

**Een nieuwe kijk op routekeuze? Bevindingen uit het
kentekenonderzoek Enschede**

Tom Thomas
Witteveen en Bos
t.thomas@witteveenbos.nl

Bas Tutert
Witteveen en Bos
s.tutert@witteveenbos.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2009,
19 en 20 november, Antwerpen**

Samenvatting

Routekeuze gedrag is een belangrijk aspect in de toedeling van verkeer aan het netwerk. Dit gedrag is tot op heden echter niet vaak in de praktijk bestudeerd en de vraag dringt zich op in hoeverre modellen de routekeuze adequaat beschrijven. Met dit artikel willen we een bijdrage leveren aan het dichten van de kennislacune door waargenomen keuzes te analyseren aan de hand van reistijdverschillen.

Het empirisch materiaal voor de studie is afkomstig van een groot kentekenonderzoek dat door Witteveen+Bos en Dufec in opdracht van de gemeente Enschede is uitgevoerd. Gedurende een dinsdag en zaterdag zijn meer dan 50000 kentekens van personenauto's geregistreerd op alle belangrijke toevoerwegen en ringwegen in Enschede. Met behulp van dit materiaal zijn eerst de reistijden bepaald tussen verschillende meetposten. Vervolgens zijn met een simpel en snel algoritme alle mogelijke routes bepaald. Hier zitten ook routes tussen die niet zijn waargenomen. Tenslotte zijn de verdelingen van de ritten over de routes vergeleken met de reistijden. Hieruit volgt een éénduidig verband waarbij de kans dat een langzamere route wordt gekozen vrijwel exponentieel afneemt met het absolute reistijdverschil tussen de langzamere en snelste route. Dit verband is bruikbaar in verkeersmodellen, maar ook voor een snelle doorrekening van routekeuze op een relatie.

De totale fractie die niet over de snelste route gaat is met 25% significant. Hierdoor wordt door het autoverkeer gemiddeld 8% omgereden ten opzichte van de snelste route. Beredeneerd wordt dat de mate van omrijden groter zal zijn in fijnmazige, stedelijke netwerken en kleiner in snelwegnetwerken. De extra omrijdtijd en dus ook extra kilometers worden niet gemodelleerd in een zogenaamde evenwichtstoedeling, waarbij automobilisten de snelste route kiezen. De verwachting is dat, vergeleken met de werkelijkheid, zo een toedeling vooral leidt tot lagere verkeersbelastingen, maar niet tot een significant andere verdeling over het netwerk. De gevonden resultaten sluiten overigens niet uit dat er nog steeds sprake kan zijn van een gebruikersevenwicht. Als automobilisten de route kiezen die voor hen het meest gunstig is, dan laat deze studie evenwel zien dat andere factoren ook een rol spelen in het routekeuze gedrag. In een vervolgonderzoek willen we met name het belang van netwerkdichtheid en weghierarchie beschouwen.

1. Introductie

Routekeuze speelt een belangrijke rol bij het voorspellen van verkeersbelastingen op het wegennet. Dit is terug te vinden in de vele toedelingsmodellen die de autoritten over het netwerk verdelen en hiermee verkeersstromen beschrijven of voorspellen.

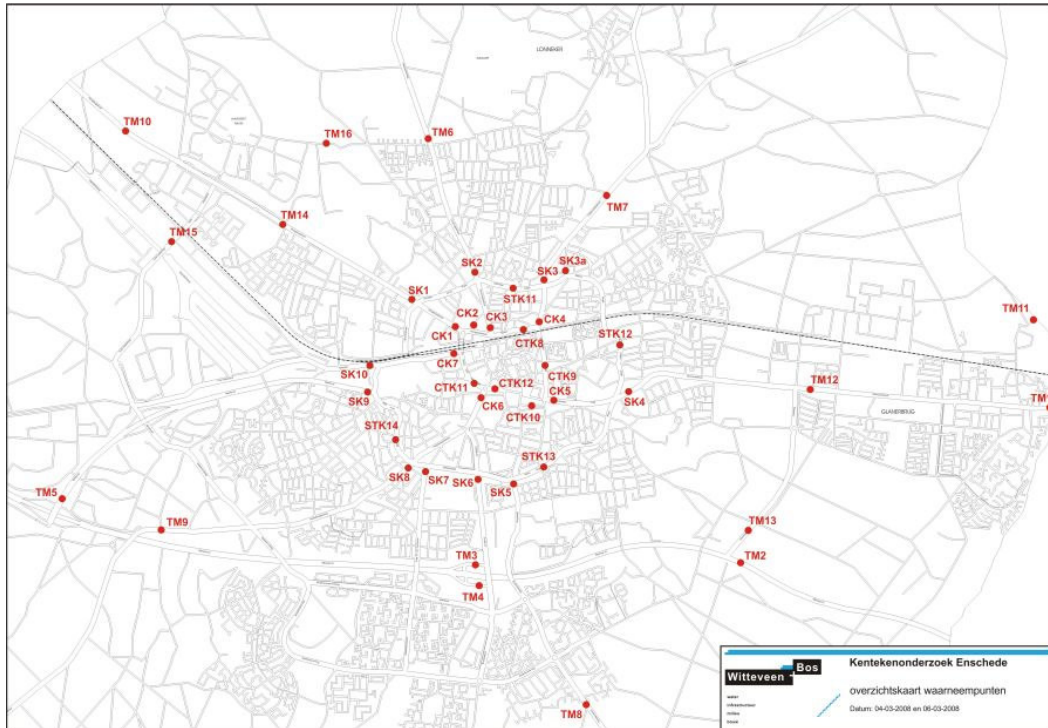
Voordat de daadwerkelijke toedeling plaatsvindt, moeten eerst de te kiezen routes in een routeset worden bepaald. De meeste routeset generatie algoritmes werken hetzelfde: de beste route en alternatieve routes worden geselecteerd en routes en routeset worden geevalueerd aan de hand van bepaalde criteria. De alternatieve routes worden vaak gekozen volgens Monte Carlo simulaties, waarbij de weerstanden op de links random veranderd worden (Sheffi & Powell, 1982).

De routeset generatie hangt in principe af van routekeuze gedrag. Als men immers makkelijk alternatieve routes kiest, dient de routeset ook meer routes te bevatten. Het probleem is echter dat routekeuze gedrag vaak onvoldoende wordt gemodelleerd in traditionele toedelingen. De modellen zijn vaak theoretisch, soms gecalibreerd aan de hand van stated preference surveys, maar zelden getoetst aan waargenomen routekeuzes. Studies zoals van Papinski & Scott (2009), Batley & Clegg (2001) en Duffell & Kalombaris (1988) waarin waargenomen routekeuze gedrag wordt gekoppeld aan onderliggende attributen zijn zeldzaam. Zulke studies zijn echter nuttig, omdat ze inzicht geven in welke mate daadwerkelijk gemaakte keuzes afhangen van belangrijke attributen als reistijd en in welke mate keuzes gebaseerd zijn op individuele voorkeuren.

Als reizigers economisch gezien niet de beste keuzes maken en deze keuzes vooral van individuele voorkeuren afhankelijk zijn, dan kan dit gevolgen hebben voor de belastingen op het netwerk. In deze studie kiezen we voor een empirische benadering om dit te onderzoeken. We gebruiken een bestaande database van een kentekenonderzoek in de gemeente Enschede om een dataset van waargenomen routekeuzes te construeren. Deze dataset gebruiken we om een nieuw routesetgeneratie algoritme te ontwikkelen. Uiteindelijk kunnen we aan de hand hiervan laten zien hoe de verdeling over de routes afhangt van de reistijden over die routes. In paragraaf 2 beschrijven we de methode en in paragraaf 3 de data die we hebben gebruikt. In paragraaf 4 wordt het routekeuze gedrag geanalyseerd en in paragraaf 5 wordt een link gelegd tussen de verdeling van routekeuzes en de reistijden op het netwerk. Paragraaf 6 sluit af met een discussie.

2. Werkwijze

In deze studie bestuderen we het routekeuze gedrag van automobilisten aan de hand van data uit een recent kentekenonderzoek van de gemeente Enschede, dat door Witteveen+Bos en Dufec is uitgevoerd. Er is gebruik gemaakt van cordons als concentrische cirkels rondom de binnenstad. Per cordon is op alle hoofdwegen een post ofwel meetpunt ingericht. De posten worden getoond in figuur 1. Op alle posten zijn de kentekens van de gepasseerde auto's in beide richtingen geregistreerd.



Figuur 1: Posten tijdens het kentekenonderzoek Enschede 2008

De eerste post die iemand passeert geeft aan waar iemand het netwerk ongeveer is opgekomen in het geval van een lokale verplaatsing of waar iemand de stad is binnengekomen in het geval van een doorgaande rit. De laatste post waar een kenteken geregistreerd is, geeft aan waar iemand het netwerk verlaat of de stad verlaat. De eerste en laatste post geven dus een goede indicatie van de herkomst en bestemming voor het stedelijk verkeer. De tussenliggende posten waar het kenteken geregistreerd wordt, geven een indicatie van de route die een persoon heeft gevolgd. Hoewel niet achterhaald kan worden of een automobilist secundaire wegen (straten in woonwijken) volgt, kan wel goed achterhaald worden via welke hoofdwegen de reiziger van de eerste naar de laatste post is gereisd. Bij alle posten is ook de passagetijd geregistreerd, zodat doorrijtijden kunnen worden berekend.

In deze studie maken we gebruik van het link concept. In dit geval is een link de denkbeeldige lijn tussen twee chronologisch opeenvolgende meetpunten. De route is de aaneenschakeling van links. Stel bijvoorbeeld dat een reiziger van A naar B is gereisd. De herkomst-bestemmingsrelatie is AB. Als een reiziger op AB alleen langs C is gekomen, dan bestaat de route uit de links AC en CB. Een andere persoon die via D en daarna E reist, gebruikt dan de route AD – DE – EB. Er wordt onderscheid gemaakt naar richting. DE en ED zijn bijvoorbeeld twee verschillende links.

We zijn op zoek naar een empirische relatie tussen de verdeling van reizigers over de verschillende routes en de reistijden van die routes. We verwachten namelijk dat niet iedereen over de snelste route zal reizen, maar dat langzamere routes ook gebruikt worden. Om deze empirische relatie te bepalen, moeten drie stappen worden doorlopen. Ten eerste moeten de reistijden over alle links bepaald worden. Ten tweede moeten alle mogelijk en waarschijnlijke routes bepaald worden. Dit is de routeset generatie.

Tenslotte worden de verdelingen van de ritten over alle mogelijke routes vergeleken met de reistijden. Dit gedeelte betreft de analyse van het routekeuze gedrag.

2.1 Reistijden

Op elke post is genoteerd wanneer welk kenteken langs kwam. Voor elke link in de route kan de individuele reistijd geschat worden door de passeertijd op de opeenvolgende meetpunten van elkaar af te trekken. De reistijden op een link zijn variabel door allerlei toevalligheden. Verkeerslichten die op rood staan leiden tot een relatief langzame reistijd op een link, terwijl bij groen de reistijd een stuk korter kan zijn. Door alle metingen over een link te aggregeren kunnen gemiddelde reistijden worden geschat. Deze gemiddelde reistijden zijn over het algemeen nauwkeurig en niet onderhevig aan toevalligheden, vanwege de grote aantallen metingen. Alle ritten die over dezelfde link gaan, maar niet dezelfde herkomst, bestemming of route hoeven te hebben, worden gebruikt in het gemiddelde. Met de reistijdschatting per link kan nu in principe de reistijd voor een willekeurige route worden bepaald. Elke route is een aaneenschakeling van links. Door de reistijden van die links bij elkaar op te tellen, wordt de totale reistijd over de route verkregen.

2.2 Routeset generatie

Vaak worden slechts enkele routes per HB relatie gekozen in een routeset generatie. In deze studie daarentegen doen we bijna geen a priori aannames over de plausibiliteit van een route. In principe bepalen we alle mogelijke routes tussen alle HB relaties (voor zover we op linkniveau reistijden hebben). Dat gaat op de volgende manier. Routes worden gemaakt door links aan elkaar te schakelen. Er wordt derhalve gestart met de links zelf. Deze vormen de eerste set aan routes, die tegelijkertijd HB relaties zijn. Vervolgens worden nieuwe routes gemaakt, waarbij elke link die aansluit op een vorige link aan deze link wordt geplakt. Als er bijvoorbeeld 3 links aan een link kunnen worden geplakt, dan komen er 3 nieuwe routes bij. Aan elk van deze nieuwe routes kunnen weer nieuwe links geplakt worden, waardoor het aantal routes steeds verder uitbreidt en er steeds meer HB relaties gevormd worden. Dit proces wordt herhaald totdat er geen nieuwe routes meer bijkomen.

In principe zijn er echter oneindig veel routes mogelijk als er geen restricties worden gesteld. Daarom stellen we de volgende twee restricties op. De eerste en belangrijkste is dat een (deel van een) route niet circulair mag zijn. Dat wil zeggen dat hetzelfde meetpunt niet twee keer mag worden gepasseerd (onafhankelijk van richting). In dat geval bestaat de waargenomen rit in werkelijkheid uit meerdere ritten. Een voorbeeld hiervan is iemand die ergens stopt om een activiteit te doen om vervolgens weer via dezelfde weg terug te gaan. Als tweede restrictie stellen we dat een (deel van een) route niet langzamer mag zijn dan een bepaald aantal minuten ten opzichte van de (tot dan toe gevonden) snelste route tussen de betreffende meetpunten. We stellen als limiet 20 minuten, omdat voor onze dataset zal blijken dat de kans zeer klein is dat iemand een route neemt die 20 minuten langzamer is dan een andere route. Het is mogelijk dat voor andere data sets, bijvoorbeeld voor routes die over de snelweg gaan, een andere limiet gewenst is.

Het grote voordeel van deze routeset generatie is dat vrijwel alle mogelijke routes worden geselecteerd. Ook de routes die niet worden gekozen, maar waarvan de afzonderlijke links wel in de waarnemingen zitten. Dit betekent dat we geen bias introduceren bij het bepalen van de routekeuze verdelingen. Normaal gesproken ontstaat deze bias als alleen routes worden beschouwd die ook daadwerkelijk gekozen zijn. Langzame routes die helemaal niet gekozen worden, zitten dan niet in de steekproef en worden daarom niet in de beschouwing meegenomen. Als deze routes niet worden meegenomen dan wordt de kans dat iemand over een langzame route gaat, overschat.

2.3 Routekeuze gedrag

Uit de waarnemingen volgt per HB relatie de verdeling van het aantal ritten over alle routes in de routeset. Omdat het aantal ritten voor een gemiddeld HB relatie klein is, aggregeren we over meerdere HB relaties. We gebruiken hiervoor alleen de reistijd. Het is echter vrijwel zeker dat meerdere attributen van belang zijn bij de routekeuze. Zo kunnen mensen bijvoorbeeld een voorkeur hebben voor hoofdwegen, zelfs als de route over de hoofdweg langzamer is. In een vervolgstudie zullen we bestuderen in welke mate de hiërarchie van wegtypes een rol speelt in het routekeuze gedrag van mensen.

3. Data selectie

In totaal is er op 44 locaties gemeten. Op één na is bij alle meetlocaties in beide richtingen gemeten. Er zijn in totaal dus 87 meetpunten. Er zijn voor drie periodes kentekenmetingen gedaan. Deze periodes zijn: dinsdagmiddag van 14.00 tot 16.00 uur, dinsdag tijdens de avondspits tussen 16.00 en 18.00 uur en zaterdagmiddag tussen 13.00 en 15.00 uur. Ongeveer gelijk verspreid over de drie periodes zijn er in totaal 58422 ritten waargenomen. Alleen de eerste vier karakters van de kentekens zijn genoteerd. Dit leidt tot circa 2 procent foute matches (CROW 1994), maar verkleint de kans op registratiefouten.

Per periode zijn alle ritten, dat wil zeggen kentekens met bijbehorende passagetijdstippen, ingelezen. Als eerste stap zijn de gegevens gescreend op volledigheid en consistentie. Zo zijn alleen de ritten geselecteerd waarvoor de gemeten tijdstippen op de opeenvolgende meetpunten oplopen. Hierdoor is iets meer dan 1% is verwijderd. Elke resterende rit heeft dus een positieve reistijd op een link.

Een volgende stap betrof het weghalen van uitschieters in de reistijd. Bij uitschieters nemen we aan dat hier iets atypisch aan de hand is; bijvoorbeeld dat een auto voor langere tijd gestopt is en daarna weer is doorgereden of dat kentekens verkeerd zijn geregistreerd. Een maat voor de spreiding in de reistijden is de standaard deviatie. Per link is de standaard deviatie S bepaald. Vervolgens is vergeleken hoeveel de individuele reistijden op een link afwijken ten opzichte van de gemiddelde reistijd op die link. Als de absolute afwijking groter is dan $3S$, dan is de afwijking zo groot dat we deze meting een uitschieter noemen. Nadat de uitschieters zijn weggehaald, zijn vervolgens nieuwe gemiddelden en standaarddeviaties bepaald, waarna opnieuw uitschieters zijn geselecteerd. Dit proces is herhaald totdat er geen uitschieters meer werden gevonden. In dit proces is iets meer dan 10% verwijderd. Overigens blijkt dat het voor de resultaten weinig uitmaakt of de uitschieters wel of niet verwijderd worden.

Een derde stap betrof een check op steekproefgrootte per link. Bij weinig ritten per link is de schatting van de reistijd op de link onnauwkeurig. Er zijn alleen ritten geselecteerd waarvoor er over iedere link minimaal 3 ritten per periode waren. Links met minder dan 3 ritten per periode worden dus niet meegenomen. Met andere woorden; alle routes die over deze links gaan worden ook buiten beschouwing gelaten in de analyse. Het betreft hier slechts een paar procent van de links waarvoor kentekens zijn waargenomen en het betreft ongeveer 5% van de overgebleven ritten. Uiteindelijk bleven er 48849 ritten over en zijn er in totaal 299 links geselecteerd. Dit betekent dat er gemiddeld ongeveer 170 reistijdwaarnemingen per link zijn.

In de routesetgeneratie zijn vervolgens de routes tussen de HB relaties bepaald. Volgens de methodiek, beschreven in de vorige paragraaf, werden in totaal ongeveer 600 duizend routes gevonden. Dit komt overeen met iets meer dan gemiddeld 80 routes per HB relatie.

In deze studie analyseren we de verdeling over de routes als functie van reistijd. Omdat we alleen reistijd beschouwen, is het aggregeren relatief eenvoudig. We delen de HB relaties in naar reistijdklassen op basis van de reistijd over de snelste route. Voor ieder HB relatie bepalen we daarnaast het reistijdverschil tussen de snelste route en iedere andere route. Aan de hand van dit reistijdverschil delen we de langzamere routes in routeklassen in. Per klasse zijn alle ritten over de snelste route, n_1 , en over de langzamere routes, n_2 , samengenomen. Dit wil zeggen dat als er voor een HB relatie twee langzamere routes in een klasse zitten, het aantal ritten over de snelste route twee keer wordt meegenomen, namelijk één keer per langzamere route. Daarnaast is per routeklasse de gemiddelde reistijd voor de snelste route, T_1 , en voor de langzamere routes, T_2 , bepaald.

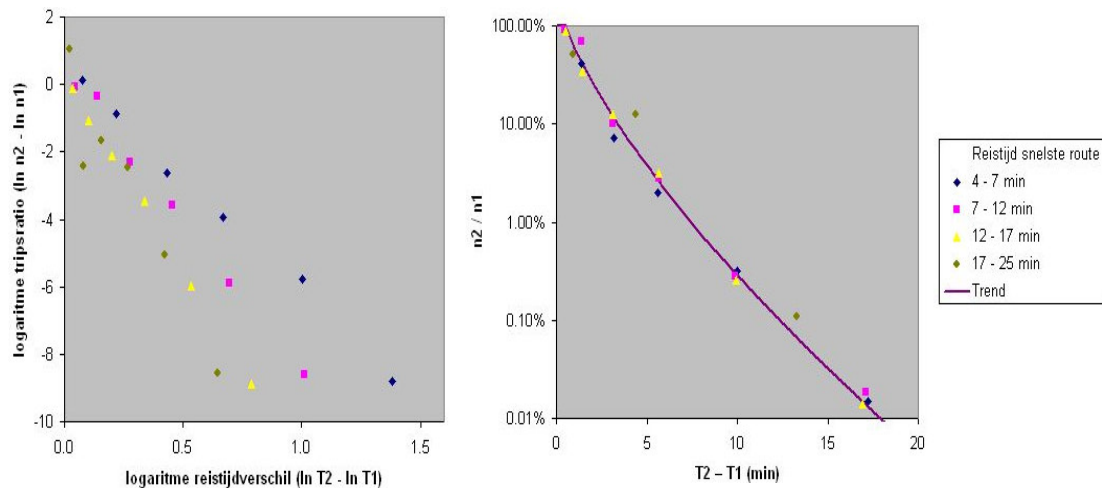
We onderscheiden 4 reistijd klassen: HB relaties waarvoor de snelste route tussen de 4 en 7 minuten, 7 en 12 minuten, 12 en 17 minuten en 17 en 25 minuten ligt. We laten heel korte ritten waarvoor de snelste route onder de 4 minuten ligt buiten beschouwing, omdat de resultaten voor deze ritten niet representatief zijn. Zoals eerder is vermeld, hangt routekeuze ook af van andere attributen. Een weg waar men comfortabel kan doorrijden, zal als fijner worden ervaren dan een weg met drempels of veel fietsers. Voor de meeste klassen wordt de invloed van de overige attributen uitgemiddeld, omdat in die klassen ritten met heel uiteenlopende HB relaties worden geaggregeerd. Voor de heel korte reistijden zijn er echter slechts enkele HB relaties. Eén of twee HB relaties met veel ritten kunnen dus al zwaar meewegen in het uiteindelijke resultaat. Omdat we de korte ritten buiten beschouwing laten, wordt de steekproef gereduceerd tot 31113 ritten.

Wat betreft het reistijdverschil tussen de langzamere en snelste route onderscheiden we 6 routeklassen: reistijdverschillen tussen de 0 en 1 minuut, 1 en 2 minuten, 2 en 4 minuten, 4 en 7 minuten, 7 en 12 minuten en 12 en 20 minuten. HB relaties met slechts één route worden buiten beschouwing gelaten. De uiteindelijke steekproef bestaat hierdoor uit 25587 cases.

4. De invloed van reistijd op routekeuze

Volgens discrete keuzemodellen (Ben-Akiva and Lerman 1985) kiezen reizigers de route die voor hen het minst ongunstig is. Deze mate van disnut hangt voor een belangrijk deel af van reistijd. Langzamere routes hebben een groter disnut. Daarom wordt vaak aangenomen dat reizigers de snelste route kiezen. Er zijn daarnaast allerlei andere attributen die van invloed zijn op de routekeuze. Het is dus mogelijk dat een reiziger een route kiest die langzamer is dan de snelste route. Echter, omdat de reële reistijd een belangrijk aandeel heeft in het disnut, verwachten we dat het aandeel ritten dat over de langzamere route gaat, sterk afneemt met het reistijdverschil tussen de langzamere en snelste route.

In figuur 2 wordt het verband getoond tussen aantallen ritten, n_2 en n_1 , en de reistijden, T_2 en T_1 , over respectievelijk de langzamere en snelste route. Per reistijdklasse (reistijd over de snelste route) is voor iedere routeklasse in het linkerpaneel de natuurlijke logaritme van n_2/n_1 uitgezet tegen die van T_2/T_1 . In het rechterpaneel is de ratio n_2/n_1 uitgezet tegen het absolute reistijdverschil $T_2 - T_1$. Door de verschillende periodes samen te nemen zijn zo groot mogelijke aantallen verkregen, waardoor de statistiek van de resultaten optimaal is. De symbolen representeren de verschillende klassenwaarden. Beide panelen laten zien dat het aandeel dat over de langzamere route gaat zeer snel afneemt met het (relatieve) reistijdverschil. In de klasse met lange ritten (17 – 25 min) wordt een slinger waargenomen in het linkerpaneel. Ondanks het feit dat periodes zijn samengenomen, kan deze slinger worden toegeschreven aan toevallige afwijkingen ten gevolge van het kleine aantal ritten in deze klasse. Daarom hebben we in het rechterpaneel reistijdverschillen voor deze reistijdklasse samengenomen. Voor deze klasse zijn de reistijdverschillen gegroepeerd in de routeklassen: 0 – 2 minuten, 2 – 7 minuten en 7 – 20 minuten.



Figuur 2: de relatie tussen rit frequentie ratio en reistijd ratio (linker paneel) en absoluut reistijdverschil (rechter paneel), voor verschillende reistijdklassen (zie legenda)

Uit de figuur kan het volgende geconcludeerd worden. Het verband in het linkerpaneel is niet hetzelfde voor alle ritten. Voor korte ritten is de helling vlakker en neemt de ratio langzamer af dan voor lange ritten. In het rechterpaneel is te zien dat er wel een redelijk eenduidig verband bestaat tussen het absolute reistijdverschil en de ratio n_2/n_1 . Hoewel dit verband misschien iets minder sterk is voor lange ritten (hier neemt het aandeel ritten over de langzamere route minder snel af met reistijdverschil, wat geen onverwacht resultaat is), toont figuur 2 dat de verdeling van ritten over de routes voornamelijk afhangt van het absolute reistijdenverschil.

Het verband tussen het absolute reistijdverschil en de ratio n_2/n_1 wordt in het rechterpaneel aangegeven door de doorgetrokken lijn. Deze directe fit aan de waarnemingen wordt beschreven door:

$$\frac{n_2}{n_1} = \exp[-1.33(T_2 - T_1)^{0.7} + 1.33(0.5)^{0.7}] \quad \text{voor } T_2 - T_1 > 0.5 \text{ min} \quad (1a)$$

$$\frac{n_2}{n_1} = 1 \quad \text{voor } T_2 - T_1 \leq 0.5 \text{ min} \quad (1b)$$

Voor kleine reistijdverschillen van minder dan een halve minuut maakt het niet uit of de route langzamer of sneller is. Beide routes zullen evenveel gebruikt worden. Voor grotere reistijdverschillen neemt de ratio af met een exponent tot de macht wet. De macht is 0.7 en de helling -1.33.

In tabel 1 worden de resultaten samengevat. Voor verschillende reistijdverschillen is met formule 1 berekend wat de kans is dat iemand over de langzaamste in plaats van de snelste route gaat in het geval dat er twee keuzemogelijkheden zijn. Voor een heel klein reistijdverschil (minder dan een halve minuut) gaat 50% over de langzaamste en 50% over de snelste route. Als het reistijdverschil toeneemt dan neemt de fractie dat over de langzaamste route gaat zeer snel af. Voor een verschil van iets meer dan 7 minuten is dit percentage nog 1%, terwijl bij een verschil van meer dan 10 minuten deze fractie verwaarloosbaar klein is.

In werkelijkheid zijn er vaak meer dan twee keuzemogelijkheden waaruit de reiziger kan kiezen. In het algemene geval van m routes worden de fracties als volgt bepaald. Eerst wordt de snelste route geselecteerd. Met behulp van formule 1 worden aan de hand van de absolute reistijdenverschillen de ratio's $n_2/n_1, \dots, n_m/n_1$ berekend. Het aantal reizigers n_1 over de snelste route wordt vrij gekozen, waardoor ook de aantallen n_2, \dots, n_m bekend zijn. De fractie, p_i , die over route i gaat, kan dan eenvoudig worden bepaald als:

$$p_i = n_i / \sum_{j=1}^m n_j . \text{ Stel dat de reiziger drie keuzemogelijkheden heeft. De tweede route is 1}$$

minuut langzamer dan de eerste en de derde route 3 minuten langzamer dan de eerste. Volgens formule 1 geldt $n_2/n_1 = 0.60$ en $n_3/n_1 = 0.13$. Stel $n_1 = 100$, dan $n_2 = 60$ en $n_3 = 13$. De fracties die over routes 1, 2 en 3 gaan, zijn respectievelijk 58%, 35% en 7%.

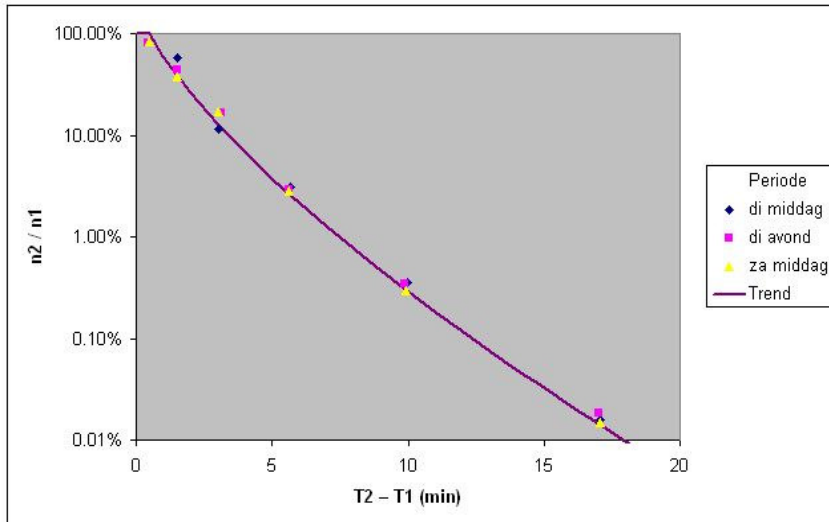
Tabel 1: Percentage dat over de langzamere route gaat, $n_2/(n_1 + n_2)$, per reistijdverschil

Reistijdverschil in minuten	Percentage over langzamere route
0 – 0.5	50.0%
1	37.5%
2	20.7%
3	11.4%
4	6.4%
5	3.6%
7	1.2%
10	0.3%
12	0.1%
15	0.03%
20	0.004%

Voor de stad Enschede lijken de bovenstaande resultaten betrouwbaar. Reistijden kunnen echter per periode verschillend zijn. In de spitsperiode is het drukker en zijn de reistijden daarom in het algemeen langer. De gemiddelde reistijd, gemiddeld over alle links, is 3.13, 3.42 en 3.18 minuten voor respectievelijk de dinsdagmiddag, -avondspits en zaterdag middag. De gemiddelde reistijd is daarmee ongeveer 10% langzamer in de spits dan buiten de spits. De reistijd is iets groter op zaterdag (vanwege winkelverkeer) dan tijdens de dalperiode op een werkdag. Deze verschillen zijn zeer plausibel. Omdat verschillende periodes zijn samengenomen, is het echter in theorie mogelijk dat er het volgende gebeurt. Stel dat er twee routes zijn op een HB relatie. Stel ook dat de ene route buiten de spits sneller is, maar dat de andere route juist tijdens de spits sneller is. In dit geval is het mogelijk een gemengde verdeling over de routes waar te nemen, terwijl de reizigers toch altijd de snelste route kiezen. Om er zeker van te zijn dat dit effect geen invloed heeft gehad op de gevonden wetmatigheid, hebben we de drie periodes apart beschouwd. In figuur 3 is per periode (dinsdagmiddag, dinsdagavondspits en zaterdagmiddag) de ratio n_2/n_1 uitgezet tegen het absolute reistijdenverschil $T_2 - T_1$. Vanwege de lage statistiek zijn hier de verschillende reistijdklassen samengenomen. Figuur 3 toont dat de waargenomen trend ook geldt voor de afzonderlijke periodes. We kunnen aldus concluderen dat bovenstaande bias zich niet heeft voorgedaan.

5. De wisselwerking tussen routekeuze en netwerk

Volgens de resultaten uit de vorige paragraaf neemt de ratio n_2/n_1 zo snel af, dat het wellicht al voldoende is om de routeset te beperken tot routes die maximaal 10 minuten langzamer zijn dan de snelste route. In tabel 1 werd echter de kans getoond dat iemand een langzamere route neemt in het geval dat er slechts twee keuzemogelijkheden zijn. In werkelijkheid zijn er vaak meer alternatieven. Het aantal alternatieven neemt in principe exponentieel toe met het reistijdverschil. Hoe snel deze exponentiele toename verloopt, hangt af van de dichtheid van het netwerk.



Figuur 3: de relatie tussen rit frequentie ratio en absoluut reistijdverschil voor de verschillende periodes: dinsdagmiddag, -avondspits en zaterdagmiddag (zie legenda)

Omdat er simpelweg meer langzame routes zijn, kunnen deze wellicht toch belangrijk zijn. Om dit te testen, wordt in tabel 2 het totaal aantal waargenomen cases voor de verschillende routeklassen (gesommeerd) getoond. Volgens tabel 2 gaat minder dan 75% over de snelste route. Dus voor een gemiddeld HB relatie in Enschede gaat een aanzienlijk percentage, namelijk 25%, niet over de snelste route. Omdat sommige HB relaties slechts 1 route hebben (die buiten de steekproef zijn gehouden), zou men kunnen concluderen dat het percentage dat over de snelste route gaat in werkelijkheid wat groter is; iets minder dan 80% in plaats van 75%. Het netwerk dat hier geconstrueerd is, is echter geen echt netwerk. De links zijn lijnen tussen waarneemposten. In werkelijkheid kent vrijwel elk HB relatie (zelfs met heel kleine reistijden) wel meerdere routes. Omdat reizigers ook secundaire wegen zoals straten in woonwijken kunnen nemen, gaan we er vanuit dat het percentage van 25% dat niet over de snelste route gaat niet overschat, maar eerder onderschat is.

Tabel 2: aantal ritten per routeklasse

Routeklasse	Waargenomen ritten	
	Aantal	Percentage
Snelste route	19142	74.8%
tussen 0 – 1 minuten langzamer	2242	8.8%
tussen 1 – 2 minuten langzamer	2073	8.1%
tussen 2 – 4 minuten langzamer	1027	4.0%
tussen 4 – 7 minuten langzamer	734	2.9%
tussen 7 – 12 minuten langzamer	269	1.1%
tussen 12 – 20 minuten langzamer	100	0.4%
Totaal	25587	100.0%

Uit de tabel volgt verder dat het aantal ritten zoals verwacht afneemt met het reistijdverschil. De toename in het aantal routes gaat dus minder hard dan de afname in de kans dat iemand (volgens formule 1) een langzamere route kiest. Hoewel vergeleken met tabel 1 langzamere routes iets belangrijker zijn geworden, is het aandeel dat over deze routes gaat nog steeds klein. Rekening houdend met het feit dat de grootte van de routeklassen toeneemt met reistijdverschil, kan geconcludeerd worden dat het aantal ritten ongeveer afneemt met $\exp[-0.4(T_2 - T_1)]$. Hieruit volgt dat in hooguit 0.1% van de cases mensen routes nemen die 20 minuten langzamer zijn dan de snelste route. Zelfs wanneer men alleen routes selecteert die hooguit 10 minuten langzamer zijn dan de snelste route, dan ontbreekt nog steeds minder dan gemiddeld 1% van alle ritten per HB relatie. Het lijkt aldus alleszins acceptabel langzame routes uit te sluiten.

Met betrekking tot netwerk performance is echter niet zozeer het aantal ritten dat over langzamere routes gaat, maar de omrijdtijd relevant. Dit geeft aan in welke mate het netwerk extra wordt belast, ten gevolge van het feit dat niet iedereen de snelste route kiest. In dit geval neemt het belang van de route proportioneel toe met het reistijdverschil ten opzichte van de snelste route. Het gewicht van de langzaamste routes is in dit geval dus het grootst. In tabel 3 worden de omrijdtijden per voertuig gegeven. Hierbij is de totale omrijdtijd per routeklasse gedeeld door het totaal aantal ritten over alle klassen, inclusief de ritten die over de snelste route gaan. Per klasse is dus aangegeven welke bijdrage ze levert aan de gemiddelde omrijdtijd. Deze bijdrage is met 0.15 minuten het grootst voor routes die 4 tot 7 minuten langzamer zijn dan de snelste route. Voor langere routes neemt de bijdrage in het omrijden snel af en lijkt ook hier de conclusie gerechtvaardigd dat routes langzamer dan 20 minuten niet hoeven te worden beschouwd.

De gemiddelde omrijdtijd (totale omrijdtijd over alle klassen gedeeld door het totaal aantal ritten) is 0.57 minuten. De gemiddelde reistijd over de snelste route is 7.5 min voor de hele steekproef. Dit betekent dat 8% extra tijd ($= 0.57 / 7.5$) wordt besteed aan omrijden, oftewel dat het netwerk gemiddeld 8% extra wordt belast. Dit is misschien een klein percentage, maar kan een verschil betekenen tussen geen of wel congestie.

Tabel 3: gemiddelde omrijdtijd op het netwerk

Routeklasse	Gemiddelde omrijdtijd per rit in minuten
tussen 0 – 1 minuten langzamer dan snelste	0.04
tussen 1 – 2 minuten langzamer dan snelste	0.11
tussen 2 – 4 minuten langzamer dan snelste	0.12
tussen 4 – 7 minuten langzamer dan snelste	0.15
tussen 7 – 12 minuten langzamer dan snelste	0.09
tussen 12 – 20 minuten langzamer dan snelste	0.06
Totaal	0.57

In traditionele toedelingsmodellen is het uitgangspunt dat reizigers de route kiezen die voor hen het meest gunstig is. Hierdoor ontstaat een gebruikersevenwicht (Wardrop 1952), waarin de reizigers hun situatie niet meer kunnen verbeteren. Echter, volgens de waarnemingen is de toedeling niet in evenwicht, indien wordt uitgegaan van het idee dat reizigers objectief de snelste route kiezen. Voor automobilisten die omrijden is het immers mogelijk om hun reistijd te verkorten door een snellere route te kiezen. Als zij dit zouden doen, kunnen de belastingen en daarmee de reistijden veranderen. Het is dus mogelijk dat de snelste route dan minder snel wordt. Toch achten we dit niet waarschijnlijk. Voor een link die op een bepaalde HB relatie onderdeel is van de snelste route, is de kans groot dat deze tegelijkertijd ook onderdeel is van een langzamere route op een andere HB relatie. Kortom, in het geval dat iedereen de snelste route zou kiezen, verwachten we niet een significant andere verdeling over de links, maar wel dat de belastingen voor vrijwel alle links omlaag zullen gaan, omdat er in totaal minder kilometers worden gemaakt. Dit is een belangrijk resultaat. Het geeft aan dat de huidige toedelingmethoden niet toereikend zijn voor stedelijk verkeer.

De waarden in tabellen 2 en 3 zijn niet voor elk netwerk hetzelfde. Voor een fijnmaziger netwerk zullen er meer alternatieven zijn en zal de totale fractie die niet over de snelste route gaat, toenemen. Indien er meer alternatieven zijn, zal ook de totale omrijdtijd op het netwerk toenemen. De huidige toedelingen zullen in dat geval minder waarheidsgetrouw zijn. Het is goed op te merken dat de term omrijdtijd een relatief begrip is. Het gaat immers om een vergelijking met de snelste route. Het is uiteraard niet zo dat een fijnmazig netwerk tot langere reistijden leidt. Stel dat er een HB relatie is die verbonden is met slechts één route. Indien er een route wordt toegevoegd, dan is het heel goed mogelijk dat deze route korter is dan de oorspronkelijke route. In dit geval neemt de omrijdtijd af. In het oude geval reed immers iedereen om, omdat de kortere route nog niet bestond. Toch is het niet vanzelfsprekend dat het toevoegen van wegen leidt tot minder omrijden. Als de toegevoegde route langzamer is dan de oorspronkelijke route, dan zullen er op de betreffende relatie in totaal meer kilometers worden gemaakt.

6. Discussie

In dit artikel zijn data van het kentekenonderzoek Enschede 2008 gebruikt om routekeuzegedrag te bestuderen. De belangrijkste conclusie is dat de routekeuze afhangt van het absolute reistijdverschil tussen routes. De kans dat een langzamere route wordt genomen neemt snel af met het reistijdverschil ten opzichte van de snelste route. Een significante fractie neemt echter nog steeds langzamere routes. De waarnemingen laten zien dat meer dan 25% niet over de snelste route gaat. Er is dus geen gebruikersevenwicht waarbij gebruikers hun reistijd minimaliseren, want deze mensen kiezen een route die op dat moment langzamer is dan de snelste route. Gemiddeld wordt er 8% omgereden. Dit lijkt een kleine fractie, maar deze fractie kan significant zijn voor de verkeersbelasting. In traditionele modellen wordt deze omrijdfactor niet meegenomen, waardoor de totale belasting op het netwerk met ongeveer hetzelfde percentage zal worden onderschat.

Deze studie is gebaseerd op routekeuzegedrag in een stedelijk netwerk. Het zou nuttig zijn om data van andere steden te bestuderen, zodat de resultaten in verschillende steden met elkaar vergeleken kunnen worden. We verwachten dat de omrijdfactor

toeneemt voor een fijnmaziger netwerk, omdat er meer alternatieven zijn en dus minder mensen de snelste route zullen nemen. Dat wil uiteraard niet zeggen dat een fijnmazig netwerk meer voertuigkilometers zal leveren. In het algemeen zullen de netwerkfstanden tussen herkomsten en bestemmingen kleiner zijn dan voor een grover netwerk. Bovendien hebben mensen meer alternatieven in het geval dat een belangrijke route wordt afgesloten door bijvoorbeeld een ongeluk.

Voor het grovere snelwegennet zijn er mindere alternatieven. De verwachting is dat voor dit netwerk een groter percentage de snelste route neemt en de omrijdfactor afneemt. Huidige toedelingen zullen daarom waarschijnlijk betrouwbaardere resultaten opleveren voor de snelwegen. Toch is dit niet zeker, omdat niet goed bekend is hoe mensen routes kiezen op snelwegen. Hoewel in dit artikel wordt geconcludeerd dat de routekeuze vooral afhangt van het absolute reistijdverschil, is niet onderzocht of dit ook geldt voor de snelweg. Het is mogelijk dat reizigers bereid zijn verder om te rijden op snelwegen, omdat de reistijden van dergelijke ritten duidelijk langer zijn.

Lang werd aangenomen dat de reistijd over de route (Sheffi 1985) het belangrijkste attribuut is. Reistijd is niet de enige factor in de routekeuze. Als reizigers de route kiezen, die voor hen het meest gunstig is, dan laat deze studie zien dat andere factoren ook een rol spelen in het routekeuze gedrag. Mensen zijn vaak niet volledig geïnformeerd en baseren hun keuze op een verwachte reistijd (Bates et al. 2001, Avineri and Prashker 2005). Naast de verwachte reistijd speelt ook de verwachte betrouwbaarheid van de route een rol in de routekeuze (Van Berkum en Van der Mede 1993; Lam en Small 2001) en laten experimenten zien dat reizigers risico's mijden en daarom vaak de langzamere, maar betrouwbare routes kiezen (Katsikopoulos et al. 2002, Bogers en Van Zuylen 2004). Het probleem van al deze attributen is echter dat ze moeilijk waar te nemen en te voorspellen zijn. Ze zijn daarom minder toepasbaar in praktische toedelingen.

Rijcomfort is een ander belangrijk attribuut. Het is mogelijk dat mensen bij voorkeur een route kiezen, waarlangs ze goed kunnen doorrijden zonder dat ze worden opgehouden door allerlei obstakels zoals bijvoorbeeld drempels, fietsers en verkeerslichten. Het attribuut rijcomfort hangt samen met het type weg en dus de wegehierarchie. Kleine straten met drempels zijn het minst comfortabel. Snelwegen zonder files zijn het meest comfortabel. Het voordeel van dit attribuut is dat het eenduidig te bepalen is en daarom makkelijk kan worden toegepast in toedelingen. In een vervolgstudie zullen we onderzoeken of de zogenaamde wegehierarchie een invloed heeft op de routekeuze. Daarnaast kan de mate van overlap van routes worden meegenomen. Twee routes die totaal verschillend zijn zullen als aparte routes beschouwd worden, terwijl vrijwel identieke routes (met bijna 100% overlap) eerder door reizigers als één route gezien worden.

Het onderzoeken van routekeuzegedrag is van belang voor de routeset generatie. De generaties van routes is een technisch aspect in toedelingsmodellen. Uit deze studie blijkt dat langzamere routes ook in de routeset behoren te zitten. Het is echter vrijwel onmogelijk om alle mogelijke routes te beschouwen in een toedeling. Omdat blijkt dat een verwaarloosbare fractie aan automobilisten routes neemt die 20 minuten langzamer zijn dan de snelste route, concluderen we dat die routes niet hoeven voor te komen in de routeset. Voor de denkbeeldige links tussen waarneemposten in een kentekenonderzoek

blijkt onze routeset generatie goed te werken. In een vervolgstudie zullen we analyseren of dit ook het geval is in een echt netwerk waarop verkeer in het studiegebied wordt toegedeeld.

Referenties

- Avineri, E. and Prashker, J.N., Sensitivity to Travel Time Variability: Travelers' Learning Perspective. *Transportation Research Part C*, 13, 2005, pp. 157-183
- Bates, J., Polak, J., Cook, A., The Valuation of Reliability for Personal Travel. *Transportation Research Part E*, 37, 2001, pp. 191-229
- Batley, R.P., Clegg, R.G., Driver Route and Departure Time Choices: The Evidence and the Models. Proc of the 33rd Annual UTSG conference, 2001, Cambridge, U.K.
- Ben-Akiva, M., and Lerman S., Discrete Choice analysis. MIT press, 1985.
- Bogers, E.A.I and Van Zuylen, H.J., The importance of reliability in route choices in freight transport for various actors on various levels, Proceedings European Transport Conference 2004, Strasbourg, France
- CROW, Tellen en meten in het verkeer; leidraad voor het uitvoeren van eenvoudig verkeersonderzoek. Publicatie 83, 1994, The Netherlands
- Duffell, J.R., Kalombaris, A., Empirical Studies of Car Driver Route Choice in Hertfordshire, *Traffic Engineering and Control*, 29 (7/8), 1988, pp398-408
- Katsikopoulos, K.V., Fisher, D.L., Duse-Anthony, Y., Duffy, S.A., Risk attitude reversals in drivers' route choice when range of travel time is provided, *Human Factors*, 44-3, 2002, pp. 466-473
- Kanninen, B. J., Intelligent transportation systems: An economic and environmental policy assesment. *Transportation Research Part A*, 30, 1996, pp. 1-10
- Koppelman, F.S. and Pas, E.I., Consumer Perspectives in Travel Choice and Interactive Travel Data Collection. *Transportation Research Record*, 765, 1986, pp. 26-33.
- Lam, T.C. en Small, K.A., The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment, *Transportation Research Part E*, 37, 2-3, 2001, pp. 231-251
- Papinski, D. and Scott, D.M., GIS Toolkit design and application for route choice analysis: a comparison of observed routes and shortest paths, proceedings TRB 2009.
- Sheffi, Y. & Powell, W.B., An Algorithm, for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times. *Networks* 12(2), 1982, pp.191-207.
- Sheffi, Y., *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, 1985, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Sisopiku, V.P. and Li, X. Overview of Dynamic Traffic Assignment Options. Proceedings of the 2006 Transportation Simulation Symposium, Spring Simulation Multiconference 2006, Huntsville, Al.
- Van Berkum, E.C. en Van der Mede, P., The impact of traffic information: Dynamics in route and departure time choice, 1993, Delft, TU Delft
- Wardrop, J. G., Some theoretical aspects of road traffic research, *Proceedings*, Institute of Civil Engineers, PART II, Vol.1, 1952, pp. 325-378