

10. ROUTEKEUZE VAN REIZIGERS

Piet H.L. Bovy

10.1 INLEIDING

Nog niet zo lang geleden reed ik met een kennis van Delft naar Den Haag. Wij wonen beiden in hartje Delft. Hij werkt in Den Haag, ik in Delft. Ik fiets altijd in Delft, hij gaat in de stad meestal te voet. Hij verlaat Delft dagelijks, soms met de trein, soms met de auto. Ik verbaasde me over de route die hij wilde volgen om Delft te verlaten richting Den Haag. Zelfs na 6 jaar in Delft bleek hij niet op de hoogte van een route die mij zo vanzelfsprekend leek. Daarbij mag hij echt wel meer dan ik gerekend worden tot het ras van de *'homo economicus'* die tracht voor elk probleem een zo optimaal mogelijke beslissing te nemen. Mijn kennis was ingenomen met de routesuggestie die ik hem deed; het leek hem inderdaad een zeer goede weg, die hij in het verloop vaker zou gebruiken.

Dit praktijkgeval illustreert enkele kernaspecten van het routekeuzeprobleem van de individuele reiziger. Om zijn doel te bereiken staan de reiziger meerdere routemogelijkheden ter beschikking. Om uiteenlopende redenen kent hij ze niet allemaal. Van degene, die hij wel kent, komen sommige sowieso niet in aanmerking. Uit de resterende deelverzameling routes kiest de reiziger die, die hem onder de gegeven omstandigheden het beste lijkt. Hierbij moet er vaak een afweging worden gemaakt tussen diverse aspecten van routes.

De kennis van bestaande routemogelijkheden kan in de loop der tijd veranderen onder invloed van actieve of passieve informatieverwerving: de één probeert wel eens graag wat uit en ontdekt zo een nieuwe route, ook al blijkt achteraf dat het vaak geen betere is dan de reeds bekende. De ander zoekt niet echt naar nieuwe en betere routes maar komt er meer op passieve wijze achter dat er ook nog andere mogelijkheden zijn, die soms zelfs beter blijken te zijn dan wat hij al jaren gewend is te doen. Het kiezen van een route voor een bepaalde rit noemen we hierna het routekeuzeprobleem; het zoeken van of geïnformeerd raken over nieuwe routes noemen we het routezoekprobleem.

Bij routekeuze in verkeersnetten valt te denken aan bijvoorbeeld de routes van voetgangers in de binnenstad, van scholieren naar school, van fietsers in de stad, van automobilisten en vrachtauto's lokaal en interlokaal, van schepen in onze wijdvertakte waterwegen, etcetera.

Studie van het routekeuzegedrag van reizigers in netwerken (dit is een stelsel van wegvakken verbonden door knooppunten) is allereerst gericht op inzicht in dat gedrag. Hoe kiezen mensen routes in een netwerk, wat weten ze, waarop letten ze, welke wegkenmerken spelen een rol? Op basis

hiervan kunnen rekenmodellen worden opgesteld waarmee het gebruik van routes in afhankelijkheid van de kenmerken ervan kan worden voorspeld. Hiermee kunnen de vervoersstromen in het netwerk worden berekend ter beoordeling van de situatie in een net. Met deze modellen kunnen ook de reacties van de reizigers op voorgenomen netwerkwijzigingen worden ingeschat: welke routeverleggingen zullen optreden, hoe verplaatsen zich congestie en lawaaihinder, welke reistijdveranderingen ontstaan er? Inzicht in het routekeuzegedrag helpt de verkeersontwerper hoe verkeersvoorzieningen te ontwerpen, welke maatregelen in aanmerking komen om de routekeuze in de gewenste richting te beïnvloeden en welke niet.

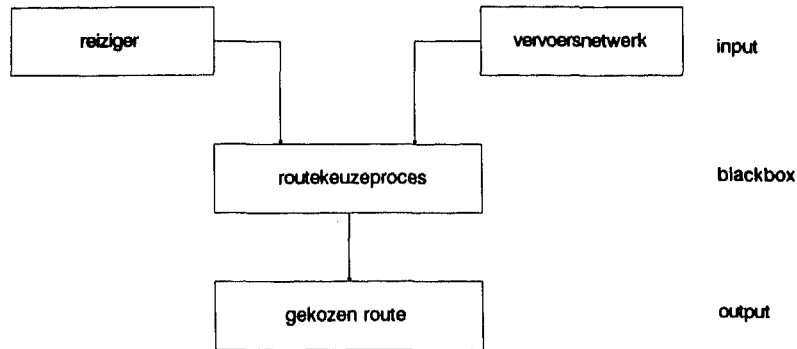
10.2 THEORIE ROUTEKEUZEGEDRAG

UITGANGSPUNTEN

Het gebruik van routes in een netwerk wordt gezien als het resultaat van een beslissingsprobleem: de reiziger die een rit maakt van A naar B zal een beslissing (moeten) nemen over de te gebruiken route van A naar B. Het beslissingsprobleem voor de reiziger bestaat uit het onderzoeken van de mogelijkheden, en het, op basis van de hem beschikbare informatie hierover, doen van een keuze hieruit. Het beslisproces bestaat dus uit twee hoofdonderdelen: het opsporen van alternatieven en het eigenlijke kiezen uit die alternatieven, wat tot gebruik van een bepaalde route leidt (zie hoofdstuk 7).

We gaan er verder vanuit dat er bij elke afzonderlijke beslissing sprake is van rationeel gedrag, bekeken vanuit het standpunt en de informatie van degene die de beslissing moet nemen. Voor een objectieve, volledig geïnformeerde toeschouwer kan dit gedrag desondanks irrationeel lijken. De reiziger streeft naar een voor hem optimale bevrediging van zijn (reis)behoeften, zo goed mogelijk gebruikmakend van de hem bekende reismogelijkheden. De uiteindelijke keuze, de gebruikte route, is derhalve het resultaat van twee sets kenmerken: persoonlijke kenmerken van de reiziger en kenmerken van het vervoerssysteem (zie figuur 10.1).

Hoe de gekozen route tot stand komt als functie van deze twee verzamelingen is in eerste instantie een *'black-box'*. Een bepaalde categorie van studies laat het inwendige van deze *'black-box'* voor wat het is en probeert de routekeuze te 'verklaren' via een correlatieve analyse van de (objectief) waarneembare *input* (reizigers- en netwerkenmerken) en de *output* (gekozen routes) van deze *'black-box'* bij verschillende situaties. Voor praktische doeleinden moge dit een acceptabele aanpak zijn, uit het oogpunt van theorievorming is er een behoefte om het inwendig functioneren van deze *'black-box'* te leren kennen. Een aanzet hiertoe wordt in het navolgende gegeven.



Figuur 10.1. Schematische weergave van de routekeuze.

STRUCTUUR KEUZEPROCES

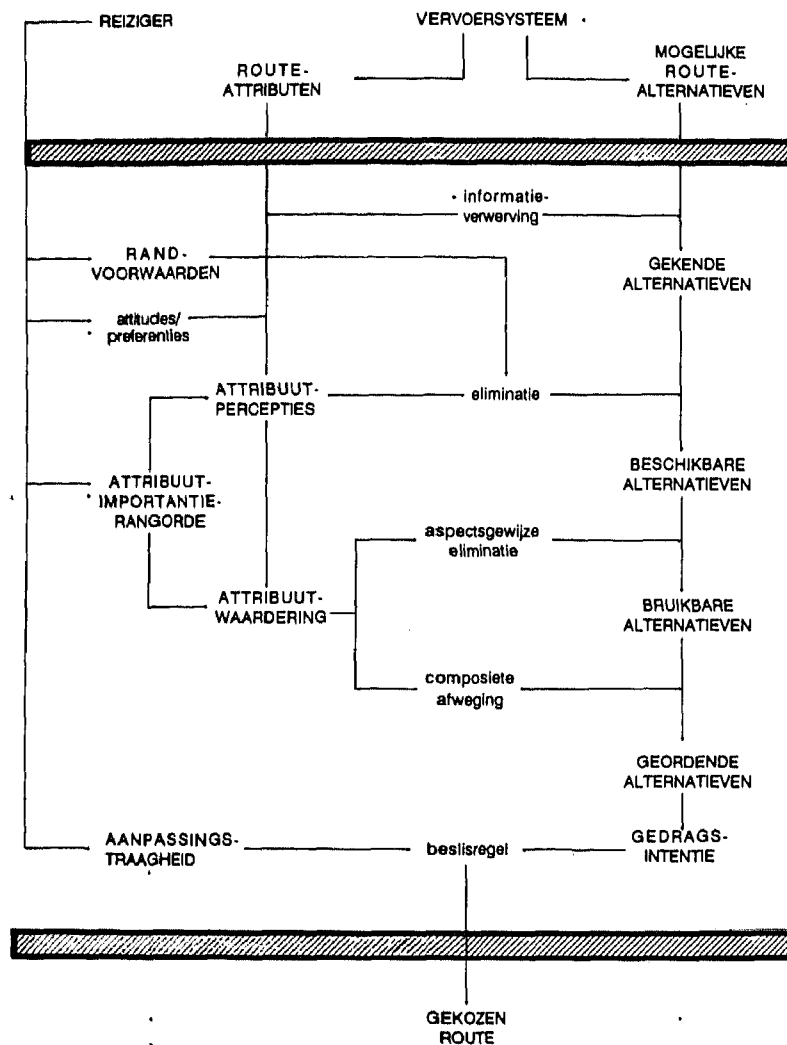
Bij de routekeuze hebben we aldus hoofdzakelijk te maken met twee gegevensheden:

- de reiziger, met zijn subjectieve wensen, ervaringen, voorkeuren, percepties, enzovoort.
- de fysieke omgeving, met zijn objectieve mogelijkheden en de kenmerken van die mogelijkheden.

Het beslisprobleem waar de reiziger voor staat kan men dan als volgt gestructureerd zien (figuur 10.2).

Er bestaat een fysieke omgeving met vele routemogelijkheden (alternatieven) om van A naar B te gaan. De reiziger heeft slechts een beperkte kennis (cognitie) van al deze mogelijkheden. De cognitie hangt onder meer samen met zijn reiservaringen (terugkoppeling vanuit het gebruik van gekozen routes), zijn informatieverwervingsgedrag (kaart gebruiken, aan anderen vragen), enzovoort. Niet alle gekende alternatieven komen bij de reiziger in kwestie altijd als reëel alternatief in aanmerking: er kunnen randvoorwaarden in het geding zijn, gesteld vanuit de reiziger en zijn verplaatsingsbehoefte, die bepaalde alternatieven bij voorbaat uitsluiten (bijvoorbeeld een route met een steile helling voor een gehandicapte fietser).

De gekende alternatieven die aan de randvoorwaarden voldoen vormen de keuzeset; dit is de verzameling van beschikbare alternatieven waaruit de reiziger kan kiezen gegeven zijn omstandigheden. De reiziger zal zijn keuze laten afhangen van bepaalde kenmerken of ook wel *attributen* van de alternatieven. Hij zal om die reden de (relevante) kenmerken zo goed mogelijk trachten te meten, in te schatten, zodat hij van alle relevante alternatieven de attribuutwaarden 'weet' van de voor hem relevante kenmerken. Deze kennis van de attribuutwaarden zal tot op zekere hoogte een vertekend



Figuur 10.2. Schematisch model van het individuele routekeuzegedrag.

beeld van de werkelijke situatie zijn: de perceptie die de reiziger heeft van de relevante alternatieven is min of meer onvolledig en onzuiver. Deze perceptie hangt onder meer samen met zijn reiservaringen (terugkoppeling vanuit het gebruik) en voorkeuren.

Niet alle relevante kenmerken zijn even belangrijk voor de reiziger bij het kiezen; bovendien kunnen sommige kenmerken, in de ogen van de reiziger, elkaar gedeeltelijk compenseren. Dit komt tot uitdrukking in een re-

latieve waardering die de reiziger geeft aan de kenmerken; hoog of laag, positief of negatief. Op basis van zulk een attribuut-importantie-hiërarchie zal de reiziger in eerste instantie een schifting aanbrenge in de vaak vrij omvangrijke verzameling beschikbare alternatieven: vele alternatieven blijken al bij een aspectsgewijze beschouwing onvoldoende bevrediging of nut te geven. Alleen bij een vrij beperkte groep overgebleven bruikbare alternatieven vindt een diepgaandere evaluatie plaats met afweging van elkaar compenserende eigenschappen. Op basis van een samengestelde nutsfunctie (combinatieregel) waarin de relatieve waardering van de aspecten tot uitdrukking komt, kan de reiziger een voorkeursordering in de alternatieven aanbrenge. Als op deze wijze de relevante alternatieven zijn geordend kan de reiziger volgens een bepaalde regel een beslissing voor de te gebruiken route nemen. Bij deze persoonlijke beslisregel speelt onder meer aanpassingstraagheid een rol: voor het veranderen van routinematig terugkerende gedragingen moeten bijvoorbeeld extra drempels worden overwonnen.

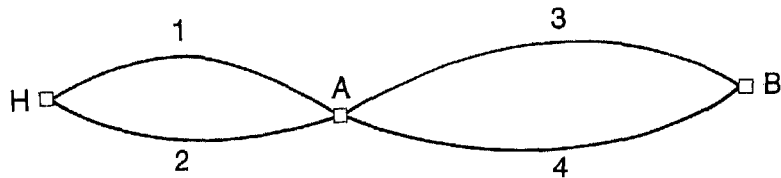
Het beslisprobleem wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een *dynamische component*. Het belangrijkste hierbij is wel de terugkoppeling vanuit het gebruik van de gekozen route naar eerdere fasen in het beslisproces. Zo is er ten aanzien van de cognitie en perceptie sprake van een leerproces doordat de informatie uit ervaring van vroegere keuzen wordt verwerkt bij nieuwe beslissingen. Ten aanzien van de waarderingsaspecten is er sprake van aanpassing van attitudes en preferenties als gevolg van discrepanties tussen verwachte en werkelijke ervaringen. De aard van het keuzevormingsproces doet verwachten dat routekeuze heel persoonlijk is, dat er *sterke individuele verschillen* in voorkeuren en gedrag zullen voorkomen, die niet makkelijk te herleiden zullen zijn tot observeerbare persoonskenmerken als leeftijd of geslacht. We zullen hierna een aantal elementen van het keuzep proces bij routes nader onder de loep nemen.

10.3 ELEMENTEN VAN HET ROUTEKEUZEGEDRAG

KENMERKEN VAN DE KEUZESITUATIE BIJ ROUTES IN NETWERKEN

Typisch voor verkeersnetten is de verbinding door knooppunten. Het gevolg hiervan is dat tussen twee punten meestal vele reismogelijkheden bestaan die in meer of mindere mate overlappen via gemeenschappelijke wegvakken en kruispunten. Ter illustratie een voorbeeld van een interlokale keuzesituatie (zie figuur 10.3).

Bij de bespreking van de cognitie van keuzemogelijkheden is allereerst aandacht nodig voor wat in het geval van routekeuze als 'alternatief' dient te worden opgevat. Om te laten zien dat dit geen triviale zaak is dient het volgende voorbeeldnetwerk.



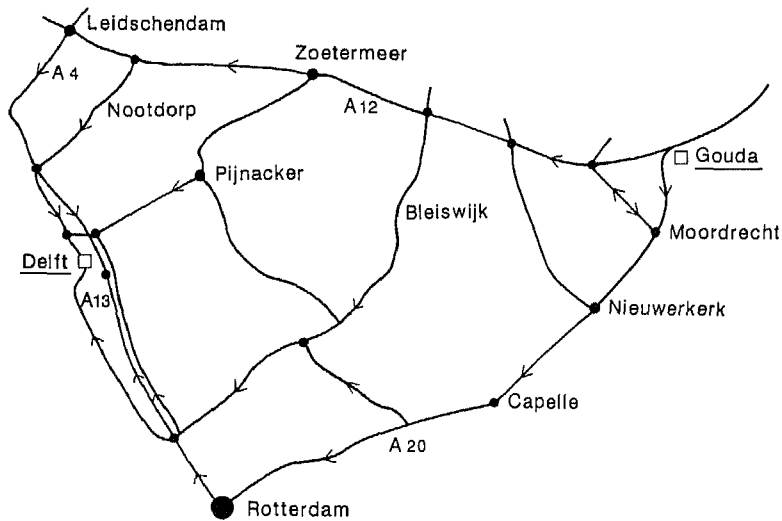
De keuzesituatie bestaat uit alle mogelijke routes van herkomst H naar bestemming B. Dit zijn er vier, en wel de routes bestaande uit de volgende reeksen van wegvakken:

- route 1 = wegvakken 1 en 3
- route 2 = wegvakken 1 en 4
- route 3 = wegvakken 2 en 3
- route 4 = wegvakken 2 en 4.

Er zijn twee keuzepunten, namelijk herkomst H en knooppunt A. Ten aanzien van het keuzeprobleem zijn nu twee extreme situaties mogelijk:

(a) de reiziger kiest uit volledige routes tussen H en B; hij maakt zijn keuze voordat hij vertrekt, en verandert deze niet onderweg. Zijn gedrag bij knooppunt A ligt al voor vertrek bij H vast.

(b) de reiziger kiest bij elk keuzepunt onderweg opnieuw uit de deelroutes tot het volgende knooppunt. De keuzen op keuzepunten zijn van elkaar onafhankelijk. Een alternatief bestaat nu uit een reeks keuzen. In H wordt gekozen uit deelroutes 1 en 2, en in punt A uit deelroutes 3 en 4, los van reeds eerder gedane keuzen.



Figuur 10.3. Uitsnede van de routekeuzesituatie van Gouda naar Delft.

Er is natuurlijk nog een tussenweg:

(c) de reiziger kiest op keuzepunten, maar zijn keuzegedrag is afhankelijk van eerdere keuzen.

Hoewel er geen onderzoek naar gedaan is, mag men aannemen dat alle drie vormen van routekeuze voorkomen.

Bij de analyse van routekeuzegedrag treft men zowel studies aan die alleen niet-overlappende routedelen als alternatieven beschouwen (bijvoorbeeld Hamerslag, 1979), als ook zulke - het merendeel - die zich richten op volledige routes als keuze-alternatieven (bijvoorbeeld Bovy, 1984a).

Het aantal theoretisch mogelijke routes in een bepaalde keuzesituatie (herkomst-bestemmingspaar) kan zeer groot zijn, zelfs na uitsluiting van zogenaamd (topologisch) onzinnige routes die bijvoorbeeld meer dan eens hetzelfde wegvak of knooppunt passeren. Ook de complexiteit van de verzameling routes (de mate van ruimtelijke overlap) is doorgaans erg groot, met name in de stad.

In het voorbeeld van het Delftse fietsnet tussen het NS station en de Aula van de Technische Universiteit (circa 60 wegvakken, circa 40 knopen) bevinden zich alleen al binnen de aangegeven rechthoek van 1000 x 800 m meer dan 40 logische routes van Station naar Aula (zie figuur 10.4).

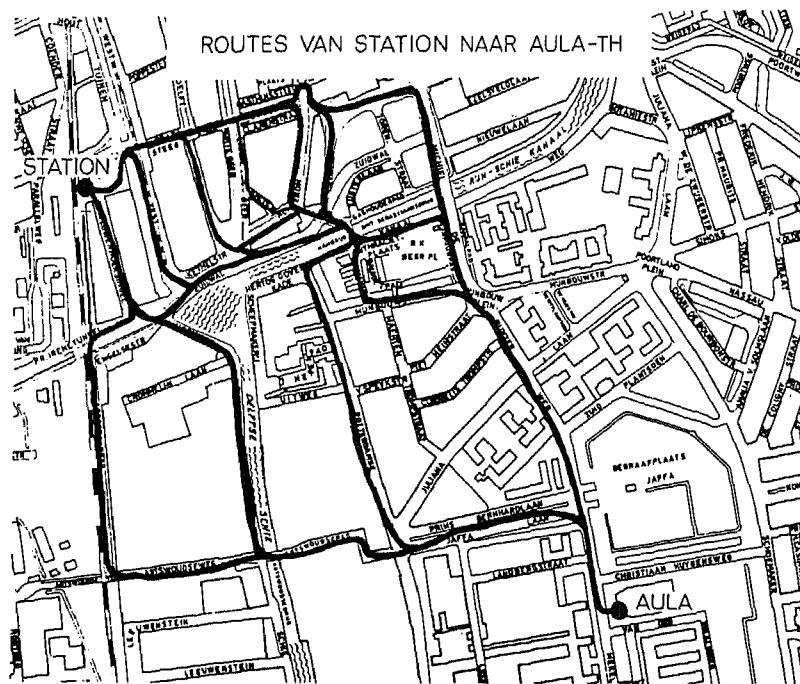
Buiten deze rechthoek bevindt zich echter een bijna onbegrensd aantal verdere mogelijke routes tussen Station en Aula, hoewel de kans klein is dat ze ooit voor deze rit zullen worden gebruikt. De omvang van de verzameling mogelijke routes hangt af van het soort rit dat gemaakt moet worden: lokaal of interlokaal, lang of kort.

Daartegenover blijkt uit onderzoek dat de eigenlijke keuzeverzameling, dat zijn die routes die de reiziger met elkaar vergelijkt en waarbij voor- en nadelen worden afgewogen alvorens een keuze te doen, zeer beperkt is, namelijk in de orde van grootte van hooguit ongeveer vijf (bijvoorbeeld Jansen en Den Adel, 1986).

We hebben in dit ene geval in Delft aldus de volgende reeks:

- vermoedelijk meer dan 1000 mogelijke routes;
- ongeveer 40 reële routes;
- circa 15 door alle fietsers tezamen gebruikte routes;
- hooguit 4 à 5 overwogen alternatieven per individu.

De reductie van de verzameling objectief mogelijke routes tot de subjectief bepaalde keuzeverzameling is onder meer het gevolg van de beperkte *cognitie* van die mogelijkheden, de aanwezigheid van *randvoorwaarden* die een grote groep direct uitsluiten, als ook *aspectsgewijze eliminatie*, waarbij grote groepen routes direct afvallen omdat ze op een bepaald aspect onder een drempel scoren hetgeen niet gecompenseerd kan worden door welke positieve scores dan ook op andere aspecten. Deze filtering is individueel heel verschillend en is afhankelijk van iemands voorkeuren en activiteitenpa-



Figuur 10.4. Uitsnede van de routekeuzesituatie voor de fiets tussen Station en Aula in Delft (in vet: gebruikte routes).

troon. Een wezenlijk element bij deze reductie is de *ruimtelijke inperking*, die onder meer voortvloeit uit het feit dat reizen tijd kost, hetgeen grenzen stelt aan de uitgestrektheid van bepaalde routes, en dat reizen een oriëntatie heeft, een geografische doelgerichtheid kent, waardoor routes met een sterk afwijkende oriëntatie bij voorbaat worden uitgesloten.

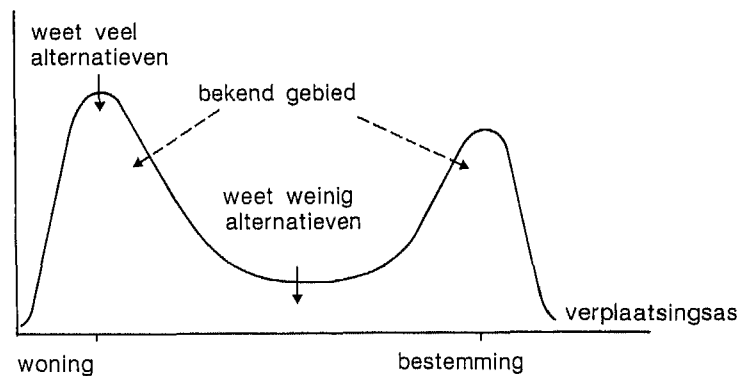
COGNITIE VAN ROUTES IN NETWERKEN

Een reiziger kan alleen uit die routes kiezen die hij kent of weet: de cognitie van de bestaande mogelijkheden is dus allesbepalend voor de uitkomst van het routekeuzeproces. Ondanks dit voor de hand liggende gegeven is er bij het routekeuze-onderzoek tot nu toe vrijwel uitsluitend aandacht besteed aan het afwegingsproces en nauwelijks aan het cognitie-aspect. De cognitie van netwerken is beperkt; een reiziger, zelfs een taxi-chauffeur, zal niet alle routemogelijkheden, hoe voor de hand liggend soms ook, weten. Er blijkt nauwelijks empirisch onderzoek te zijn gedaan waarin direct naar de kennis van routes bij individuen is gekeken. Een recent voorbeeld hiervan is een studie naar routekeuzegedrag van autoforensen woonachtig in Gouda of omgeving en werkend in Delft (Jansen en Den Adel, 1986). Van de circa 15

relevante routes blijken de 50 geïnterviewde personen er gemiddeld maar vier actief te kunnen noemen.

Uit de schaarse onderzoeken komt naar voren dat de reiziger alleen goed op de hoogte is van een zeer beperkt deel van het netwerk, namelijk de hogere-orde wegen, en het lagere-orde netwerk alleen kent in de directe omgeving van zijn woning en andere frequent bezochte activiteitenplaatsen (zie figuur 10.5). Iemands 'mental map' van het transportnetwerk is sterk

aantal bekende
alternatieven



Figuur 10.5. Schematische weergave van het cognitieniveau van het netwerk in relatie tot de verplaatsing.

afhankelijk van zijn reiservaringen en van zijn informatieverwervingsgedrag. Er is een dynamische component in de cognities met betrekking tot routes via een terugkoppeling vanuit het routegebruik: tijdens het reizen kunnen directe stimuli over andere mogelijkheden worden ontvangen, of er kan een zodanige discrepantie tussen van te voren verwachte en werkelijk ervaren routekenmerken zijn dat actief gezocht gaat worden naar betere routemogelijkheden voor een volgende reis.

RANDVOORWAARDEN BIJ ROUTEKEUZE

Niet alle gekende alternatieven staan altijd open voor gebruik door een reiziger voor een bepaalde verplaatsing. Er kunnen 'constraints' (randvoorwaarden) aanwezig zijn die het gebruik van een of meer routealternatieven in bepaalde situaties uitsluiten. Onder een 'constraint' verstaan we hier een reden om gekende alternatieven niet te gebruiken, en zelfs niet in het keuzeproces te betrekken, die onafhankelijk is van het voorkeurspatroon van de reiziger in kwestie.

Men kan onderscheid maken tussen *systeem-constraints*, die het netwerk oplegt en die strikt genomen (zie hierover later) voor iedereen gelden, en

persoonlijke 'constraints', die te maken hebben met de omstandigheden van een bepaalde persoon of verplaatsing. Typische *stelsel-constraints* bij routekeuze zijn fysieke *'constraints'* zoals doorrijhoogte en doorrijbreedte, waar vooral vrachtwagens mee te maken hebben, als ook regelgeving*constraints*, zoals inrijverboden, maximaal toelaatbaar gewicht en verboden voor gevaarlijke-stoffen transport. Terwijl een chauffeur de fysieke *'constraints'* noodgedwongen zal moeten accepteren is de werking van regelgeving*constraints* van de persoon afhankelijk. Het probleem is dat verkeersregelgeving door de een vanzelfsprekend wordt opgevolgd, en derhalve voor hem een *'constraint'* is, terwijl een ander het al-of-niet opvolgen van verboden afweegt tegen andere voor- of nadelen van de te gebruiken routes. Aangezien illegaal routegebruik sterk verbreid is (bijvoorbeeld bij fietsers en gevaarlijke-stoffen vervoer) is het voor een juiste analyse van routekeuzegedrag gewenst met regelgeving*constraints* rekening te houden. Dit impliceert dat illegale routes in beginsel in de set mogelijke routes worden opgenomen. Uit onderzoek in Delft (Bovy, 1984b) is gebleken dat ongeveer 15% van de fietsritten gebruik maakt van wegen die niet voor fietsers bedoeld zijn, waarbij in het merendeel van de gevallen illegaal gefietst wordt (er kan in theorie ook met de fiets gelopen zijn). Van alle afgelegde fietskilometers is dat minder dan 1%. Met deze kleine illegale stukjes kunnen echter zeer attractieve routealternatieven worden gemaakt die vaak gunstiger zijn dan de legale routes.

Voorbeelden van *persoonlijke 'constraints'* zijn tijdstipvoorwaarden of handicaps. Vanwege een tijdverplichting kunnen alleen routes in aanmerking komen die korter dan een bepaalde reistijd duren. Lichamelijke handicaps kunnen ook het gebruik van bepaalde routes uitsluiten, zoals routes met trappen voor voetgangers of met steile hellingen voor fietsers.

KEUZEFACTOREN EN PERCEPTIES ERVAN

De factoren die een rol spelen bij het kiezen van een route kunnen grofweg in vier hoofdcategorieën worden ingedeeld, namelijk voor zover ze te maken hebben met:

- de beschikbare routes;
- de persoon van de rittenmaker;
- de te maken verplaatsing;
- overige omstandigheden (bijvoorbeeld het weer).

De individuele reiziger kiest op basis van kenmerken, ook genoemd attributen, van de routes; de drie overige groepen factoren zijn alleen van invloed op het relatieve belang en de perceptie van die routekenmerken. Niet alle attributen van routes zijn even belangrijk, en het belang varieert naar gelang van de persoon, het soort verplaatsing (bijvoorbeeld woon-werk rit) of de omstandigheden (bijvoorbeeld het weer). Er is sprake van een per-

soons- en situatiegebonden *importantie-hiërarchie*. Er is al heel wat onderzoek gedaan om factoren te identificeren die de routekeuze beïnvloeden, maar de grote verschillen in opzet hiervan maakt het trekken van algemeen bruikbare conclusies uiterst moeilijk. Vrij algemeen komt naar voren dat reistijd doorgaans de belangrijkste zelfstandige keuzefactor is maar dat andere factoren niet te verwaarlozen zijn. Ook is een hoge mate van individuele verschillen geconstateerd (voor een overzicht zie Bovy en Den Adel, 1984).

De grootheden die bij routekeuze een rol kunnen spelen, kunnen in drie hoofdklassen worden ingedeeld:

- kenmerken van de weg;
- kenmerken van het verkeer onderweg;
- kenmerken van de omgeving.

Voorbeelden van zulke kenmerken zijn onder meer:

WEGKENMERKEN	VERKEERS- KENMERKEN	OMGEVINGS- KENMERKEN
-wegtype (bv. autoweg)	-verkeerssamen- stelling	-soort bebouwing
-wegdek	-drukke	-overige
-routelengte	in rijrichting	
-verlichting	in tegenrichting	
-bewegwijzering	in dwarsrichting	
-vormgeving	-rijnsnelheid	
-overige	-reistijd	

Het individu kiest op grond van *verwachtingen* omtrent de keuzefactoren; deze verwachtingen op hun beurt stelen op *percepties* van de weg-, verkeers-, en omgevingskenmerken. Uit diverse onderzoeken (bijvoorbeeld Outram en Thompson, 1977) is gebleken dat van de mensen die beweren de kortste of snelste route te kiezen, slechts de helft inderdaad een optimale route gebruikt. Voor een deel zal dit terug te voeren zijn tot een verkeerde perceptie van de kenmerken van de verschillende alternatieven.

Bij deze perceptie hoeft het niet uitsluitend om eigen waarnemingen van de reiziger van de betreffende alternatieven te gaan. De indruk die deze heeft kan ook gebaseerd zijn op anderssoortige informatie (kaartmateriaal, horen zeggen, en dergelijke). Ook gaat het niet alleen om een gebrekkige mentale verwerking van zintuigelijke stimuli, maar kunnen de routekenmerken zich veranderen zonder dat de reiziger er weet van heeft. Zo zal de informatie over wegverbeteringen vaak enige tijd na-ijlen. Vooral het inschatten van de verkeerskenmerken op een route, en dat voor een toekomstige verplaatsing, is een moeilijke opgave vanwege het stochastische karakter.

ter hiervan. Hieruit moge duidelijk worden dat perfecte informatie over de routekenmerken uitgesloten is.

EVALUATIE VAN ROUTES

Bij routekeuzesituaties is het aantal beschikbare alternatieven doorgaans zo groot dat niet mag worden aangenomen dat een reiziger deze allemaal onderling met elkaar vergelijkt op alle voor hem of haar relevante aspecten. Er lijkt eerder sprake te zijn van een proces in meerdere fasen, waarbij de alternatieven eerst *een aantal zeven* moeten passeren, alvorens een vergelijkende evaluatie kan plaatsvinden op de overblijvende alternatieven. Essentieel is dat pas in de eindfase een min of meer bewuste afweging wordt gemaakt tussen diverse aspecten van een beperkt aantal overgebleven alternatieven. Deze afweging houdt in dat aspecten elkaar kunnen compenseren: de wat hoger getaxeerde onveiligheid op een bepaald alternatief wordt bijvoorbeeld goedge maakt door een veel geringer reistijdverlies. In het daaraan voorafgaande *zeefproces* is er meer sprake van aspectsgewijze eliminatie van alternatieven, waarbij verschillende aspecten niet met elkaar in verband worden gebracht (zie hoofdstuk 7).

Bij de zogenaamde *composiete evaluatie*, of afweging, worden alle relevante aspecten van de (overgebleven) alternatieven gecombineerd bekeken. Hiertoe hanteert het individu één of andere combinatieregel, ook wel genaamd nutsfunctie of preferentiefunctie, waarmee aan elk alternatief een waarde wordt toegekend op een cardinale (bijvoorbeeld nut) of ordinale schaal (rangordes)(zie hoofdstuk 7). Het is dit onderdeel van het routekeuze proces, waaraan in het verleden de meeste aandacht is geschonken. In vrijwel alle gevallen gaan de onderzoekers uit van een lineair-additieve combinatieregel en wordt het nut van een alternatief direct in verband gebracht met observeerbare routekenmerken. Met behulp van uit waargenomen routekeuzen afgeleide nutsfuncties kunnen uitspraken worden gedaan over de relatieve waardering van bijvoorbeeld de omgeving van de weg ten opzichte van de reistijd.

Zo onderzochten Borgers en Timmermans (1984) de relatieve betekenis van winkelvoorzieningen in straten bij de routekeuze van voetgangers in de binnenstad van Maastricht. De afweging tussen wegdekkwaliteit en reistijd was onder meer het onderwerp bij een studie naar routekeuze van fietsers (Bovy en Den Adel, 1985). Bij diverse interlokale routekeuzestudies die in Nederland zijn gehouden (bijvoorbeeld Hamerslag, 1979; Ben-Akiva e.a., 1984) is onder meer gekeken naar de bijdrage van wegtype, bewegwijzering en dergelijke. De betekenis van files voor de routekeuze van het containertransport is recentelijk bestudeerd (Van Vuren en Jansen, 1986).

ROUTEKEUZE-DYNAMIEK

Het routekeuzegedrag is verre van statisch. Al tijdens de verplaatsing zelf kunnen er aanpassingen plaatsvinden in de gedragsintentie, als gevolg van

ervaringen onderweg. De tot een bepaald moment onderweg ondervonden reistijd kan zodanig afwijken van de aanvankelijke inschatting, dat de reiziger besluit zijn rit volgens een ander traject voort te zetten. Deze zogenaamde tijdens-rit-dynamiek wordt ook wel *adaptieve routekeuze* genoemd. Vaak reageert de reiziger op de drukte onderweg en dit betekent dat de routekeuze van de ene reiziger afhankelijk is van de routekeuze van (vele) anderen: er is dus een wisselwerking tussen de routekeuze van verschillende individuen die op hetzelfde moment onderweg zijn.

Een tweede niveau van terugkoppeling is die van het gebruik naar de waarnemings- en waarderings-*filters* in de 'black-box': de ervaringen opgedaan bij de ene rit worden verwerkt bij de routekeuze van volgende ritten. Het routegebruik verbetert de cognitie omtrent het vervoerssysteem, kan aanzetten tot informatieverwerving over andere routes, leidt tot een betere perceptie van attributen, en kan aanleiding zijn attitudes en preferenties, dat wil zeggen de importantiehiërarchie, aan te passen. Deze tussen-rit-dynamiek in de routekeuze zal bij sommige soorten verplaatsingen, zoals bijvoorbeeld woon-werk verkeer, vrij stabiel zijn, en kan bij andere verplaatsingen juist grote verschillen te zien geven in opeenvolgende keuzen van routes voor eenzelfde reis.

10.4 ROUTEKEUZEMODELLEN

BENADERINGEN

De modelmatige, kwantitatieve analyse en prognose van het individuele routekeuzeprocess heeft zich tot nu toe beperkt tot de keuze in eigenlijke zin. Er zijn op dit moment operationele routekeuzemodellen beschikbaar die de kans op de keuze van een alternatief aangeven, conditioneel op een gegeven verzameling alternatieven.

De daaraan voorafgaande stap van het genereren van de relevante keuzeverzameling met behulp van modelmatige benaderingen is een nog vrijwel onontgonnen terrein. Zo een model zou bijvoorbeeld moeten aangeven wat de kans is dat een bepaald alternatief j deel uitmaakt van de keuzeverzameling van persoon i . Een eerste bescheiden stap in die richting is de zogenaamde '*labeling approach*', een door Rijkswaterstaat ontwikkelde heuristische aanpak om collectieve keuzeverzamelingen (een gemeenschappelijke verzameling voor een groep reizigers) te genereren (zie Ben Akiva e.a., 1984).

De conditionele routekeuzemodellen die op dit moment in gebruik zijn kunnen alle worden beschouwd als operationalisering van de zogenaamde '*random utility*' theorie. Er zijn in Nederland diverse toepassingen van zulke modellen en deze zullen hierna kort worden aangestipt. Vervolgens zal een geheel ander modeltype worden beschreven, de zogenaamde '*produktieregel-systemen*', die recentelijk zijn voorgesteld voor de analyse van routekeuzegedrag. Dit modeltype is nog in het geheel niet operationeel

(althans bij routekeuzestudies) maar heeft de potentie het routekeuzeprocess in een veel ruimer verband te onderzoeken dan de 'random utility' modellen doen.

RANDOM-NUTSTHEORIE

De random-nutstheorie kan als volgt worden samengevat (zie bijvoorbeeld Hensher en Johnson, 1980):

(a) Het totale nut V van route j voor een individu i is samengesteld uit een voor de onderzoeker observeerbaar nutsdeel U en een niet-waarneembaar random deel E :

$$[10.1] \quad V_j = U_j + E_j$$

Het systematisch, observeerbaar nutsdeel U is afhankelijk van een deelverzameling Y_{ij} van de attributen X_{ij} .

$$[10.2] \quad U_j = U(Y_{ij})$$

(b) Wanneer wordt aangenomen dat elk individu tracht het voor hem gunstigste alternatief te gebruiken (individuele nutsmaximalisatie) dan is de kans dat een individu alternatief j kiest bepaald door de kans dat het totale nut V_j groter is dan het nut van alle andere alternatieven:

$$[10.3] \quad P_j = P(U_j + E_j > U_k + E_k) \text{ voor alle } k \neq j$$

Al naar gelang de veronderstellingen die worden gedaan over de functie voor U en de simultane kansverdeling voor E resulteren verschillende soorten kansmodellen.

Wanneer wordt aangenomen dat de kansverdeling voor E de zogenaamde *Weibullverdeling* volgt en voor alle alternatieven dezelfde spreiding heeft, dan heeft het kansmodel de vorm van een zogenaamd *logitmodel*. Het *probitmodel* resulteert wanneer een multivariate normale verdeling van E wordt aangenomen met willekeurige varianties voor elk alternatief en willekeurige correlatie tussen de alternatieven (voor details zie Bovy, 1984a).

LOGIT ROUTEKEUZEMODELLEN

Het logitmodel heeft de bekende vorm:

$$[10.4] \quad P_i(j:J) = \frac{\exp U_{ij}}{\sum_{j \in J} \exp U_{ij}}$$

waarbij:

- J = de set relevante alternatieven voor persoon i
- $P_i(j:J)$ = de kans dat persoon i route j zal kiezen uit de set J
- U_{ij} = het gemeten nut van route j voor persoon i

Het geeft de kans op gebruik van alternatief j in afhankelijkheid van de nutsfunctie U voor j en van die voor de overige alternatieven. Toepassingen van dit eenvoudige model zijn onder meer:

- de voetgangersroutekeuze in de binnenstad van Maastricht (Borgers en Timmermans, 1984)
- interlokale autoroutekeuze in Zuid-Holland (Hamerslag, 1979) en rondom Utrecht (Immers en Van den Boogaard, 1984).

Ter illustratie enige cijfers uit het voetgangersonderzoek. Het eenvoudigste model was dat met alleen afstand als verklarende variabele:

$$[10.5] \quad U_j = a d_j$$

waarin

d_j = de afstand in meters

Na schatting met routewaarnemingen resulteerde als parameterwaarde:

$$a = -0.4$$

Het negatieve teken geeft aan, dat hoe langer de route, hoe kleiner het nut, en dus hoe kleiner de kans dat de verplaatsing inderdaad gemaakt wordt. De parameterwaarde drukt verder uit het belang van de factor afstand in verhouding tot de overige, niet-opgenomen routefactoren: hoe groter a des te belangrijker is afstand als verklarende variabele. Het blijkt dat bij de geschatte waarde van $a = -0.4$ de kansverdeling van het werkelijke nut V maar een relatieve spreiding heeft van circa 5% ten opzichte van de verwachtingswaarde V_j .

Met andere woorden: de functie $U_j = -0.4 d_j$ is een zeer goede benadering voor het werkelijke nut V_j .

PROBIT ROUTEKEUZEMODELLEN

Het grote probleem bij *logitmodellen* is dat geen rekening kan worden gehouden met correlaties tussen alternatieven, en deze zijn nu juist in hoge mate aanwezig bij routes vanwege het gedeeltelijk samenvallen (overlap), vooral in stedelijke netwerken (zie Bovy, 1985a). *Probitmodellen* kunnen deze samenhang tussen routes wel verdisconteren (Gommers en Bovy, 1984).

Toepassingen van het *probitmodel* zijn bekend voor:

- de voetgangersroutekeuze in de binnenstad van Maastricht (Van der Waerden, 1985);
- de fietsroutekeuze in Delft (Bovy, 1985b).

PRODUKTIEREGEL-SYSTEMEN

Introductie

Volgens de modelclassificatie van Michon (1985b) zijn de bovengeschetste keuzemodellen te beschouwen als statische input-output modellen. Zulke modellen kunnen ons weinig vertellen over de denkprocessen van de besliser. Om het inwendige van de *keuze-black-box* en het dynamisch karakter

ervan beter in de greep te krijgen, zijn motivationele en cognitieve procesmodellen nodig.

Wanneer we het gedrag van de verkeersdeelnemer opvatten als probleemoplossings- en beslissingsgedrag, dan ligt het voor de hand ook de methoden en begrippen van de cognitieve psychologie te hanteren bij het modelleren van dat gedrag. Michon (1985b) propageert hiertoe het formalisme van de produktieregels en produktiesystemen (PS). Produktiesystemen hebben inmiddels hun potentie bewezen als krachtige en zeer algemene instrumenten voor het modelleren van complexe cognitieve processen en vaardigheden, waartoe routekeuze ook mag worden gerekend.

Modeleigenschappen

Het centrale uitgangspunt van PS-modellen is dat het beslisgedrag in een bepaalde context (bijvoorbeeld routekeuze), kan worden beschreven als een reeks of systeem van ALS-DAN regels. Zulke regels hebben de algemene vorm:

ALS (verzameling *condities*) geldt

DAN doe (verzameling *acties*)

Een produktiesysteem bestaat in beginsel uit een verzameling ALS-DAN beweringen, produktieregels of kortweg produkties genoemd. ALS een bepaalde voorwaarden van toepassing is, DAN volgt een bepaalde actie, zo niet dan wordt een andere ALS-DAN regel geselecteerd, getoetst en uitgevoerd. Het volgende routezoekvoorbeeld illustreert de basisbegrippen:

- P1: ALS bestemming van verplaatsing bekend is,
DAN raadpleeg plattegrond en zoek bestemming op.
- P2: ALS bestemming bekend is *en*
routes naar bestemming niet bekend,
DAN zoek mogelijke routes op kaart op.
- P3: ALS routes naar bestemming bekend zijn,
DAN bepaal hiervan de kortste route.

Dit systeem van drie produktieregels is een mogelijk model voor een routezoekstrategie. Het ALS-gedeelte van de produktieregel (de voorwaarde) is een verzameling condities, of beter gezegd pre-condities, die meestal twee zaken weergeven: de *toestand* van de beslissituatie en de *doeleinden* van de beslisser.

De beslisser wordt opgevat als iemand die een grote verzameling van zulke produktieregels tot zijn beschikking heeft. Op elk niveau gedurende een beslisproces is de beslisser bezig de meest van toepassing zijnde ALS-DAN regel te selecteren, te toetsen en uit te voeren, gegeven zijn percepties van de context op dat moment. De uitvoering van de gekozen regel leidt vervolgens tot veranderingen in de toestand van de beslisomgeving en in de doeleinden van de beslisser, zodat nieuwe regels van toepassing worden. Dit proces gaat door tot een beslissing is bereikt.

Het totale PS-model bestaat aldus uit meerdere onderdelen:

- een set produktieregels, waarvan het actiegedeelte kan worden uitgevoerd indien en slechts indien het conditiegedeelte geheel vervuld is;
- een set preferenties, die aangeven welke produktieregel uiteindelijk wordt *gekozen* voor uitvoering indien zich verscheidene alternatieven aanbieden voor uitvoering;
- een set produktieregels die het model tot verdere activiteit in staat stellen als zich geen bruikbare alternatieven blijken aan te bieden (opdat het systeem niet in nietsdoen verzandt).

Voordelen van PS-modellen zijn onder meer:

- de algemeenheid van het formalisme: op elk niveau in het beslisproces kunnen dezelfde soort abstracte regels worden geformuleerd;
- de volgtijdelijkheid van beslisprocessen kan goed worden gerepresenteerd;
- ze zijn geformuleerd op individueel niveau.

Voor de analyse van routekeuzegedrag geldt bovendien dat dit type model zich goed leent voor computer-simulaties (zie voor een demonstratie hiervan Clark en Smith, 1985); het belang hiervan hangt samen met het feit dat het waarnemen van werkelijke keuzesituaties en werkelijk keuzegedrag bij routes in netwerken zo moeilijk is.

Het opstellen van een PS-model komt overeen met het opstellen van een zogenaamd *expert-systeem* voor '*computer-assisted problem solving*', waarbij de verkeersdeelnemer als expert wordt beschouwd voor het oplossen van, in dit geval, routekeuze problemen. Het 'vullen' van het systeem, dat is het bepalen van de vorm en inhoud van de afzonderlijke regels, kan gebeuren via inductie: men laat de expert een heleboel, reële of gesimuleerde, problemen oplossen en leidt achteraf daaruit zijn beslisregels af (zie bijvoorbeeld Clark en Smith, 1985).

Voorbeeld: hiërarchische routeopbouw

Een van de hypothesen over routekeuzegedrag betreft de zogenaamde pyramidale routeopbouw (zie bijvoorbeeld Bovy, 1981); een chauffeur probeert vanuit zijn vertrekpunt zo snel mogelijk via de lagere-orde wegen op de hogere-orde wegen te komen, probeert daar zo lang mogelijk op te blijven, om pas dicht bij zijn bestemming via de middelbare en lagere-orde wegen zijn bestemming te bereiken.

De hypothese is met name gebaseerd op de verschillen in cognitie van diverse netwerkonderdelen (zie bijvoorbeeld Pailhous, 1970; Hidano, 1983). Pailhous verrichtte hierover empirisch onderzoek onder Parijse taxi-chauffeurs. Het daaruit resulterende 'model' voor gedrag van ervaren autobestuurders is door Michon (1985a) beschreven in een drietal zoek-, of beter vind-strategieën, zoals hieronder weergegeven:

- | | | |
|---|-----|--|
| A | ALS | de bestemming onderdeel is van het basisnetwerk van boulevards en grote avenues, |
| | DAN | ga naar de bestemming volgens kortste bruikbare route; |
| B | ALS | de bestemming niet op het basisnetwerk ligt en de buurt is (visueel) vertrouwd, |
| | DAN | ga naar het punt op het basisnetwerk dat zo dicht mogelijk bij de bestemming ligt en ga van daar naar de bestemming, gebruikmakend van visuele kenmerken; |
| C | ALS | de bestemming niet op het basisnetwerk ligt en de buurt is niet (visueel) vertrouwd, |
| | DAN | ga naar het punt op het basisnetwerk dat zo dicht mogelijk bij de bestemming ligt en vandaar verder door de hoek tussen huidige rijrichting en de berekende richting van de bestemming te minimaliseren. |

Deze drie strategieën kunnen in beginsel gemakkelijk worden vertaald in termen van producties, waaronder de volgende twee:

- | | | |
|-----|-----|--|
| P3: | ALS | het doel is om bestemming D te bereiken vanuit vertrekpunt P <i>en</i> D is op het basisnetwerk |
| | DAN | ga naar D langs voldoende korte route |
| P4: | ALS | het doel is om de bestemming D te bereiken vanuit vertrekpunt P <i>en</i> D is niet op het basisnetwerk <i>en</i> D is niet in dezelfde buurt als vertrekpunt P, |
| | DAN | stel als tussendoel het bereiken van D' zodanig dat D' op het basisnetwerk is <i>en</i> de afstand tussen D' en D voldoende klein is. |

10.5 NABESCHOUWING

Onze kennis over routekeuze in verkeersnetten vertoont nog vele lacunes. Voor de analyse van het keuzegedrag is essentieel welke verzameling alternatieven de individuele reiziger in een gegeven situatie in zijn afwegingen betreft. Verder onderzoek zou daarom prioriteit moeten geven aan het formuleren van modellen waarmee individuele keuzesets kunnen worden genereerd. Om verder inzicht te winnen in het eigenlijke keuzeproces verdient het aanbeveling om produktieregelsystemen te gaan opzetten voor routekeuzegedrag.