een discrete choice model dus mogelijke alternatieven gegenereerd worden. Broach, Gliebe en Dill (2010) geven aan dat alleen de gekozen route wordt waargenomen en de rest van de overwogen routes zijn te herleiden voor de waarnemer. In een fijn stedelijk netwerk zijn er duizenden alternatieven voor de routekeuze tussen een bepaalde herkomst en bestemming.

Ook van belang is dat de kwaliteit van het model sterk wordt beïnvloed door de gebruikte routekeuze set (Bernardi, La Paix Puello, & Geurs, 2018). Vooral de grootte van de set, de compositie (hoe de gegenereerde routes zich ten opzichte van elkaar verhouden) en hoe plausibel de gegenereerde routes zijn, hebben grote invloed.

Zoals aangegeven in voorwaarden 2 en 3 van een discrete choice model moet de keuze set uitputtend zijn en moet de keuze set eindig zijn. Natuurlijk is het onmogelijk om alle routes te genereren, maar er moeten wel genoeg routes gegenereerd worden dat de keuze set als uitputtend kan worden beschouwd. De kwaliteit van een keuze set wordt dus bepaald door twee factoren:

1. Fout negatief – het niet genereren van routes die wel relevant zijn
2. Fout positief – het genereren van routes die niet relevant zijn

Om deze fouten zo klein mogelijk te maken worden er in de literatuur een tweetal methodes voorgesteld om een route set te generen: met behulp van een algoritme of op basis van waargenomen routes.

Algoritmes

De meeste studies naar fietsroutekeuze maken gebruik van algoritmes om de routekeuze set te generen en de loop van tijd zijn er een hoop studies geweest naar het genereren van een zo correct mogelijke keuze set. Het doel van deze onderzoeken is dus om een route set te generen waarin zoveel mogelijk plausibele en relevante routes zitten.

Een complexe methode voor het genereren van een route is door gebruikt te maken van zogenaamde labels. De labelling methode is voor het eerst gebruikt door Ben-Akiva et al. (1984). Het algoritme zoekt alternatieven op basis van dat label. Zo kunnen factoren die fietsroutekeuze verklaren meegenomen worden in het genereren van alternatieven. Nog geavanceerdere technieken zoals het implementeren van een dubbel stochastische generatie functie kunnen routes genereren op basis van meerdere factoren. Een nadeel van deze methodes is dat de rekentijd erg kan oplopen en niet altijd goed implementeerbaar zijn in de gebruikte software.

Simpleere vormen van het genereren van een route set zijn gebaseerd op het zoeken naar het kortste pad. Het 'breadth-first search on link elimination' (BFS-LE) algoritme werd voor het eerst gebruikt door Rieser-Schussler et al. (2013). De itererende methode verwijdert een wegvak op de kortste route en zoekt dan opnieuw naar de kortste route. Breadth-first houdt in dat het verwijderen van deze stukken wegvak begint bij de herkomst en stapsgewijs richting de bestemming voortbeweegt. Hierna wordt voor deze nieuwe route opnieuw stapsgewijs het eerste wegvak vanaf de herkomst weggehaald en een nieuwe kortste route gegenereerd.

Alhoewel uit eerder onderzoek (Bovy, 2009) blijkt dat het genereren van alternatieven gebaseerd op alleen de kortste afstand onvoldoende presteert, geven Rieser-Schussler et al. (2013) aan dat het gebruik van een kortste pad methode goed werkt voor hechte netwerken en dus goed gebruikt kan worden voor het genereren van een fietsroute set in een stedelijke omgeving.

Omdat er een balans gevonden moet worden tussen nauwkeurigheid en efficiency, en de methode dus binnen aanzienbare tijd te implementeren moet zijn in het strategische verkeersmodel, kan ook gebruik worden gemaakt van een aantal standaardfuncties van de gebruikte software. Natuurlijk mag de kwaliteit van de route set daar niet te veel onder lijden en moeten er voor elke herkomst en bestemming wel genoeg plausibele alternatieven worden gegenereerd.

De gebruikte software beschikt namelijk over een aantal standaardfuncties voor het toedelen van verkeer. Dit kan statisch en dynamisch met behulp van het zogenaamde StreamLine raamwerk. Met behulp van dit raamwerk kunnen routes worden gegenereerd met behulp van de zogenaamde StreamLine Route Generator. Deze routegenerator is gebaseerd op het Moore-Dijkstra kortste pad algoritme.

Vervolgens wordt door de route generator, net als bij de BFS-LE methode, gezocht naar een nieuwe kortste route. De generator maakt hiervoor niet gebruik van link elimination, maar van een Monte Carlo simulatie welke aan de hand van een aantal parameters kan worden gemanipuleerd:

- **Minimaal aantal iteraties**
Bepaalt het minimale aantal iteraties. Meer iteraties zorgen voor meer gegenereerde routes per HB-paar, maar verlengt ook de rekentijd.
- **Maximaal aantal iteraties**
Bepaalt het maximale aantal iteraties. Meer iteraties zorgen voor meer gegenereerde routes per HB-paar, maar verlengt ook de rekentijd.
- **Initiële variantie**
De initiële variantie bepaalt in welke mate routes worden geselecteerd die afwijken van de kortste route. Een grotere initiële variantie zorgt voor een groter zoekinterval, dus mogelijk meer routes. Maar dit verlengt ook weer de rekentijd.
- **Drempelwaarde verhogen variantie**
Als er voor de huidige variantie geen nieuwe routes worden gevonden na dit aantal pogingen dan wordt de variantie verhoogd. Ook dit leidt tot een groter zoekinterval.
- **Groeifactor variantie**
De waarde waarmee de variantie wordt verhoogt nadat de drempelwaarde bereikt is. Een kleinere groeifactor zorgt voor meer stappen tot dat de maximale variantie is bereikt en dus voor een langere rekentijd.
- **Maximale variantie**
De maximale variantie waarvoor routes worden geselecteerd die afwijken van de kortste route. Een grotere maximale variantie zorgt voor een groter zoekinterval, dus meer mogelijke routes. Maar ook dit verlengt de rekentijd.

De afweging tussen genoeg realistische routes met zo min mogelijk rekentijd kan worden gemaakt door te kijken of er genoeg realistische routes meegenomen zijn. Voorhorst (2018) heeft dit gedaan door de route set van de StreamLine Route Generator te kalibreren met een andere route generator. Realistische routes zijn bijvoorbeeld de meest directe route, maar ook iets langere routes die aantrekkelijker kunnen zijn. Deze lijn tussen realistische en niet realistische routes is niet te meten en daarom maakt Voorhorst gebruik van de Fietzersbond routeplanner om te visualiseren wat realistische routes zijn.

De Fietzersbond routeplanner is gebaseerd op het netwerk van de Fietzersbond en aan de hand van een aantal opties worden hierdoor fietsroutes gegenereerd. Een kanttekening hierbij is dat hierdoor mogelijk nog steeds realistische routes niet worden gemodelleerd op onrealistische wel. Toch zorgt de Fietzersbond voor realistischere resultaten dan bijvoorbeeld de Google Maps routeplanner die vaak veel routes genereert met veel omleidingen.

De routes gegenereerd door de routegenerator worden vergeleken met de vier meest relevante opties voor de Fietzersbond routeplanner:

1. **Kortste route**
2. **Makkelijk doorfietsen**
Volgt zoveel mogelijk fietsroutes langs doorgaande wegen en het omzeilen van kruispunten met verkeersregelininstallaties als dat mogelijk is.
3. **Autoluw**
Fietsroute volgt zoveel mogelijk solitaire fietspaden of wegen met zo min mogelijk autoverkeer.
4. **Fietsbewust**
Fietsroutes met minder helling en verkeersregelininstallaties in plaats van rotondes

De route set gegenereerd met de StreamLine Route Generator was voldoende als de vier routes uit de Fietzersbond routeplanner waren opgenomen in deze route set voor een aantal geselecteerde HB-paren.

Welk algoritme er precies schuil gaat achter de Fietzersbond routeplanner is niet te achterhalen. Maar wat wel zeker is, is dat de routeplanner voor het bepalen van de routes Makkelijk doorfietsen, Autoluw en Fietsbewust ook gebruik maakt van kenmerken van het Fietzersbond netwerk. Door te StreamLine Route Generator te kalibreren op routes die met deze kenmerken worden gegenereerd, wordt dus eigenlijk een labeling methode nagebootst. Echter, deze methode is waarschijnlijk snel en eenvoudig te implementeren in de gebruikte software.

Waargenomen routes

De meest geavanceerde methodes die gebruik maken van algoritmes zijn natuurlijk zo geoptimaliseerd dat ze de daadwerkelijke keuze set zo goed mogelijk proberen te benaderen, maar toch blijft er een kans op foutief gegenereerde routes. Daarom kan de keuze set ook gebaseerd worden op waargenomen routes.

Zo implementeren Ton et al. (2018) een zogenoemde data-drive methode. De keuze set bestaat dan uit alle waargenomen routes tussen een bepaalde herkomst en bestemming. Op deze manier is er dus geen kans dat er fout positieve routes gegenereerd worden, omdat elke route wel een keer gekozen is door een fietser.

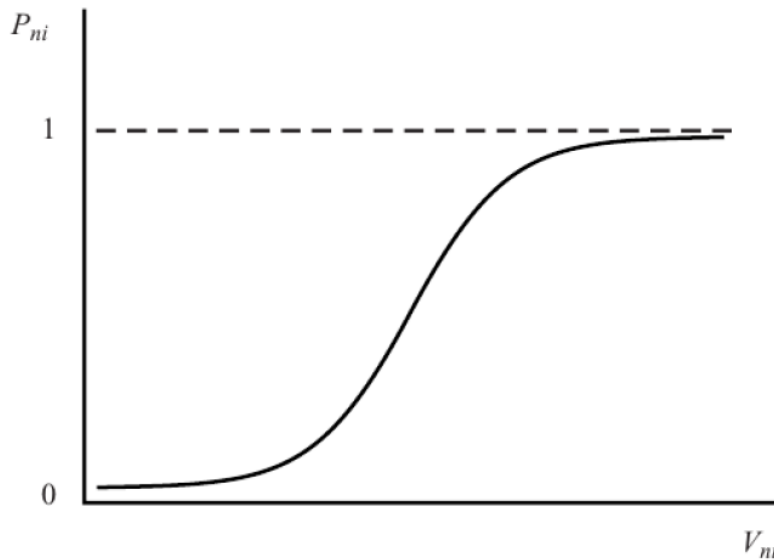
Een nadeel van deze methode is, is dat er voor het genereren van de keuze set veel data nodig is voor elke herkomst naar elke bestemming. Ook moet er tussen elke herkomst en bestemming verschillende routes zijn waar genomen. Het grootste gevaar is namelijk dat als er te weinig routes zijn, de kans erg aannemelijk is dat veel relevante routes niet in de keuze set zitten. Dat ze niet worden gekozen betekent namelijk niet dat ze geen deel uit kunnen maken van de keuze set.

Op dit moment is er simpelweg niet genoeg data beschikbaar voor elk HB-paar om een uitputtende keuze set te bepalen. Ton et al. (2018) geven daarom ook aan dat het bestuderen van de waargenomen routes per HB-paar wel een goede aanvulling kan zijn op het genereren van routes door middel van een algoritme. Het vergelijken van de gegenereerde routes met de waargenomen routes kan inzicht bieden in welke gegenereerde routes realistisch zijn.

Na het bepalen van de route set is de kans dat fietser n de route i uit de routekeuze set j kiest gedefinieerd als:

$$P_{n,i} = \frac{e^{V_{n,i}}}{\sum_j e^{V_{n,j}}} \quad (3)$$

Dit leidt tot een relatie tussen de kans en het nut van een keuze die de volgende curve volgt in Figuur 3.



Figuur 3: Relatie tussen de kans en de nutsfunctie volgens het MNL (Train, 2002)

3.2.3. Path-size logit

Een nadelige eigenschap van MNL modellen is dat de alternatieven waaruit gekozen wordt onafhankelijk van elkaar moeten zijn. Voor routekeuze is het vaak het geval dat de gegenereerde routes tussen twee punten één of meer overlappende delen hebben. In dat geval zijn de alternatieven dus niet meer onafhankelijk en zou een MNL dus niet gebruikt kunnen worden (Broach, Dill, & Gliebe, 2012).

Daarom wordt een path-size logit voorgesteld; waarin een correctie wordt gemaakt voor routes die overlappen. Hiervoor wordt een path-size factor berekend en toegevoegd aan de nutsfunctie. Deze path-size factor wordt als volgt berekend:

$$PS_{i,n} = \sum_{a \in \Gamma_i} \left(\frac{l_a}{L_i} \right) \frac{1}{\sum_j \delta_{a,j}} \quad (4)$$

Hierin is $PS_{i,n}$ de path-size factor voor een bepaalde route in de routekeuze set voor een bepaald HB-paar, Γ_i is de set van wegvakken in route i , l_a is de lengte van het wegvak, L_i is de lengte van de totale route i en $\delta_{a,j}$ geeft aan of er overlap met andere routes van hetzelfde HB-paar is op het wegvak.

$\sum_j \delta_{a,j}$ is dus som van het aantal routes dat over het wegvak gaat voor datzelfde HB-paar. Dit is 1 in het geval er maar 1 route uit de route set over het wegvak gaat en kan oplopen tot het maximale aantal gegenereerde routes voor dat HB-paar als alle routes over het wegvak gaan. De path-size factor varieert daardoor tussen de 0, als de route helemaal overlapt met andere routes, en 1, als er totaal geen overlap is met andere routes uit de route set.

Als de path-size factor wordt toegevoegd aan de MNL ontstaat de volgende formule:

$$P_{n,i} = \frac{e^{V_{n,i} + \beta_{PS} \ln PS_{i,n}}}{\sum_j e^{V_{n,j} + \beta_{PS} \ln PS_{j,n}}} \quad (5)$$

De path-size factor verklaart dus hoe veel overlap er zit tussen de verschillende alternatieven. De waarde van de path-size factor verlaagt dus het nut van de routes met overlap en alleen dat deel van de route waar geen overlap in zit wordt als volledig alternatief gezien. Daarnaast kan met behulp van β_{PS} de invloed van de path-size factor op de toedeling geschaald worden.

Een ander model om de nadelen van het MNL te overwinnen is het Cross-Nested Logit (CNL) model. Dit model is veel complexer dan het PSL model, waarbij de structuur van het MNL model behouden blijft. Hoewel het PSL model relatief eenvoudig is, is aangetoond dat het goed presteert ten opzichte van het complexere CNL model (Bekhor, Ben-Akiva, & Ramming, 2006). In theorie zou het CNL model beter moeten presteren dan het PSL model, maar wordt beperkt in echte netwerktoepassingen vanwege het enorme aantal parameters dat zou moeten worden geschat om de volledige flexibiliteit te benutten. Dat is waarschijnlijk ook een van de redenen dat het PSL model in de literatuur veelvuldig gebruikt wordt voor het schatten van een routekeuze model en het CNL model bijna niet.

4. Methode

Dit hoofdstuk gaat in op het strategisch verkeersmodel dat wordt gebruikt voor de implementatie. Vervolgens wordt behandeld welke aanpassingen er in het model worden gedaan. Het te implementeren model bestaat uit twee onderdelen: de kostenfunctie en de toedeelwijze.

4.1. OmniTRANS model

De BrabantBrede ModelAanpak (BBMA) is een strategisch macroscopisch verkeersmodel zoals dat al eerder beschreven is. Het model wordt gebruikt door de provincie Noord-Brabant en wordt beheerd door Goudappel Coffeng wat samen met Dat.Mobility onderdeel is van de Goudappel Groep. Het verkeersmodel ondersteunt het verkeer- en transportbeleid van de provincie en vragen over drukte, routekeuze en herkomsten en bestemmingen kunnen met het model worden beantwoord (Goudappel Coffeng, 2015). Het model, dat wordt gemodelleerd in OmniTRANS versie 8.0.20, volgt ongeveer dezelfde opbouw als dat van het klassieke macroscopische verkeersmodel.

Het netwerk van de BBMA beslaat de hele provincie Noord-Brabant. Echter, om de rekentijden te beperken is er een uitsnede gemaakt van de laatste versie: BBMA s107. Het uitsnedemodel bevat de regio Tilburg en de dorpskernen Gilze en Goirle. Tussen de dorpskernen en Tilburg vindt veel fietsverkeer plaats en het is dus interessant om deze mee te nemen in het model.



Figuur 4: Regio Tilburg met de dorpskernen Gilze en Goirle (Google Maps)

In 2015 is aan het BBMA het Fietzersbondnetwerk toegevoegd. Hierdoor bevat het strategische verkeersmodel niet alleen de links voor het autoverkeer, maar ook alle links waarop gefietst kan worden. Hierdoor is voor al deze links ook de informatie bekend zoals deze in Bijlage 10.2 staat.

4.2. Kostenfunctie

Zoals in de vorige hoofdstukken beschreven is, zijn er veel manieren om de kosten van een route te bepalen. Op basis van de literatuurstudie naar factoren voor fietsroutekeuze worden twee kostenfuncties geïmplementeerd. De eerste kostenfunctie is gebaseerd op het snelheidsalgoritme van Hogenkamp welke momenteel ook gebruikt wordt voor de alles-of-niets toedeling. De tweede kostenfunctie is gebaseerd op het Reistijdbelevingsonderzoek waaruit blijkt dat de snelheid van een route niet de enige invloedrijke factor is.

4.2.1. Snelheidsalgoritme Hogenkamp

Het snelheidsalgoritme is ontstaan uit onderzoek van Hogenkamp (2014) naar het verklaren van verschillen in fietssnelheden afgeleid uit GPS-data uit Bike Print met behulp van omgevingsfactoren. Een meervoudige regressieanalyse is uitgevoerd om de relatie tussen de verkregen snelheid uit 67% van de GPS-data en de omgevingsfactoren te identificeren. Deze relatie is vervolgens vertaald naar een snelheidsformule welke gevalideerd is met de overige 33% van de GPS-data uit Bike Print.

Bike Print staat voor 'Bike Policy Renewal and Innovation by means of tracking technology' en is ontstaan uit een samenwerking tussen NHTV en de Goudappel Groep. Het doel van het project is om GPS tracking te gebruiken van individueel reisgedrag van de fietser te vertalen naar beleidsmatige inzichten. Data uit het project biedt dus een goede basis waarvan wetenschappelijk onderzoek naar fietsgedrag in relatie tot verschillende omgevingsfactoren kan worden uitgevoerd.

De gebruikte GPS-data is tot stand gekomen door het openbaar werven van respondenten met het project B-Riders. Het doel van dit project was om mensen te belonen die met een elektrische fiets naar hun werk gaan, daar kregen zij per kilometer dan een vergoeding voor. Hiervoor moesten zij hun GPS-gegevens afstaan. De gebruikte GPS-data beschikt dus over een hoog aantal elektrische fiets gebruikers en dit leidde ook tot een relatief hoge gemiddelde snelheid. Dit maakt voor het berekenen van de kosten van een route niet uit, aangezien dit toch imaginaire kosten zijn en alleen het onderlinge verschil tussen de verschillende keuzemogelijkheden het model beïnvloedt.

De gevonden coëfficiënten van Hogenkamp zijn tijdens het Onderzoekstraject fietsmodellering (Goudappel Coffeng, 2015) opnieuw gekalibreerd met behulp van GPS-data uit de Fietstelweek. Deze data heeft een kleiner aandeel aan elektrische fietsers en is dus representatiever. De kostenfunctie voor het snelheidsalgoritme van Hogenkamp ziet er dan als volgt uit:

*Gemiddelde snelheid link = 21,208 + (2,329 * Lengte) + (-0,169 * Bochten) + (-0,519 * Wegtypen = Solitair fietspad) + (-0,775 * Kruisbegin = VRI) + (-0,279 * Wegdek = Klinkers) + (-0,613 * Kruiseind = VRI) + (0,251 * Wegtypen = Bromfietspad (langs weg)) + (-0,898 * KruisBegin = Voorrangskruispunt, geen voorrang) + (-0,609 * KruisEind = Voorrangskruispunt, geen voorrang) + (0,144 * KruisEind = Niets aanwezig)*

Uit het onderzoek van Hogenkamp blijkt dat de volgende omgevingsfactoren invloed hadden op de fietssnelheid:

- **Fietsvoorziening (solitair fietspad, bromfietspad (langs weg))**
Opvallend is dat de aanwezigheid van een solitair fietspad een negatief effect heeft op de gemiddelde snelheid en een bromfietspad langs een weg juist zorgt voor een hogere gemiddelde fietssnelheid. Dit is deels tegenstrijdig met de literatuurstudie uit Hoofdstuk 2 dat fietsers graag op speciale fietsinfrastructuur fietsen, omdat dit veiliger is en ze dan sneller durven te fietsen. Een verklaring hiervoor is dat, omdat de GPS-data voor een groot deel uit routes bestaat gereden door elektrische fietsers, deze juist niet snel konden doorfietsen, omdat ze werden opgehouden door normale fietsers. Op een bromfietspad langs een weg is genoeg ruimte om snel in te halen.
- **Wegdek (klinkers)**
Als het wegdek uit klinkers bestaat leidt dit tot een lagere gemiddelde snelheid op het wegvak. Dit komt ook in overeenstemming met de gevonden literatuur uit Hoofdstuk 2. Fietsers fietsen het liefst op een gladde ondergrond van goede kwaliteit.
- **Kruispunten aan het begin of eind van de link (VRI, voorrangskruispunt, niets aanwezig)**
De aanwezigheid van verkeersregelinstallaties en voorrangskruispunten zonder voorrang verlagen de gemiddelde snelheid op een link. Daarbij verlaagt een verkeersregelinstallatie de snelheid meer dan een voorrangskruispunt zonder voorrang. Als er geen kruispunt aan het begin of eind van link is, verhoogt dit juist de gemiddelde snelheid. Ook dit is in overeenstemming met de gevonden literatuur dat fietsers verkeerlichten en voorrangskruispunten zonder voorrang het liefst ontwijken, omdat ze voor veel oponthoud zorgen.

Daarnaast bevat de snelheidsfunctie de factoren lengte en bochtigheid. Des te langer een wegvak des te hoger de gemiddelde snelheid en des te bochtiger een link des te lager de snelheid. Ook deze factoren zijn in overeenstemming met de gevonden literatuur en logisch te verklaren.

Het algoritme maakt, op de lengte en de mate van bochtigheid na, gebruik van dummyvariabelen. De omgevingskenmerken zijn namelijk gedefinieerd op nominale of ordinale schaal zoals te zien is in Bijlage 10.2. Dit houdt in dat deze variabele een waarde 1 heeft als dat omgevingskenmerk wel aanwezig is en 0 als het omgevingskenmerk niet aanwezig is.

De kosten voor een link kunnen vertaald worden naar de kosten voor een route door deze snelheid om te rekenen naar een tijd per link, door de lengte van de link te delen door de snelheid. Vervolgens kan de tijd van alle links op een route gesommeerd worden om zo de totale kosten voor een route te krijgen.

4.2.2. Snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer

Naar aanleiding van het Reistijdbelevingsonderzoek (Olde Kalter & Groenendijk, 2018) heeft De Winter (2019) een meervoudige regressieanalyse uitgevoerd om te bepalen wat het effect is van omgevingsfactoren op de aantrekkelijkheid van de route. Ook het model wat gebruikt is door De Winter maakt gebruik van het Fietzersbond netwerk en op basis van een aantal van deze omgevingsfactoren wordt een aantrekkelijkheidscijfer berekend.

Het aantrekkelijkheidscijfer is als volgt opgebouwd:

*Aantrekkelijkheidscijfer link = 3,489 + (-0,276 * Fietsvoorziening = gemengd verkeer) + (-0,177 * Fietsvoorziening = fietssuggestiestrook) + (0,202 * Fietsvoorziening = fietsstraat) + (-0,067 * Wegdek = asfalt of beton) + (0,419 * Wegdek = kiezels) + (-0,577 * Wegdek = klinkers) + (-0,208 * Wegdek = tegels) + (-0,343 * Aanwezigheid tunnel) + (0,399 * Aanwezigheid brug) + (0,647 * Omgeving = Weiland) + (1,026 * Omgeving = Landelijk of park) + (0,399 * Omgeving = Stedelijk) + (0,364 * Omgeving = Bos) + (0,397 * Omgeving = Dorps) + (0,144 * Aanwezigheid van water)*

Uit het onderzoek van De Winter blijkt dat de volgende factoren uit het Fietzersbondnetwerk invloed hebben op de aantrekkelijkheid:

- **Fietsvoorziening (gemengd verkeer, fietssuggestiestrook, fietsstraat)**
De fietsvoorzieningen die significant zijn vertonen geen opvallende verschillen met de resultaten van het literatuuronderzoek. Het fietsen tussen het gemengde verkeer of op een fietssuggestiestrook verlaagt de aantrekkelijkheid van een link. Een fietssuggestiestrook is een gemarkeerd deel van de rijbaan, welke de indruk wekt door voor fietsers bedoeld te zijn, maar toch onderdeel uitmaakt van de rijbaan voor auto's. Het fietsen op een fietsstraat verhoogt juist de aantrekkelijkheid van een link.
- **Wegdek (asfalt of beton, kiezels, klinkers, tegels)**
Het is opvallend dat een wegdek bestaande uit asfalt of beton de aantrekkelijkheid van een link verlaagt en de aanwezigheid van een wegdek bestaande uit kiezels de aantrekkelijkheid juist verhoogt. Dit komt waarschijnlijk door de correlatie tussen het wegdek en de omgeving of soort fietsvoorziening. Een wegdek bestaande uit kiezels ligt over het algemeen op de rustigere fietsroutes en dat deze daardoor als aantrekkelijker worden gezien.
- **Aanwezigheid tunnels of bruggen**
De invloed van een tunnel op de aantrekkelijkheid is in overeenstemming met de literatuurstudie. Tunnels worden met hellingen of als sociaal onveilig ervaren en verlagen daardoor de aantrekkelijkheid van een link. In tegenstelling tot de literatuurstudie heeft de aanwezigheid van een brug een positief effect op het aantrekkelijkheidscijfer. Dit komt waarschijnlijk doordat een brug een aantrekkelijker oversteek biedt van een drukke weg en dat dit positieve effect sterker is dan het negatieve effect van de helling die bij de brug hoort. Helaas is de aanwezigheid van een tunnels of een brug niet geïmplementeerd in het Fietzersbondnetwerk van de BBMA en kan daardoor niet meegenomen worden.
- **Omgeving (Weiland, landelijk of park, stedelijk, bos, dorps, water)**
De omgeving van de link hebben allemaal een positieve invloed op de aantrekkelijkheid van een route. In overeenstemming met het Reistijdbelevingsonderzoek verhoogt een rustige omgeving als een weiland of een park de aantrekkelijkheid meer dan een drukke omgeving als stedelijk. De aanwezigheid van water is niet opgenomen in het Fietzersbondnetwerk in de BBMA en kan zodoende niet worden meegenomen in het aantrekkelijkheidscijfer.

Ook in het aantrekkelijkheidscijfer wordt gebruikt gemaakt van dummy variabelen en een aantal eigenschappen van het aantrekkelijkheidscijfer overlappen met eigenschappen in het snelheidsalgoritme. Deze eigenschappen hebben dus invloed op de snelheid op een link én op de aantrekkelijkheid van deze link. Daarnaast heeft vooral de omgeving van de link veel effect op de aantrekkelijkheid van een route.

Omdat de aantrekkelijkheid van een route niet alleen een bepalende factor is voor een route wordt deze niet los als kostenfunctie gebruikt, maar opgeteld bij het snelheidsalgoritme van Hogenkamp. Helaas is er in de theorie niets te vinden over de verhouding tussen de snelheid en de aantrekkelijkheid worden deze zonder bijkomstigheid van factoren in gelijke verhouding bij elkaar opgeteld.

Vervolgens wordt voor het bepalen van de kosten van de gehele route de lengte van een link gedeeld door deze kosten per link. Net als bij de kostenfunctie gebaseerd op alleen het snelheidsalgoritme ontstaat hierdoor een tijd. Een opmerking daarbij is dat deze tijd geheel subjectief is en dus niets zegt over de daadwerkelijke tijd die het kost om over de link te fietsen. Deze tijd geeft alleen aan hoe snel er gefietst kan worden en hoe aantrekkelijk het is om over de link te fietsen. Vervolgens kan de tijd van alle links op een route gesommeerd worden om tot de kosten voor een route te komen.

4.3. Toedeelmethodes

De twee kostenfunctie kunnen op verschillende manieren toegedeeld worden. Er worden daarom twee verschillende toedeelmethodes worden vergeleken: de drievoudige alles-of-niets toedeling en een multinomial logit toedeling.

De drievoudige alles-of-niets toedeling is de toedeelmethode die momenteel gebruikt wordt om het fietsverkeer toe te delen. Door de HB-matrix in drieën te delen en ieder afzonderlijk toe te delen met een andere kostenfunctie kunnen in theorie drie verschillende routes ontstaan.

De tweede toedeeltechniek die wordt geïmplementeerd is de multinomial logit. Uit de literatuurstudie naar verschillende toedeelmodellen komt het MNL toch naar voren als de meest gebruikte toedeelmethode en deze is ook het eenvoudigst te implementeren in de OmniTRANS software.

Voor het genereren van de route set voor de MNL wordt gebruik gemaakt van de StreamLine Route Generator. Deze methode kost naar alle waarschijnlijkheid de minste rekentijd en uit de kalibratie van Voorhorst blijkt dat met deze methode relatief snel veel realistische routes gegenereerd kunnen worden. Daarnaast is de methode gebaseerd op een standaardfunctie van OmniTRANS en daardoor eenvoudig te implementeren in het model.

Voorhorst heeft deze methode onder andere gekalibreerd voor het fietsnetwerk van Tilburg en daarom zullen de volgende waarden, die als input dienen voor de Monte-Carlo simulatie van de StreamLine Route Generator, worden overgenomen:

- Minimaal aantal iteraties: 12
- Maximaal aantal iteraties: 20
- Initiële variantie: 0,15
- Drempelwaarde verhogen variantie: 5
- Groeifactor variantie: 0,05
- Maximale variantie: 0,5

Daarnaast wordt gekozen om de MNL aan te vullen met de path-size factor. Het implementeren van de path-size factor zorgt voor veel extra rekentijd voor het model. Door de β_{PS} kan onderzocht worden hoe groot de invloed van de path-size factor op de toedeling is.

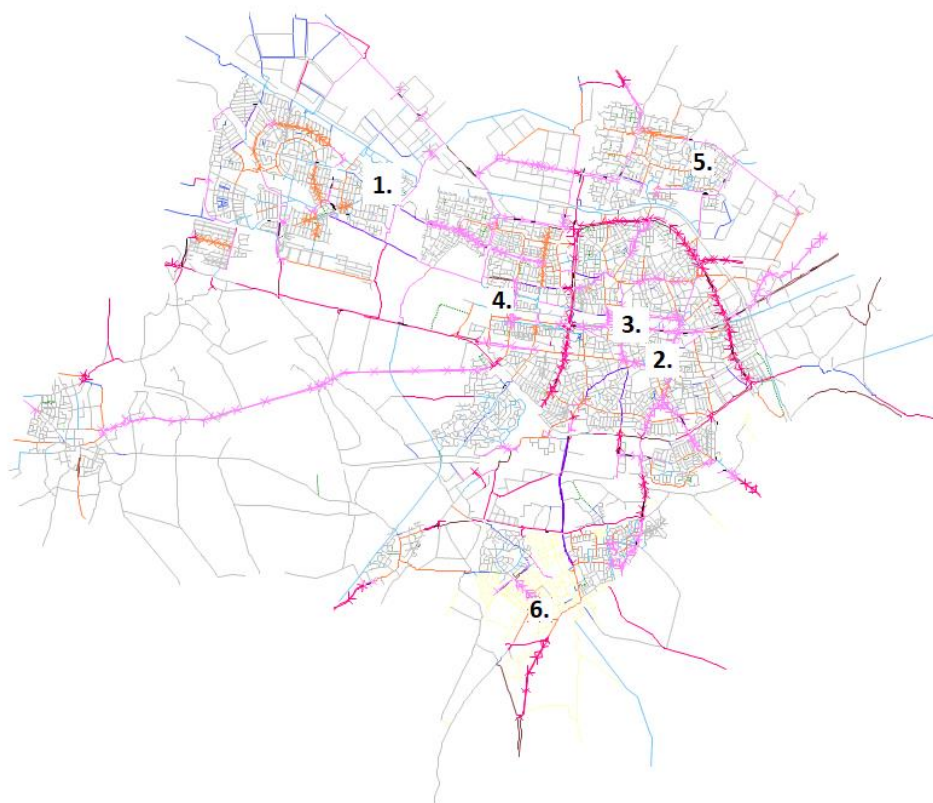
Tabel 5: Overzicht te implementeren toedeelmethodes

Drievoudige alles-of-niets toedeling Kostenfunctie op basis van afstand, snelheidsalgoritme Hogenkamp en evenredig verdeelde afstand en snelheid.	Drievoudige alles-of-niets toedeling Kostenfunctie op basis van afstand, snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer, en evenredig verdeelde afstand en snelheid en aantrekkelijkheid.
Multinomial logit toedeling Genereren route set met StreamLine Route Generator en kostenfunctie op basis van snelheidsalgoritme Hogenkamp.	Multinomial logit toedeling met path-size factor Genereren route set met StreamLine Route Generator en kostenfunctie op basis van snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer. Daarnaast wordt gevarieerd met β_{PS} om de invloed van de path-size factor te onderzoeken.

Zoals in Tabel 5 te zien is worden er 4 verschillende toedeelmethodes geïmplementeerd.

4.4. Casusroutes

Om de verschillen tussen de verschillende toedeelmethodes zichtbaar te maken zijn er verschillende casus HB-paren geselecteerd. Deze paren zijn zo geselecteerd dat de kans groot is dat een aantal belangrijke fietsroutes wordt gevolgd. De herkomsten en bestemmingen zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Fietsersbondnetwerk Tilburg met de herkomst en bestemming van de drie casusroutes

Gesworven Hoek (1) naar Centrum (2)

Deze route loopt van het westen van de stad naar het centrum. Tussen deze twee punten vindt veel fietsverkeer plaats en daarom is er ook gedeeltelijk een fietssnelweg aangelegd en het is dus interessant om te kijken of het model hier fietsverkeer over toedeelt.

Station (3) naar Universiteit (4)

Ook tussen deze twee punten vindt veel fietsverkeer plaats en dit verkeer heeft de keuze om te kiezen voor een korte route met veel kruispunten met verkeerslichten of voor de fietssnelweg met onderdoorgangen voor de drukste wegen.

De Schans (5) naar Goirle (6)

Dwars door Tilburg loopt de spoorlijn van 's-Hertogenbosch en Eindhoven naar Breda en er is een gering aantal onderdoorgangen om het spoor te kruisen. Deze casusroute is opgesteld om te kijken hoe het fietsverkeer zich over de onderdoorgangen verdeelt.

5. Resultaten

Het volgende hoofdstuk geeft een overzicht van de belangrijkste bevindingen van de verschillen die te vinden zijn bij de gegenereerde routekeuze set en de toedeling over deze routes zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven.

5.1. Routekeuze sets

Het aantal gegenereerde routes per HB-paar geeft een indicatie van de te creëren spreiding van de toedeelmethode. In het meest ideale geval bestaat de gegenereerde route set uit zoveel mogelijk realistische routes. In

is het aantal gegenereerde routes per HB-paar voor de verschillende toedeelmethodes weergegeven.

Opvallend is dat door de drievoudige alles-of-niets toedeling in geen enkel geval het maximale aantal van drie routes is gegenereerd. De drievoudige alles-of-niets toedeling is namelijk uitgevoerd voor beide kostenfuncties en voor deze beide kostenfuncties werden ook dezelfde routes gegenereerd.

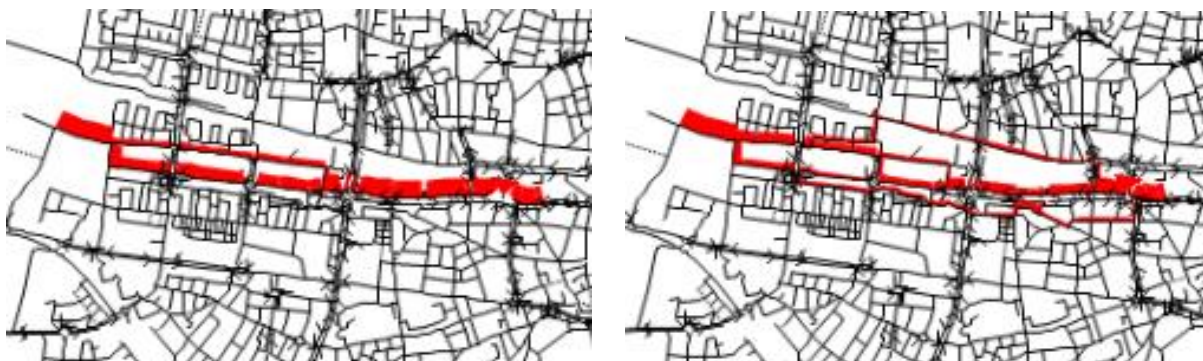
De StreamLine Route Generator is wel in staat om een grotere hoeveelheid routes te genereren per HB-paar. Ook als deze visueel bestudeerd worden, lijken alle gegenereerde routes realistisch. Voor het HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum loopt één van de gegenereerde routes namelijk via de fietssnelweg langs het spoor zoals te zien is in Figuur 8. Deze route wordt niet gegenereerd met behulp van de alles-of-niets toedeling voor beide kostenfuncties. Deze beide kostenfuncties genereren namelijk maar één dezelfde route.

Tabel 6: Aantal gegenereerde routes met de alles-of-niets toedeling en de StreamLine Route Generator

HB-paar	Aantal routes drievoudige Alles-of-niets	Aantal routes SteamLine Route Generator
Gesworven Hoek (1) naar Centrum (2)	1	3
Station (3) naar Universiteit (4)	2	5
De Schans (5) naar Goirle (6)	2	2

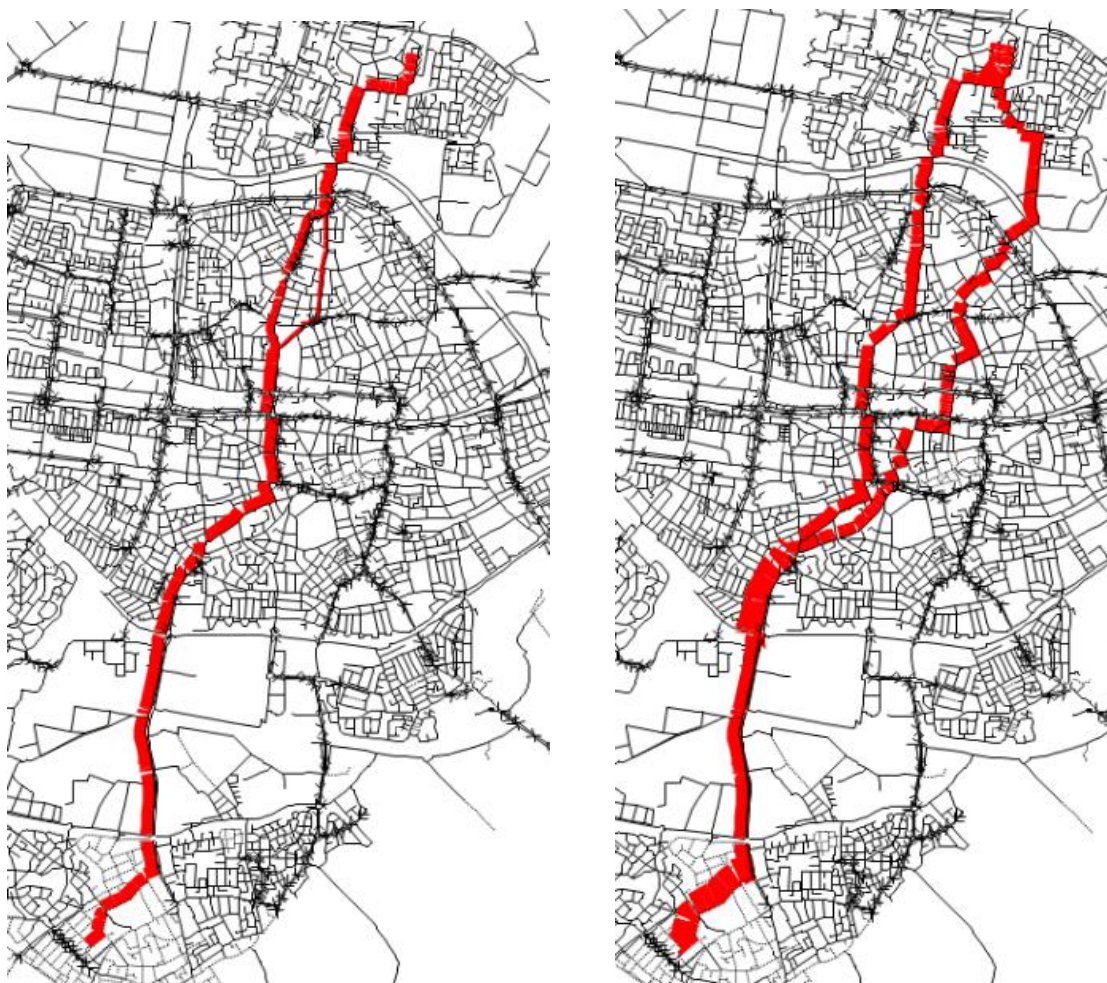


Figuur 6: Links de gegenereerde route set met de drievoudige Alles-of-niets toedeling en rechts de gegenereerde route set met de StreamLine Route Generator voor HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum. Opvallend is dat bij de drievoudige Alles-of-niets toedeling voor beide kostenfuncties maar 1 route wordt gegenereerd. De StreamLine Route Generator genereert ook een route die over de fietssnelweg loopt. Vanaf links gezien is dit de onderste route.



Figuur 7: Links de gegenereerde route set met de drievoudige Alles-of-niets toedeling en rechts de gegenereerde route set met de StreamLine route generator voor HB-paar Station naar Universiteit. De StreamLine Route Generator genereert wel 5 routes voor deze korte afstand.

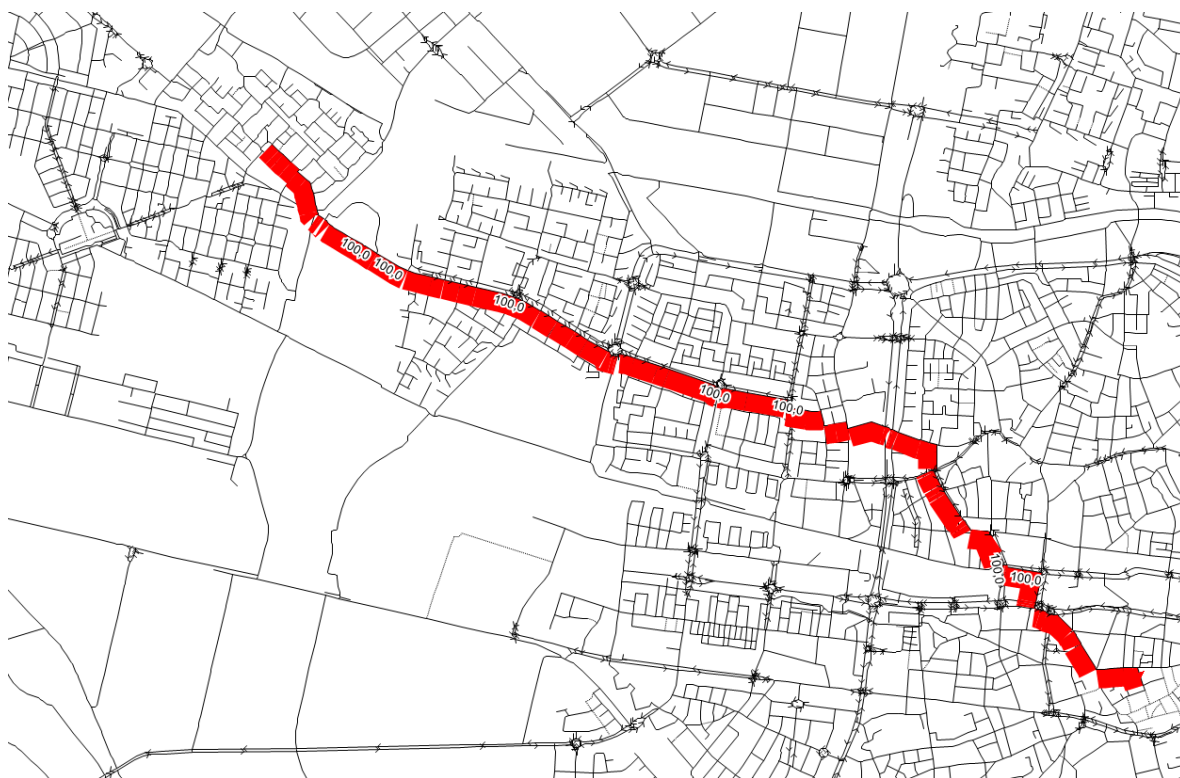
Wat opvalt is dat voor het HB-paar met de kortste afstand tussen herkomst en bestemming de meeste routes gegenereerd zijn. Voor het HB-paar met de langste afstand tussen herkomst en bestemming zijn maar 2 routes gegenereerd. Een verklaring hiervoor kan zijn dat voor langere routes het afwijken van de snelste route al snel kan leiden tot een te grote afwijking en dus niet gegenereerd wordt door routegenerator aangezien de maximale variantie op 0,5 ligt. Een hele kleine afwijking van de snelste route zorgt dan juist weer voor een te kleine afwijking en wordt niet gegenereerd omdat de minimale variantie op 0,15 ligt. Zoals te zien is in Figuur 7 en Figuur 8.



Figuur 8: Links de gegenereerde route set met de drievoudige Alles-of-niets toedeling en rechts de gegenereerde route set met de StreamLine route generator voor HB-paar De Schans naar Goirle.

5.2. Toedelmethodes

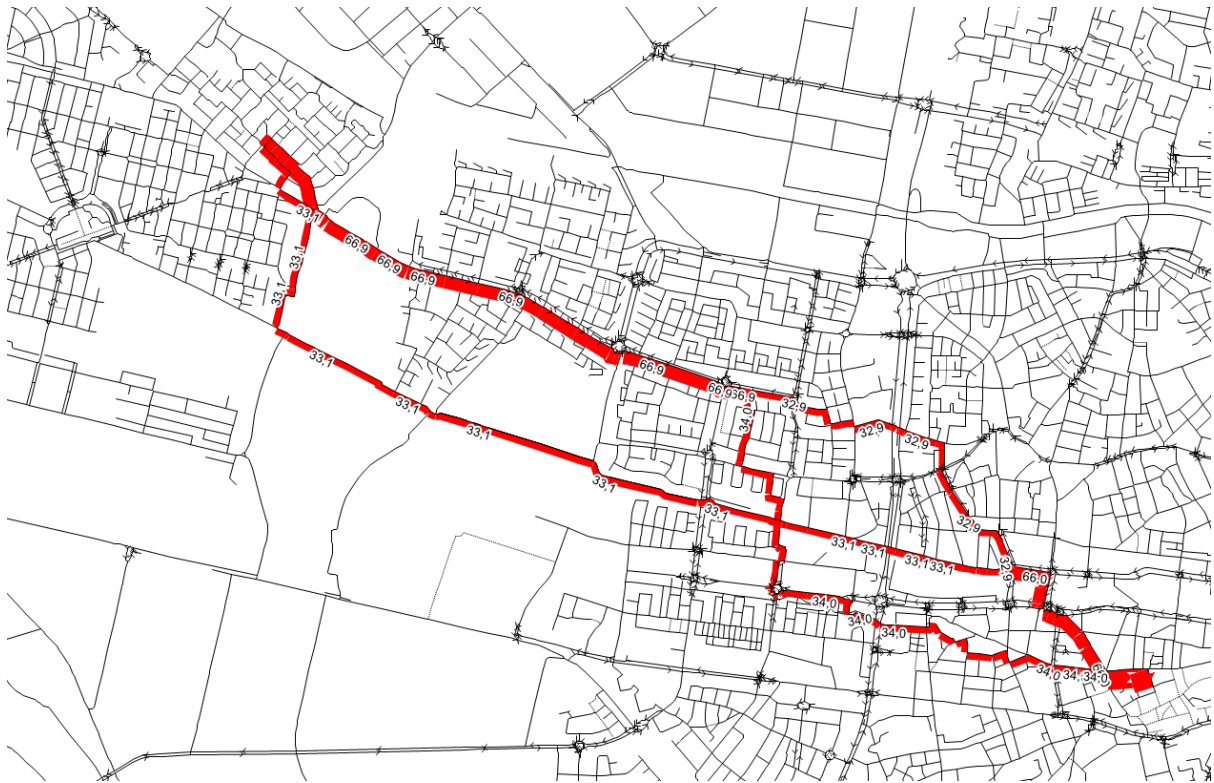
Voor de drievoudige alles-of-niest toedeling heeft een andere kostenfunctie niet geleidt tot een andere route set. Dit is te verklaren doordat het veranderen van de kostenfunctie ook niet heeft geleidt tot een andere toedeling. De kosten van een route worden voor het grootste deel bepaald door het snelheidsalgoritme van Hogenkamp. Het hierbij optellen van het aantrekkelijkheidscijfer heeft in geen van de drie HB-paren tot een significant verschil geleidt. Voor het HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum is in Figuur 9 duidelijk te zien dat al het fietsverkeer voor beide kostenfuncties wordt toegedeeld op 1 route.



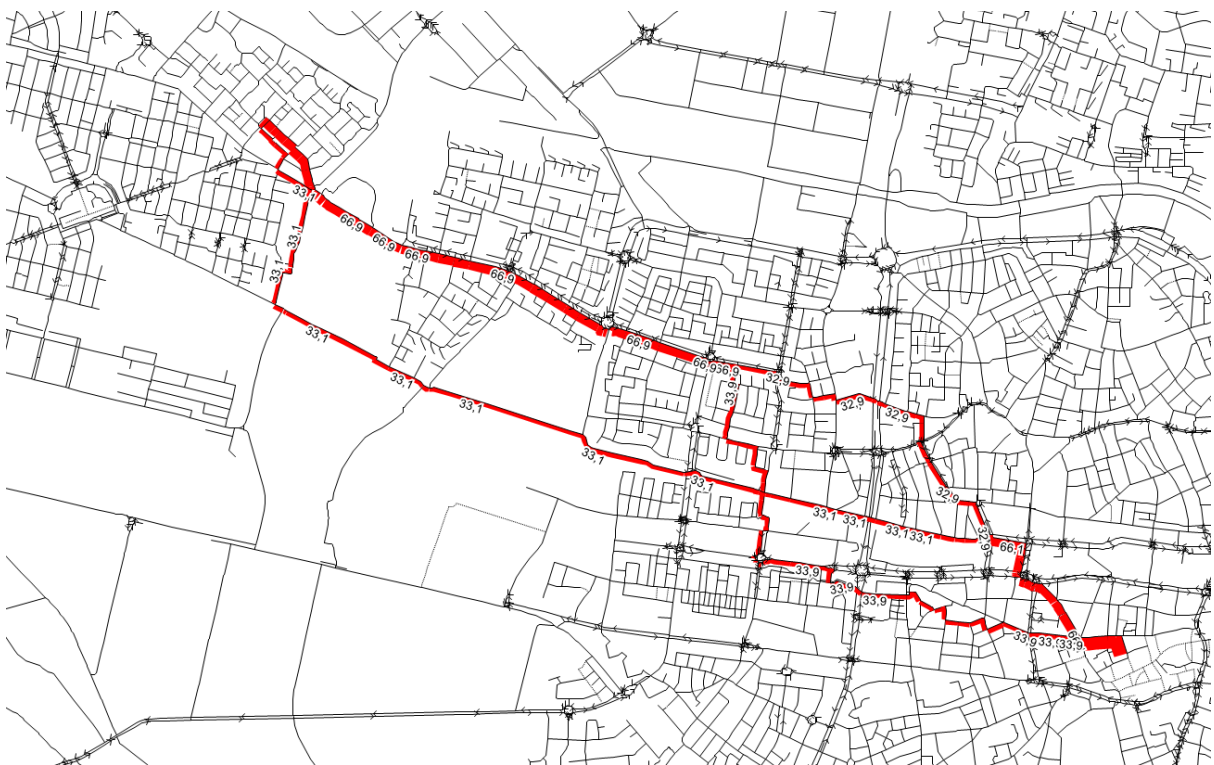
Figuur 9: Toedeling drievoudige Alles-of-niets voor snelheidsalgoritme, en snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum

Het genereren van routes met de StreamLine Route Generator zorgt dus al voor een grotere spreiding van fietsverkeer over de mogelijke routes zoals te zien is in Figuur 10 met het snelheidsalgoritme van Hogenkamp als kostenfunctie.

Ook hier heeft, voor geen van de casus HB-paren, het toevoegen van het aantrekkelijkheidscijfer invloed gehad op de toedeling zoals te zien is in Figuur 11. De resultaten van alle toedelingen zijn ook te vinden in Bijlage 10.3.



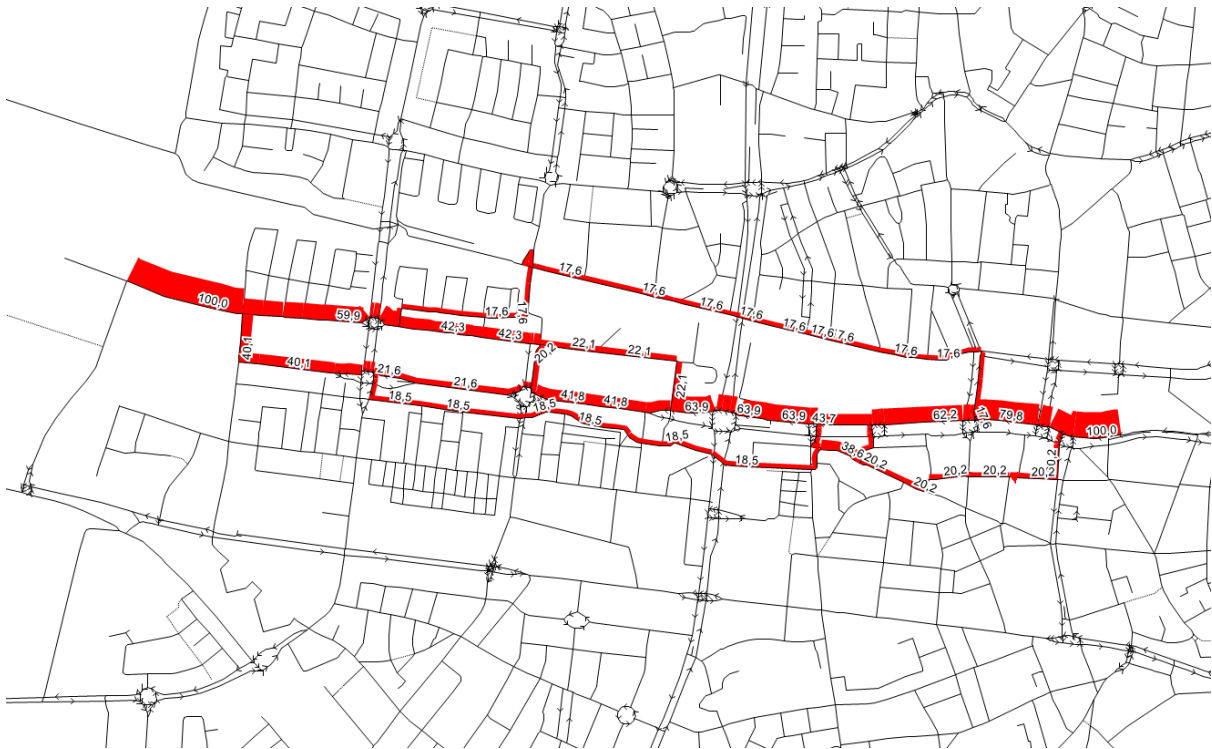
Figuur 10: Toedeling MNL voor snelheidsalgoritme als kostenfunctie voor HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum



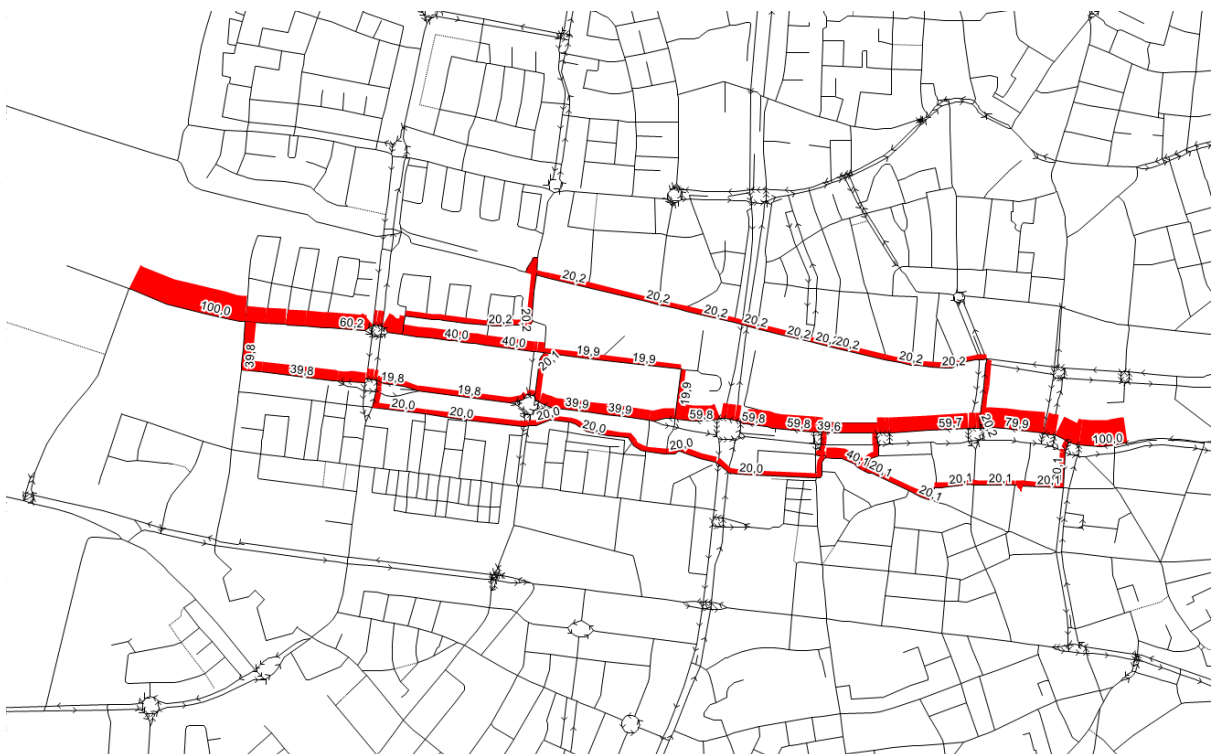
Figuur 11: Toedeling MNL beta pathsize = 0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscoëfficiënt als kostenfunctie voor HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum

Afhankelijk van de grootte van de routekeuze set is de betafactor van de path-size factor gevarieerd tussen $-1,0$ en $1,0$ met stappen van $0,5$ om de invloed van de path-size factor op de fracties te bekijken. Dit is ongeveer de bandbreedte van de betafactor van de pathsize factor gevonden in de literatuur waarin een path-size logit wordt geschat. Het variëren van de beta van de path-size factor heeft alleen invloed als de routekeuze set groter is dan 2, aangezien bij een routekeuze set van 2 of minder de verschillende routes alleen met elkaar, of helemaal niet, met elkaar kunnen overlappen en de path-size factor dus niets uitmaakt.

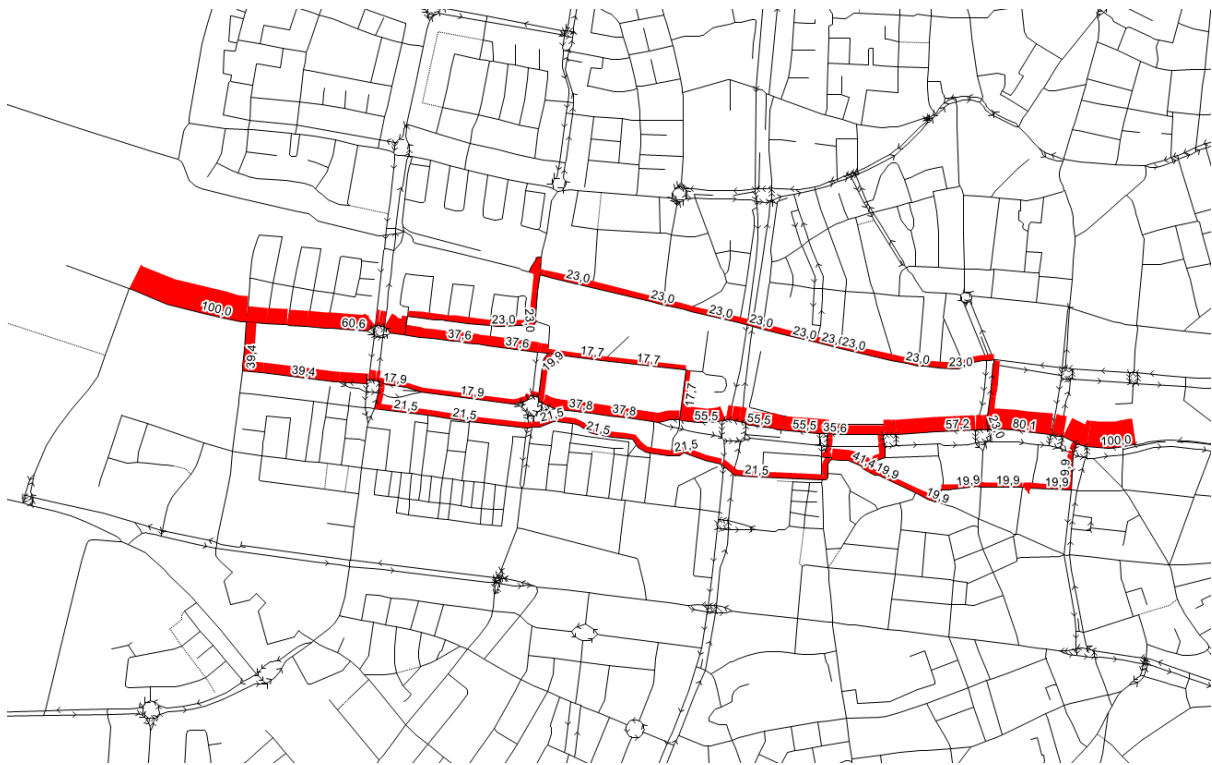
UNIVERSITY OF TWENTE.



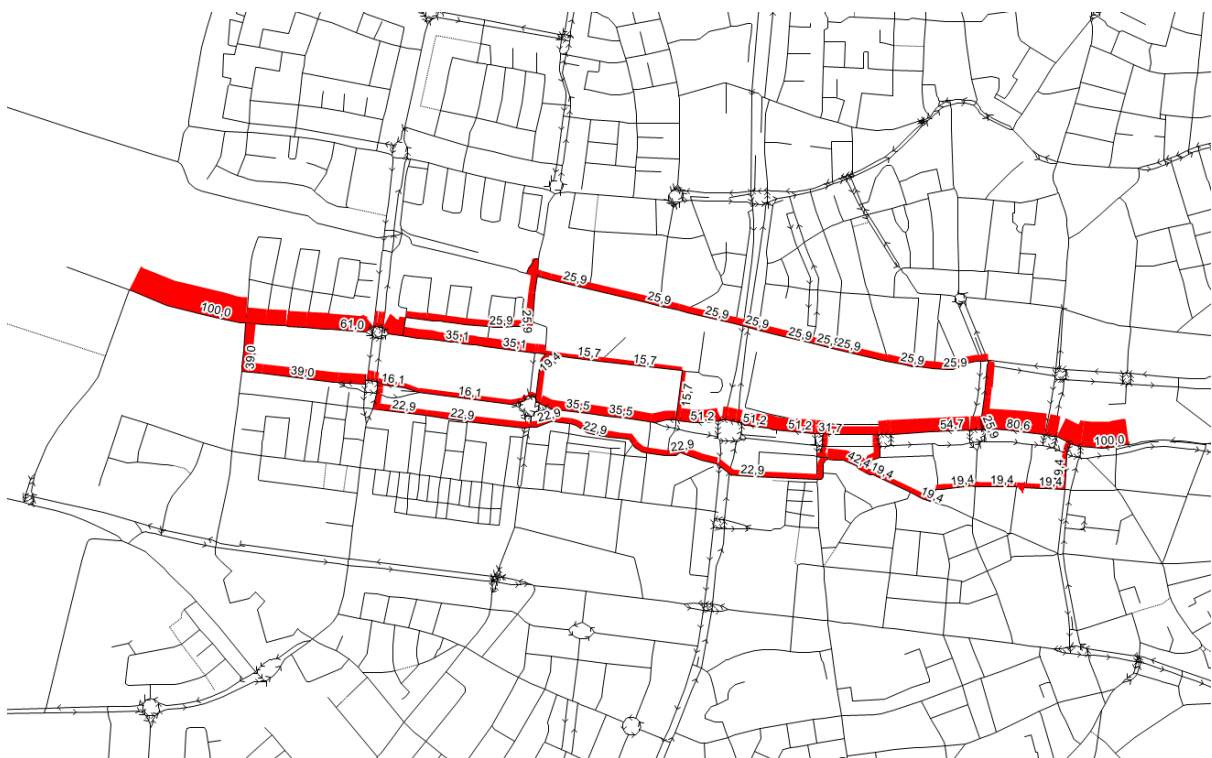
Figuur 13: Toedeling MNL beta pathsize = -0,5 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



Figuur 14: Toedeling MNL beta pathsize = 0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



Figuur 15: Toedeling MNL beta pathsize = 0,5 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



Figuur 16: Toedeling MNL beta pathsize = 1,0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit

6. Discussie

De resultaten van het onderzoek zijn duidelijk te visualiseren. Voor twee verschillende kostenfuncties en twee verschillende toedeelethodes is het mogelijk om weer te geven wat het effect hiervan is op de fietsroutekeuze.

Het is helaas niet mogelijk geweest om de geïmplementeerde toedeelethodes te valideren. Het valideren van de toedeelethodes had namelijk op twee manier plaats kunnen vinden. Een daarvan is door de toedeelresultaten van het model te vergelijken met tellingen van het aantal fietsers op belangrijke verkeersknooppunten in de stad. Omdat er een uitsnedemodel gemaakt is van alleen Tilburg en omgeving kunnen deze tellingen niet goed gebruikt worden, omdat het model dus geen rekening houdt met fietsers die van een herkomst komen of naar een bestemming gaan buiten dit uitsnedemodel. Hierdoor kan niet met zekerheid worden vastgesteld of de HB-matrix, waar de toedeling op gebaseerd is, correct is voor het getelde aantal fietsers. Want deze fietsers worden uiteraard wel meegerekend met de tellingen. Het is dan onmogelijk om het routekeuze model te valideren als de onderliggende data in werkelijkheid niet met 100 procent zekerheid correct is.

Een andere manier om het model te valideren is met behulp van de daadwerkelijk gereden fietsroutes op basis van GPS data. Deze methode van valideren sluit ook veel beter aan op de achterliggende gedachte van het onderzoek, waarin alleen gekeken wordt naar het genereren van een route set en het toedelen van het fietsverkeer over deze route set, waarbij wordt uitgegaan van een vaste hoeveelheid verplaatsingen van 100 bewegingen per HB-paar.

Met QGIS zijn daarom alle gereden routes uit de Fietstelweek van 2016 ingeladen in het fietsnetwerk van Tilburg. Tijdens deze week is ruim 50.000 respondenten in heel Nederland gevraagd om hun gereden ritten te registreren. Vervolgens wordt dan voor elk casus HB-paar gekeken welke routes er daadwerkelijk gereden zijn tussen herkomst en bestemming. Hiervoor worden niet alleen de routes geselecteerd met deze herkomst en bestemming maar ook de routes die over deze herkomst en bestemming lopen (hoeft dus niet het begin en eindpunt van de route te zijn).

Helaas is de GPS-data verkregen uit de Fietstelweek van 2016 ontoereikend om te gebruiken als validatie. Het aantal gereden routes per HB-paar is onvoldoende om te vergeleken met de fracties die berekend zijn middels de kostenfunctie en verschillende toedeelethodes.

Daarnaast is de aanname gemaakt door het aantrekkelijkheidscijfer op te tellen bij het snelheidsalgoritme. Uit de toedeelresultaten blijkt dat dit geen enkel effect heeft gehad op de toedeling. Er had mogelijk ook geëxperimenteerd kunnen worden met het eerst vermenigvuldigen van het aantrekkelijkheidscijfer met een bepaalde factor en dit vervolgens bij de waarde van het snelheidsalgoritme op te tellen. Ook al is hierna niet met zekerheid te zeggen wat de juiste waarde voor deze factor is, kan er wel gekeken worden naar de invloed van het aantrekkelijkheidscijfer op de toedeelresultaten.

7. Conclusie

De hoofdvraag van het onderzoek luidde als volgt:

Tot welke verschillen leidt het implementeren van een logit model met aangepaste kostenfunctie ten opzichte van de huidige toedelethode?

Deze hoofdvraag is beantwoord door een aantal deelvragen te beantwoorden:

Deelvragen over factoren die fietsroutekeuze beïnvloeden

1. Welke factoren hebben invloed op de fietsroutekeuze?
2. Wat is de beschikbaarheid van data voor deze factoren?

Deelvragen over logit routekeuze modellen

3. Wat is een logit model?
4. Welke logit modellen zijn geschikt voor het modelleren van routekeuze?

Deelvragen over het implementeren en valideren van het routekeuze model in een strategisch verkeersmodel

5. Hoe kunnen deze factoren worden vertaald naar een kostenfunctie?
6. Welke kostenfunctie(s) word(t)(en) geïmplementeerd in het strategische verkeersmodel?
7. Welke logit model(len) wor(t)(en) geïmplementeerd in het strategische verkeersmodel?

De eerste twee deelvragen zijn beantwoord door een literatuurstudie. Uit deze studie volgt dat er heel veel factoren zijn die de fietsroutekeuze kunnen beïnvloeden. Zo zijn er persoonlijke-, netwerk- en contextuele eigenschappen. Vooral de beschikbaarheid van de netwerk eigenschappen is hoog in Nederland. Het Fietzersbondnetwerk bevat namelijk veel van deze factoren en daarom is een logisch vervolg dat een fietsroutekeuzemodel op dit netwerk gebaseerd is.

Hierna wordt onderzoek gedaan naar mogelijke toedelethodes. De twee meest gangbare varianten zijn de alles-of-niets toedeling, met als aanvulling de drievoudige alles-of-niets toedeling, en het multinomial logit model. Een MNL model is in staat om routes toe te delen over een grotere route set en kan hierdoor voor meer spreiding zorgen.

Een belangrijke voorwaarde bij het schatten van een multinomial logit is dat alle mogelijke keuzes onafhankelijk van elkaar zijn. Dit is bij fietsroutekeuze niet zo, aangezien overlappende routes niet onafhankelijk van elkaar zijn, moet het model worden gecorrigeerd. Dit gebeurt in veel gevallen met een path-size factor welke gebaseerd is op de hoeveelheid overlap van een route met alle andere routes uit de routekeuze set.

Het vertalen van deze factoren naar een kostenfunctie is op twee manieren gedaan. De eerste kostenfunctie maakt gebruik van het snelheidsalgoritme dat is opgesteld door Hogenkamp (2014). Dit algoritme bepaalt een snelheid voor elke link afhankelijk van omgevingskenmerken. Deze snelheid kan worden omgerekend in een tijd. Om de kosten van een route te berekenen wordt de tijd van al deze links dan gesommeerd.

Uit onderzoek blijkt dat niet alleen de daadwerkelijke snelheid invloed heeft op een routekeuze maar ook de ervaren snelheid. Uit datzelfde onderzoek blijkt dat de aantrekkelijkheid invloed heeft op deze ervaren snelheid en dat een aantrekkelijkere route als korter wordt ervaren. Op basis van onderzoek van De Winter (2019) wordt daarom een aantrekkelijkheidscijfer toegevoegd aan het snelheidsalgoritme.

In totaal worden er 4 verschillende modellen geïmplementeerd een drievoudige alles-of-niets toedeling gebaseerd op het snelheidsalgoritme, een alles-of-niets toedeling gebaseerd op het snelheidsalgoritme en het aantrekkelijkheidscijfer, een multinomial logit gebaseerd op het snelheidsalgoritme en een multinomial logit gebaseerd op het snelheidsalgoritme en het aantrekkelijkheidscijfer.

Uit de resultaten van de casus HB-paren blijkt dat het implementeren van een kostenfunctie gebaseerd op het snelheidsalgoritme en het aantrekkelijkheidscijfer niet voor verschillen in de toedeelresultaten zorgt. Dit komt waarschijnlijk door het feit dat het snelheidsalgoritme en het aantrekkelijkheidscijfer evenredig met elkaar zijn opgeteld. De variatie van het snelheidsalgoritme is groter dan de variatie in het aantrekkelijkheidscijfer en daarom worden de kosten dus voor het grootste deel bepaald door het snelheidsalgoritme.

Het implementeren van een multinomial logit in plaats van een alles-of-niets toedeling zorgt wel voor een grote kwaliteitsverbetering. Dit komt vooral door meer spreiding in de routekeuze set die ontstaat met behulp van de Streamline route generator. Vooral door te variëren in de betafactor van de path-size kan bepaald worden in welke mate er op overlappende dan wel unieke routes wordt toegedeeld.

8. Aanbevelingen

Zoals blijkt uit de conclusie zorgt het implementeren van een multinomial logit toedeling vooral voor een kwaliteitsverbetering door het vergroten van de routekeuze set. Er zit veel potentie in het gebruik van deze toedelmethode, maar deze kan op veel vlakken nog worden verbeterd. Daarom worden op basis van het onderzoek een aantal aanbevelingen gedaan aan DAT.Mobility en Goudappel Coffeng.

De beide onderdelen van het multinomial logit model: de kostenfunctie en de routekeuze set zijn grotendeels gebaseerd op aannames. Deze zouden beide verbeterd kunnen worden als de kwaliteit van de data verbeterd wordt. Zo biedt het Reistijdbelevingsonderzoek al veel inzichten in de voorkeur voor een fietsroutekeuze, maar het is lastig om de uitkomsten van dit onderzoek om te zetten in een kostenfunctie, die kan worden gebruikt in een multinomial logit model.

Het is daarnaast ook van belang dat het routekeuzemodel niet alleen geschat wordt op stated preference, maar wordt aangevuld met revealed preference data. Dat.Mobility is met het Nederlands Verplaatsingspanel al bezig met het verzamelen van gigantische informatiebron. De aanbeveling is dan ook om gebruik te gaan maken van deze data voor het schatten van een MNL fietsroutekeuze model zodra de data daar geschikt voor is.

Er is namelijk ook niet met zekerheid vast kunnen stellen of de routekeuze set wel volledig is. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat een routekeuze set op verschillende manieren gegenereerd kan worden. Dit onderzoek maakt gebruik van een algoritme, de StreamLine route generator, om deze routekeuze set te genereren. Bij het gebruik van een algoritme is de kans aanwezig dat gebruikte fietsroutes niet gegenereerd worden en ongebruikte fietsroutes juist wel. Dit leidt tot een routekeuze set die niet correct is. Correcte GPS data over de gereden fietsroutes kan gebruikt worden om de gegenereerde route set te valideren. Ook kan de routekeuze set dan verrijkt worden met daadwerkelijk gereden routes tussen twee punten.

9. Verwijzingen

- ANWB. (2020, 1 7). *Test Fietssnelwegen*. Opgehaald van <https://www.anwb.nl/eropuit/test/fietssnelwegen>
- Bekhor, S., Ben-Akiva, M., & Ramming, M. (2006). *Evaluation of choice set generation algorithms for route choice models*. Springer Science.
- Ben-Akiva, M., Bergman, M., Daly, A., & Ramaswamy, R. (1984). Modeling inter-urban route choice behaviour. *Handbook of Transportation Science*, 299-330.
- Bernardi, S., La Paix Puello, L., & Geurs, K. (2018). Modelling route choice of Dutch cyclists using smartphone data. *The Journal of Transport and Land Use Vol. 11 No. 1*, 883-900.
- Bovy, P. (2009). On modelling route choice sets in transportation networks: a synthesis. *Transport. Rev.*, 43-68.
- Broach, J., Dill, J., & Gliebe, J. (2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transportation research part A: Policy and Practice*, 46(10), 1730-1740.
- Broach, J., Gliebe, J., & Dill, J. (2010). Calibrated labeling method for generating bicyclist route choice sets incorporating unbiased attribute variation. *Journal of the transportation research board Volume: 2197*, 89-97.
- Claasen, Y., & Rienstra, S. (2017). Routekeuzegedrag van fietsers: meer dan alleen de snelste route telt. *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. Gent.
- De Dios Ortúzar, J., & Willumsen, L. (2011). *Modelling Transport*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- De Winter, F. (2019). *De belevenissen van de modelfietsers; Over het meewegen van routebeleving bij de netwerktoedeling van fietsers in het MRDH-model*.
- Goudappel Coffeng. (2015). *Onderzoekstraject fietsmodellering*. Deventer.
- Hogenkamp, H. (2014). *Verklaren van fietssnelheden door het gebruik van omgevingskenmerken*.
- Hood, J., Sall, E., & Charlton, B. (2011). A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. *The international journal of transportation research* 3, 63-75.
- Louviere, J., Hensher, D., & Swait, J. (2000). *Stated Choice Models: Analysis and Application*. Cambridge University Press.
- Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., & Axhausen, K. (2010). Route choice of cyclists in Zurich. *Transportation Research Part A* 44, 754-765.
- Olde Kalter, M.-J., & Groenendijk, L. (2018). *Onderzoek reistijdbeleving fietsers*. Deventer: Goudappel Coffeng.
- Rieser-Schussler, N., Balmer, M., & Axhausen, K. (2013). Route choice for very high resolution data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 825-845.
- Rijksoverheid. (2019, 10 15). Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/fiets/fietsbeleid>
- Ton, D., Cats, O., Duives, D., & Hoogendoorn, S. (2017). How do people cycle in Amsterdam, Netherlands? Estimating cyclists' route choice determinants with GPS data from an urban area. *Transportation Research Record*, 2662, 75-82.
- Ton, D., Duives, D., Cats, O., & Hoogendoorn, S. (2018). Evaluating a data-driven approach for choice set identification using GPS bicycle route choice data from Amsterdam. *Travel behaviour and Society*, 105-117.
- Train, K. (2002). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge University Press.
- Van Genugten, W., & Van Overdijk, R. (2016). Het optimaliseren van fietsgedrag in verkeersmodellen.
- Voorhorst, J. (2018). *Assignment of cyclists in the Netherlands*.

10. Bijlagen

10.1. Overzicht factoren uit de literatuur

Onderzoek	Menghini et al. (2010)	Hood et al. (2011)	Broach et al. (2012)	Olde Kalter en Groenendijk (2018)
Soort onderzoek	RP	RP	RP	SP
Factoren op Volgorde van invloed	Helling Aanwezigheid van fietspad/fietsstrook Gemiddelde snelheid Aantal kruispunten met verkeerslichten	Aanwezigheid van fietspad/fietsstrook Afstand	Helling Wegen > 30000 voertuigen zonder fietspad/fietsstrook Drukke kruispunten zonder verkeerslichten Kruispunten met verkeerslichten Stopborden	Omgeving Fietsstraat Rood fietspad Buitenwijk van de stad Herkenningpunten op de route

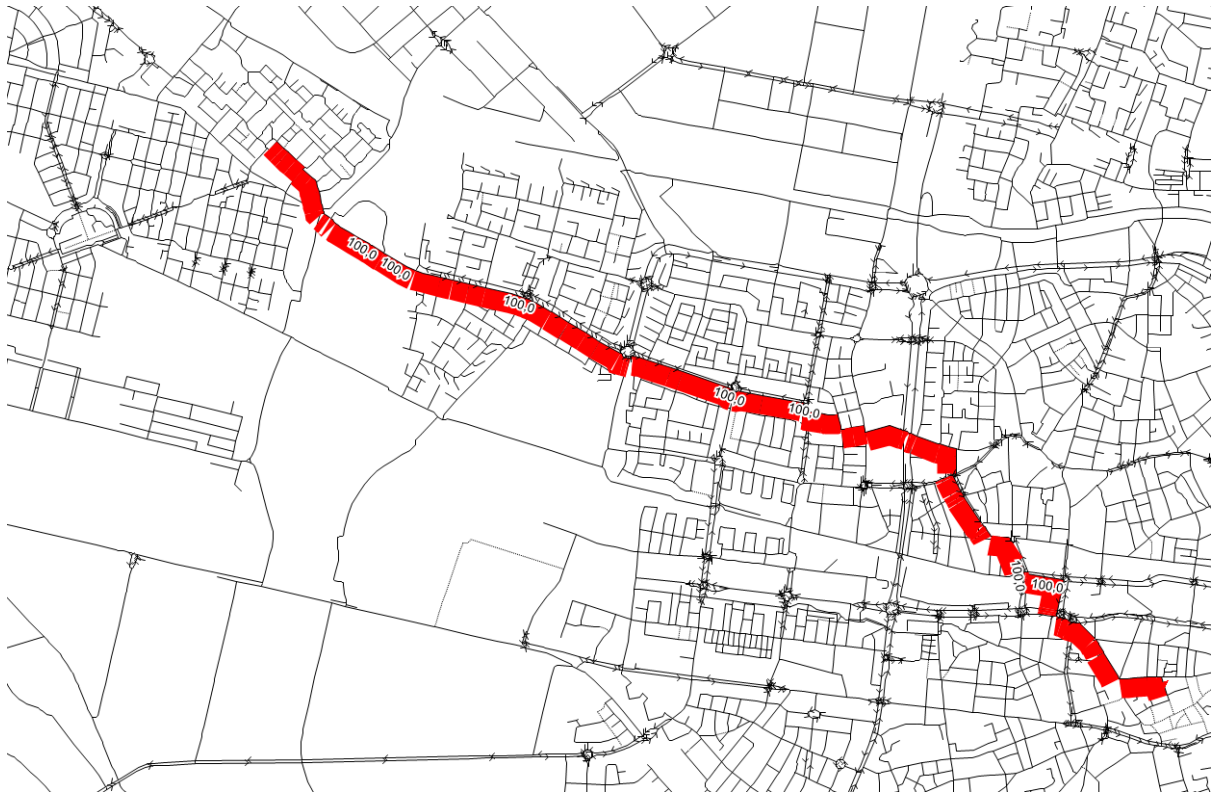
Onderzoek	Claasen en Rienstra (2017)	Ton et al. (2017)	Genugten en Van Overdijk (2016)	Hood et al. (2011)
Soort onderzoek	SP	RP	SP	RP
Factoren op Volgorde van invloed	Snelste route Goed wegdek Veilige fietsroute Geen verkeers- lichten Aanwezigheid van een fietspad	Afstand (met name in de ochtendspits) Kruispunten	Type fietsvoorziening Wegdek kwaliteit Helling Reistijdverkorting op korte afstanden Kruispunten zonder voorrang Snelheid overig verkeer Reistijdverkorting op lange afstanden Kruispunt	Aanwezigheid van fietspad/fietsstrook Afstand

10.2. Kenmerken Fietzersbondnetwerk

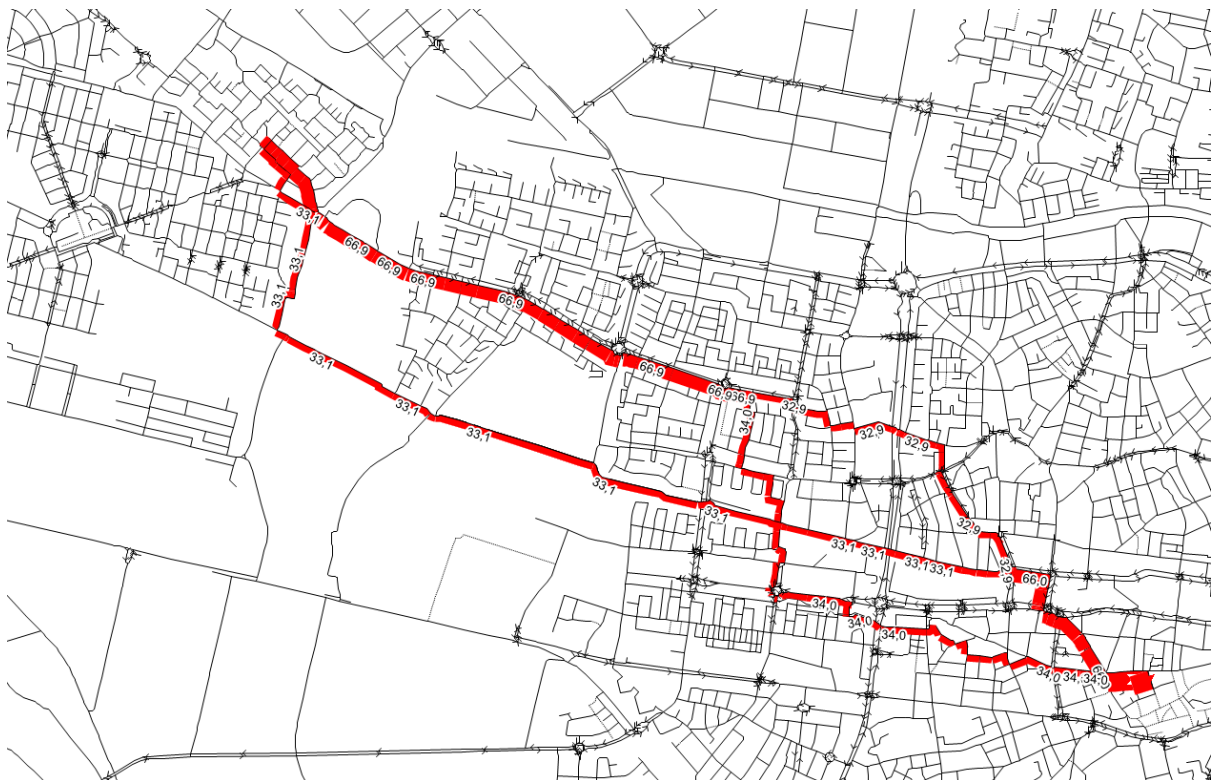
Eigenschap	Beschrijving
Lengte	Lengte van het wegvak in kilometer
Bochtigheid	Mate van bochtigheid zoals gedefinieerd door Hogenkamp (2014)
Type	Type fietsvoorziening. Keuze uit: 0: Ongedefinieerd 1: Bromfietspad langs weg 2: Fietspad langs weg 3: Fietsstraat 4: Normale weg 5: Solitair bromfietspad 6: Solitair fietspad 7: Veerpont 8: Ventweg 9: Voetgangersdoorsteek 10: Voetgangersgebied 11: Weg met fietssuggestiestrook 12: Onbekend 13: Fietssnelweg 14: Fietssnelweg gemengd
Ondergrond	Soort ondergrond. Keuze uit: 0: Ongedefinieerd 1: Asfalt of beton 2: Half verhard 3: Klinkers 4: Onverhard 5: Overig 6: Schelpenpad 7: Tegels 8: Onbekend
Kwaliteit	Kwaliteit ondergrond. Keuze uit: 1: Slecht 2: Redelijk 3: goed 4: Onbekend
Hinder	Hinder van het overige verkeer. Keuze uit: 1: Zeer weinig 2: Weinig 3: Redelijk 4: Veel 5: Zeer veel 6: Onbekend
Omgeving	De omgeving van het wegvak. Keuze uit: 1: Akker of weilanden 2: Bebouwd met veel groen 3: Bebouwd met weinig groen 4: Bos 5: Landelijk dorps

	6: Natuur met uitzondering van bos 7: Onbekend
Verlichting	Verlichting van het wegvak. Keuze uit: 1: Niet verlicht 2: Beperkt verlicht 3: Goed verlicht 4: Onbekend
Kruispunt begin	Geeft aan met wat voor soort kruispunt het wegvak begint. Keuze uit: 1: Onbekend 2: Gelijkwaardig 3: Voorrangkruispunt geen voorrang 4: Voorrangkruispunt wel voorrang 5: Verkeersregelinstallatie 6: Rotonde 7: Rotonde gecombineerd met verkeersregelinstallatie
Kruispunt eind	Geeft aan met wat voor soort kruispunt het wegvak eindigt. Keuze is hetzelfde als bij kruispunt begin.

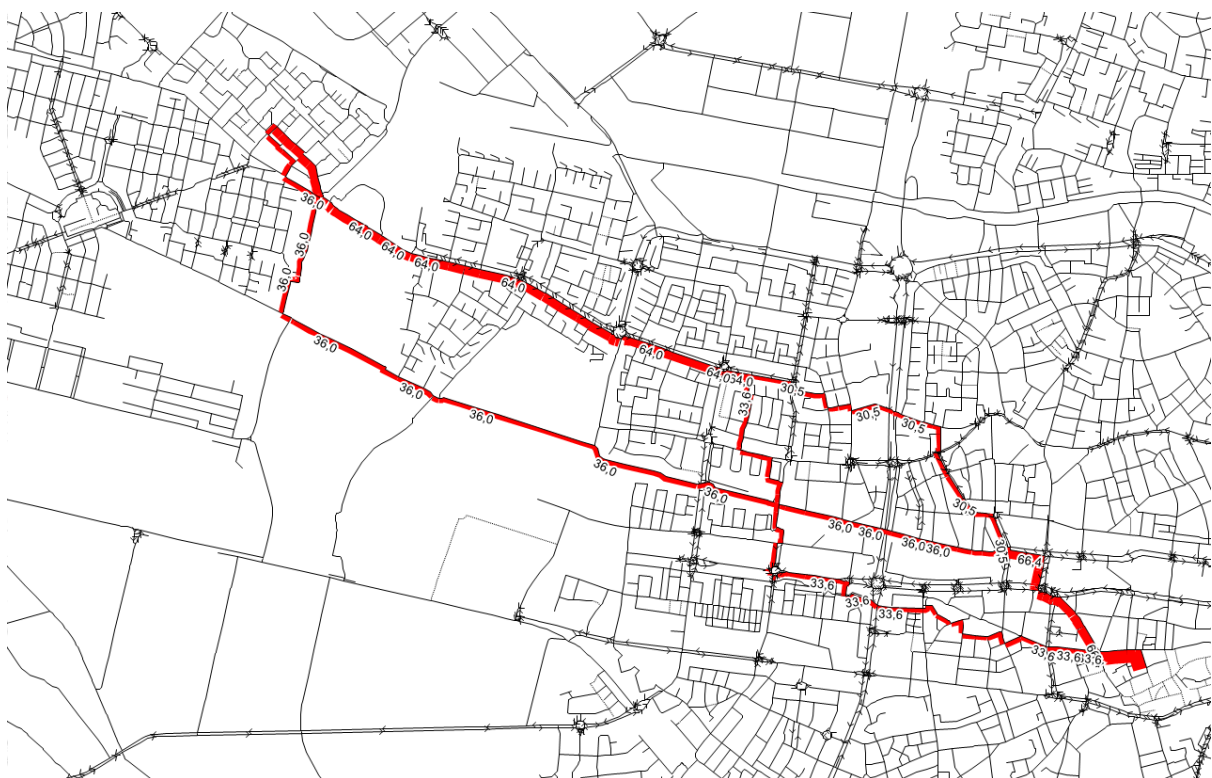
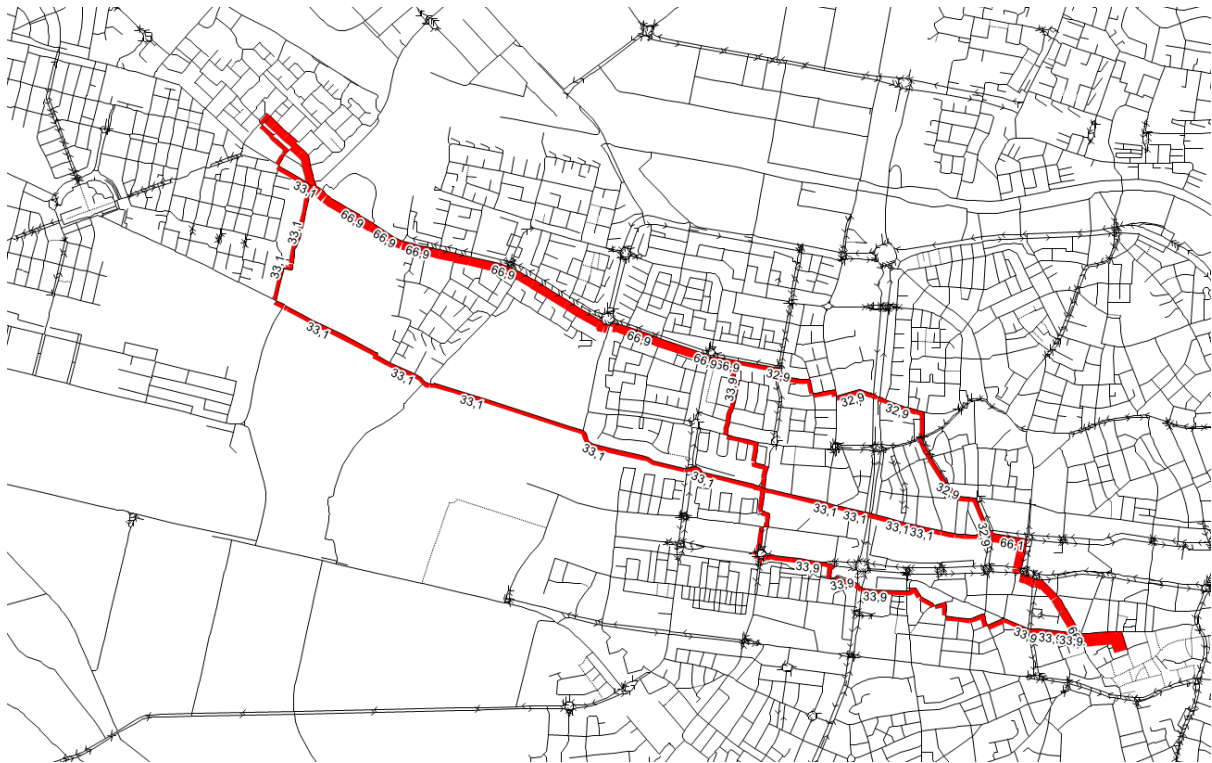
10.3. Toedeelresultaten

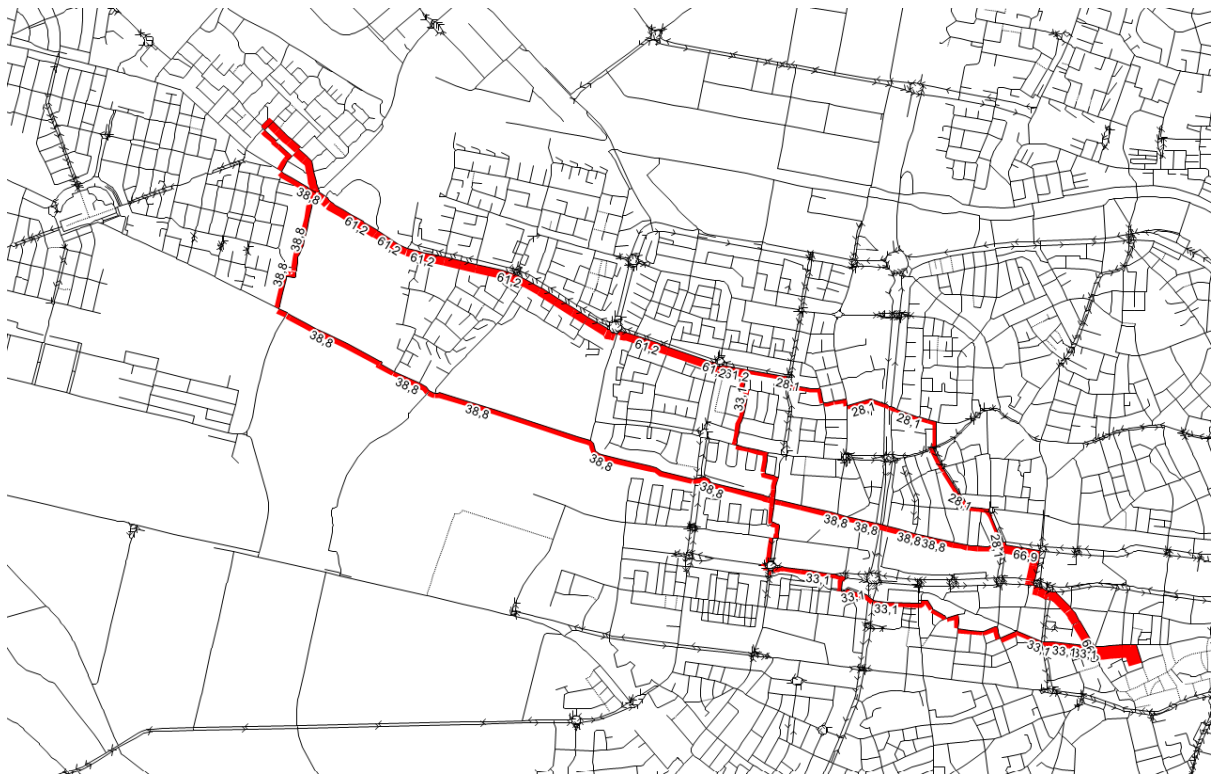


Toedeling drievoudige alles-of-niets voor snelheidsalgoritme als kostenfunctie

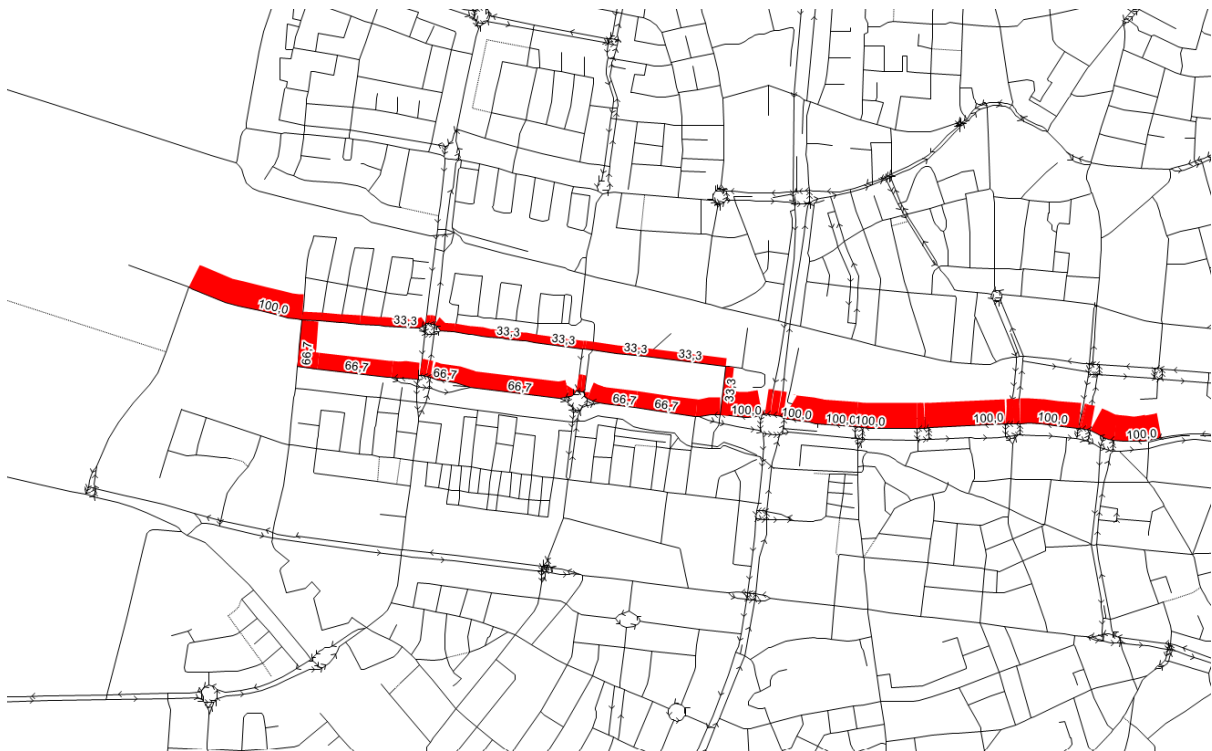


Toedeling MNL voor snelheidsalgoritme als kostenfunctie voor HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum

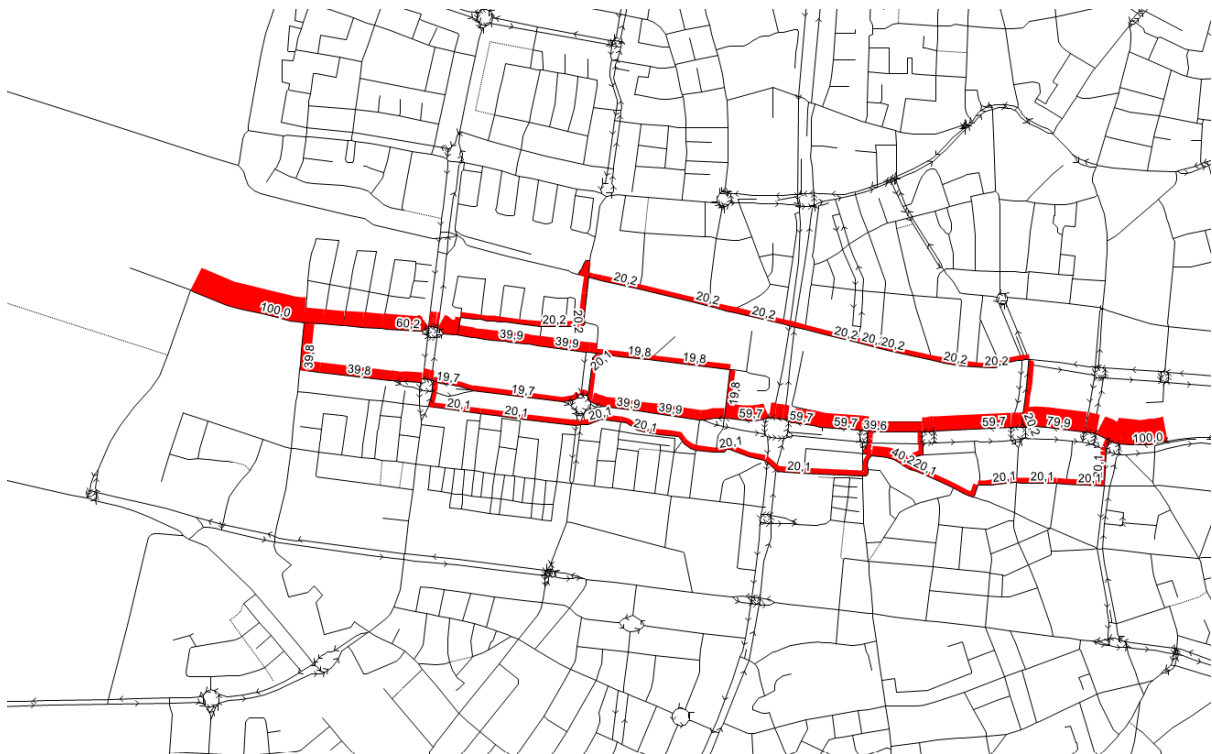




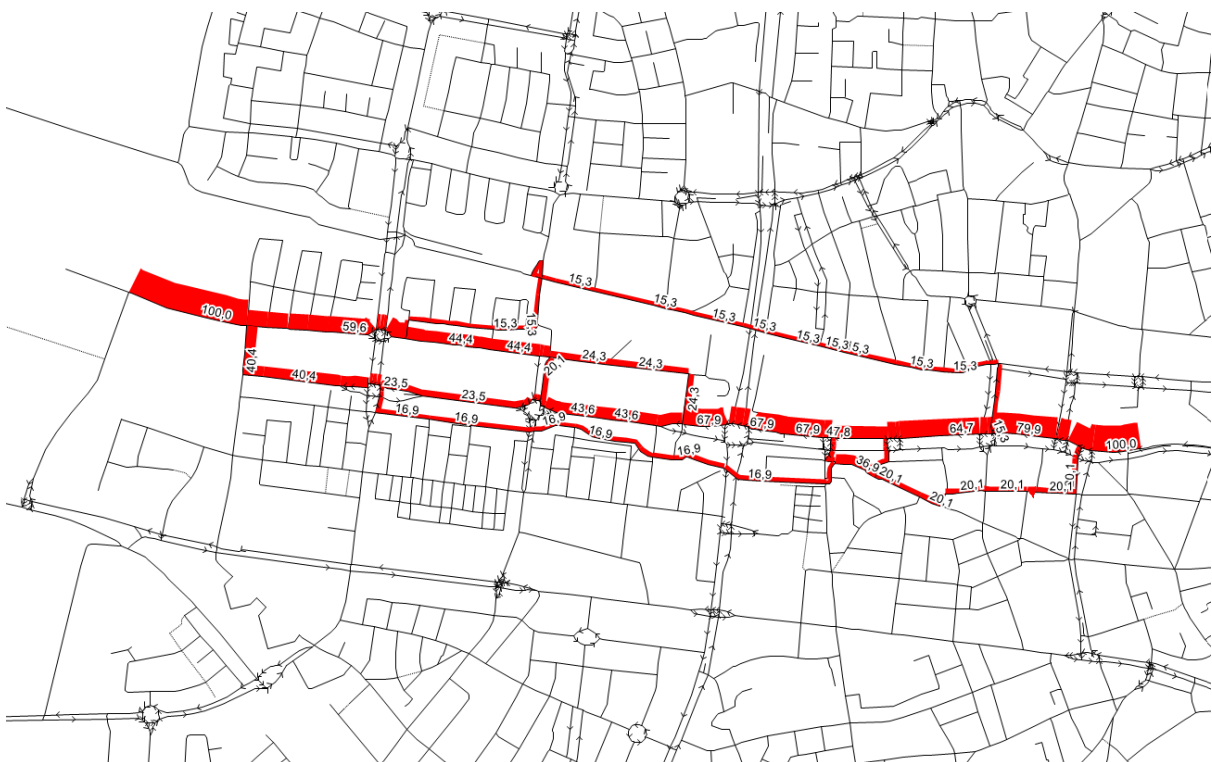
Toedeling MNL beta pathsize = 1,0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscoëfficiënt als kostenfunctie voor HB-paar Gesworven Hoek naar Centrum



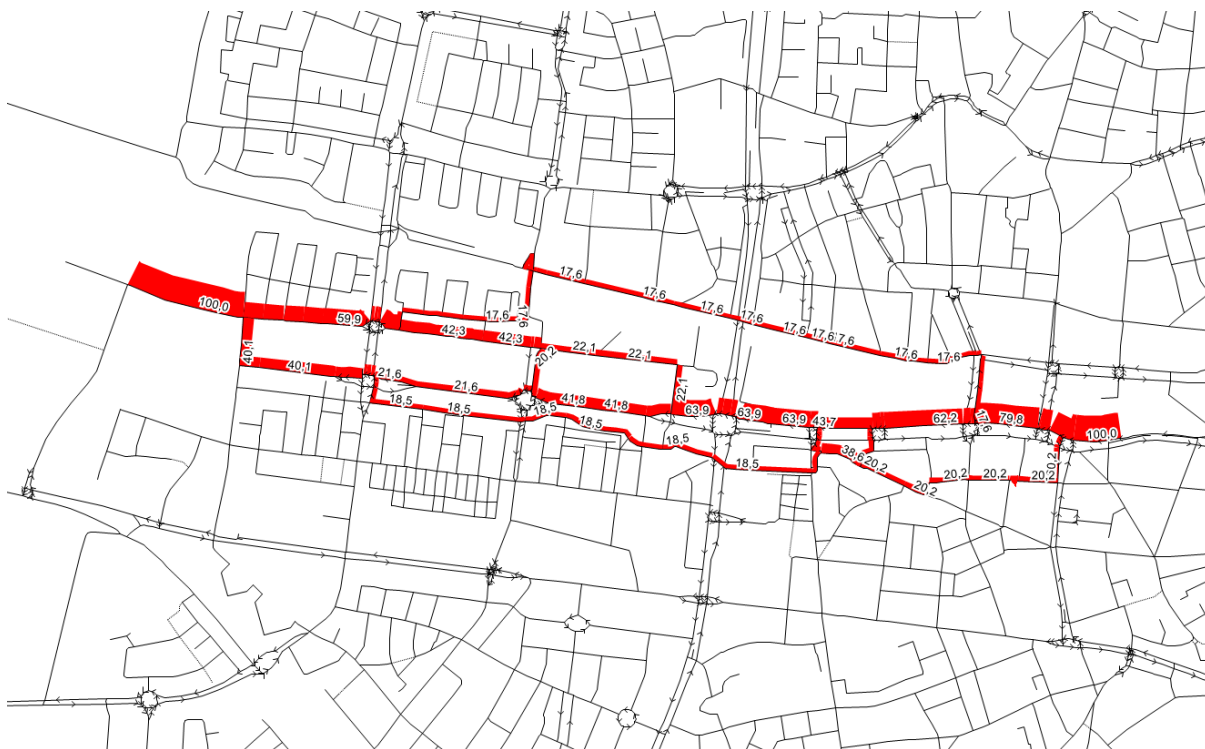
Toedeling drievoudige Alles-of-niets toedeling voor snelheidsalgoritme als kostenfunctie



Toedeling MNL voor snelheidsalgoritme als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



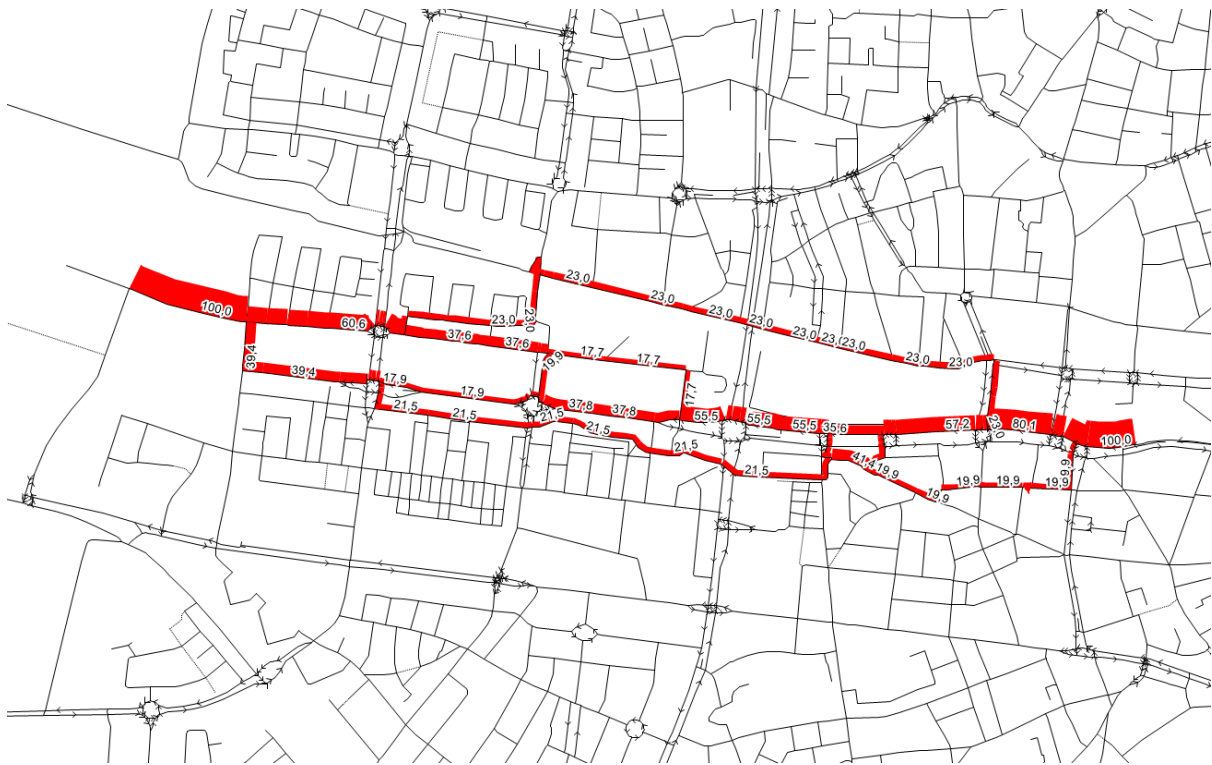
Toedeling MNL beta pathsize = -1,0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



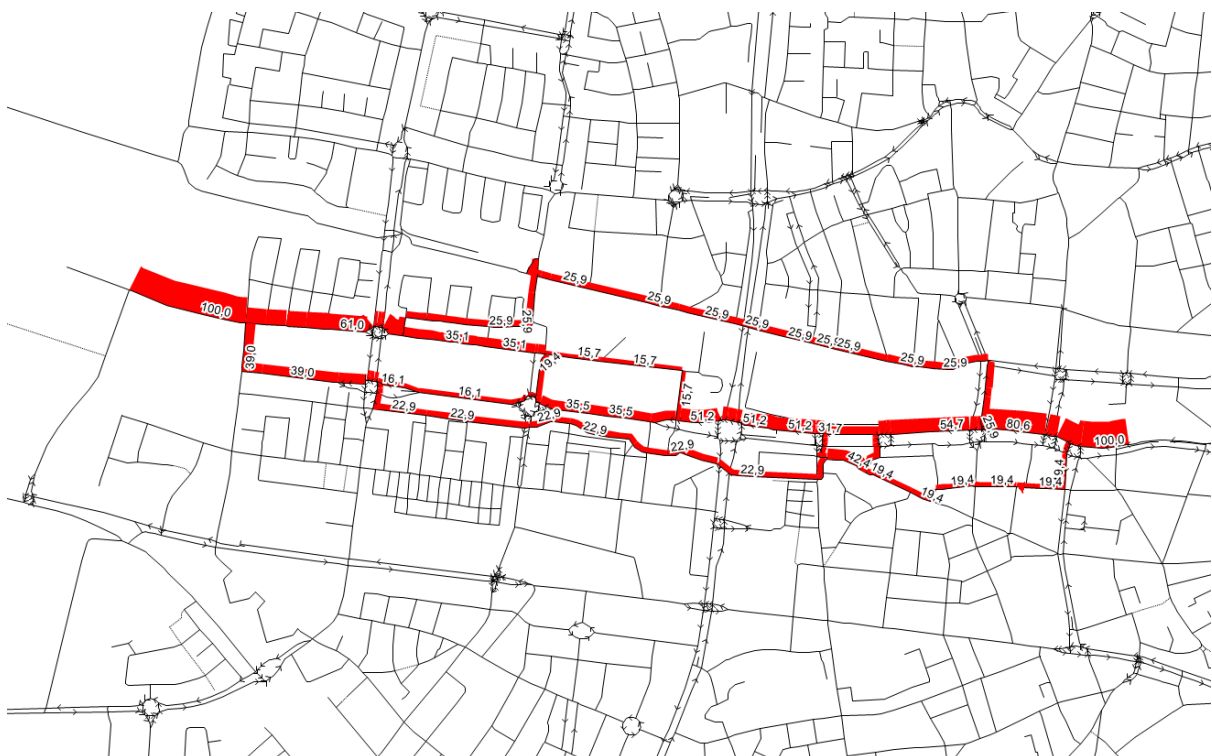
Toedeling MNL beta pathsize = -0,5 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



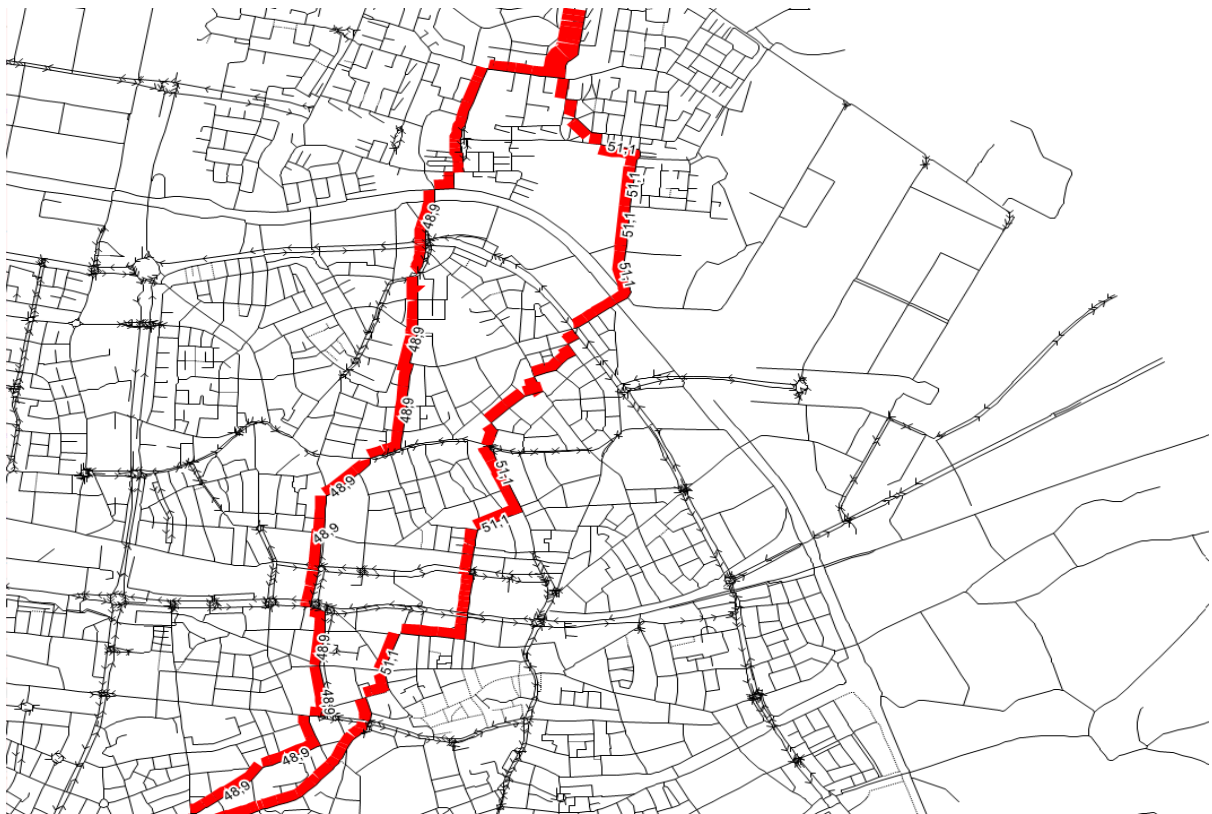
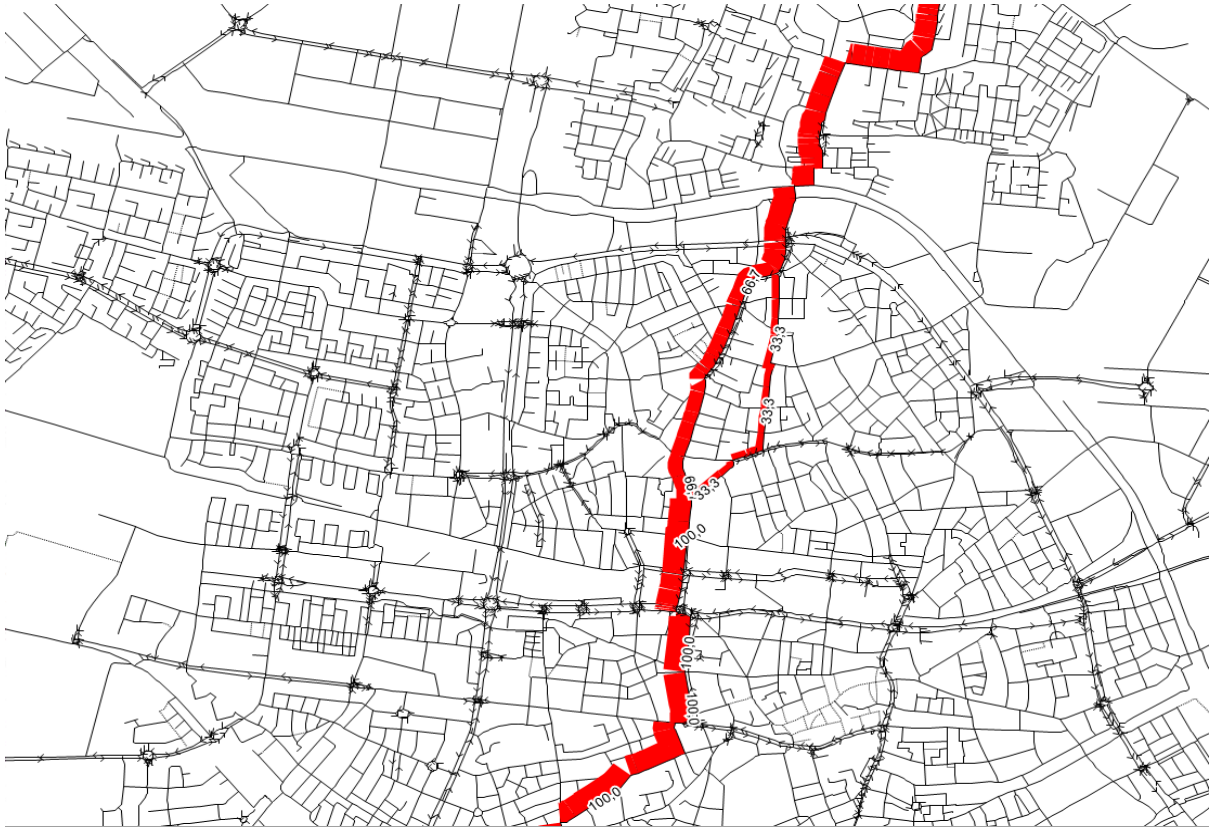
Toedeling MNL beta pathsize = 0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



Toedeling MNL beta pathsize = 0,5 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit



Toedeling MNL beta pathsize = 1,0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar Station naar Universiteit





Toedeling MNL beta pathsize = 0 voor snelheidsalgoritme en aantrekkelijkheidscijfer als kostenfunctie voor HB-paar De Schans naar Goirle