

[goudappel@goudappel.nl](mailto:goudappel@goudappel.nl)  
[www.goudappel.nl](http://www.goudappel.nl)

 **Goudappel Coffeng**  
Traffic and transport consultants

Postbus 161 7400 AD Deventer  
Snipperlingsdijk 4 7417 BJ Deventer  
T 0570 666 222 F 0570 666 888

Niek Rolink  
Student Civiele Techniek  
[n.rolink@student.utwente.nl](mailto:n.rolink@student.utwente.nl)

  
**Universiteit Twente**  
*de ondernemende universiteit*

# Bachelor Eindopdracht



## → Mogelijkheden Vissim

Wat is de invloed van de parameters met betrekking tot routekeuze in Vissim?

# Bachelor Eindopdracht

## Mogelijkheden Vissim

Wat is de invloed van de parameters met betrekking tot routekeuze in Vissim?

**Deventer, 30 januari 2009**

Niek Rolink  
Universiteit Twente  
Goudappel Coffeng BV

# Voorwoord

Het is mij een genoegen om na drie maanden onderzoek mijn rapport aan u te tonen. Voor u ligt het resultaat van mijn onderzoeksstage. Deze stage dient als afronding van mijn Bachelor van de studie Civiele Techniek. Mijn keuze voor de stage was gevallen op het gebied verkeer en vervoer omdat dit vakgebied mij het meest heeft aangesproken in de eerste jaren van mijn studie aan de Universiteit Twente.

Na een aantal gesprekken met mensen van de Universiteit en een gesprek bij het bedrijf Goudappel Coffeng is besloten om onderzoek te doen naar het verkeersmodel Vissim. Het was voor mij een enorme uitdaging om zelf een onderzoek te verrichten en een rapport hierover te schrijven. De drie maanden op het hoofdkantoor in Deventer waren erg leerzaam voor mij. Hopelijk is dit rapport voor het bedrijf ook leerzaam. Het doel van dit rapport is om Goudappel Coffeng meer inzicht te geven in de werking en de invloed van de parameters in Vissim.

Tot slot wil ik mijn dankwoord geven aan alle mensen bij Goudappel Coffeng die mij geholpen hebben. Jeroen Bosch en Erik-Jan Westra, mijn stagebegeleiders. Gert Willems, die mij deze stageplek geboden heeft als hoofd van de afdeling. Ook wil ik mijn stagedocent van de Universiteit, Luc Wismans, bedanken. Zij hebben mij de mogelijkheid en de begeleiding gegeven om stage te lopen, waarvan dit rapport het eindresultaat is.

Deventer, 30 januari 2009

Niek Rolink

# Samenvatting

Vissim is een microscopisch simulatieprogramma waarin de werkelijke verkeerssituatie goed nagebouwd kan worden. Het model bestaat uit een verzameling van gedragsmodellen met veel parameters die gebruikt kunnen worden om de huidige verkeerssituatie zo goed mogelijk na te bootsen en te kalibreren. Een van de gedragsmodellen is het routekeuze model. Dit routekeuze model is dynamisch, wat betekent dat het rekening houdt met de verkeerssituatie op het netwerk. De werking van dynamische routekeuze in het model Vissim is in dit rapport onderzocht.

Dynamische routekeuze wordt in Vissim toegepast met behulp van iteraties. Na elke iteratie wordt de verkeerssituatie onthouden en meegenomen in de routekeuze voor de volgende iteratie. Als er genoeg iteraties worden gedaan, ontstaat er een evenwicht op het netwerk. Er zijn echter verschillende parameters die dit evenwicht kunnen beïnvloeden. De belangrijkste parameters die directe invloed hebben op de routekeuze zijn onderzocht. Deze parameters zijn afzonderlijk onderzocht door eerst een literatuurstudie en vervolgens is de invloed in Vissim onderzocht. Daarna is de combinatie van de parameters nog onderzocht om de invloed op elkaar te onderzoeken. De parameters staan hieronder weergegeven met hun aanbeveling.

- De Kirchhoff exponent bepaalt de gevoeligheid met betrekking tot de kostenverschillen. Deze parameter bepaalt de spreiding in de routekeuze, wanneer deze parameter hoog wordt ingesteld zijn mensen zich beter bewust van wat de kortste route is. De Kirchhoff exponent moet ingesteld worden tussen 3,5 en 14. Dit is erg afhankelijk van de situatie die gesimuleerd wordt.
- De parameters Logit lower limit en Logit scaling factor hebben alleen invloed op de simulaties wanneer er meerdere parkeerplaatsen per zone aanwezig zijn. Er was onduidelijkheid over de bijwerkingen van deze parameters, maar ze beïnvloeden de simulatie niet als er maar één parkeerplaats per zone wordt gebruikt.
- Correction of overlapping paths houdt rekening met overlap in de routes. Wanneer routes overlappen, wordt de route minder aantrekkelijk gemaakt. Deze parameter moet in de simulaties wel gebruikt worden, maar de invloed is gering.
- Avoid long detours sluit omwegen af. Hiervoor is een factor in te voeren om aan te geven wanneer de omweg te groot wordt en mensen deze niet zullen gebruiken. Deze parameter moet altijd gebruikt worden en de beste waarde hiervoor is 1,45.
- Wanneer er meerdere parameters gebruikt worden, hebben ze geen directe invloed op elkaars werking. Avoid long detour bepaalt eerst de routeset waarna de Kirchhoff exponent de verdeling over deze routes bepaalt. Bij de combinatie tussen de functie correction of overlapping paths en de Kirchhoff exponent blijkt dat de  $\delta$  met de  $k$  mee verandert, zodat de overlap bij elke waarde voor  $k$  evenveel invloed heeft.

# Inhoudsopgave

1. Inleiding .....	3
1.1 Aanleiding .....	3
1.2 Onderzoeksmethode .....	4
1.3 Vraagstelling .....	5
2. Vissim .....	6
2.1 Verkeersmodel Vissim .....	6
2.2 Dynamische routekeuze .....	6
2.2.1 Iteraties in dynamische routekeuze .....	6
2.3 Parameters dynamische routekeuze .....	7
3. Onderzoeksaanpak .....	8
3.1 Uitgangspunten simulatie .....	8
4. Algoritme routekeuze .....	9
4.1 Beschrijving algoritme routekeuze .....	9
4.2 Invloed parameters in theorie .....	10
4.3 Data analyse .....	11
4.3.1 Kostenfunctie .....	11
4.3.2 Kirchhoff exponent .....	11
4.4 Conclusie .....	16
5. Algoritme parkeerplaatskeuze .....	17
5.1 Beschrijving algoritme parkeerplaatskeuze .....	17
5.2 Invloed parameters in theorie .....	17
5.3 Data analyse .....	18
5.3.1 Logit Scaling factor .....	18
5.3.2 Logit lower limit .....	19
5.4 Conclusie .....	19
6. Correction overlapping paths .....	20
6.1 Theorie Correction of overlapping paths .....	20
6.2 Data analyse .....	20
6.3 Conclusie .....	23
7. Avoid long detours .....	24
7.1 Theorie Avoid long detours .....	24
7.2 Data analyse .....	214
7.3 Conclusie .....	25
8. Combinatie parameters .....	26
8.1 Correction of overlapping paths & Kirchhoff exponent .....	26
8.1.1 Data analyse .....	26
8.1.2 Conclusie .....	27
8.2. Avoid long detours & Kirchhoff exponent .....	28
8.2.1 Data analyse .....	28
8.2.2 Conclusie .....	28
9. Conclusie .....	29
Aanbevelingen .....	i
Woordenlijst .....	ii
Literatuurlijst .....	iii
Bijlagen .....	iv



# 1. Inleiding

De mens vraagt zich vaak af hoe de toekomst er uit komt te zien, wat er bijvoorbeeld gebeurd als je een bepaalde keuze maakt. Ook op het gebied van verkeer en vervoer speelt de toekomst een grote rol. Wat is eigenlijk de invloed van het aanleggen van de rotonde of hoeveel invloed heeft de extra rijstrook? Om de gevolgen van een verandering in kaart te brengen kan gebruik gemaakt worden van een simulatiemodel. Vissim is een dergelijk simulatiemodel dat kan helpen om inzicht te krijgen in de toekomstsituatie

Vissim is een dynamisch microscopisch verkeersmodel. Microscopisch houdt in dat het model elk voertuig afzonderlijk beschouwd en voor elk voertuig afzonderlijk een route bepaalt, dit gebeurt aan de hand van een algoritme. Het verschil tussen statische en dynamische modellen is dat in statische modellen bij de routekeuze veel minder rekening gehouden wordt met de verkeerssituatie op het netwerk. Dynamische modellen streven naar een evenwicht op het netwerkniveau. Vissim doet dit door middel van het Kirchhoff distributiemodel in combinatie met iteraties. De verkeerssituatie uit de iteratie wordt geanalyseerd en op basis daarvan worden de routes in de volgende iteratie bepaald. Op deze manier wordt de routekeuze van het verkeer bepaald.

In Vissim zitten een aantal parameters die de routekeuze kunnen beïnvloeden. Wat het model voor output geeft is onder andere afhankelijk van de parameters in het model. De parameters zijn bedoeld om het model te kalibreren naar de werkelijkheid, om op deze manier ervoor te zorgen dat de modelsituatie zo goed mogelijk overeenkomt met de echte situatie. Het is dan wel van belang dat de invloed van de parameters bekend is. Bovendien bestaat er de indruk dat de werking van de parameters in Vissim niet geheel overeenkomt met de beschrijving zoals deze in de handleiding is opgenomen.

In dit rapport zijn de resultaten beschreven van een onderzoek naar de werking en de invloed van de parameters met betrekking tot routekeuze binnen VISSIM.

## 1.1 Aanleiding

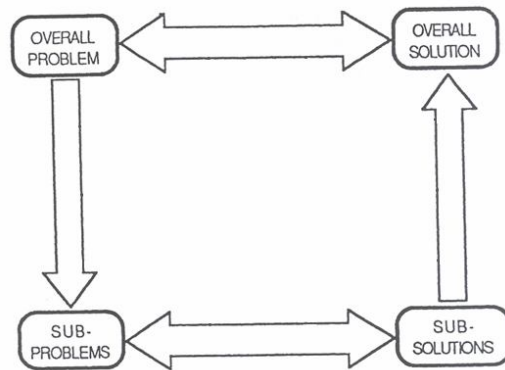
Zoals eerder genoemd is het van belang dat de parameters goed ingesteld worden. Echter wanneer de kennis daarvan beperkt is, is het lastig om het model goed te kalibreren. Het belang van goede waarden voor de parameters blijkt uit een onderzoek van Park, Won en Yun (2006).

In dit onderzoek is eerst een veldmeting gedaan en daarna een modelanalyse. Door de veldmeting waren de waarden uit de praktijk bekend, waarna deze zijn vergeleken met de output van Vissim. Bij de defaultwaarden van het model week de analyse maar liefst 18% af van de werkelijke reistijd. Met de juiste parameterwaarden behorende bij deze situatie was de afwijking in reistijd terug gebracht tot 2,6%. Er waren veel parameters meegenomen in dit onderzoek, waaronder de parameters met invloed op hiaatacceptatie, het volgmodel. De parameters met betrekking tot routekeuze waren niet meegenomen in dit onderzoek, maar uit dit onderzoek blijkt wel dat de invloed en het belang van parameters groot is.

Om de parameters met betrekking tot routekeuze ook reële waarden te kunnen geven wordt in dit rapport de werking en de invloed van de parameters beschreven.

## 1.2 Onderzoeksmethode

Er wordt gebruik gemaakt van een onderzoeksmethode om het onderzoek eenduidig en gestructureerd te houden. De onderzoeksmethode die in dit onderzoek gebruikt is, is gebaseerd op het ontwerpmodel van Cross (Cross, 2007). Dit model is in figuur 1 weergegeven. Het model Cross wordt toegepast door de hoofdvraag op te splitsen in deelvragen. Deze deelvragen worden eerst afzonderlijk onderzocht en beantwoord. De antwoorden hierop worden op het eind van het onderzoek samengevoegd tot een antwoord op de hoofdvraag, waardoor het duidelijk wordt welke invloed de parameters afzonderlijk en in combinatie met elkaar hebben.



*Figuur 1. Onderzoeksmodel Cross*

### 1.3 Vraagstelling

In de beschrijving van de onderzoeksmethode is al duidelijk geworden dat de hoofdvraag opgesplitst wordt in meerdere deelvragen. Als eerst wordt er gekeken in welke delen de hoofdvraag kan worden opgesplitst, vervolgens is de vraagstelling geformuleerd.

De routekeuze in Vissim is gebaseerd op een algoritme. Dit is een reeks van instructies die doorgerekend worden, waardoor de situatie bepaald wordt. Dit is de basis van de routekeuze. In Vissim is nog een extra algoritme verwerkt voor de keuze voor parkeerplaatsen. Verder is het bekend dat er nog een aantal andere factoren zijn die invloed hebben op de dynamische routekeuze.

De werking en de invloed van het algoritme en de overige parameters is in dit rapport beschreven. De vraagstelling die daarbij centraal staat is:

Wat is de invloed van de parameters met betrekking tot routekeuze in Vissim?

Om een antwoord hierop te krijgen is de hoofdvraag opgedeeld in deelvragen. Deze deelvragen helpen om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden

- Welke parameters in Vissim hebben invloed op de routekeuze?
  - o Zijn de parameters onder te verdelen in verschillende categorieën?
- Wat is het algoritme achter de routekeuze in Vissim?
- Wat is de invloed van de variabelen van het algoritme op routekeuze in Vissim?
  - o Zijn de variabelen van de functie overeenkomstig met de parameters in Vissim?
  - o Wat vertelt de theorie over de invloed van deze variabelen op de uitkomst?
  - o Hoe is deze uitkomst te vertalen naar routekeuze in Vissim?
  - o Hoe reageert Vissim op het wijzigen van de parameters?
- Wat is de invloed van de variabelen van het parkeerplaatsalgoritme in Vissim?
  - o Zijn de variabelen van de functie overeenkomstig met de parameters in Vissim?
  - o Wat vertelt de theorie over de invloed van deze variabelen op de uitkomst?
  - o Hoe is deze uitkomst te vertalen naar routekeuze in Vissim?
  - o Hoe reageert Vissim op het wijzigen van de parameters?
- Wat voor invloed hebben de overige routekeuze-parameters voor invloed?
  - o Wat vertelt de theorie over deze parameters?
  - o Hoe reageert Vissim op het wijzigen van de parameters?
- Hebben desbetreffende parameters invloed op elkaar?
  - o Wat vertelt de theorie over het combineren van parameters?
  - o Wat is het te verwachten gevolg aan de hand van de invloed die ze onafhankelijk van elkaar hebben?
  - o Hoe reageert Vissim op het wijzigen van de parameters?



## 2. Vissim

In dit hoofdstuk wordt het verkeersmodel Vissim nader beschouwd. Er wordt tevens ingegaan op de dynamische routekeuze die in Vissim verwerkt zit en de parameters die hier invloed op hebben worden beschreven.

### 2.1 Verkeersmodel Vissim

Vissim is een microscopisch dynamisch verkeersmodel gemaakt door PTV. Het model Vissim simuleert elke auto afzonderlijk en houdt rekening met alle relevante eigenschappen van elk voertuig en de situatie op het netwerk. Vissim biedt de mogelijkheid om een de echte situatie zo goed mogelijk na te bootsen. Er zitten veel mogelijkheden in om de infrastructuur zo goed mogelijk na te bouwen, om het verkeersaanbod te regelen en om de gedragsmodellen te bepalen. Door deze functies bestaat de mogelijkheid om een simulatie zo goed mogelijk te laten lijken op de echte situatie. De vele mogelijkheden om de situatie te beïnvloeden zorgen ook voor het nadeel dat het model erg complex wordt en dat het moeilijker wordt om het model volledig te begrijpen en de invloeden van alle parameters te kennen. In dit onderzoek is de dynamische routekeuze eruit gelicht om de werking hiervan te onderzoeken.

### 2.2 Dynamische routekeuze

In Vissim zit de functie dynamische routekeuze. Bij deze functie rijdt het verkeer van een beginzone naar een eindzone. Het vertrekpunt en de bestemming is vastgelegd in een O-D matrix (Origin-Destination matrix). Bij dynamische routekeuze in Vissim wordt er gebruik gemaakt van “parkeerplaatsen”. Dit zijn de begin- en eindpunten van elke route. Een parkeerplaats kan ook op de rand van het netwerk liggen, voor ritten die zich voortzetten buiten het gesimuleerde netwerk.

De routekeuze wordt gebaseerd op de “kosten” van een route. Dit geeft aan hoe aantrekkelijk een route is. De kosten bestaan uit een gewogen somming van de reistijd, afstand en extra kosten op de link. De weegfactoren kunnen zelf ingesteld worden. In Vissim zullen niet alle voertuigen gebruik maken van de route met de laagste kosten, maar een betere route is wel aantrekkelijker. De inverse van de kostenfunctie is de nutsfunctie. Wanneer de kosten het laagst zijn, is het nut van deze route dus het hoogst. De nutsfunctie gecombineerd met het Logit model en het Kirchhoff model maken samen het algoritme van de routekeuze in Vissim. Op de formules wordt later in dit rapport verder ingegaan.

#### 2.2.1 Iteraties in dynamische routekeuze

De routekeuze in Vissim wordt bepaald door verschillende iteraties. De verkeerssituatie wordt gebruikt bij het bepalen van de routekeuze voor de volgende iteratie. In de beginiteraties wordt de routeset bepaald. In de eerste iteratie wordt alleen gebruik gemaakt van de kortste route. Doordat al het verkeer over deze route gaat, zal er vertraging optreden, waardoor het mogelijk is dat andere routes sneller zijn. In de tweede iteratie wordt, indien aanwezig, gekozen voor de snellere route. Dit gaat zo door tot er geen snellere route meer gevonden kan worden. Zo wordt de routeset bepaald door middel van de iteraties.

Door de iteraties wordt niet alleen de routeset bepaald, maar ook de verdeling van het verkeer over deze routes. De reistijd uit de vorige iteraties wordt meegenomen om een beeld te krijgen van de situatie op het netwerk. Aan de hand van deze reistijden en het Kirchhoff model wordt een nieuwe routekeuze voor de voertuigen bepaald. Door meerdere iteraties te draaien, convergeert de verkeerssituatie naar een evenwicht. Men kiest steeds een betere route, totdat de optimale situatie is bereikt. Hoe de iteraties meewegen is in te stellen door  $\alpha$ , zoals in onderstaande formule. Wanneer alpha heel groot gekozen wordt, kan het voorkomen dat er geen evenwicht gevonden wordt.  $X$  is de nieuwe gemeten waarde, en  $I(t)$  de nieuwe gesmoothde waarde,  $I(t-1)$  is de vorige gesmoothde waarde.  $I(t) = \alpha * x + (1 - \alpha) * I(t-1)$

### 2.3 Parameters dynamische routekeuze

De routekeuze in Vissim is afhankelijk van heel veel functies en parameters. Er zijn parameters die directe invloed hebben op de routekeuze, maar er zijn ook heel veel parameters die indirecte invloed hebben. Deze indirecte parameters hebben bijvoorbeeld invloed op het volgedrag wat weer van invloed kan zijn op de intensiteit. De intensiteit heeft weer invloed op de keuze die mensen maken bij het kiezen van een route. Deze indirecte parameters zijn niet meegenomen in dit rapport.

Er zijn ook parameters die directe invloed hebben op de routekeuze. De routekeuze wordt bepaald door een algoritme. Dit is een reeks van rekenfuncties om de uiteindelijke routekeuze te bepalen. Het eerste algoritme dat in Vissim verwerkt zit is het routekeuze-algoritme, deze bepaald de route van de herkomst tot de bestemming. Het andere algoritme dat in Vissim verwerkt zit, bepaald de keuze voor een parkeerplaats, wanneer er meerdere parkeerplaatsen in één zone aanwezig zijn. Verder zijn er nog een aantal parameters dat directe invloed heeft op de routekeuze. Dit zijn de volgende parameters:

**Kirchhoff exponent:** Deze parameter beïnvloedt het algoritme wat achter de routekeuze zit en bepaald de gevoeligheid van de routekeuze.

**Logit scaling factor:** Deze parameter bepaald de gevoeligheid van het parkeerplaats-algoritme.

**Logit lower limit:** Dit is een drempelwaarde in het parkeerplaats-algoritme.

**Correction of overlapping paths:** Dit zorgt ervoor dat er bij de verdeling van het verkeer rekening gehouden wordt of er overlap in de verschillende routes zit.

**Avoid long detours:** Deze parameter zorgt ervoor dat de voertuigen overduidelijke omwegen vermijden.

**Reject paths:** Deze functie schakelt routes uit die veel meer kosten hebben dan de beste route.

**Limit of paths:** Hier is aan te geven hoeveel routes er maximaal gebruikt mogen worden.

**Random seed:** Dit is een waarde die bepaald hoe het verkeer op het netwerk wordt gezet.

Van deze parameters zijn de Kirchhoff Exponent, de Logit scaling factor, de Logit lower limit, Correction of overlapping paths en Avoid long detour onderzocht. Hiervoor is gekozen omdat over deze waarden het minst duidelijk is, terwijl deze wel belangrijk kunnen zijn bij het kalibreren van het model.

# 3. Onderzoeksaanpak

Zoals uit de onderzoeksmethode en de vraagstelling blijkt, zijn eerst alle parameters afzonderlijk beschouwd. Voor elke parameter is eerst beschreven wat voor invloed deze parameter in theorie zou moeten hebben. Vervolgens is er een data-analyse gedaan van de uitkomsten van Vissim. Aan de hand van de theorie en de data-analyse kon de invloed van de parameter bepaald worden. Daarna is de combinatie van de parameters geanalyseerd waardoor er een antwoord op de hoofdvraag gegeven kon worden. In dit hoofdstuk zijn de uitgangspunten van de simulatie weergegeven.

## 3.1 Uitgangspunten simulatie

### Testnetwerk

Het testnetwerk (figuur 2) bestaat uit even lange wegen van 3,00 km, waar de snelheid overal gelijk is. Doordat de connectoren niet exact even lang zijn, zit er een klein verschil in de lengte van de routes. Voor dit netwerk is gekozen omdat de situatie in een oogopslag duidelijk is en omdat er een aantal vergelijkbare routes in dit netwerk aanwezig is. Doordat het netwerk zo eenvoudig is, is de invloed van de parameters eenvoudiger te bepalen.

### Simulatie

Simulatie duurt een ½ uur  
Beginnend met 50% verkeer en dan neemt het toe met 10% per iteratie tot 100%

### Overige waarden

Correction of overlapping paths -> uit  
Avoid long detours -> uit  
Kostenfunctie -> alleen 1x travel time  
De niet genoemde waarden staan op de defaultwaarden

### Output

Output die vergeleken wordt is de intensiteit op de routes en het aantal routes. Dit is gedaan in de middelste evaluatie (van 600s – 1200s) in evaluation path.

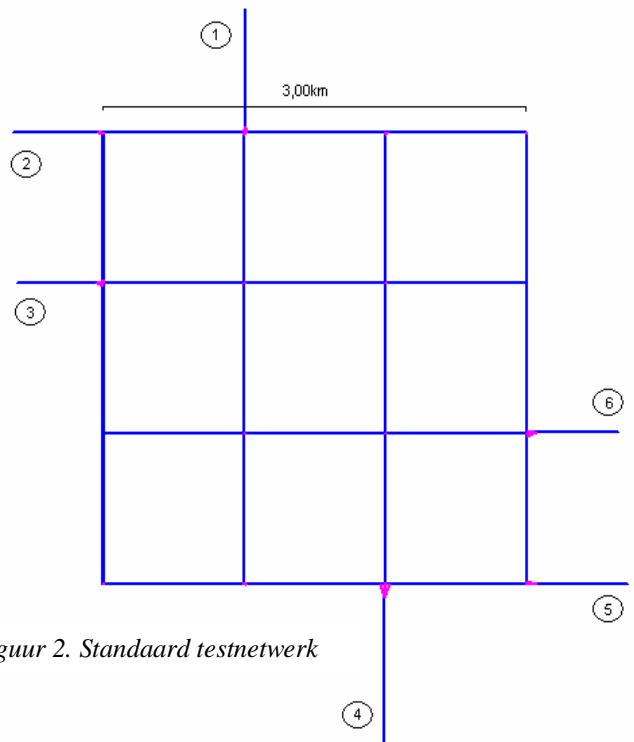
### Iteraties

In het onderzoek wordt uitgegaan van 30 iteraties. Bij elke simulatie wordt er gecontroleerd of na deze 30 iteraties een evenwicht is bereikt. Dit evenwicht is als volgt geformuleerd: Tussen twee opeenvolgende iteraties is er minder dan 15% verschil in reistijd op de routes en op gedeeltes van de routes ("edges") en het aantal voertuigen op deze edges mag niet meer dan 5 voertuigen afwijken. Deze 30<sup>e</sup> simulatie wordt onderzocht. De alpha ,exponential smoothing factor, heeft de defaultwaarde van 0,20

### O-D Matrix

Van zone 1 naar zone 4  
Aantal voertuigen 900

Alle bovenstaande uitgangspunten gelden voor de simulaties, tenzij anders is vermeld.



Figuur 2. Standaard testnetwerk

## 4. Algoritme routekeuze

Het algoritme bepaalt de routekeuze in Vissim van de herkomst naar de bestemming. Dit zijn wiskundige functies die bepalen voor welke routes de mensen kiezen. Eerst is het algoritme beschreven en vervolgens is de invloed hiervan onderzocht. Dit is eerst theoretisch gedaan en vervolgens is een data-analyse uitgevoerd.

### 4.1 Beschrijving algoritme routekeuze

Het algoritme achter de routekeuze bestaat uit een combinatie van functies.

De eerste functie is de kostenfunctie, hiermee wordt aangegeven hoe aantrekkelijk een bepaalde route is. De kosten functie ziet er als volgt uit, waarin  $C_j$  de kosten van een link weergeeft en  $a$ ,  $b$  en  $c$  de weegfactoren zijn.

$$C_j = a \cdot \text{reistijd} + b \cdot \text{afstand} + c \cdot \text{linkcost}$$

De kostenfunctie kan omgezet worden in een nutsfunctie, dit is de inverse van de kostenfunctie, hier is  $U_j$  de nutsfunctie.

$$U_j = \frac{1}{C_j}$$

De nutsfunctie geeft een getal voor de aantrekkelijkheid van de route, maar hiermee kan nog geen routekeuzemodel opgesteld worden, omdat het nut van de routes niet recht evenredig is met de optimale intensiteit van de routes. De nutsfunctie wordt daarom verwerkt in het Logit model. De uitkomst van deze functie is de kans dat een bepaalde route gekozen wordt ( $P(R_j)$ ). De factor  $k$  bepaalt hoe gevoelig de uitkomst reageert op het verschil in nut van de routes.

$$p(R_j) = \frac{e^{kU_j}}{\sum_i e^{kU_i}}$$

Het grote nadeel van een combinatie van een nutsfunctie met het Logit model is dat de functie alleen rekening houdt met absolute verschillen en dus niet met de relatieve verschillen. Voor routekeuze maakt dit echter wel degelijk een verschil, want vijf minuten extra reistijd op een rit van tien minuten is een veel groter verschil dan vijf minuten extra reistijd op een rit van twee uur. Om dit probleem op te lossen is er in Vissim gebruik gemaakt van het Kirchhoff model.

$$p(R_j) = \frac{U_j^k}{\sum_i U_i^k}$$

Dit kan omschreven worden tot de vorm van een Logit model als

$$p(R_j) = \frac{U_j^k}{\sum_i U_i^k} = \frac{e^{k \cdot \ln U_j}}{\sum_i e^{k \cdot \ln U_i}} = \frac{e^{-k \cdot \ln C_j}}{\sum_i e^{-k \cdot \ln C_i}}$$

De variabelen in deze formule zijn  $k$  en  $C_j$ .

Deze parameters zijn beide terug te vinden in Vissim. De  $k$  heet daar de Kirchhoff exponent (de namen Kirchhoff exponent en  $k$ -waarde wordt in dit rapport door elkaar heen gebruikt) en  $C_j$  staat in Vissim als de kostenfunctie zoals eerder weergegeven.

## 4.2 Invloed parameters in theorie

De kostenfunctie bepaalt hoe aantrekkelijk een route is. In deze functie worden de reistijd, de afstand en de linkkosten meegenomen. Één meter, één seconde en één linkcost wordt allemaal doorgerekend als één cost. Wanneer a, b of c vergroot wordt zal  $C_j$  eveneens groter worden. In de tweede formule staan de kosten er twee keer in. In de teller de kosten van route J en in de noemer de sommatie van de kosten. Als C van route j ten opzichte van de overige routes binnen de routeset het minst vergroot wordt, door aanpassing van a, b of c, zal  $p(R_j)$  groter worden.

$$C_j = a \cdot \text{reistijd} + b \cdot \text{afstand} + c \cdot \text{linkcost}$$

$$p(R_j) = \frac{U_j^k}{\sum_i U_i^k} = \frac{e^{k \cdot \ln U_j}}{\sum_i e^{k \cdot \ln U_i}} = \frac{e^{-k \cdot \ln C_j}}{\sum_i e^{-k \cdot \ln C_i}}$$

Vertaald naar Vissim houdt dit in dat a, b en c weegfactoren zijn waarmee de variabele belangrijker gemaakt kan worden. Als de weegfactor voor de reistijd hoger wordt, betekent dit dat er meer belang gehecht wordt aan de reistijd door de reizigers, waardoor de snelste route dus meer belast zal worden.

De Kirchhoff exponent is de k in onderstaande formule

$$p(R_j) = \frac{U_j^k}{\sum_i U_i^k} = \frac{e^{k \cdot \ln U_j}}{\sum_i e^{k \cdot \ln U_i}} = \frac{e^{-k \cdot \ln C_j}}{\sum_i e^{-k \cdot \ln C_i}}$$

De Kirchhoff exponent bepaalt de gevoeligheid van het model. Deze parameter bepaalt de verhouding tussen het verschil in kosten en de kans dat mensen de route kiezen. Wanneer k heel groot gekozen wordt, zal iedereen voor de beste routes kiezen. Wanneer k kleiner wordt, zal het verschil in  $p(R_j)$  ook kleiner worden, waardoor de minder aantrekkelijke routes ook gekozen worden. Als  $k=1$  dan is het verband recht evenredig tussen de kosten en de kans dat de route gekozen wordt. Als  $k=0$  dan zullen alle routes even grote kans hebben om gekozen te worden, ongeacht de kosten van de route.

### 4.3 Data analyse

Allereerst wordt gekeken naar de kostenfunctie en vervolgens wordt een data-analyse uitgevoerd om de Kirchhoff exponent te onderzoeken. De Kirchhoff exponent wordt onderzocht bij een “standaard” situatie, een zwaarbelaste situatie en een situatie waar er meerdere herkomsten en bestemmingen van het verkeer zijn.

#### 4.3.1 Kostenfunctie

Wanneer alleen de kosten van de reistijd worden meegerekend, gedraagt het model zich zoals verwacht. Meer mensen kiezen voor de snellere routes. Wanneer deze routes meer belast raken, levert dit extra reistijd op en gaat een deel van het verkeer naar een langere maar (op dat moment) snellere route. Omdat veel mensen reistijd het belangrijkste vinden (Goldenbeld, Drolenga en Smits, 2007), wordt dit alleen gebruikt in de simulaties.

Wanneer in de kostenfunctie alleen rekening gehouden wordt met afstand, zal het verkeer alleen gebruik maken van de kortste route. Dit komt omdat dit de enige route in de routeset is, ook al is het heel druk op deze route, het blijft de kortste route waardoor mensen niet overstappen naar andere routes. Wanneer er naar het Kirchhoff model gekeken wordt, is dit een beetje vreemd, omdat bij een klein kostenverschil de andere routes ook gekozen kunnen worden, maar dat is in dit geval niet zo, omdat deze routes niet in de routeset voorkomen.

Wanneer de afstand en reistijd gecombineerd worden, komt er wel een output uit die werkt volgens het Kirchhoff model. Er worden dan wel minder routes gebruikt dan wanneer reistijd alleen de kostenfunctie bepaalt. Door de afstand mee te tellen, krijgen de langere routes te hoge kosten en worden daardoor niet gekozen.

De extra “linkcost” zorgt voor extra kosten op een link, waardoor gesimuleerd wordt dat er extra vertraging op desbetreffende link is. Dit kan toegepast worden als er ergens tolheffing plaatsvindt, maar dit kan ook toegepast worden om een bepaalde route minder aantrekkelijk te maken, als in de praktijk blijkt dat een route om een of andere reden minder gebruikt wordt. Door de extra kosten op de link zal deze minder gekozen worden volgens het Kirchhoff model.

#### 4.3.2 Kirchhoff exponent

De waarden die gebruikt zijn voor  $k$  zijn 2; 3,5; 7; 14; 20. De waarden die gekozen zijn, zijn de hoogste (20) en de laagste (2) waarden die mogelijk zijn en de defaultwaarde (3,5) en veelvoud daarvan.

##### Standaard situatie

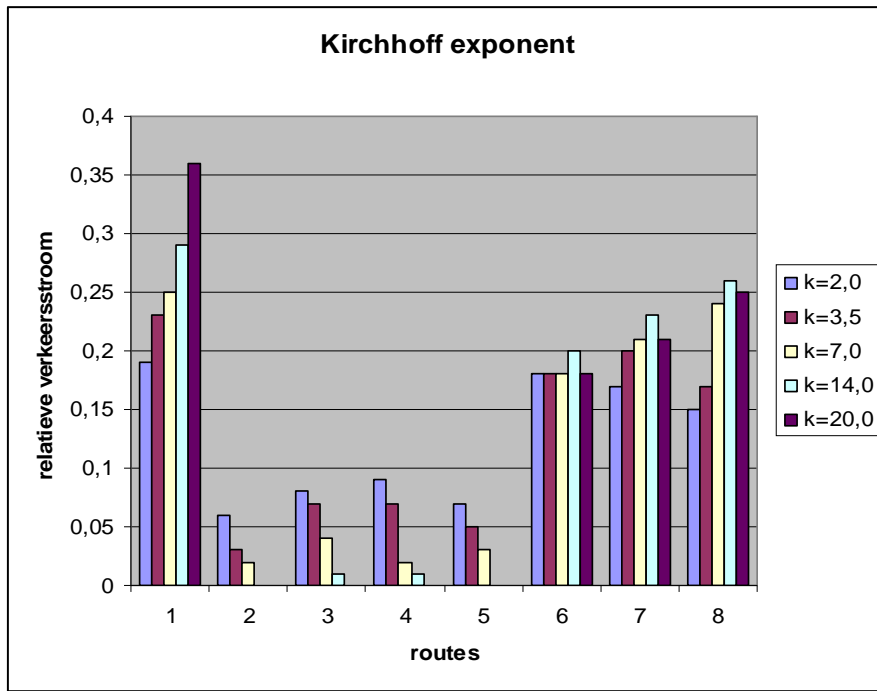
In de simulatie is Vissim gekomen tot een routeset van acht routes. Deze routes met de bijbehorende relatieve intensiteiten zijn hieronder in een tabel en grafiek (figuur 3) weergegeven. In figuur 4 zijn de routes visueel weergegeven.

route	Lengte route	K=2	k=3,5	K=7	k=14	k=20
1	4977	0,19	0,23	0,25	0,29	0,36
2	7000	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00
3	6965	0,08	0,07	0,04	0,01	0,00
4	6975	0,09	0,07	0,02	0,01	0,00
5	6989	0,07	0,05	0,03	0,00	0,00
6	5008	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18
7	4991	0,17	0,20	0,21	0,23	0,21
8	5008	0,15	0,17	0,24	0,26	0,25

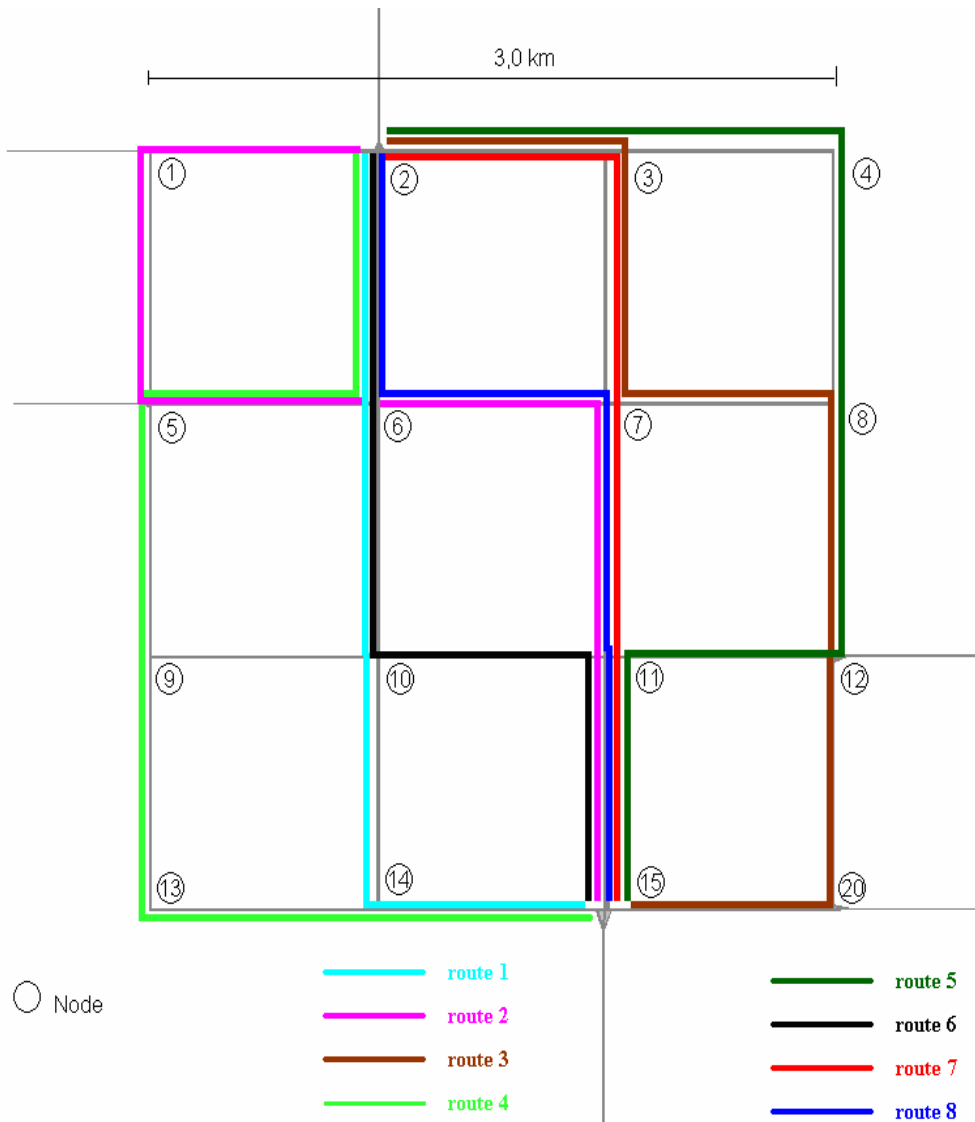
*De intensiteiten van de routes bij verschillende waarden voor de Kirchhoff exponent*

De kosten van de routes zijn alleen afhankelijk van de reistijd. Omdat het netwerk niet zwaar belast wordt, zal de afstand ongeveer recht evenredig zijn met de reistijd. De afstand geeft dus een redelijk goede indicatie van wat de snelle routes zijn.





Figuur 3. Relatieve intensiteiten op de routes bij verschillende k-waardes



Figuur 4. Weergave routes

Zowel in de tabel als in de grafiek is het verschil te zien tussen de uitkomsten bij de k-waardes. Uit het algoritme bleek dat wanneer k vergroot zou worden, het verschil in kansen tussen de routes ook groter wordt. In de grafiek is duidelijk te zien dat de langzamere routes (2,3,4,5) af nemen, elke keer wanneer de k-waarde groter wordt.

De routes 6,7,8 gedragen zich bij k=20 niet helemaal zoals in eerste instantie verwacht zou worden. Deze behoren tot de snelle routes en zouden dus toe moeten nemen wanneer k verhoogd wordt van k=14 naar k=20. Dat dit niet gebeurt, is te verklaren doordat de routes 6,7 en 8 een klein beetje langer zijn dan 1. Door de hoge waarde voor de Kirchhoff exponent wordt er nog sterker gekozen voor route 1, waardoor de intensiteit op de routes 6,7 en 8 afneemt. Hieruit blijkt dat het verkeer zeer gevoelig op een klein kostenverschil reageert bij k=20.

Het is nu duidelijk dat ook in Vissim de Kirchhoff exponent bepaalt hoe gevoelig de routekeuze reageert op de kosten van een route. Wanneer de factor groter gemaakt wordt, zal er meer verkeer worden toegedeeld op de snelle routes.

### Zwaarbelast netwerk

Hieronder is onderzocht wat de invloed is wanneer er gesimuleerd wordt met een zwaarbelast netwerk (intensiteit=1200), waarin bij de bestemming filevorming optreedt. Doordat het netwerk zwaar belast is, zal het verkeer vertraging oplopen door het overige verkeer. Hierdoor is de lengte niet meer evenredig met de kosten van een route. Bij elke route zijn nu ook de kosten weergegeven in onderstaande tabel.

	Lengte (m)	K=2		K=3,5		K=7		K=14		K=20	
		Cost	I	Cost	I	Cost	I	Cost	I	Cost	I
1	4977	484	0,21	453	0,22	512	0,32	569	0,19	585	0,08
2	7000	853	0,06	718	0,05	760	0,02	735	0,00	715	0,00
3	6965	567	0,18	520	0,14	547	0,21	576	0,15	567	0,17
4	6975	631	0,10	601	0,08	644	0,04	694	0,01	710	0,00*
5	6989	879	0,05	726	0,04	768	0,01	729	0,00	707	0,00
6	5008	744	0,09	590	0,08	628	0,08	596	0,12	576	0,11
7	5008	718	0,11	585	0,12	x	x	595	0,10	576	0,09
8	6984	568	0,19	x	x	550	0,23	576	0,14	568	0,20
9	8987	x	x	867	0,01	x	x	x	x	x	x
10	4991	x	x	585	0,09	620	0,09	594	0,08	575	0,14
11	6967	x	x	518	0,16	x	x	575	0,20	564	0,19

*De kosten en relatieve intensiteiten van de routes weergegeven bij verschillende k-waardes*

*\* Het verschil tussen 0,00 en x is dat de route bij 0,00 wel herkend wordt als route en gebruikt is in eerdere iteraties, maar in de laatste iteratie niet meer gebruikt wordt*

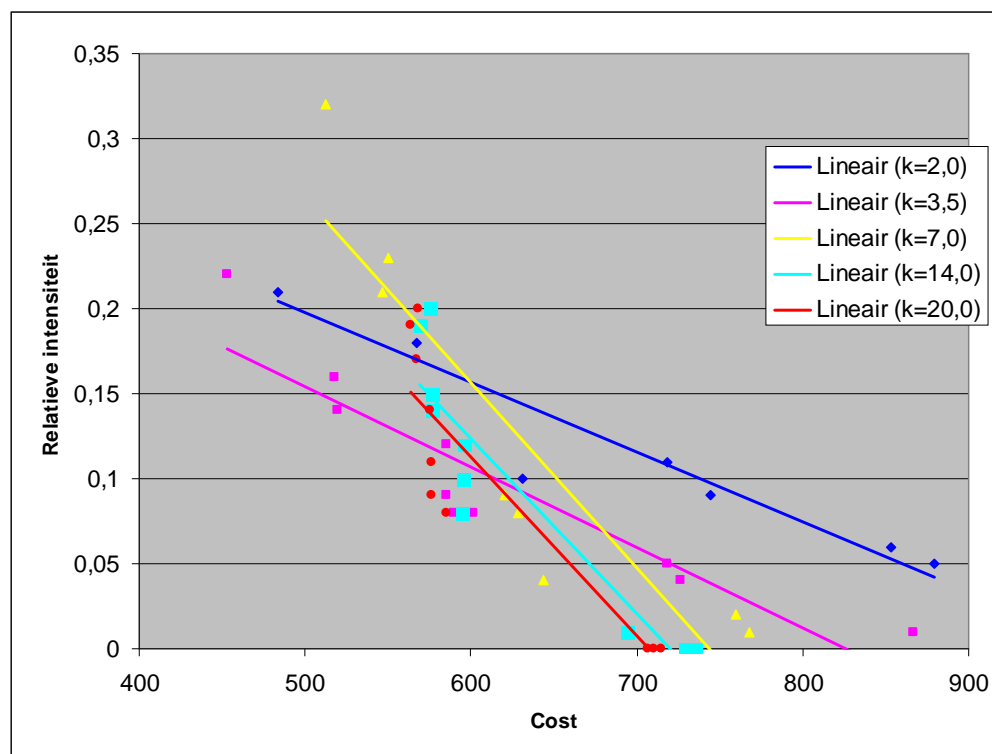
Uit de tabel blijkt dat de kortste route in afstand niet altijd meer de route is met de laagste kosten. Wanneer er naar de kosten en de intensiteit gekeken wordt, blijkt ook in dit geval weer dat een hogere waarde voor de Kirchhoff exponent zorgt voor meer verschil tussen de routes.

Een aspect wat bij de vorige simulaties niet opviel, omdat de kosten daar niet vergeleken werden, maar wat hier wel heel duidelijk naar voren komt, is dat de kosten bij een hogere waarde voor de Kirchhoff exponent dichter bij elkaar komen te liggen. Dit is te verklaren doordat mensen dan veel gevoeliger zijn voor een klein kostenverschil. Wanneer er een kostenverschil tussen de routes ontstaat, zullen ze overstappen op een andere route, waardoor de kosten van de routes naar elkaar toe gaan.

De langere routes vallen af en de kosten van de overige routes convergeren naar een evenwicht. In tegenstelling tot de minder drukke situatie worden hier een aantal langere routes bij hoge  $k$ -waardes nog wel gebruikt.

In de vorige simulaties is een staafdiagram gemaakt om aan te geven dat de intensiteit op de korte routes stijgt wanneer de Kirchhoff exponent wordt verhoogd. Een staafdiagram is in deze situatie niet zinvol, omdat de kosten sterk afhankelijk zijn van het overige verkeer en in zo'n diagram niet gezien kan worden wat de beste route is. Vandaar dat er een andere grafiek (figuur 5) is gemaakt, waarbij de kosten tegen de intensiteiten zijn uitgezet. Voor elke Kirchhoff exponent is een aparte lineaire lijn opgesteld, die het best overeenkomt met de punten die de kosten en de daarbij behorende relatieve intensiteit weergeven.

In deze grafiek is duidelijk te zien dat de lijnen met een hoge  $k$ -waarde veel steiler lopen, wat aangeeft dat bij een klein kostenverschil tussen de routes, de kans sterk veranderd. Dit betekent dat in deze situatie de Kirchhoff exponent ook de gevoeligheid van de routekeuze te bepaalt. Ook is in de grafiek duidelijk te zien dat er bij een hogere  $k$ -waarde meer evenwicht tussen de kosten van de routes tot stand komt, wat uit de tabel ook al was gebleken.



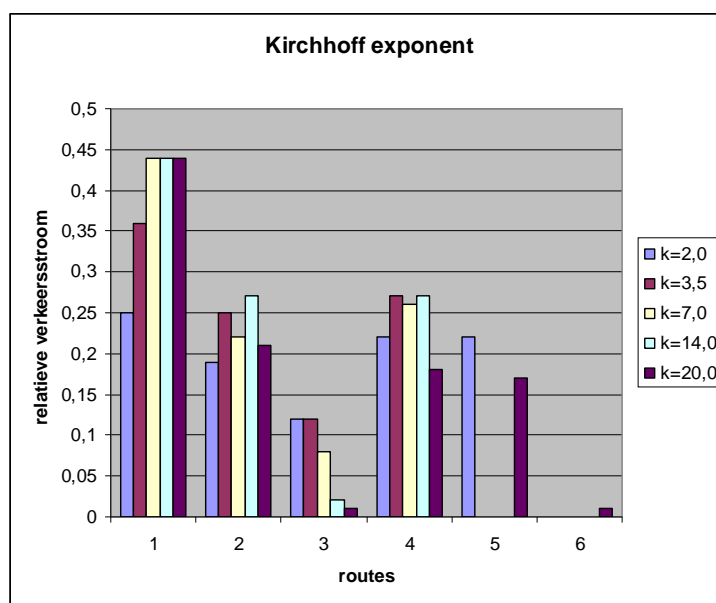
Figuur 5. Lineaire verhouding tussen kosten en intensiteit bij verschillende  $k$ -waardes

### Meerdere herkomsten en bestemmingen

In de volgende simulaties rijden er weer 900 voertuigen van zone 1 naar zone 4. Maar in deze simulatie is er ook verkeer met andere herkomsten en bestemming, dus er zijn meerdere O-D paren. In totaal rijden er nog 1000 extra voertuigen op het netwerk.

route	Lengte route	K=2	k=3,5	K=7	k=14	k=20
1	4977	0,25	0,36	0,44	0,44	0,44
2	4991	0,19	0,25	0,22	0,27	0,21
3	6967	0,12	0,12	0,08	0,02	0,01
4	5008	0,22	0,27	0,26	0,27	0,18
5	5008	0,22	x	x	x	0,17
6	6969	x	x	x	x	0,01

*De relatieve intensiteiten weergegeven bij de verschillende routes en de verschillende k-waardes*



*Figuur 6. Relatieve intensiteit op de routes bij verschillende k-waardes*

In figuur 6 is te zien dat de situatie redelijk overeenkomt met de verwachting bij de routes 1 en 3. De intensiteit van route 1 (korte route) neemt bij stijging van k toe, terwijl de intensiteit van de route 3 (lange route) daalt. Bij de overige routes is de uitkomst echter opvallend. De intensiteiten schommelen erg. Vooral de uitkomst van route 5 is opvallend te noemen, deze wordt alleen gebruikt bij de hoogste en de laagst mogelijke waarde van k (k=2,0 en k=20,0). Dit kan verklaard worden doordat een bepaalde link van deze route eveneens in een route werd gebruikt van het andere verkeer. Wanneer k laag is, dan wordt er toch voor langzamere routes gekozen, vandaar dat deze route bij k=2,0 wel wordt gebruikt. Wanneer k=20,0 wordt er bij het overige verkeer ook vooral voor de snelste route gekozen. Hierdoor wordt deze link 25% minder gebruikt door het overige verkeer, want deze link is geen onderdeel van de snelste route van het andere verkeer. Doordat deze link nu veel minder gebruikt wordt, levert het overige verkeer minder vertraging op, waardoor de kosten van route 5 zullen dalen en er weer voor route 5 gekozen wordt door het verkeer.

#### 4.4 Conclusie

De Kirchhoff exponent werkt als een gevoeligheidsfactor binnen de routekeuze. Deze factor geeft aan hoe gevoelig het verkeer reageert op verschillen in de kosten van routes. Bij een hoge waarde zal het grootste deel van het verkeer de snelste route nemen, dit houdt min of meer in dat men op de hoogte is van de situatie op het netwerk. Bij een lage waarde zal het verkeer zich meer verspreiden over de verschillende routes. Wanneer het netwerk drukker bezet wordt blijft de Kirchhoff exponent de gevoeligheid bepalen, alleen dan is het moeilijker om van tevoren in te schatten hoe de verdeling gaat worden. Dit komt doordat de kosten afhankelijk zijn van de reistijd en deze is weer afhankelijk van de hinder van het overige verkeer. Wanneer de gehele verkeerssituatie goed wordt beschouwd, blijkt dat het model reageert zoals verwacht wordt op de Kirchhoff exponent.

De waarden voor de Kirchhoff exponent van 2,0 en 3,5 zijn in dit testnetwerk niet realistisch. Bij beide waarden kiest ruim 20% van het verkeer, in een situatie waarbij afstand evenredig is met reistijd, voor een route van 7,0 km waarbij er genoeg alternatieven zijn om een route van 5,0 km te kiezen. De overige waarden zijn in dit netwerk wel realistisch.

In dit netwerk heb je een duidelijk onderscheid tussen korte en lange routes. Bij extreem hoge k-waarden wordt er nog wel voor meerdere routes gekozen, omdat er vier ongeveer gelijke routes het kortste zijn. Wanneer er echter meer middellange routes zijn, zijn extreem hoge k-waarden niet realistisch. In dat geval zal het verkeer alleen voor de aller-snelste routes kiezen.

Uit het onderzoek van Goldenbeld et al. (2007) waarin enquêtes gehouden zijn met betrekking tot routekeuze blijkt dat er wel verschillende routes worden gekozen, maar dat de reistijd van de gekozen routes wel enigszins verschilt. Dit heeft te maken met het feit dat men vaak de actuele reistijden niet kent en het feit dat reistijd niet de enige factor is die de routekeuze bepaalt. De reistijden verschillen echter in de meeste gevallen niet heel veel van elkaar,

De beste waarde voor k is erg afhankelijk van het gebied en de situatie en zal per netwerk dus verschillen. Het is het meest realistisch om de waarden van k hoger dan 3,5 te kiezen en lager dan 14,0.

# 5. Algoritme parkeerplaatskeuze

Het parkeerplaatsalgoritme bepaalt de keuze van een parkeerplaats wanneer er meerdere parkeerplaatsen in één zone aanwezig zijn. In dit hoofdstuk wordt eerst beschreven hoe dit algoritme werkt en vervolgens wordt er onderzocht of het algoritme alleen maar invloed heeft wanneer er meerdere parkeerplaatsen in één zone zijn. Bij de simulaties bij Goudappel Coffeng worden er nooit meerdere parkeerplaatsen in één zone geplaatst. De kans bestaat dan namelijk dat het verkeer gaat omrijden.

## 5.1 Beschrijving algoritme parkeerplaatskeuze

De keuze voor een parkeerplaats bestaat eveneens uit een algoritme bestaande uit een nutsfunctie en het Logit model.

$$U = \alpha \cdot C_{park} + \beta \cdot attraction + \gamma \cdot D_{dest} + \delta \cdot D_{veh} + \varepsilon \cdot fs$$

$C_{park}$ = Parkeerkosten

$D_{dest}$ = Afstand tussen de parkeerplaats en het zwaartepunt van de bestemmingszone

$D_{veh}$ = Totale kosten van de beste route van de huidige positie van het voertuig

$fs$ = Aantal vrije parkeerplaatsen

$U$ = Nut van de parkeerplaats

Deze nutsfunctie wordt gebruikt in het Logit model.

$$p(R_j) = \frac{e^{\mu U}}{\sum_i e^{\mu U}}$$

In het Logit model zitten twee variabelen, namelijk de  $\mu$  en de  $U$ .

De  $U$  is de kostenfunctie zoals boven weergegeven. De  $\mu$  is een gevoeligheidsfactor, deze is ook terug te vinden in Vissim en heet "Logit scaling factor".

## 5.2 Invloed parameters in theorie

De kostenfunctie in dit algoritme werkt op dezelfde manier als het algoritme van de routekeuze. Wanneer de parameters verhoogd worden zullen de kosten ook omhoog gaan. Er wordt altijd naar de relatieve kosten gekeken, dus de kosten in verhouding tot de andere routes. Wanneer een parameter verhoogd wordt zal de route die het best scoort op dat onderdeel een verhoogde kans krijgen dat die gekozen wordt. Zo zal bijvoorbeeld de parkeerplaats met de meest vrije plaatsen gunstiger worden om te kiezen wanneer  $\varepsilon$  verhoogd wordt.

De  $\mu$  is een gevoeligheidsfactor en werkt hetzelfde als de Kirchhoff exponent. Wanneer de  $\mu$  verhoogd wordt zal de kans dat de parkeerplaats met de minste kosten gekozen wordt stijgen. De gevoeligheidsfactor  $\mu$  heet in Vissim Logit scaling factor en is alleen van invloed op de parkeerplaatskeuze.

De andere parameter in Vissim die op dit algoritme invloed heeft is de Logit lower limit, dit is een drempelwaarde voor keuze voor parkeerplaatsen. Als het relatieve nut van de parkeerplaatsen beneden deze aangegeven waarde komt zal de parkeerplaats helemaal afgesloten worden, zodat geen enkel voertuig hier meer gebruik van maakt.

Beide parameters hebben invloed wanneer er meerdere parkeerplaatsen binnen één zone aanwezig zijn. Wanneer dit niet het geval is hebben de parameters geen invloed op de situatie.



### 5.3 Data analyse

Volgens de theorie hebben de Logit scaling factor (lsf) en de Logit lower limit (llm) alleen invloed wanneer er meerdere parkeerplaatsen zich in dezelfde zone bevinden. Bij Goudappel Coffeng wordt er echter incidenteel gebruik gemaakt van dit feit en heeft elke zone maar één parkeerplaats. Dit wordt gedaan omdat meerdere parkeerplaatsen ervoor kunnen zorgen dat het verkeer onnodig omrijdt om een andere parkeerplaats te bereiken. Echter bij Goudappel Coffeng is er twijfel gerezen over de invloeden van deze parameters, of ze daadwerkelijk alleen dan invloed hebben op de situatie. Wanneer blijkt dat deze parameters inderdaad alleen maar invloed hebben bij meerdere parkeerplaatsen in één zone, dan wordt deze parameter niet verder onderzocht. Daarom wordt er eerst onderzocht of de parameters invloed hebben wanneer er maar één parkeerplaats in elke zone is.

De invloed van de parameter wordt onderzocht bij verschillende k-waardes, omdat het anders toeval kan zijn dat het bij een bepaalde k-waarde geen invloed heeft. Het onderzoek naar deze parameter wordt gedaan door een simulatie (per k-waarde) tweemaal uit te voeren, een keer met de defaultwaarde van de parameters en een keer met een andere waarde.

#### 5.3.1 Logit Scaling factor

Hieronder zijn twee tabellen weergegeven. De eerste tabel is elke keer met de default waarde (1,5) van de Logit scaling factor (lsf) van en met verschillende k-waardes. De k-waardes zijn in de tweede tabel hetzelfde maar de lsf waardes zijn in elke simulatie willekeurig gekozen.

route	Lengte route	Lsf=1,5 K=2	Lsf=1,5 k=3,5	Lsf=1,5 K=7	Lsf=1,5 k=14	Lsf=1,5 k=20
1	4977	0,19	0,23	0,25	0,29	0,36
2	7000	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00
3	6965	0,08	0,07	0,04	0,01	0,00
4	6975	0,09	0,07	0,02	0,01	0,00
5	6989	0,07	0,05	0,03	0,00	0,00
6	5008	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18
7	4991	0,17	0,20	0,21	0,23	0,21
8	5008	0,15	0,17	0,24	0,26	0,25

*De relatieve intensiteit van de routes weergegeven bij de defaultwaarde van lsf(1,5) bij verschillende k-waardes*

route	Lengte route	Lsf=100 K=2	Lsf=50 k=3,5	Lsf=5,0 K=7	Lsf=80 k=14	Lsf=0,5 k=20
1	4977	0,19	0,23	0,25	0,29	0,36
2	7000	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00
3	6965	0,08	0,07	0,04	0,01	0,00
4	6975	0,09	0,07	0,02	0,01	0,00
5	6989	0,07	0,05	0,03	0,00	0,00
6	5008	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18
7	4991	0,17	0,20	0,21	0,23	0,21
8	5008	0,15	0,17	0,24	0,26	0,25

*De relatieve intensiteit van de routes weergegeven bij verschillende waardes voor lsf bij verschillende k-waardes*

In de tabel is geen enkel verschil te zien wanneer de waardes voor de Logit scaling factor veranderen. De tabel bestaat uit 40 waardes, waardoor de gelijke waardes niet op toeval kunnen berusten. Vervolgens is er nog getest of het mogelijk aan het netwerk zou kunnen liggen. Deze test heeft hetzelfde netwerk gebruikt met als aanpassing een extra parkeerplaats in zone 4. Wanneer hier de lsf wordt aangepast heeft het, zoals verwacht, wel effect. Hieruit kan geconcludeerd worden (omdat de extra parkeerplaats de enige aanpassing was) dat de gelijke waardes niet aan het netwerk liggen en niet op toeval gebaseerd zijn, waardoor duidelijk is dat de Logit scaling factor geen invloed heeft op de routekeuze wanneer er maar 1 parkeerplaats zich in de zone bevindt.

### 5.3.2 Logit lower limit

Om te onderzoeken of de Logit lower limit (lll) ook effect heeft wanneer elke zone maar een parkeerplaats heeft zijn dezelfde stappen uitgevoerd als bij het onderzoek naar de Logit scaling factor. Ook hier zijn de eerste simulaties uitgevoerd met de defaultwaarde (0,001) en verschillende k-waardes, om vervolgens de simulatie opnieuw uit te voeren maar dan met verschillende waardes voor de lll.

route	Lengte route	Lll=0,001 K=2	Lll=0,001 k=3,5	Lll=0,001 K=7	Lll=0,001 k=14	Lll=0,001 k=20
1	4977	0,19	0,23	0,25	0,29	0,36
2	7000	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00
3	6965	0,08	0,07	0,04	0,01	0,00
4	6975	0,09	0,07	0,02	0,01	0,00
5	6989	0,07	0,05	0,03	0,00	0,00
6	5008	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18
7	4991	0,17	0,20	0,21	0,23	0,21
8	5008	0,15	0,17	0,24	0,26	0,25

*De relatieve intensiteit van de routes weergegeven bij de defaultwaarde van lll bij verschillende k-waardes*

route	Lengte route	Lll=1,0 K=2	Lll=0,1 k=3,5	Lll=0,005 K=7	Lll=0,0 k=14	Lll=0,5 k=20
1	4977	0,19	0,23	0,25	0,29	0,36
2	7000	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00
3	6965	0,08	0,07	0,04	0,01	0,00
4	6975	0,09	0,07	0,02	0,01	0,00
5	6989	0,07	0,05	0,03	0,00	0,00
6	5008	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18
7	4991	0,17	0,20	0,21	0,23	0,21
8	5008	0,15	0,17	0,24	0,26	0,25

*De relatieve intensiteit van de routes weergegeven bij verschillende waardes voor lll bij verschillende k-waardes*

In deze tabellen komen eveneens alle waardes overeen. Net als bij de Logit scaling factor kan uitgesloten worden dat er sprake is van toeval, omdat het ook hier om 40 waardes gaat. Bij deze parameter is wederom onderzocht of het niet aan het netwerk zou kunnen liggen, dit was niet het geval. De conclusie luidt hetzelfde als bij de Logit scaling factor, namelijk dat de Logit lower limit alleen invloed heeft bij een simulatie waarin meerdere parkeerplaatsen in één zone verwerkt zitten.

### 5.4 Conclusie

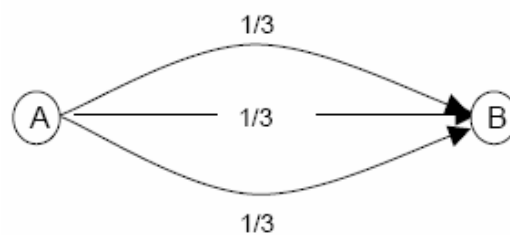
De Logit scaling factor is een gevoeligheidsfactor en de Logit lower limit is een grenswaarde. Beiden zijn echter alleen van toepassing wanneer er meerdere parkeerplaatsen zich in één zone bevinden. Het bedrijf Goudappel Coffeng maakt geen gebruik van de functie om meerdere parkeerplaatsen in één zone te plaatsen, zodat deze waardes geen invloed hebben op de simulaties die het bedrijf uitvoert.

# 6. Correction overlapping paths

Correction of overlapping paths is een functie die rekening houdt met links die in meerdere routes voorkomen. Wanneer deze functie is uitgeschakeld kan er overbelasting op desbetreffende link optreden. Eerst is de theoretische werking van de parameter beschreven en vervolgens is er een data-analyse uitgevoerd. Hiervoor is een nieuw testnetwerk gebouwd.

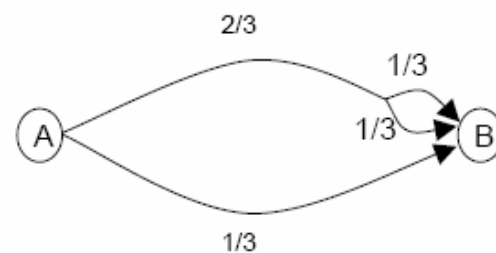
## 6.1 Theorie Correction of overlapping paths

In de afbeeldingen is het probleem van de “overlapping paths” weergegeven. Het gaat hier om gelijke routes met gelijke kosten. In figuur 7 wordt het verkeer gelijk over de routes verdeeld en is er geen probleem. Wanneer de routes, zoals in figuur 8, een stuk overlappen dan kan de verdeling van het verkeer problemen opleveren.



Figuur 7. Netwerk zonder overlap

De oplossing die Vissim hiervoor aandraagt is de functie correction of overlapping paths die is gebaseerd op de “commonality factor” en het zogenaamde C-logit model (Cascetta, Nuzzolo, Russo & Vitetta, 1996). De commonality factor geeft weer hoeveel van de route is gedeeld met andere routes. Komt er veel overeen dan krijgt de route een hoge commonality factor. Deze is geïmplementeerd in een combinatie van een C-logit model in combinatie met het Kirchhoff model. Deze berekend de kans dat een route gekozen wordt en deze kans zal afnemen wanneer CF hoger wordt.



Figuur 8. Netwerk met overlap

De functie is in Vissim alleen aan of uit te zetten en het algoritme erachter is verder niet te beïnvloeden.

$$CF_i = \gamma_0 \ln \sum_{R_i \in S_n} \left( \frac{d_{ij}}{\sqrt{d_i \cdot d_j}} \right)^{\gamma_1}$$

- $\gamma_0, \gamma_1$ : positieve variabelen
- $d_{ij}$ : lengte van de overlapping
- $d$ : lengte van route
- CF: Commonality factor

$$P_{ij} = \frac{e^{kU_{iq} - \delta \cdot CF_i}}{\sum_{j \in CF} e^{kU_{jq} - \delta \cdot CF_j}}$$

- K: Kirchhoff exponent
- U: Kostenfunctie
- $\delta$ : gevoeligheid qua overlap

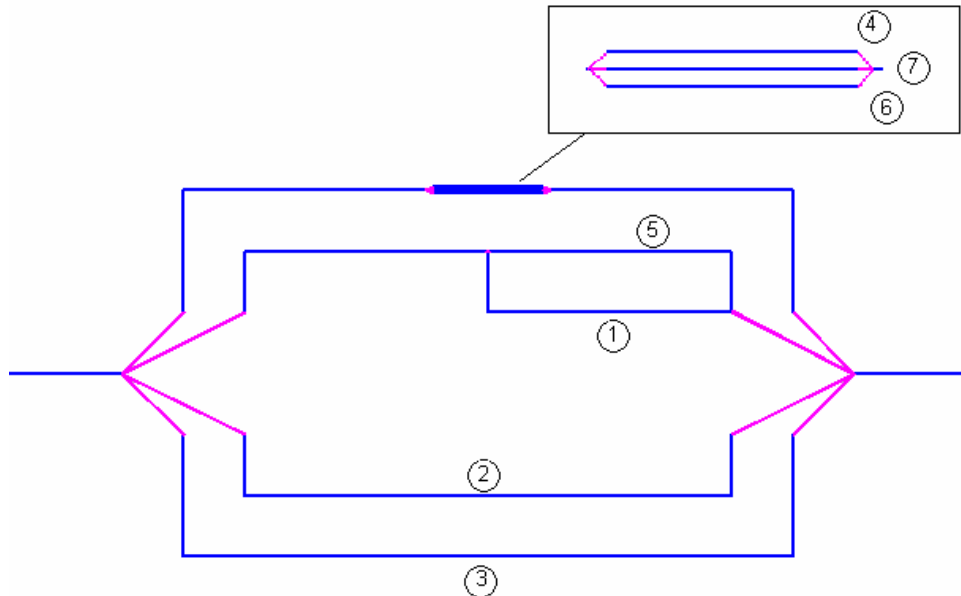
Standaard C-logit model

## 6.2 Data analyse

Om deze functie te onderzoeken is een ander netwerk (figuur 9) gebouwd. Dit netwerk is beter geschikt om de effecten van deze parameter te onderzoeken omdat in dit netwerk een aantal routes gelijk zijn en waarbij er duidelijk te zien is wat de overlap is.

De routes 3,4,6,7 zijn nagenoeg van dezelfde lengte. Het verschil is dat routes 4,6,7 grote overlap met elkaar hebben. Van de 9,7 kilometer is er 8,7 kilometer waar alle 3 de routes gebruik van maken. Route 3 heeft helemaal geen overlap.

De routes 1,2,5 zijn ook ongeveer even lang. Route 2 heeft geen overlap en de eerste helft van de routes 1 en 5 zijn hetzelfde.



Figuur 9. Testnetwerk Correction of overlapping paths

### Gemiddelde intensiteit

De invloed van deze functie wordt onderzocht door te vergelijken wat de verschillen zijn in de situaties met en zonder de werking van deze parameter. Eveneens wordt er gekeken of de invloed van deze parameter anders is bij verschillende intensiteiten. Allereerst wordt de intensiteit gesteld op 500. Het verkeer rijdt goed door, maar de reistijd is wel licht afhankelijk van het overige verkeer

Route	Zonder	Met
1	0,20	0,22
2	0,18	0,21
3	0,12	0,14
4	0,10	0,07
5	0,16	0,19
6	0,09	0,07
7	0,14	0,11

De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en Zonder de werking van de parameter bij een intensiteit van 500

De waarden voor route 4,6,7 zijn allemaal gedaald nadat de parameter is gebruikt. Dit is een bevestiging dat de parameter rekening houdt met overlap en aan de routes met grote overlap minder verkeer toekent. Echter de intensiteiten op de routes 1 en 5 stijgen zelfs, terwijl deze voor de helft overlappen. De kleine stijging is toe te schrijven aan het verkeer dat afgestapt is van de routes 4,6,7 en die kiezen voor een korte route, waaronder 1 en 5. Toch zou verwacht worden dat route 2 dan meer zou moeten stijgen in verhouding tot 1 en 5. Hier gedraagt de parameter zich dus niet helemaal zoals verwacht zou worden.

### Lage intensiteit

Vervolgens wordt er op dezelfde wijze gekeken naar de invloed van de parameter bij een andere intensiteit. De intensiteit wordt eerst drastisch verlaagd naar 100. Er vindt een vrije doorstroming plaats. Hier lopen de voertuigen geen vertraging op door het overige verkeer.

Route	Lengte (m)	Overlap(%)	Zonder	Met
1	8525	0,50	0,19	0,22
2	8536	0,00	0,17	0,14
3	9714	0,00	0,03	0,19
4	9720	0,90	0,17	0,00
5	8531	0,50	0,17	0,28
6	9719	0,90	0,17	0,08
7	9714	0,90	0,11	0,08

*De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij een intensiteit van 100*

Ook in dit geval nemen de routes 4,6,7 af, maar ditmaal nog in grotere mate dan in voorgaande situatie. Route 3 neemt veel van dit verkeer over. Onverklaarbaar is de afname van route 2. Dit is een route zonder overlap maar de intensiteit daalt toch.

### Hoge intensiteit

Er wordt ook nog gekeken naar een situatie met een hoge intensiteit. De intensiteit is 1200 en dat komt overeen met, op de drukste wegen. Er treedt filevorming op en het verkeer ondervindt veel vertraging door het overige verkeer.

Route	Lengte (m)	Overlap(%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,21	0,22
2	8536	0 %	0,21	0,23
3	9714	0 %	0,21	0,23
4	9720	90 %	0,05	0,05
5	8531	50 %	0,17	0,12
6	9719	90 %	0,05	0,05
7	9714	90 %	0,09	0,09

*De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij een intensiteit van 1200*

Er is duidelijk te zien dat alle routes behalve 5, ongeveer gelijk blijven. Wanneer de parameter gebruikt wordt hebben de routes 4,6,7 exact nog dezelfde intensiteit als wanneer de parameter niet gebruikt wordt. De routes 4,6,7 hebben veel overlap en er zou verwacht worden dat de parameter wel invloed zou hebben.

Maar dat dit niet zo is, is als volgt te verklaren. Doordat de routes zoveel overlap hebben, zullen de wegen van deze routes die overlappen enorm veel verkeer moeten afwikkelen, namelijk van 3 verschillende routes. De reistijd voor deze routes zal dus stijgen en evenredig met dat ook de kosten. Hierdoor zal het verkeer reeds zonder rekening te houden met overlap een andere route kiezen waardoor het verkeer zelf al herverdeeld.

Het feit dat route 5 afneemt is te verklaren doordat route 1 en 5 overlap hebben. In deze situatie is de overlap kleiner en kan de overlap het verkeer nog afwikkelen, waardoor Vissim het verkeer nog niet optimaal heeft herverdeeld, rekening houdend met de overlap. Deze kleine verbetering wordt nog geleverd door de parameter.

### Alleen korte routes

In veel gevallen neemt de intensiteit op de routes 1 en 5 toe, terwijl dit niet te verwachten is. Dit kan te verklaren zijn doordat de overlap maar de helft van de route is en de parameter hier nog niet op reageert, maar dit kan ook te verklaren zijn doordat de routes 4,6,7 steeds afnemen en dat dit verkeer kiest voor een kortere route, en dus voor bijvoorbeeld 1 of 5. Dit laatste wordt nu onderzocht door de langere routes, 3,4,6,7 eruit te gooien.

Route	Lengte (m)	Overlap (%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,40	0,40
2	8536	0 %	0,29	0,31
5	8531	50 %	0,31	0,29

*De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij een intensiteit van 500*

De parameter zorgt wel voor het te verwachten effect, namelijk dat de sommatie van de intensiteit van de routes 1 en 5 afneemt. De mate waarin het veranderd is ver beneden verwachting.

### 6.3 Conclusie

Een nadeel aan deze parameter is dat deze alleen aan of uit gezet kan worden. De parameters in het C-logit model kunnen niet veranderd worden. Zo kan er niet bepaald worden hoe gevoelig het model reageert op overlap. Bij de standaardinstellingen van het algoritme reageert het model erg ongevoelig op overlap. Er moet veel overlap tussen de routes zijn om een duidelijk verschil in de situatie te zien.

Wanneer de intensiteit redelijk hoog is, zal Vissim uit zichzelf al rekening houden met overlap omdat dit extra reistijd veroorzaakt. Hierdoor krijgen de routes hogere kosten en herverdeelt Vissim het verkeer al op basis van de kostenfunctie in plaats van deze parameter.

Correction of overlapping paths is nauwelijks te gebruiken bij kleine overlap, omdat het model erg ongevoelig hierop reageert. De situatie waarin de parameter wel goed gebruikt kan worden is wanneer er grote overlap tussen de routes is, waardoor die routes eigenlijk samen als 1 route gezien moet worden.

Wanneer er geen overlap is, heeft de parameter geen invloed op de verkeerstoedeling. Wanneer er overlap is, is de werking van de parameter nuttig, ook al is de invloed slechts gering. De aanbeveling is dus om de parameter altijd te gebruiken.



# 7. Avoid long detours

In dit hoofdstuk is de werking van Avoid long detours beschreven. Eerst is weer kort de theorie aangehaald om vervolgens een data-analyse uit te voeren. In deze simulaties wordt weer het originele testnetwerk gebruikt.

## 7.1 Theorie Avoid long detours

De functie Avoid long detours is ervoor om te voorkomen dat voertuigen overduidelijke omwegen maken. Een omweg is in Vissim gedefinieerd als een opeenvolging van links die vervangen kan worden door andere links, waardoor de route korter wordt. Een omweg gaat dus niet over de hele route maar slechts over een aantal links die vervangen kan worden. Een kortere route in deze functie is gebaseerd op alleen de afstand. Bij welk verschil het een detour wordt genoemd, kan bepaald worden met de variabele in Vissim. Wanneer hier 1.30 ingevuld wordt, betekent dat een opeenvolging van links een detour is, en afgesloten wordt, als deze 30% langer is dan zijn alternatief.

## 7.2 Data analyse

De simulatie is uitgevoerd met een waarde 2,0 voor de Kirchhoff exponent. Dit is gedaan omdat het verkeer dan eerder bereid is langere routes te kiezen, waardoor het onderzoek naar de parameter Avoid long detours beter uit te voeren is.

Hieronder zijn de routes weergegeven die gebruikt worden in de situatie zonder de parameter aan te zetten. Er zijn 4 korte routes en 4 langere routes. Bij de langere routes is aangegeven welk deel ze omrijden en tussen haakjes is aangegeven welke route het is als de omweg vervangen wordt door de kortste route. Bijv. Als het verkeer op route 2 direct van knoop 2 naar knoop 6 zou rijden, zou het dezelfde route zijn als route 7.

- 1: 4977m
- 2: 7000m; Van knoop 2 naar 6 in 3,0 km terwijl dit ook in 1,0 km kan (route 7).
- 3: 6965m; Van knoop 7 naar 15 in 4,0 km terwijl dit ook in 2,0 km kan (route 8).
- 4: 6975m; Van knoop 6 naar 14 in 4,0 km terwijl dit ook in 2,0 km kan (route 1)
- 5: 6989m; Van knoop 3 naar 11 in 4,0 km terwijl dit ook in 2,0 km kan (route 8).
- 6: 5008m
- 7: 5008m
- 8: 4991m

Voor Avoid long detours wordt een aantal waardes gekozen, de verwachte uitkomst bij deze waardes is hieronder beschreven:

- 1,00: Er wordt alleen gebruik gemaakt van de aller-kortste route, dit is route 1.
- 1,50: Er wordt gebruik gemaakt van de 4 korte routes, 1,6,7 & 8
- 2,50: De omwegen van factor 2 worden ook gebruikt, dit zijn de routes 3,4 & 5
- 3,50: Alle 8 routes worden gebruikt.

Beschrijving werkelijke uitkomst:

- 1,00: Alleen route 1 wordt gebruikt
- 1,50: Routes 1,2 en 3 worden gebruikt
- 2,50: Route 1,3 4, 5, 6, 7 & 8 worden gebruikt, alleen route 2 niet
- 3,50: Alle routes worden gebruikt

De uitkomst bij 1,00, bij 2,50 en bij 3,50 is precies zoals verwacht. Opvallend is de uitkomst bij 1,50. Er wordt verwacht dat de 4 korte routes (1,6,7 & 8) gebruikt gaan worden. Maar er wordt maar 1 korte route en 2 langere routes gebruikt. De oorzaak hiervan is gevonden in het feit dat Vissim niet alle korte routes in deze simulatie vindt. Hierdoor worden deze routes niet gebruikt en kunnen de langere routes dus niet als omweg beschouwd worden, omdat er geen alternatief is. Een verklaring voor het feit dat Vissim de routes niet vindt, is niet gevonden.

### 7.3 Conclusie

De parameter Avoid long detours werkt goed en de werking is ook duidelijk. Het is echter van groot belang dat Vissim alle routes vindt. Dit kan gedaan worden door eerst een aantal iteraties te doen zonder dat de parameter gebruikt wordt. Op deze manier worden alle routes gevonden die gebruikt zouden worden in de nulsituatie. Vervolgens kan de parameter ingeschakeld worden en worden de omwegen niet meer gebruikt. Het verkeer van de omwegen wordt herverdeeld over alle mogelijke routes.

Uit een onderzoek (Vaughan, 1987) blijkt dat automobilisten nooit routes kiezen die 60% langer zijn dan de hemelsbrede afstand. In Vissim gaat het niet om de verhouding tussen de route en de hemelsbrede afstand maar om de verhouding tussen de route en de kortste route. Om deze verhouding te bepalen moet er eerst een verband gezocht worden tussen de kortste route en de hemelsbrede afstand. Dit is door middel van statistiek (bijlage A) gedaan. Hieruit blijkt dat de verhouding tussen de kortste route en de hemelsbrede afstand 1,1365 is.

De verhouding tussen de maximale omweg en de hemelsbrede afstand is bekend (1,60) en ook de relatie tussen de kortste route en de hemelsbrede afstand is bekend (1,1365). Op basis van deze gegevens blijkt dat de verhouding tussen de omwegen die de automobilisten maximaal zullen rijden en de kortste route  $1,60/1,1365=1,41$  is. Omdat de waardes om de regressielijn licht schommelen, zal de waarde voor de parameter iets ruimer genomen worden. De beste waarde voor de parameter Avoid long detours is 1,45. Echter afhankelijk van het netwerk kan het nodig zijn om deze waarde iets te veranderen.

# 8. Combinatie parameters

Hier wordt onderzocht wat de invloed is wanneer de overige parameters gecombineerd worden met verschillende waarden voor de Kirchhoff exponent. Omdat alle parameters de routekeuze beïnvloeden is het mogelijk dat de parameters ook elkaar beïnvloeden. Het is dus belangrijk voor het inzicht om de combinatie van de parameters te onderzoeken.

## 8.1 Correction of overlapping paths & Kirchhoff exponent

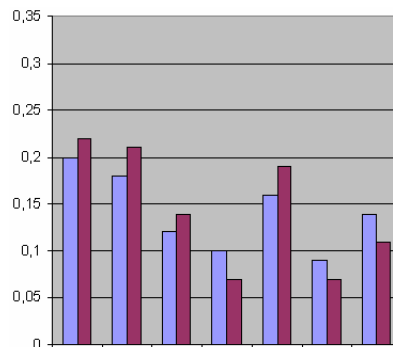
Nu duidelijk is wat de parameters afzonderlijk voor invloed op de routekeuze hebben, is het natuurlijk ook van belang om de combinatie van beide parameters te onderzoeken. In paragraaf 7.1 is de werking van de parameter correction of overlapping paths duidelijk geworden. Deze parameter zorgt ervoor dat de routekeuze gecorrigeerd wordt, wanneer routes veel overlap met elkaar hebben. Wanneer de parameter gebruikt wordt, komt er een toevoeging in het algoritme van de routekeuze en wordt het zogenaamde C-Logit model gebruikt. In dit model zitten beide parameters verwerkt. In de data-analyse wordt onderzocht wat de invloed op elkaar en op de routekeuze is.

### 8.1.1 Data analyse

De analyse is uitgevoerd met een intensiteit van 500 in het testnetwerk van correction of overlapping paths. De simulatie is uitgevoerd met de k-waarden van 2,0; 3,5; 7,0; 14,0; 20,0. Deze simulatie is gedaan zowel met als zonder het gebruik van de parameter correction of overlapping paths. In figuur 10 is de grafiek van k=3,5 weergegeven. In bijlage B is de rest van de tabellen en grafieken te zien waarin de relatieve intensiteit van de routes is weergegeven.

Route	Lengte (m)	Overlap(%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,20	0,22
2	8536	0 %	0,18	0,21
3	9714	0 %	0,12	0,14
4	9720	90 %	0,10	0,07
5	8531	50 %	0,16	0,19
6	9719	90 %	0,09	0,07
7	9714	90 %	0,14	0,11

De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij k=3,5



Figuur 10. Intensiteiten bij k=3,5

In de data komt heel duidelijk naar voren dat de functie van de overlapping paths minder verandering in de situatie teweegbrengt wanneer de k-waarde hoger wordt. Uit de formule blijkt eveneens dat de overlap, dus  $\delta \cdot CF$ , minder invloed heeft wanneer k vergroot wordt. Hierbij moet wel de notie genomen worden dat de  $\delta$  constant zou zijn, een mogelijkheid zal ook kunnen zijn dat de  $\delta$  recht evenredig met de k mee verandert.

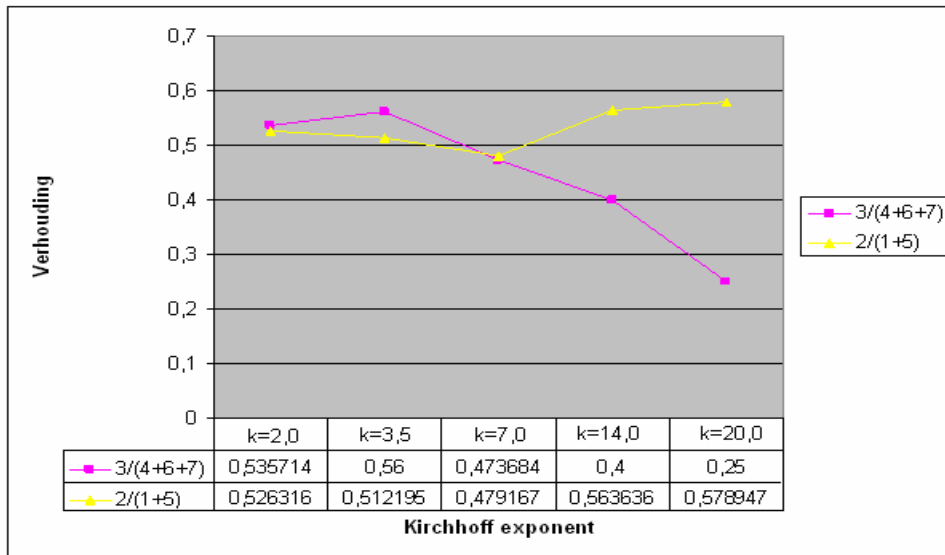
Wanneer de  $\delta$  niet mee verandert houdt dit in dat de functie van overlapping paths minder invloed heeft bij hogere waarden voor de Kirchhoff exponent. Wanneer de  $\delta$  wel mee verandert, betekent dit dat de Commonality factor niet minder invloed heeft maar dat de verminderde invloed komt doordat Vissim het verkeer zelf al herverdeelt door middel van de iteraties, doordat de overlap meer verkeer met zich mee brengt en dus hogere kosten veroorzaakt.

Welke van de twee de oorzaak is, is lastig te bepalen. Vandaar dat eerst nog even kort de werking van de parameter wordt aangehaald. De functie van overlapping paths moet ervoor zorgen dat een deel van het verkeer van de routes die overlappen, verplaatst wordt naar een vergelijkbare route die niet overlapt. De routes 3,4,6,7 zijn vergelijkbaar waarbij de routes 4,6,7 voor de helft

overlappen. De parameter correction of overlapping paths zal ervoor moeten zorgen dat een deel van het verkeer van 4,6,7 zich verplaatst naar route 3.

Hieruit blijkt dat de parameter de verhouding tussen de routes veranderd. Door middel van de verhouding wordt nu onderzocht of de Kirchhoff exponent ervoor zorgt dat de functie van “overlapping paths” minder invloed heeft. De verhouding tussen de vergelijkbare routes moet bij alle waarden voor de Kirchhoff exponent ongeveer gelijk zijn, omdat de parameter de optimale situatie probeert te bereiken, rekening houdend met de overlap. De overlap tussen de routes is constant, dus zal de verhouding tussen de intensiteiten op de vergelijkbare routes dit ook moeten zijn.

De verhoudingen die onderzocht worden zijn die tussen 3 en 4+6+7 en die tussen 2 en 1+5.



Figuur 11. Verhouding tussen vergelijkbare routes

Opvallend in figuur 11 is dat de roze lijn een dalende trend laat zien en de gele lijn een licht stijgende trend.

De roze lijn bevat de verhouding tussen de lange routes. Dat deze lijn een dalende trend laat zien kan te verklaren zien doordat de  $\delta$  niet mee verandert en de CF dus minder invloed heeft bij een hogere waarde voor de Kirchhoff exponent. Het zou echter ook te verklaren kunnen zijn door het feit dat de CF niet gebaseerd is op overlappende afstand, maar op de kosten van de overlap. De langere routes hebben bij een hogere k-waarde een lagere intensiteit. Bij een lagere intensiteit zijn de kosten en dus de CF lager. Beide verklaringen zouden mogelijk kunnen zijn.

Uit een controleanalyse blijkt dat  $\delta$  mee verandert met de Kirchhoff exponent. Dit is gecontroleerd door alleen de routes 3,4,6,7 te beschouwen, welke even lang zijn. Hierdoor is het probleem getackeld dat het verkeer van langere routes kiest voor de kortere routes wanneer de Kirchhoff exponent verhoogd wordt. Uit de analyse bleek dat bij alle waarden voor k de verdeling exact gelijk was. Als de  $\delta$  niet mee zou veranderen, zou  $\delta \cdot CF$  minder invloed krijgen. Dit is niet het geval, dus kan de conclusie getrokken worden dat  $\delta$  recht evenredig met de waarde van de Kirchhoff exponent mee verandert.

### 8.1.2 Conclusie

Correction of overlapping paths is niet (direct) beïnvloedbaar door de Kirchhoff exponent. De  $\delta$  verandert mee met de Kirchhoff exponent, waardoor de relatieve invloed gelijk blijft. De correction of overlapping path is wel afhankelijk van de intensiteit op de wegen. Hieruit blijkt dat de d in het C-Logit model dus niet de afstand is, maar dat het hier gaat om de kosten. Wanneer de intensiteit laag is, en de noodzaak kleiner is om het verkeer her te verdelen op basis van overlap, zal de functie hier dus rekening mee houden. De functie is wel erg ongevoelig afgesteld, waardoor het effect van deze parameter in de meeste simulaties beperkt zal zijn, vooral bij een hoge waarde voor de Kirchhoff exponent.

## 8.2. Avoid long detours & Kirchhoff exponent

De werking van beide parameters is eerder in dit rapport al beschouwd. De Kirchhoff exponent bepaalt de verdeling van het verkeer over de routes. Avoid long detours heeft geen invloed op de verdeling, maar alleen op de routes die gebruikt kunnen worden. Deze sluit namelijk omwegen af. In deze paragraaf wordt er naar de combinatie van beiden gekeken, om te analyseren wat de invloed daarvan is.

### 8.2.1 Data analyse

Uit de simulaties blijkt dat de combinatie van de parameters als volgt werkt. Eerst worden de “detours” afgesloten door de parameter Avoid long detours. Vervolgens wordt het verkeer op basis van het Kirchhoff model verdeeld over de overgebleven routes.

De routes die afgesloten worden door de parameter Avoid long detours zijn bij alle  $k$ -waardes hetzelfde. Het verschil tussen de uitkomsten is de verdeling van de routes. Bij een hogere  $k$ -waarde wordt het verkeer vooral op de korte routes geplaatst. Bij  $k=20$  zie je zelfs dat de langere routes wel open zijn bij Avoid long detours=3,5 maar dat deze helemaal niet gebruikt worden in de verdeling.

### 8.2.2 Conclusie

De set van mogelijke routes wordt eerst bepaald door de parameter Avoid long detours. Vervolgens wordt aan de hand van het algoritme de verdeling van het verkeer op deze routes bepaald. Op deze verdeling heeft de Kirchhoff exponent dus invloed. De parameters hebben geen directe invloed op elkaar en werken hetzelfde als dat ze apart van elkaar doen. De functie Avoid long detours heeft weinig invloed bij een hoge waarde voor de Kirchhoff exponent, omdat het verkeer bij een hoge  $k$ -waarde niet meer toegedeeld wordt aan de langere routes. Het is echter ook niet erg om deze parameter wel te gebruiken.

## 9. Conclusie

In dit rapport zijn de parameters allemaal afzonderlijk beschouwd. Dit is voortgekomen uit het onderzoeksmodel Cross. Een belangrijke schakel in dit model is de controle of de hoofdvraag beantwoord wordt door de combinatie van de antwoorden op de deelvragen. Dit laatste is gecontroleerd in het hoofdstuk over de combinatie van de parameters. Nu duidelijk is wat de invloeden van de parameters zijn kan er een conclusie getrokken worden.

De parameters werken in grote lijnen zoals ze volgens de theorie zouden moeten doen. Als er naar de uitkomsten gekeken wordt, is de invloed van de parameters vaak duidelijk zichtbaar en herkenbaar. Er zijn echter ook nog een aantal vraagtekens overgebleven, deze zijn bij de aanbevelingen genoemd voor een mogelijk vervolgonderzoek.

### **Kirchhoff exponent moet ingesteld worden tussen 3,5 en 14**

De Kirchhoff exponent bepaalt de gevoeligheid in de routekeuze. Wordt hiervoor een lage waarde gekozen, dan zullen de voertuigen niet snel reageren op een klein kostenverschil en de verschillen tussen de intensiteiten van de routes zullen minder groot zijn dan bij een hoge k-waarde. De beste waarde voor k is afhankelijk van het netwerk en de intensiteit, maar het meest reële lijkt het om de waarde tussen 3,5 en 14 te kiezen.

### **De parameters Logit lower limit en Logit scaling factor hebben geen invloed op de simulaties**

Deze parameters hebben alleen invloed wanneer er meerdere parkeerplaatsen per zone aanwezig zijn. Goudappel Coffeng simuleert altijd met één parkeerplaats per zone, vandaar dat deze parameter niet van invloed is op de simulaties die zij uitvoeren.

### **Correction of overlapping paths gebruiken, maar de invloed is gering**

De functie correction of overlapping paths werkt alleen bij zeer grote overlap en wanneer het netwerk niet zwaar belast is. De invloed van deze parameter is erg gering. Wanneer het noodzakelijk is om te herverdelen, bij zware belasting, herverdeelt Vissim zelf het verkeer al. Dit gebeurt doordat er vertraging op de link optreedt en dit heeft invloed op de nieuwe toedeling van het verkeer. Toch kan deze parameter het best altijd gebruikt worden, omdat de parameter verder geen negatieve bijwerkingen heeft dus hij alleen maar zinvol kan zijn, ook al is de invloed slechts gering.

### **Avoid long detours moet ingesteld worden op 1,45 en altijd gebruikt worden**

De functie Avoid long detours is een belangrijke functie binnen routekeuze. Deze parameter zorgt ervoor dat het verkeer geen grote omwegen maakt. Hierdoor kunnen de routes die niet realistisch zijn uit de route-set verwijderd worden. Een realistische waarde voor Avoid long detours, gebaseerd op Vaughan (1987), is 1,45. Bij een hoge waarde voor de Kirchhoff exponent is het gebruik van deze parameter niet nuttig, maar het schaadt ook niet. Vandaar dat deze parameter altijd gebruikt moet worden. De waarde van de parameter kan in sommige gevallen iets anders uitvallen, omdat het wel afhankelijk is van het netwerk.

### **De parameters beïnvloeden elkaar niet direct**

De parameters hebben geen directe invloed op elkaars werking. De combinatie tussen Kirchhoff exponent en Avoid long detours werkt als volgt. Avoid long detours sluit de omwegen af en beïnvloedt dus de routeset, waarna de Kirchhoff exponent het verkeer verdeelt over de overgebleven routes. Uit de combinatie van Correction of overlapping paths en de Kirchhoff exponent blijkt dat de invloed van de CF mee verandert met de waarde van de Kirchhoff exponent. Hierdoor heeft het bij elke waarde van de Kirchhoff exponent evenveel invloed. Uit de analyse blijkt eveneens dat Correction of overlapping paths rekening houdt met de kosten van de overlap in plaats van de afstand van de overlap. Op de intensiteit heeft de Kirchhoff exponent wel invloed, dus de Kirchhoff exponent heeft indirecte invloed op Correction of overlapping paths.

# Aanbevelingen

Dit rapport geeft een beeld van de werking en de invloed van de parameters met betrekking tot routekeuze in Vissim. Er zijn echter nog een aantal andere zaken met betrekking tot routekeuze die onderzocht dienen te worden voor een volledig beeld. De volgende punten zouden een mooi onderwerp zijn voor een vervolgonderzoek.

- Gecomplieerder testnetwerk. Met dit vervolgonderzoek is al een begin gemaakt. Het begin van dit vervolgonderzoek is te vinden in bijlage C
- Aantal iteraties. Er moeten genoeg iteraties gedaan worden om een evenwicht te krijgen. In dit onderzoek is er wel rekening gehouden met het feit dat er genoeg iteraties gedaan moesten worden, maar er kan nog onderzocht worden of de parameters ook invloed hebben op de snelheid waarbij het evenwicht bereikt wordt.
- Kirchhoff exponent. De werking van deze parameter is in dit rapport duidelijk geworden, maar het onderzoek is te beperkt geweest om een goede aanbeveling te kunnen doen. Hiervoor moeten verschillende netwerken en meer waardes voor de parameter worden gebruikt.
- Overige directe parameters. De parameters die directe invloed hebben maar niet in dit rapport beschreven staan kunnen nog verder onderzocht worden. Dit zijn de random seed, de exponential smoothing factor, reject paths en de limit of paths.
- Knopen. De invloed van knopen om elk knooppunt kan invloed hebben op de routekeuze. Wanneer in mijn situatie de knopen verwijderd werden, liep de simulatie vast waardoor dit niet verder onderzocht kon worden.

# Woordenlijst

**Microscopisch verkeersmodel:** Een verkeersmodel dat individuele voertuigbewegingen simuleert.

**Dynamisch verkeersmodel:** Een verkeersmodel dat rekening houdt met de verkeerssituatie en hierop de toedeling aanpast.

**Algoritme:** Een reeks instructies dat het model gebruikt om een verkeerssituatie te bepalen.

**Defaultwaarde:** De waarde die standaard in het model staat.

**Node:** Een knooppunt in het netwerk.

**Edge:** Het stuk van de weg tussen twee nodes

**Link:** Een aaneengesloten deel van de rijweg in een bepaalde richting met een vast aantal rijstroken

**Connector:** Een verbinding tussen twee links

**Vri:** Verkeersregelininstallatie

**Tdi:** Toeritdoseerinstallatie



# Literatuurlijst

Cross, N. (2007). Engineering Design Methods. Chichester: John, Wiley & Sons.

Park, B., Won, I. & Yun, I. (2006). Microscopic Simulation Model Calibration and Validation.

Goldenbeld, Ch., Drolenga, J. & Smits, A. (2007). Routekeuze van automobilisten.

Vaughan, R. (1987). Urban spatial traffic patterns. Londen: Pion Limited.

Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F., & Vitetta, A. (1996). A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems. Lyon: Elsevier.

## **Overige gebruikte literatuur**

PTV Vision (2007). Vissim 5.0 user manual. Karlsruhe: PTV AG

Poorterman, R., Meijer, M. & Sjoerdsma, R. (2007). Het hoe en waarom van een (microscopisch) verkeersmodel

Bovy, P.H.L., Hoogendoorn, S.P., Luding, S., Schreckenberg, M. & Wolf, D.E. (2003). Traffic and granular flow. Berlijn: Springer-Verlag

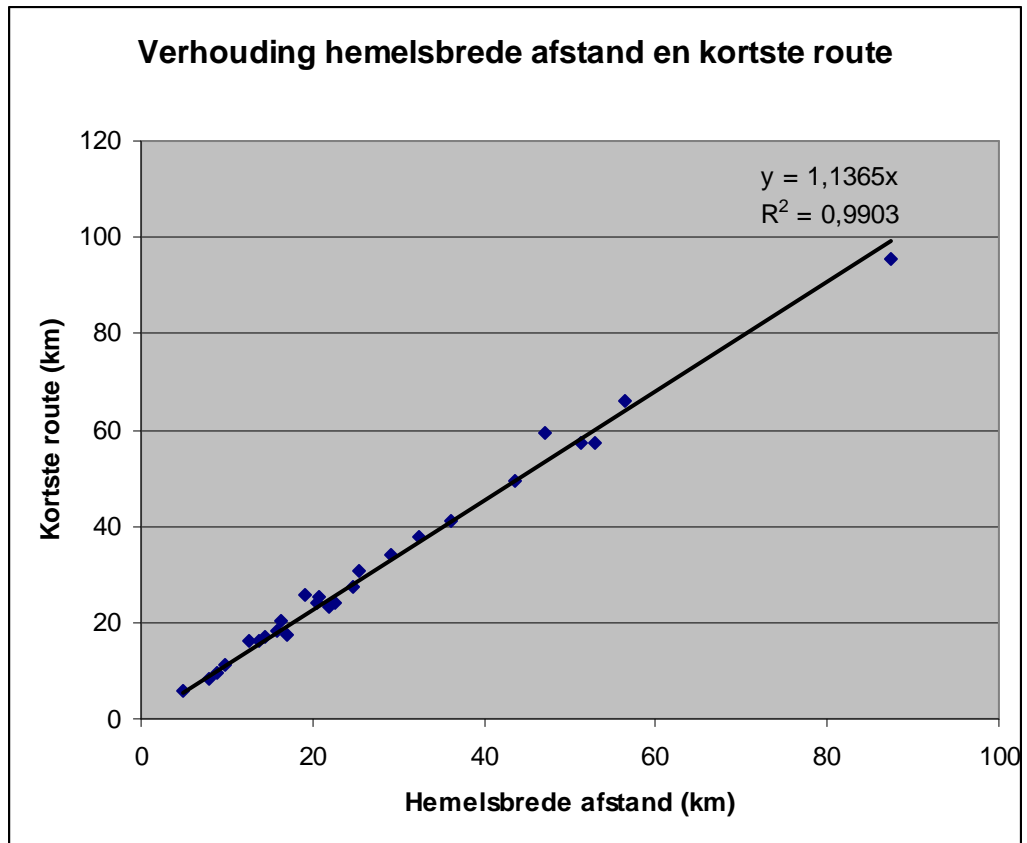
# Bijlagen

Bijlage A: Verhouding kortste route/hemelsbrede afstand.....	v
Bijlage B: Data van Correction of overlapping paths .....	vii
Bijlage C: Uitbreider netwerk.....	ix

# Bijlage A: Verhouding kortste route/hemelsbrede afstand

De verhouding tussen de hemelsbrede afstand en de kortste route wordt onderzocht door middel van empirisch onderzoek. Door middel van digitale kaarten is gekeken wat beide afstanden zijn van 26 willekeurig gekozen routes. Deze afstanden zijn hieronder in een tabel weergegeven en vervolgens is er aan de hand van regressieanalyse onderzocht of er een duidelijke verhouding aanwezig is en wat de verhouding dan is.

van	naar	hemelsbreed	Kortste route
Assen	Emmen	32,3	37,9
Assen	Groningen	24,6	27,2
Assen	Leeuwarden	56,5	66,0
Emmen	Groningen	52,8	57,1
Emmen	Leeuwarden	87,4	95,3
Leeuwarden	Groningen	51,3	57,5
Amsterdam	Hilversum	25,3	30,7
Amsterdam	Leiden	36,2	40,9
Leiden	Hilversum	47,0	59,5
Delft	Den Haag	8,0	8,5
Delft	Rotterdam	12,5	16,1
Rotterdam	Den Haag	20,4	24,2
Roosendaal	Breda	22,7	24,2
Roosendaal	Tilburg	43,7	49,3
Breda	Tilburg	22,0	23,2
Maastricht	Geleen	16,3	20,2
Maastricht	Heerlen	20,7	25,2
Heerlen	Geleen	14,4	17,2
Arnhem	Nijmegen	15,8	18,4
Arnhem	Wageningen	17,1	17,4
Nijmegen	Wageningen	19,2	25,8
Deventer	Bathmen	8,8	9,4
Deventer	Apeldoorn	13,8	16,4
Deventer	Olst	9,8	11,2
Deventer	Twello	4,8	5,9
Deventer	Zwolle	29,2	33,9



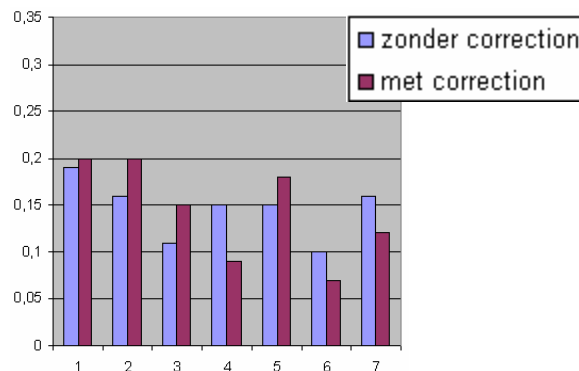
*Figuur I. Lineaire verhouding tussen de hemelsbrede afstand en de kortste route*

In figuur I zijn de afstanden tegen elkaar uitgezet. Door middel van kleinste kwadraten methode is een lineaire lijn ontstaan die het beste past bij de punten. Er is sprake van een zeer sterke correlatie ( $R^2=0,9903$ ) waaruit geconcludeerd kan worden dat de hemelsbrede afstand en de kortst mogelijke route zeer sterk van elkaar afhankelijk zijn. De verhouding tussen de hemelsbrede afstand en de kortste route is de helling van de lijn en is 1,1365.

# Bijlage B: Data van Correction of overlapping paths

Route	Lengte (m)	Overlap p(%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,19	0,20
2	8536	0 %	0,16	0,20
3	9714	0 %	0,11	0,15
4	9720	90 %	0,15	0,09
5	8531	50 %	0,15	0,18
6	9719	90 %	0,10	0,07
7	9714	90 %	0,16	0,12

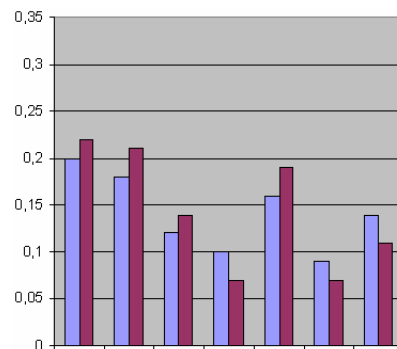
De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij  $k=2$



Figuur II. Intensiteiten bij  $k=2,0$

Route	Lengte (m)	Overlap(%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,20	0,22
2	8536	0 %	0,18	0,21
3	9714	0 %	0,12	0,14
4	9720	90 %	0,10	0,07
5	8531	50 %	0,16	0,19
6	9719	90 %	0,09	0,07
7	9714	90 %	0,14	0,11

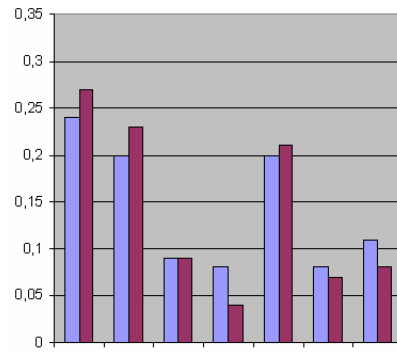
De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij  $k=3,5$



Figuur III. Intensiteiten bij  $k=3,5$

Route	Lengte (m)	Overlap(%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,24	0,27
2	8536	0 %	0,20	0,23
3	9714	0 %	0,09	0,09
4	9720	90 %	0,08	0,04
5	8531	50 %	0,20	0,21
6	9719	90 %	0,08	0,07
7	9714	90 %	0,11	0,08

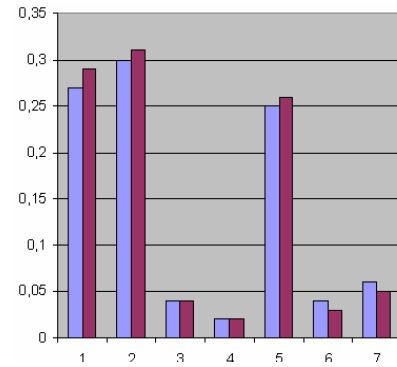
De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij  $k=7$



Figuur IV. Intensiteiten bij  $k=7,0$

Route	Lengte (m)	Overlap(%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,27	0,29
2	8536	0 %	0,30	0,31
3	9714	0 %	0,04	0,04
4	9720	90 %	0,02	0,02
5	8531	50 %	0,25	0,26
6	9719	90 %	0,04	0,03
7	9714	90 %	0,06	0,05

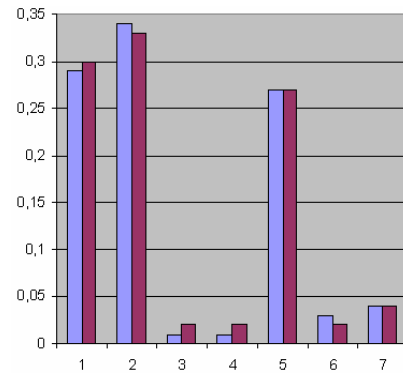
De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij  $k=14$



Figuur V. Intensiteiten bij  $k=14,0$

Route	Lengte (m)	Overlap(%)	Zonder	Met
1	8525	50 %	0,29	0,30
2	8536	0 %	0,34	0,33
3	9714	0 %	0,01	0,02
4	9720	90 %	0,01	0,02
5	8531	50 %	0,27	0,27
6	9719	90 %	0,03	0,02
7	9714	90 %	0,04	0,04

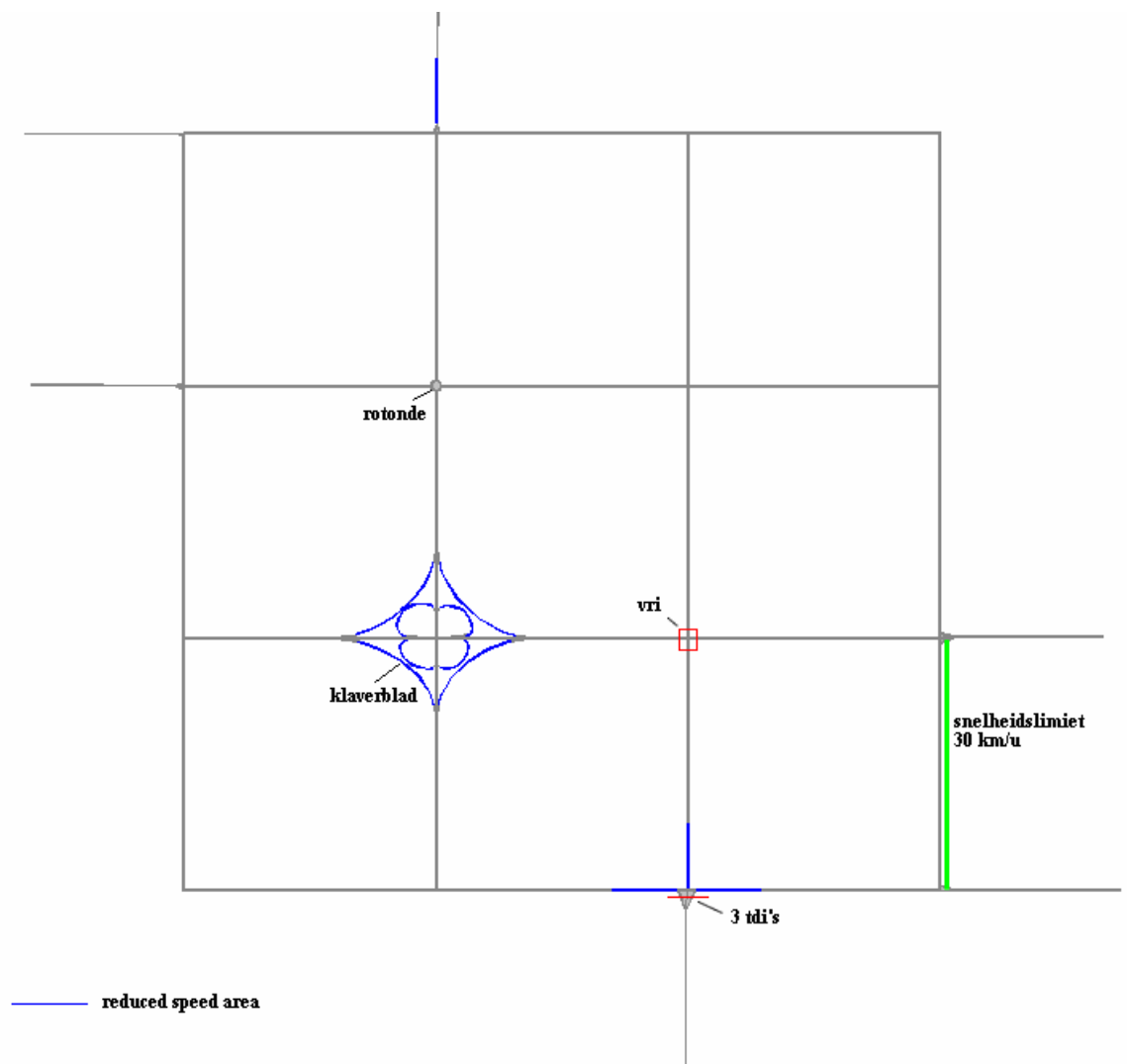
De relatieve intensiteiten van de routes weergegeven met en zonder de werking van de parameter bij  $k=20$



Figuur VI. Intensiteiten bij  $k=20,0$

# Bijlage C: Uitbreider netwerk

Er is globaal onderzocht wat de invloed van de parameters is in een gecompliceerder netwerk. In figuur VII zijn de veranderingen ten opzichte van het oude netwerk weergegeven. Alle kruispunten (met uitzonder van de vri) worden geregeld door de standaard voorrangsregels.



*Figuur VII. Uitbreid netwerk*

**Uitkomst normale situatie**

Allereerst werd de simulatie met  $k=3,5$  onderzocht waarbij de correction of overlapping paths en de Avoid long detour parameters uitgeschakeld waren. In deze simulatie werden 9 routes gebruikt, waarvan 4 korte en 5 langere. Het aantal gebruikte routes is dus niet erg anders. De verdeling van het verkeer is wel erg veranderd. De kosten van de korte routes zijn gestegen, dus daar komt minder verkeer op. Zijn sommige langere routes met lagere kosten.

**Kirchhoff exponent**

De Kirchhoff exponent werkt in dit netwerk zoals in het rapport is beschreven. Ook bij andere kruispuntvormen en vertragingen is de Kirchhoff exponent een parameter die de gevoeligheid van de routekeuze bepaald, er moet dan echter wel naar de kosten gekeken worden en niet naar de afstand, dit omdat er veel vertraging optreedt in dit netwerk en de afstand dus niet relevant is voor de kostenverhouding.

**Correction of overlapping paths**

De parameter zorgt in het veranderde netwerk wel voor een kleine verschuiving van het verkeer, maar de verschuiving is niet alleen van routes van overlap naar routes zonder overlap. De parameter verandert de simulatie wel, maar de werking in dit uitgebreide netwerk is niet erg duidelijk.

**Avoid long detours**

De parameter Avoid long detours werkt in dit netwerk zoals het hoort. Het is echter wel raar dat de parameter alleen rekening houdt met afstand. Dit valt in dit netwerk beter op, omdat de korte routes hier erg vertraagd zijn. In dit netwerk is het ook van belang dat Vissim alle routes kent.