

Extended Prospect Theory, een Gedragseconomisch Concept voor Verklaren en Voorspellen van Keuzegedrag in Verkeer en Vervoer

Evert Jan van de Kaa
Technische Universiteit Delft (TUD)¹

Samenvatting

Nutstheorie (Utility Theory) is de dominante benadering die in de vervoerswetenschappen wordt gevolgd voor de beschrijving van menselijk keuzegedrag met betrekking tot verplaatsingen. Vrijwel alle modellen die de reactie van verkeersdeelnemers op veranderingen in persoonlijke omstandigheden, b.v. als gevolg van beleidsmaatregelen, vertalen in maatschappelijke kosten en baten, vervoersomvang, verkeersafwikkeling enz. zijn daarop gebaseerd. Toch ligt deze benadering sinds jaar en dag onder vuur, vooral vanuit de psychologie. Prospect Theory is het alternatieve gedragsconcept dat in het laatste decennium het meest werd toegepast in allerlei verkeer en vervoer studies. Een uitbreiding daarvan, Extended Prospect Theory, lijkt op dit moment in potentie beter geschikt om verkeer- en vervoerkeuzen te modelleren dan nutstheorie.

1. Inleiding

Modellen van keuzegedrag worden binnen de vervoerwetenschappen vooral ontwikkeld om betere uitspraken te kunnen doen over de reacties van verkeersdeelnemers op veranderingen in persoonlijke omstandigheden, zoals b.v. veroorzaakt door beleidsmaatregelen, en om die vervolgens te vertalen in kosten en baten, vervoersomvang, verkeersafwikkeling enz. Om daarmee bruikbare predicties van b.v. beleidseffecten te kunnen maken is het nodig dat de uitkomsten van de algoritmen van de “keuzemodellen” een acceptabele benadering bieden van de keuzen die mensen in overeenkomstige omstandigheden maken. In dat geval kunnen de relevante modelparameters worden geschat, in een keuzecontext waarin de modelvariabelen bekend zijn. Vervolgens kunnen met dat model uitspraken worden gedaan over het keuzegedrag in een gewijzigde context, met inachtneming van de daar relevante waarden van de variabelen.

¹ TU Delft, Faculteit TBM, Sectie Transport en Logistiek, Postbus 5015, 2600 GA Delft, E-mail: e.j.vandekaa@tudelft.nl

Een voorwaarde voor de betrouwbaarheid daarvan is natuurlijk dat de modelalgoritmes in *beide* contexten een vergelijkbaar goede benadering van de uitkomsten van het werkelijke keuzeproces bieden. Toepassing van keuzemodellen impliceert dus een aantal aannamen² over het keuzegedrag van mensen.

Nutstheorie (UT: Utility Theory) is in de gedragswetenschappen het dominante paradigma waarop veruit de meeste keuzemodellen zijn gebaseerd. Het werd ooit beschouwd als een normatieve theorie, d.w.z. dat het beschreef hoe mensen een keuze moesten maken. In dit artikel wordt de nu gangbare interpretatie gevolgd dat het een bruikbare benadering van werkelijk keuzegedrag levert. UT wordt hierna gebruikt als overkoepelende benaming voor een aantal theorieën die voor verschillende omstandigheden zijn ontwikkeld maar dezelfde aannamen over menselijk keuzegedrag delen. De belangrijkste zijn: Expected Utility Theory (EUT), wanneer de uitkomsten van keuzen een kansverdeling volgen (Von Neumann & Morgenstern 1944); Neoclassical Utility Theory (NUT), voor keuzesets met een continu karakter (Hicks & Allen 1934); en Random Utility Maximization Theory (RUM), voor keuzesets met discrete alternatieven (Marschak 1960). In de vervoerswetenschappen is vooral de RUM versie populair. O.a. Ben-Akiva & Lerman (1978) geven een helder beeld van de aannamen die RUM en UT delen.

De aannamen over keuzegedrag die gelden voor alle versies van UT en hun modelimplementaties worden hier basisaannamen genoemd. Van algemene theorie (UT) via domeinspecifieke versie (b.v. RUM) en modelvorm (b.v. Multinomial logit) tot nutsspecificatie (b.v. lineair-additieve functie van specifieke attributen) worden die aannamen steeds specifieker, zie b.v. McFadden (2001): UT neemt o.m. aan dat mensen in iedere keuzesituatie een contextonafhankelijke, complete preferentievolverde³ van alle alternatieven hebben. RUM neemt o.m. aan dat de waarderingen voor alle door de onderzoeker niet in acht genomen alternatieven en hun attributen (kenmerken) een random karakter hebben. Een multinomiaal logit model veronderstelt o.m. dat die random variabelen dezelfde kansverdeling hebben. Een lineair-additieve specificatie van het nut van ieder alternatief als functie van de grootte van bepaalde attributen veronderstelt o.m. dat, wanneer mensen daarop de “verminderend marginaal nut” aanname van UT toepassen, die vermindering verwaarloosbaar is binnen de beschouwde reeks van attribuutgrootten. In ieder van deze stappen wordt dus de basisaanname over de preferentievolverde verder geschematiseerd.

De op RUM gebaseerde discrete keuzemodellen zijn in de loop van de tijd steeds verder verfijnd (zie b.v. McFadden 2001), leidend tot o.m. de Mixed Logit modellen (o.a. Train 2003). Er zijn parameters mee geschat voor een enorme verscheidenheid aan UT-conforme nutsfuncties die een goede verklaring van het waargenomen gedrag claimen. Daarmee is de bruikbaarheid als verklarend model voor verplaatsingsgedrag afdoend aangetoond. Wel zijn vrijwel al deze claims

² Het is daarvoor niet nodig dat de verkeersdeelnemers exact dezelfde algoritmes in precies dezelfde volgorde “doorrekenen” als volgens de theoretische aannamen. Met een aanname wordt hierna bedoeld dat, wanneer iemand die in samenhang met de andere aannamen van de betreffende theorie zou toepassen, dit tot dezelfde keuzen leidt als die welke de persoon in werkelijkheid maakt.

³ Iemands preferentievolverde is een rangschikking van alternatieven naar aantrekkelijkheid of naar de mate waarin hij/zij de uitkomst ervan wil bezitten (Samuelson 1938). Dat betekent dat van *ieder alternatief* ten opzichte van *ieder ander alternatief* vastligt dat hetzij aan het ene, hetzij aan het andere de voorkeur wordt gegeven, of dat er geen verschil in voorkeur bestaat. Het toepassen van deze preferentievolverde in een keuzeproces is equivalent aan het toekennen van een nut (ordinal utility) aan de alternatieven (Houthakker, 1950). Een complete preferentievolverde bevat ieder denkbaar alternatief. Met contextonafhankelijk wordt bedoeld dat de preferentievolverde al vastligt vóór een specifiek keuzeproces begint en dus niet afhangt van b.v. de daarin “aangeboden” alternatieven. Zie b.v. McFadden (2001) voor een uitgebreidere uitleg van deze begrippen m.b.t. NUT en RUM modellen.

gebaseerd op een verbeterde fit van een specifieke nutsfunctie met het in één bepaalde context waargenomen keuzegedrag (zie b.v. diverse artikelen in Kitamura & Yoshii 2009). UT's contextonafhankelijke preferentievolgorde, die toepassing van een in een bepaalde keuzecontext gekalibreerde nutsfunctie in een sterk verschillende keuzecontext legitimeert, wordt door deze studies dus niet getoetst. Hoewel in de vervoerswetenschappen RUM modellen vaak worden gebruikt voor beleidseffect predicties en prognoses zijn er vrijwel geen validatiestudies gepubliceerd waarin "voorspelde" en werkelijke reacties van verkeersdeelnemers op veranderende omstandigheden worden vergeleken. De empirische onderbouwing van de geschiktheid van UT voor predicties van verplaatsingsgedrag is daarom beperkt. In dat licht is het intrigerend dat, vooral vanuit psychologische hoek, de kritiek blijft aanhouden dat UT niet goed geschikt is om menselijk keuzegedrag te beschrijven en voorspellen (b.v. Simon 1955, Gigerenzer & Todd 1999).

In de vervoerswetenschappen worden meestal discrete keuzemodellen gebruikt om te bepalen in hoeverre andere theorieën beter geschikt zijn voor de modellering van verplaatsingsgedrag dan UT. In dergelijke studies wordt dan, naast of in plaats van nutsmaximalisatie, een alternatieve combinatie van beslisregel en (geschematiseerde) waardefunctie gemodelleerd. Enkele voorbeelden van dergelijke studies zijn: Swait (2001), Cantillo *et al.* (2006), Lou *et al.* (2010), enz. voor "satisficing" beslisregels; Arentze & Timmermans (o.a. 2001) voor heuristieken annex beslistabellen; Michea & Polak (2006) voor o.a. Prospective Reference Theory en Weighted Utility Theory; Chorus (o.a. 2010) voor Regret Theory; Avineri & Prashker (2005), De Borger & Fosgerau (2008), Hess *et al.* (2008), enz. voor Prospect Theory; en Johansson *et al.* (2006), Atasoy *et al.* (2010), enz. voor Attitude Theory. Dergelijke studies bieden een goed inzicht in de bruikbaarheid van de betreffende theorie in de onderzochte context. Wanneer de theorie net als RUM uitgaat van contextonafhankelijkheid van het keuzegedrag legitimeert dat ook het gebruik ervan voor predicties. Zo stellen b.v. de Attitude Theorieën (Fishbein 1963, Ajzen 1991) dat mensen de intentie hebben ($\approx$ de keuze maken) om het gedrag uit te voeren dat per saldo het beste scoort op de determinanten attitude, aanvaardbaarheid en uitvoerbaarheid. Die determinanten worden ieder weer bepaald als de som van de producten van "beliefs" ($\approx$ attribuutgrootten) waaraan ze refereren en hun "evaluaties" ($\approx$ waardering). De algoritmes voor beslisregel en (geschematiseerde) waardefunctie zijn feitelijk gelijk aan die van UT, ook al verschillen de voor de keuze van gedragsintentie relevant geachte attributen spectaculair. Fishbein en Ajzen gaan er ook van uit dat de "waardefuncties" enz. voorafgaand aan een specifieke keuzesituatie vastliggen, dus contextonafhankelijk zijn. Attitude theorieën zijn daarom goed te integreren in hybride keuzemodellen (Ben-Akiva *et al.* 2002) en er is geen enkele reden om de geschiktheid daarvan voor predicties anders te beoordelen dan die van RUM modellen. Genuanceerder ligt dat met discrete keuzemodellen waarin de door Simon (1955) voorgestelde "satisficing" keuzegedrag regels worden gehanteerd. Wanneer die regels contextonafhankelijk zijn is toepassing ervan voor predicties natuurlijk net zo legitiem als van RUM modellen, maar Simon doet hier geen uitspraken over en op het eerste gezicht lijkt contextonafhankelijkheid van b.v. de grenswaarden voor attribuutgrootten niet zeer voor de hand te liggen. Weer andere theorieën, b.v. Prospect Theory (PT) (Kahneman & Tversky 1979), nemen expliciet aan dat keuzegedrag *afhankelijk* is van de context. De mate waarin in een bepaalde context met een discreet keuzemodel met een waardefunctie volgens PT het geobserveerde keuzegedrag wordt benaderd zegt dus alleen wat over de waarde van PT als verklarend model maar maakt geen uitspraken mogelijk over de bruikbaarheid ervan voor predicties. Toch is PT (Kahneman & Tversky 1979) in de vervoerswetenschappen het meest onderzochte alternatieve gedragsmodel (overzichtartikelen: Van de Kaa 2010a, Li & Hensher 2011). Recent poneerde Van de Kaa (2008) *Extended Prospect Theory* (EPT), een uitbreiding van PT met onder meer aanvullende aannamen over de context(on)afhankelijkheid van keuzegedrag, om het gebruik ervan voor predicties te legitimeren.

Het doel van dit artikel is drieledig: PT en EPT te introduceren bij Nederlandstalige

vervoersdeskundigen die er nog onvoldoende mee bekend zijn; de bruikbaarheid van de basisaannamen van EPT en UT voor de verklaring van waargenomen verplaatsingskeuzen te vergelijken; en de bruikbaarheid van de basisaannamen van EPT en UT voor de predictie van verplaatsingen te illustreren. De verdere opbouw ervan is als volgt: in hoofdstuk 2 worden de basisaannamen van PT gepresenteerd. In hoofdstuk 3 gebeurt dat voor EPT en worden de belangrijkste verschillen met de basisaannamen van UT en PT toegelicht. Hoofdstuk 4 vergelijkt de mate waarin UT en EPT het keuzegedrag in verkeersgerelateerde omstandigheden verklaren. Hoofdstuk 5 illustreert de effecten van de verschillen in basisaannamen tussen UT en EPT op de predictie van verplaatsingsgedrag, door hindcasting van de reacties van autobezitters in Singapore op de invoering van betaald rijden in 1975 en op enkele plotselinge tariefwijzigingen sindsdien. Hoofdstuk 6 behandelt een aantal kritische kanttekeningen die in de literatuur bij de toepassing van UT en PT worden gemaakt. Het artikel wordt besloten met een korte samenvatting en enkele conclusies en aanbevelingen voor onderzoekers en beleidsadviseurs.

2. Prospect Theory

Kahneman & Tversky (1979) poneerden PT in het tijdschrift *Econometrica*, in de vorm van een aantal aannamen over het keuzegedrag van individuen. Ze karakteriseerden de veronderstelde keuzealgoritmes alleen kwalitatief. De theorie werd gepresenteerd na een hoofdstuk waarin ze, aan de hand van eenvoudige kansspelen met maximaal twee mogelijke monetaire uitkomsten per alternatief, aantoonde dat veel mensen in strijd met enkele basisaannamen van UT handelen. Verderop in het artikel toonden ze aan dat de aannamen van PT het keuzegedrag tijdens die kansspelen beter verklaren en indiceerden ze verschillende toepassingsmogelijkheden van PT voor andere keuzesituaties. In de *American Psychologist* voorzagen Kahneman & Tversky (1984) dezelfde set aannamen van PT van een uitgebreidere psychofysische onderbouwing.

Het belangrijkste verschil met UT is dat Kahneman & Tversky (1979) aannemen dat mensen, voorafgaand aan het waarderen van en kiezen uit de alternatieven, eerst de keuzecontext in kaart brengen ("framen"⁴). Daarbij herformuleren mensen de alternatieven tot "prospects", of verwachtingen, in termen van verlies of winst ten opzichte van een referentietoestand. Dat zijn persoonlijke omstandigheden zoals b.v. de hoogte van iemands maandinkomen of diens gebruikelijke vervoermodaliteit voor woon-werkverkeer. Kahneman & Tversky (1979) noemden dit aanvankelijk het "reference point" maar in Kahneman & Tversky (1984) gebruiken ze "reference state" in relatie tot alternatieven met meer dan één attribuut. Ze stellen dat die toestand meestal overeenkomt met de "current asset position" maar ook kan worden beïnvloed door verwachtingen of de omschrijving van aangeboden alternatieven. Een aantal minder vergaande aannamen hebben betrekking op de wijze waarop en omstandigheden waaronder bepaalde typen alternatieven worden gesplitst, samengevoegd of genegeerd. Kahneman & Tversky (1979) besluiten hun uiteenzetting over framing met "the preference order between prospects need not be invariant across contexts". Ze geven geen duidelijke aanwijzingen over hoe de preferenties in de ene context zich verhouden tot die in een andere. Daarmee ontbeert PT essentiële informatie die nodig is om het zonder meer te gebruiken als model voor keuzepredicties.

Het waardebegrip dat Kahneman & Tversky (1979) hanteren met betrekking tot de attributen van uitkomsten is vergelijkbaar met een subjectieve, hedonische interpretatie van het nutsbegrip, met

⁴ Bij de presentatie van PT duiden Kahneman & Tversky (1979) dit proces aan met "editing" maar al vanaf 1984 noemen ze het "framing". De laatste benaming wordt hier aangehouden.

dien verstande dat het niet wordt toegepast op de absolute attribuutgrootten maar op het verschil ervan met de attribuutgrootte van de referentietoestand. De waarde van de attribuutgrootte is voor de referentietoestand dus per definitie nihil. Op basis van psychofysische overwegingen nemen Kahneman en Tversky aan dat de waardering onderhevig is aan *diminishing sensitivity*, d.w.z. dat de functie een S-vormig verloop heeft bij toenemende attribuutgrootte. Hij is concaaf voor winst, gewoonlijk convex voor verlies en, zoals gezegd, nihil voor de referentie-attribuutgrootte. Verder nemen ze *loss aversion* aan, d.w.z. dat verliezen veel zwaarder worden gewogen dan winsten. Daarom zit er ter plaatse van de referentie een knik in de waardefunctie en is die steiler in het verliesdomein en flauwer in het winstdomein. In 1979 presenteren Kahneman en Tversky deze waardefunctie voor alternatieven met één attribuut (geldhoeveelheid), maar in hun slotparagraaf stellen ze expliciet dat hij ook voor andere attributen geldt, al geven ze niet aan hoe de overall-waarde van een alternatief zich dan verhoudt tot die van zijn attributen. Pas later adopteren ze daarvoor UT's *compensatieprincipe*, in Kahneman & Tversky (1984:345): "the overall value of an option is given by the balance of its advantages and its disadvantages in relation to the reference state".

Kahneman & Tversky (1979) nemen aan dat iedereen na het framen van de keuzecontext eerst de waarde van alle "prospects" bepaalt en vervolgens die met de hoogste waarde kiest. De waarde van een prospect dat gekenmerkt is door meerdere uitkomsten, met ieder een eigen kans op optreden, stellen ze gelijk aan het product van de waarde van de mogelijke uitkomsten en de bijbehorende *decision weight*, dit is de kans op optreden vermenigvuldigd met een subjectieve kansweegfactor. Afgezien van de weegfactor is dit hetzelfde algoritme als verondersteld in EUT. Voor prospects met maar één mogelijke (zekere) uitkomst (kans = 1) stellen Kahneman & Tversky (1979) die weegfactor nadrukkelijk op 1. Voor kansen tussen 0 en 1 stellen ze de weegfactor afhankelijk van de grootte van de kans. Voor middelmatige en hoge kansen is die kleiner dan 1, voor kleine kansen (ruim beneden 50 %) groter. De weegfactor is een continue functie van de kans en voor een kans ergens tussen 10 en 40 % is hij dus weer 1. Aansluitend aan hun psychofysische onderbouwing geven Kahneman & Tversky (1984) een heldere beschrijving van het viervoudige patroon van risico-attitude dat door deze vorm van de kansweegfunctie wordt verklaard. Dit viervoudige patroon maakt ook het verschil met EUT, waarin wordt aangenomen dat individuen over de hele linie risicomijdend, risiconeutraal of risicozoekend zijn, onafhankelijk van de keuzecontext.

Kahneman & Tversky (1979: 274) poneerden hun theorie als "an alternative account of individual decision making under risk" en stelden dat "the theory is developed for simple prospects with (mono-attribute) monetary outcomes and stated probabilities". Hoewel ze vervolgens veel bredere toepassingsmogelijkheden indiceerden gaan verschillende auteurs er van uit dat de benaming PT alleen geldt voor toepassingen in keuzesituaties met probabilistische uitkomsten (o.a. Timmermans 2010). Maar Thaler (1980) gebruikte PT al, onder die benaming, ter verklaring van keuzen uit sets met "zekere" uitkomsten en vele gedragswetenschappers volgden hem daarin. Voor de keuze tussen "zekere" alternatieven die worden gekenmerkt door twee (of meer) attributen en/of consumptiebundels ontwikkelden Tversky & Kahneman (1991) PT verder tot een "Reference-dependent theory of consumer choice" (RDT). Ze "vertalen" daarin de basisaannamen van PT m.b.t. referentie-afhankelijk framen, verliesaversie en *diminishing sensitivity* naar de "indifference maps" van NUT. Daartoe doen ze o.m. aanvullende (scherpere) aannamen over de waardefunctie, waardoor de zgn. *loss aversion factor*⁵ voor verschillende attribuutgroottes en/of producthoeveelheden constant wordt. In Cumulative Prospect Theory

⁵ De *loss aversion factor* (hier verder verliesaversie factor genoemd) is de verhouding tussen de marginale waarde van een afname in een positief gewaardeerde attribuutgrootte en die van een even grote toename daarin.

(CPT) gaan Tversky & Kahneman (1992) ervan uit dat de uitkomsten van een prospect worden geformuleerd als cumulatieve kansverdelingen van verliezen en/of winsten. De kansweegfactor wordt vervolgens toegepast op de onderschrijdingskansen van de verliezen en/of de overschrijdingskansen van de positieve uitkomsten. Omdat ze bij de empirische toelichting op PT in 1979 de weegfactor toepasten op de “stated probabilities” van de afzonderlijke uitkomsten wordt die versie ook wel “Original Prospect Theory” (OPT) genoemd (o.a. Li & Hensher 2011). Later pasten verschillende onderzoekers een waardefunctie en kansweegfunctie toe in discrete keuzemodellen onder de benaming PT en/of CPT (zie b.v. Michea & Polak 2006), zonder in te gaan op de verschillen met RUM theorie voor wat betreft de context(on)afhankelijkheid van de preferentievolgorde.

Kahneman en Tversky definieerden PT en hun OPT-, RDT- en CPT-versies dus alleen in termen van het globale verloop van de waarde- en kansweegfuncties, en niet in de vorm van specifieke mathematische formules⁶. Dit is vergelijkbaar met het karakter van de aannamen van UT en de EUT-, NUT- en RUM-versies ervan. Pas aansluitend aan CPT presenteerden Tversky & Kahneman (1992) mathematische benaderingen⁷ van de waardefunctie en kansweegfuncties, met hun op basis van een experiment geschatte parameters. Meestal wordt deze implementatie van PT gebruikt, vaak in combinatie met een logit model (b.v. Avineri & Prashker 2005) maar er zijn veel andere mathematische benaderingen mogelijk. Stott (2006) vergeleek combinaties van zeven verschillende waardefuncties, zeven verschillende kansweegfuncties en verschillende stochastische benaderingen van heterogeniteit in preferenties (o.a. Probit, Logit en Luce) met de uitkomsten van een stated choice experiment. Voor dit specifieke geval vond hij dat een combinatie van Tversky & Kahneman's (1992) machtsfunctie, Prelec's (1998) één-parameter kansweegfunctie en een logit model de beste fit gaf. Uiteraard kunnen op grond van deze specifieke test geen algemeen geldige uitspaken worden gedaan over de geschiktheid van één specifieke uit de vele mogelijke implementaties van PT.

Net als UT kan PT dus worden beschouwd als een overkoepelende theorie die gekenmerkt wordt door de in dit hoofdstuk beschreven basisaannamen over menselijk keuzegedrag. Die basisaannamen worden gedeeld door een aantal versies en modelimplementaties waarin ze steeds verder worden aangescherpt. Ze bieden een complete theorie voor de verklaring van keuzegedrag maar er ontbreekt informatie voor het gebruik van PT voor keuzepredicties.

3. Extended Prospect Theory

Van de Kaa (2008) vergeleek de mate waarin de basisaannamen van UT, PT en een aantal andere theorieën ondersteund worden door empirische waarnemingen uit de sociale wetenschappen. Omdat menselijk keuzegedrag grotendeels onbewust verloopt (zie b.v. Bechara & Damasio 2005, Dijksterhuis 2007) zijn aannamen over dat proces (*hoe* verwerkt het omgevingsinformatie tot een keuze, b.v. in welke volgorde worden algoritmes doorlopen) niet toetsbaar. Daarom beperkte hij

⁶ Timmermans (2010) vermeldt dat Kahneman en Tversky (1979) deze machtsfunctie voorstelden als implementatie van de waardefunctie maar die werd daarin nog niet genoemd.

⁷ De waardefunctie benaderen ze daar met: $v(x) = x^\alpha$ als $x \geq 0$, en $v(x) = -\lambda(-x)^\beta$ als $x < 0$, waarin $v(x)$ staat voor de waarde van het attribuut, x voor de attribuutgrootte, λ voor de verliesaversie factor. Deze machtsfunctie is convex voor $x < 0$ en concaaf voor $x > 0$ wanneer zowel α en β kleiner zijn dan 1. De gewogen kansen worden benaderd met de functie: $w(p) = p^\gamma / [p^\gamma + (1-p)^\gamma]^{1/\gamma}$, waarin $w(p)$ staat voor de gewogen over- of onderschrijdingskans, p voor de werkelijke kans en de waarde van γ in het verliesdomein en winstdomein verschillend kan zijn. De beste fit met de uitkomsten van hun experiment vinden ze voor $\alpha = \beta = 0,88$, $\lambda = 2,25$, en $\gamma = 0,61$ voor verliezen en $0,69$ voor winsten.

zich tot aannamen over de functie van keuzegedrag (*wat* doet het om de omgevingsinformatie te transformeren in een keuze). Als eerste stap identificeerde hij de hiervoor beschreven basisaannamen van UT en PT met elementen van een functioneel raamwerkmodel. Dat leverde twee sets met 18 activiteiten of subfuncties. Beide sets bleken voldoende, en ook niet meer dan dat, om in een gegeven context tot een keuze te komen. Vervolgens onderzocht hij enige honderden publicaties uit verschillende sociale wetenschappen op andere theoretische aannamen over keuzegedrag en/of op de aanwezigheid van voldoende empirische informatie over keuzegedrag en context om er functioneel overeenkomstige aannamen van verschillende theorieën mee te kunnen vergelijken. Na identificatie van de alternatieve theoretische aannamen met de subfuncties van het raamwerkmodel bleek dat de meeste basisaannamen van PT aanzienlijk meer empirische waarnemingen konden verklaren dan die van UT en de andere beschouwde theorieën. De hiervoor samengevatte studie is elders uitgebreider gepubliceerd (Van de Kaa 2010b).

Extended Prospect Theory (EPT) werd geponeerd als een synthese van 18 aannamen die ieder voor zich een relevante subfunctie van keuzegedrag tenminste even goed bleken te benaderen als de overeenkomstige aannamen volgens UT, PT en/of een beschouwde alternatieve theorie (Van de Kaa 2008, 2010b). Net als PT en UT is EPT een algemene theorie waarbinnen ruimte is voor domeinspecifieke versies en contextspecifieke implementaties. De naam benadrukt dat de meeste basisaannamen ervan dichter staan bij PT dan bij andere theorieën. Toch zijn er een aantal verschillen. Waar PT b.v. veronderstelt dat mensen de keuzecontext eerst framen en daarna pas de alternatieven waarderen en kiezen doet EPT geen enkele uitspraak over de volgorde waarin de subfuncties van het keuzeproces worden uitgevoerd. Wel wordt verondersteld dat het keuzegedrag achteraf “cognitief consistent” is (o.a. Festinger 1957), hoe chaotisch en/of iteratief het daarvoor ook is verlopen (zie o.a. Slovic 1995). EPT gaat er dus vanuit dat iemands keuze kan worden verklaard als een logisch samenhangende reeks “einduitkomsten” van de subfuncties van het keuzeproces. Ook is de referentietoestand in EPT eenduidiger gedefinieerd, als de persoonlijke omstandigheden bij “going concern”, d.w.z. zoals wordt verwacht dat die zouden zijn *na afloop* van het keuzeproces, wanneer de aanleiding om dat proces te beginnen er niet zou zijn geweest.

Andere verschillen tussen PT en EPT hebben betrekking op heterogeniteit. Kahneman en Tversky (1979) definieerden PT als één specifieke combinatie van “regels”, voor framing, attribuutwaardering, alternatiefvergelijking en keuzecriterium, die de geaggregeerde keuzen van populaties zo goed mogelijk benadert. Maar in veel studies, waarin een basisaannamen van PT het keuzegedrag van de meeste deelnemers goed verklaarde, bleek dat het keuzegedrag van een aanzienlijke minderheid wel overeenkwam met een overeenkomstige basisaannamen van UT en/of een andere theorie. Dat geldt bijvoorbeeld voor het streven om het alternatief te kiezen met de hoogste overallwaarde die volgt uit het compenserend samenstellen van attribuutwaarden. Hoewel bij de meeste onderzoeken naar het gebruik van beslisregels de keuzen van de meeste deelnemers hiermee verklaard konden worden bleken combinaties van “satisficing” aspiraties en/of lexicografische attribuuteliminatie regels een groot deel van de keuzen beter te verklaren (zie Van de Kaa 2008, hoofdstuk 4, voor een overzicht). EPT definieert daarom verliesaversie, een convexe waardefunctie voor verliezen, toepassing van een kansweegfunctie, compenserende alternatiefwaardering en waarde-maximalisatie als regels die het gedrag van de meerderheid van populaties verklaren. Het veronderstelt dat een minderheid verliesneutrale en/of referentieonafhankelijke attribuutwaardering, niet-gewogen kanswaardering, niet-compenserende alternatiefwaardering en/of satisficing keuzeregels toepast. Daardoor kan in EPT ook goed rekening worden gehouden met interpersoonlijke verschillen in de waardering van handelsgoederen en uitgaven in geld (verliesneutraal of verliesmijndend), afhankelijk van het meer of minder routinematige karakter van de keuzesituatie (o.a. Kahneman en Tversky 1984). EPT gaat er dus van uit dat interpersoonlijke heterogeniteit in keuzegedrag niet alleen ontstaat

door verschillen in preferenties maar ook door verschillen in keuzestrategie⁸.

Daarnaast bevat EPT drie aannamen over hoe iemands keuzegedrag in de ene situatie zich verhoudt tot dat in een andere. De eerste is gebaseerd op het “instant endowment” effect (o.a. Tversky & Kahneman 1991). Het houdt in dat, zodra iemand de uitkomst van een keuzeproces ervaart, de referentietoestand daaraan wordt aangepast. Beide andere aannamen leunen op het cognitieve consistentieprincipe (o.a. Festinger 1957) en het “recognition-primed” keuzeconcept uit de naturalistische besliskunde (o.a. Klein 1993). De eerste luidt dat mensen in overeenkomstige keuzesituaties, bijvoorbeeld hun dagelijkse woon-werkverkeer, dezelfde waardefunctie en keuzestrategie toepassen. De tweede veronderstelt dat mensen zich in een bepaalde situatie eerdere relevante keuzen herinneren en die gebruiken als bouwstenen voor hun keuzestrategie. Daarbij fungeren, in een specifieke keuzecontext, eerdere keuzen als elementen van de referentietoestand, perken de reeks haalbare alternatieven in en/of bepalen drempels voor acceptabele attribuutniveaus. EPT ziet het keuzegedrag van b.v. verkeersdeelnemers dus als een doorlopend proces, waarbij ze wel hun referentie steeds actualiseren zodra ze veranderingen in hun omstandigheden ervaren. In samenhang bieden deze drie aannamen een zwak alternatief voor UT’s aanname dat iedereen altijd nutsmaximalisatie gebaseerd op een contextonafhankelijke, complete preferentievolgorde toepast.

De verschillen van EPT met UT zijn natuurlijk groter dan die met PT, ook al zijn er enkele overeenkomsten. Zo gaan ze er alle drie van uit dat ieder individu zijn eigenbelang nastreeft en dat het keuzeproces kan worden benaderd alsof een deterministische en statische keuzestrategie wordt gevolgd. Het belangrijkste verschil tussen EPT en PT is dat EPT aanneemt dat individuen binnen een bepaalde context een intern consistente keuzestrategie volgen maar dat die verschilt tussen (groepen) personen terwijl PT alleen heterogeniteit in de “framing” fase van het keuzeproces onderkent. EPT verschilt verder van PT in het benadrukken dat mensen hun referentietoestand spoedig actualiseren na een verandering in de persoonlijke omstandigheden, dat niet iedereen voor ieder attribuut verliesmijdend is en niet iedereen een weegfactor op kansen toepast. Het belangrijkste verschil tussen UT en EPT is dat UT aanneemt dat keuzegedrag onafhankelijk is van een referentietoestand, zodat de marginale waarde van een attribuutkenmerk niet afhangt van de vraag of het een verlies of winst ten opzichte van een referentieniveau betreft, en de vorm van de waardefunctie daar ook niet van afhangt. Andere belangrijke verschillen zijn dat iedereen wordt geacht dezelfde keuzestrategie te volgen, zodat systematische verschillen in keuzegedrag tussen mensen alleen uit verschillen in preferentievolgordes kunnen worden verklaard, en dat in geval van onzekere uitkomsten de groottes van kansen geen invloed hebben op de waarden die eraan worden toegekend.

4. Vergelijking van EPT en UT als verklarende modellen voor keuzegedrag met betrekking tot verkeer en vervoer

De overeenkomsten en verschillen tussen de basisaannamen van EPT en UT binnen een bepaalde keuzecontext zijn elders uitgebreid beschreven (Van de Kaa 2008, 2010b). Na wat herschikken en combineren zijn daaruit vier aannamen afgeleid waarin EPT als verklarend model zich het meest onderscheidt van de vergelijkbare aannamen volgens UT. Deze zijn in tabel 4.1 naast elkaar gezet.

⁸ Iemands keuzestrategie wordt gedefinieerd als de specifieke combinatie van regels of algoritmen die hij wordt verondersteld toe te passen bij het uitvoeren van de subfuncties van framen, attribuutwaardering, evalueren en kiezen van alternatieven.

Tabel 4.1. Onderscheidende aannamen van EPT en UT

UT	EPT
Referentieafhankelijkheid van framen en waardering van verliezen	
Mensen karakteriseren alternatieven met de verwachte contextonafhankelijke "absolute" omvang van de attributen, onafhankelijk van de omvang en richting van de veranderingen die daarin optreden als gevolg van de keuze.	Mensen karakteriseren alternatieven met de verwachte contextafhankelijke omvang van veranderingen in attribuutgroottes (winst of verlies) ten opzichte van een, bij "going concern", na afloop van het keuzeproces verwachte referentietoestand. De meeste mensen waarderen een verlies veel sterker dan een winst van dezelfde omvang, minderheden zijn verliesneutraal ten opzichte van bepaalde of alle attributen.
Referentieafhankelijkheid van de vorm van de waardefunctie	
Het nut van een attribuut is een monotoon stijgende, concave functie van de omvang, waarbij de dimensie zo is gedefinieerd dat een toename ervan positief wordt beoordeeld. De nutsfunctie is niet afhankelijk van de attribuutomvang van een referentietoestand.	De waarde van een attribuut is een monotoon stijgende waarde van de omvang, waarbij de dimensie zo is gedefinieerd dat een toename ervan positief wordt beoordeeld. De waardefunctie is achtereenvolgens concaaf, nul of meestal convex, afhankelijk of de attribuutgrootte groter is dan, gelijk aan of kleiner dan die van de referentietoestand.
Al dan niet lineaire weegfactor voor kansen	
Mensen wegen kansen volgens hun verwachte grootte.	De meeste mensen wegen verwachte kansen met een niet-lineaire weegfactor die voor kleine kansen groter is dan 1, voor middelmatig grote en grote kansen kleiner dan 1, en voor zekere uitkomsten gelijk aan 1.
Interpersoonlijke heterogeniteit in gevolgde keuzestrategie	
Mensen kiezen het alternatief met het, in een ordinale dimensie uitgedrukte, hoogste overall-nut, zoals bepaald door het compenserend samenstellen van het nut van de attributen.	Binnen eenzelfde context volgen verschillende groepen mensen verschillende keuzestrategieën ("satisficing" of "maximizing" aspiraties, wel/geen verliesaversie voor een of meer attributen, compenserende of niet-compenserende attribuut evaluaties, enz.)

Om de geschiktheid van EPT als verklarend model voor keuzegedrag in verkeer en vervoer te kunnen vergelijken met die van UT is de literatuur afgezocht naar daarvoor geschikte onderzoeken. 106 Studies waren bruikbaar voor een ceteris paribus vergelijking van een of meer van de vier sets aannamen in tabel 4.1. De studies werden uitgevoerd in 24 verschillende landen en bestrijken samen vrijwel de hele range van verkeer en vervoer gerelateerd onderzoek, van woonlocatiekeuzen tot rijstrookwisselingen en van laboratoriumexperimenten tot waarnemingen van gereden routes. Van de Kaa (2010a) geeft een literatuurverwijzing naar de individuele studies en een beschrijving van een meta-analyse ervan. Die leverde vijf gevallen waarin de EPT aanname de keuzen even goed verklaarde als die van UT, 195 gevallen waarin die van EPT en één geval waarin die van UT een betere verklaring voor de waargenomen keuzen leverde. Dat laatste geval betrof een studie waarin de nutsfunctie in het verliesdomein eerder concaaf dan convex was. Een uitgebreide beschrijving van de bij de meta-analyse gevolgde methodologie en van de aard van de conclusies met betrekking tot de individuele vergelijkingen is te vinden in Van de Kaa (2008). De uitkomsten ervan zijn samengevat in tabel 4.2. Er werden door Van de Kaa (2010a) de volgende conclusies uit getrokken:

- Framen van de alternatieven als veranderingen ten opzichte van een referentietoestand en overwegend verliesmijdende waardering ervan, zoals aangenomen in EPT, benadert het werkelijke keuzegedrag in verkeer en vervoer beter dan referentieonafhankelijk framen en verliesneutraal waarderen zoals verondersteld in UT. Dat werd geconstateerd in alle mogelijke experimentele en werkelijke omstandigheden. Het actualiseren van de referentietoestand spoedig

na een verandering in persoonlijke omstandigheden werd bevestigd in de paar studies waarin zo'n verandering is onderzocht.

Tabel 4.2. Vergelijking van UT en EPT als verklarende modellen van keuzegedrag

Context waarin het onderzoek naar het keuzegedrag plaatsvond	Aantal geëvalueerde studies				
	Alle studies	Studies waarin de aanname van EPT het keuzegedrag beter verklaart dan die van UT of omgekeerd ¹			
		i ²	ii ³	iii ⁴	iv ⁵
Alle vergelijkingen van aannamen	106	90	17	29	66
Land waarin het onderzoek plaatsvond					
Aantal verschillende landen	24	23	7	10	17
Laatste jaar van de periode waarover het keuzegedrag waargenomen werd					
1972-1989	13	12	2	2	10
1990-2002	56	46	6 ⁶	18	35
2003 -2007	37	31	4	9	21
Aard van het onderzochte keuzeprocess					
Strategisch keuzegedrag	17	16	0	0	7
Tactisch keuzegedrag	64	52	8 ⁶	17	42
Operationeel keuzegedrag	25	21	4	12	17
1.1 Aard van de keuzetaak					
Geaggregeerde praktijkmetingen.	14	14	0	1	4
Revealed preference of zelfrapportages	22	20	3	7	13
Customized stated choice enquête	34	28	3 ⁶	7	19
Enquête naar waardering van keuzeropties	8	8	2	2	6
Keuze- of waarderingsexperimenten	28	19	4	12	24
Onderzoeksomgeving					
Ervaringen uit het dagelijks leven	39	37	3	8	19
Fictief maar gerelateerd aan praktijkervaring	39	31	5 ⁶	7	25
Verkeerssimulator of rijgedragsimulator	9	9	1	6	7
Fictief, niet aan praktijkervaring gerelateerd	19	12	3	8	15
Wijze waarop het keuzegedrag werd vastgelegd					
Computer registratie, verkeerstellingen enz.	19	18	1	6	10
Mondeling interview, CAPI, verbaal protocol	31	29	3 ⁶	10	22
Schriftelijk, op plaats onderzoek	31	24	4	9	17
Schriftelijk, via de post verstuurd	16	13	2	2	10
Internet enquête	9	5	2	2	7
Tijdvak waarbinnen de belangrijkste referentie voor de studie werd gepubliceerd					
1978-2002	36	29	2	10	24
2003-2005	32	25	7 ⁶	13	22
2006-2008 ⁷	38	35	3	6	20
Vergelijking mogelijk tussen UT en EPT	106	89	12	29	66

¹ Voor alle studies op één na bleek de EPT aanname volgens tabel 4.1 het keuzegedrag beter te verklaren dan de overeenkomstige UT aanname. ² i: referentieafhankelijkheid van framen en waardering van verliezen; ³ ii: referentieafhankelijkheid van de vorm van de waardefunctie; ⁴ iii: al dan niet lineaire weegfactor voor kansen; ⁵ iv: interpersoonlijke heterogeniteit in gevolgde keuzestrategie. ⁶ waaronder één studie waarin de "gemiddelde" waardefunctie in het verliesdomein eerder concaaf dan convex was. ⁷ inclusief één in 2009 gepubliceerde studie.

- EPT veronderstelt een overwegend concave waardefunctie in het verliesdomein gecombineerd met een convexe functie in het winstdomein. Waar een vergelijking mogelijk was benaderde deze aanname het waargenomen keuzegedrag beter dan UT's referentie-onafhankelijke, convexe nutsfunctie. Maar in deze studies bleek de kromming van de waardefunctie in zowel het winst- als verliesdomein beperkt en in verschillende studies leverde een gekromde functie geen betere benadering van de waarnemingen dan een (ter plaatse van de referentie geknikte) lineaire. Een geknikt-lineaire benadering zal dus meestal voldoen, zeker in verkeer en vervoerstudies waarin de veranderingen in attribuutwaarden niet extreem zijn.

- Bij onzekere of probabilistische uitkomsten leverde het vermenigvuldigen van de kansen op die uitkomsten met een niet-lineaire weegfactor een betere benadering van het waargenomen keuzegedrag op dan een ongewogen waardering van kansen. Het door Tversky & Kahneman (1992) voorgestelde weegalgoritme lijkt op dit moment het meest geschikt maar omdat weinig alternatieve modellen zijn onderzocht is het zeker niet uitgesloten dat een algoritme wordt gevonden dat binnen het EPT concept beter presteert in transportgerelateerde keuzesituaties.

- Wanneer met interpersoonlijke heterogeniteit in gevolgde keuzestrategieën rekening wordt gehouden blijkt dat een betere benadering van het werkelijke keuzegedrag op te leveren dan wanneer wordt aangenomen dat iedereen steeds dezelfde keuzestrategie volgt.

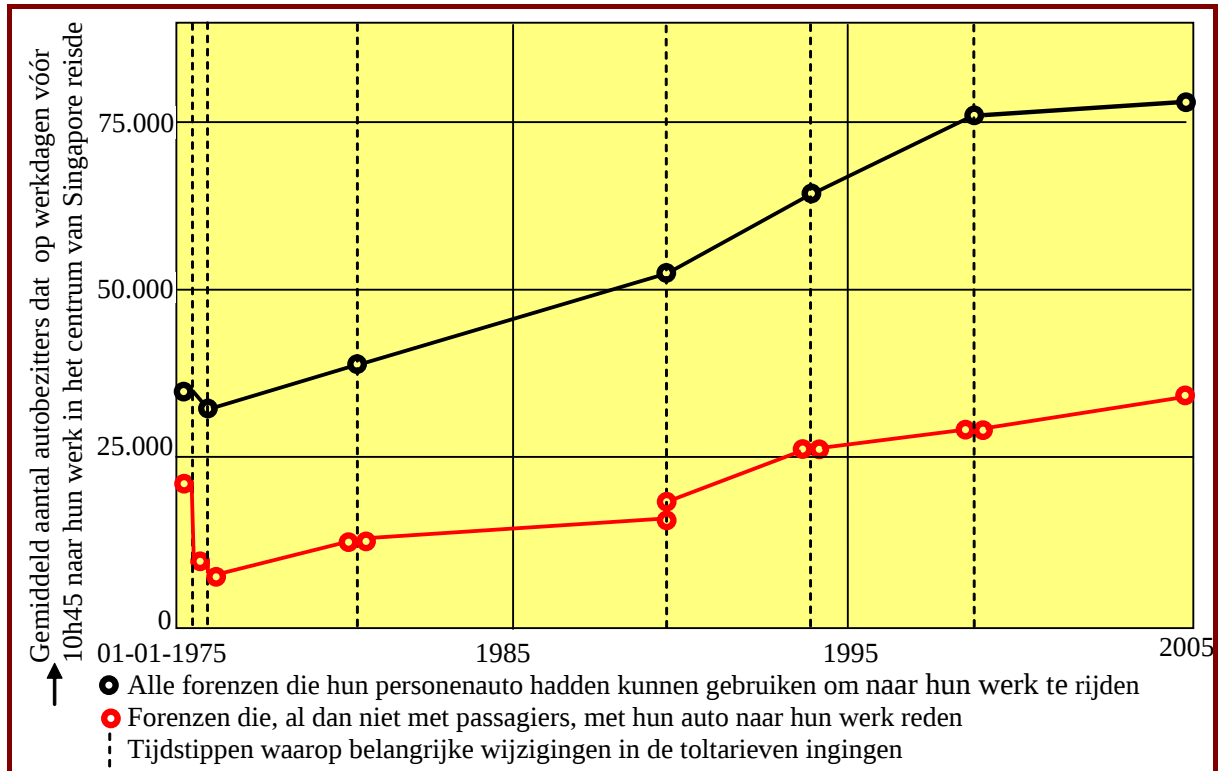
5. Geschiktheid van EPT als model voor beleidseffect predicties

Om de verandering in het individueel keuzegedrag van mensen, na een voor hen relevante verandering in hun werkelijke transportomstandigheden, te kunnen vergelijken met de verwachtingen van een voorspellend keuzemodel zijn uitkomsten van longitudinale studies gewenst waarin de persoonlijke transportgerelateerde omstandigheden en de veranderingen daarin goed zijn gedocumenteerd. In de meta-analyse van hoofdstuk 4 werden daarvoor geen bruikbare studies gevonden. Overigens werden ook geen publicaties gevonden waarin, b.v. door *hindcasting* of *backcasting*, de "voorspellende waarde" van op RUM gebaseerde discrete keuzemodellen wordt vergeleken met in longitudinale studies waargenomen keuzegedrag onder veranderende omstandigheden. Bij gebrek aan praktijkgegevens over individueel keuzegedrag onder veranderende omstandigheden heeft Van de Kaa (2008) een globale vergelijking van UT en EPT gemaakt tegen de achtergrond van meer geaggregeerde keuzegegevens. Dat is gedaan door *hindcasting* van de reacties van autobezitters in Singapore op enerzijds de invoering en regimewijzigingen van betaald rijden, anderzijds een enorme welvaartsgroei: in de beschouwde 30 jaren tussen 1975 en 2005 nam het gemiddelde nominale huishoudinkomen er met een factor 14 toe, veel sterker dan de consumenten-prijsindex, die "slechts" verdriedvoudigde, en de operationele reiskosten voor privé en openbaar vervoer, die globaal de prijsindex volgden.

Betaald rijden werd medio 1975 ingevoerd op een cordon rond de binnenstad van Singapore. Inkomende automobilisten die tussen 7h30 en 10h15 passeerden moesten betalen maar carpools met tenminste vier inzittenden bleven tolvrij. Al zes maanden daarna werden de tarieven met éénderde verhoogd. Ook in 1980 en 1998 werden de tarieven verhoogd terwijl ze in 1989 juist verlaagd werden maar de vrijstelling voor carpools verviel. Al deze maatregelen zijn, samen met veel informatie over zowel de verkeersomstandigheden als de veranderingen in het woon-werkverkeer, gedocumenteerd in een groot aantal publicaties⁹. Daardoor kon een reconstructie worden gemaakt van de lange-termijnontwikkeling van zowel het aantal werkers in de binnenstad die over een auto beschikten als van hen die daarmee daadwerkelijk tijdens de

⁹ De gebruikte basisgegevens zijn door Van de Kaa (2008) in Annex C t/m G geciteerd en geanalyseerd.

ochtendspits het cordon passeerden (zie figuur 5.1). Bij de hindcasting werd de ontwikkeling in het aantal autobezittende forenzen als externe variabele beschouwd en het aantal auto's dat het cordon passeerde als resultaat van vertrektijdstip- en modaliteitkeuzen.



Figuur 5.1. Ontwikkeling van autobezit en gebruik voor woon-werkverkeer in Singapore

Om deze vergelijking te kunnen maken is een eenvoudig keuzemodel gebruikt, met twee soorten attributen: veranderingen in tijd (voor reizen, wachten of verblijven) en in uitgaven in dollars (voor tol, bus, brandstoffen). De ritkeuze omstandigheden waarvoor het model is ontwikkeld waren zodanig dat probabilistische attributen van de keuzealternatieven buiten beschouwing konden blijven. Omdat de in Singapore optredende veranderingen in reistijd en kosten niet extreem waren zijn lineaire nuts- en waardefuncties aangenomen (zie hoofdstuk 4). Het nut c.q. de waarde V van alternatief a voor reiziger q die keuzestrategie d volgt kan dan als volgt in "willingness-to-pay" termen (o.a. De Borger en Fosgerau 2008) worden geformuleerd:

$$V_{qd}^a = VTTS_q \cdot \left\{ \sum_{i=1}^k \max((\tau_q^{ri} - t_q^{ai}), 0) - \lambda_{qd}^{time} \cdot \sum_{i=1}^k \max((t_q^{ai} - \tau_q^{ri}), 0) \right\} + \sum_{j=1}^m \max((\gamma_q^{rj} - c_q^{aj}), 0) - \lambda_{qd}^{money} \cdot \sum_{j=1}^m \max((c_q^{aj} - \gamma_q^{rj}), 0)$$

Hierin staat $VTTS_q$ voor de waarde (in geld) die q hecht aan tijdwinst. De parameters λ_{qd}^{time} en λ_{qd}^{money} staan voor verliesaversie factoren die q volgens strategie d toepast op tijd- en geldattributen. De variabele t_q^{ai} is de grootte van een aan de trip gerelateerd tijdattribuut i van alternatief a zoals verwacht door q , en τ_q^{ri} is het corresponderende attribuutniveau van de referentietoestand R_q . De beschouwde tijdattributen i zijn reistijd, vertrek van huis naar werk,

aankomst thuis na het werk enz. Ze zijn zo gedefinieerd dat een toename in het verschil ($t_q^{ai} - \tau_q^{ri}$) negatief wordt ervaren. Het verschil van de variabelen c_q^{aj} en γ_q^{rj} staat voor negatief ervaren toenames in de kostenattributen j , waaronder bus- en metrokaartjes, operationele kosten voor autorijden (vnl. brandstof), tol en parkeren.

De UT implementatie van deze waardefunctie gaat uit van referentieonafhankelijkheid, waarbij geen verliesaversie optreedt. Dat wordt bereikt door de factoren λ_{qd}^{time} en λ_{qd}^{money} gelijk aan 1 te stellen. Het is dan irrelevant of de attribuutniveaus van de referentietoestand in het model worden meegenomen of op nul gesteld, omdat keuzegedrag volgens UT alleen ordinale verschillen in nut in acht neemt is. In beide gevallen hoeft alleen de VTTS parameter nog te worden gecalibreerd voor de woon-werkverkeerssituatie in Singapore. Voor een zuivere "c.p." vergelijking van de voorspellende kracht is het gewenst voor de EPT implementatie niet meer parameters te schatten dan voor UT. Dat is bereikt door voor de verliesaversie factoren volgens EPT waarden te kiezen die volgen uit andere studies. Daarvoor zijn de Nederlandse VTTS onderzoeken van 1988 en 1997 gebruikt. Van de Kaa (2010c) vond dat de meeste keuzen van automobilisten die daaraan deelnamen konden worden verklaard door toepassing van een gemiddelde verliesaversie factor 2 voor zowel tijd- als kosten attributen. Van de rest kon een flink deel verklaard worden wanneer een verliesaversie factor 2 voor tijd en geen verliesaversie voor kosten werd aangenomen. Voor de verdeling van deze keuzestrategieën over de autobezitters is, gebaseerd op hetzelfde onderzoek, een 70-30 verhouding gehanteerd, niet gecorreleerd aan sociaal-economische indicatoren. Voor de modaliteits- en vertrektijdkeuzen van Singapore's autobezitters wordt in het EPT model dus aangehouden dat 70 % van de autobezitters $\lambda_{qd}^{time} = 2$ en $\lambda_{qd}^{money} = 2$ toepassen en 30 % $\lambda_{qd}^{time} = 2$ en $\lambda_{qd}^{money} = 1$. Afgezien van deze beperkte heterogeniteit in keuzestrategie en het al dan niet toepassen van verliesaversie zijn de gebruikte UT en EPT keuzemodellen dus gelijk.

Uiteraard verschilt de VTTS tussen gebruikers van verschillende vervoerwijzen, en binnen een vervoerwijze weer van persoon tot persoon. Uit empirische onderzoeken en uit principiële redeneringen blijkt het inkomen een zeer belangrijke determinant voor de VTTS te zijn (o.a. Mackie *et al.* 2001). De inkomensverdeling over de bevolking kan in de meeste landen goed worden benaderd met het gemiddelde (μ) en de vormparameter (σ) van een lognormale verdeling (o.a. Limpert *et al.* 2001). In Singapore lag σ tijdens de studieperiode tussen 0,7 en 0,9. Voor Nederland met zijn wat minder scheve inkomensverdeling was die wat lager ($\sigma \approx 0,6$ à 0,7). Voor homogene bevolkingsgroepen, zoals de autobezitters in Singapore (σ tussen 0,6 en 0,7), is de inkomensverdeling ook duidelijk gelijkmatiger dan voor de bevolking als geheel. In lijn met de veronderstelde impact van het inkomen op de VTTS vond Richardson (2003) in een stated choice onderzoek onder forenzen in Singapore dat de VTTS ook redelijk lognormaal verdeeld was ($\sigma \approx 1,1$). Uiteraard is de heterogeniteit daarin groter dan in inkomen, omdat onder meer de hoeveelheid vrije tijd daaraan ook bijdraagt. Ook in de Nederlandse VTTS onderzoeken bleek de distributie van inkomens en VTTS over de gebruikers van verschillende modaliteiten bijna perfect respectievelijk bij benadering lognormaal verdeeld.

De VTTS verdelingen van autobezittende forenzen zijn gekalibreerd op de vervoerwijzekeuze (OV, alleen rijden, carpool) in begin 1975. Watson en Holland (1978) geven inkomensverdelingen voor deze drie deelpopulaties. Middels "extrapolatie" daarvan werden vormparameters bepaald voor de corresponderende VTTS-verdelingen. Voor alle autobezittende forenzen samen was $\sigma = 0,9$, voor de drie deelpopulaties was $\sigma = 0,75$. Ook de gemiddelde attribuutgrootten van de gekozen trip en van de alternatieve modaliteiten konden per deelpopulatie worden bepaald, voor twee verschillende bestemmingen. Daarmee konden de gemiddelden van de VTTS verdelingen per deelpopulatie worden gekalibreerd. Voor de EPT implementatie lagen die 40 % hoger dan

voor die volgens UT.

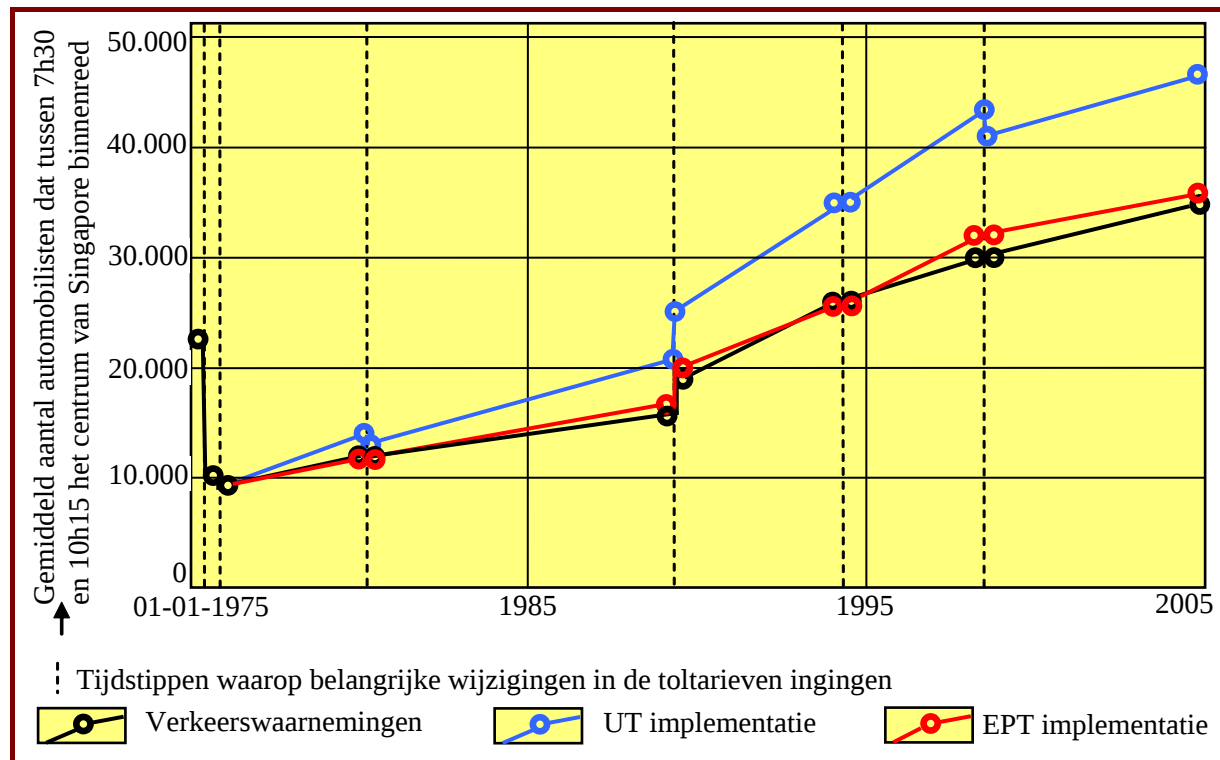
Voordat betaald rijden werd ingevoerd kruisten bijna 34.000 potentieel tolplichtige automobilisten het cordon, waarvan een deel “voorbij” de binnenstad werkte. Na invoering daarvan vond een deel van hen een alternatief, zoals meerijden in een carpool, waardoor hun reis niet meer geregistreerd werd. Voor de overigen (bijna 20.000) is met de gekalibreerde UT- en EPT modellen berekend hoe vaak de verschillende mogelijke alternatieven zouden worden gekozen. Tabel 5.1 vat de waargenomen en berekende reacties samen. Duidelijk is dat het UT model het aantal dat bereid was tol te betalen en, in mindere mate, het aantal dat een omweg ging maken enorm onderschatte en het aantal overschatte dat het vertrektijdstip aanpaste of overstapte op het OV. Het EPT model onderschatte het aantal mensen dat zijn vervoerwijze, route en vertrektijd aanpaste en overschatte juist het aantal dat vasthield aan hun eerdere ritkeuze, maar de verschillen met de waargenomen reacties waren veel kleiner dan volgens het UT model.

Tabel 5.1 Reacties van automobilisten op de invoering van betaald rijden in Singapore

Reacties van automobilisten in Singapore op de invoering van betaald rijden medio 1975	Percentage van automobilisten ¹		
	Waargenomen	UT model	EPT model
Houden zelfde vervoerwijze en vertrektijdstip aan, betalen tol	37	10	45
Moeten naar bestemming voorbij cordon, rijden er omheen	26	13	23
Passen vertrektijd aan om het beprijste tijdvak te vermijden	16	33	12
Worden buspassagier, incidenteel middels park-and-ride	22	44	20

¹ Alle autobezitters die in maart 1975 tussen 7h30 en 10h15 v.m. het cordon rond de binnenstad van Singapore als bestuurder van een tolplichtig voertuig passeerden, met uitzondering van hen die na invoering van betaald rijden een hier niet aangegeven, niet-tolplichtig alternatief voor hun woon-werkverkeer vonden.

Tussen de herfst van 1975 en het voorjaar van 1976 nam het aantal tolplichtige autoritten met bijna 20 % af. Een deel daarvan kan worden toegeschreven aan de recessie waarin Singapore in de tweede helft van 1975 belandde, waardoor zowel het aantal personenauto's in Singapore als het aantal autoritten buiten de tolplichtige periode met 5 tot 7 % daalde. De rest kan worden toegeschreven aan de verhoging van de toltarieven per 1 januari 1976, met éénderde voor privé-auto's en met 267 % voor “auto's van de zaak”. Het aantal tolplichtige ritten in die laatste categorie nam met anderhalf- tot tweeduizend af. Rekening houdend met het effect van de recessie nam het aantal tolplichtige ritten met privé-auto's als gevolg van de tariefsverhoging af met minder dan 3 % van het aantal van vóór de invoering van betaald rijden in 1975. Berekeningen met de UT implementatie voorspelden een extra afname van 7 %, iets minder dan de 8 % volgens de EPT implementatie met de situatie van vóór de invoering van betaald rijden als referentie. Wanneer de referentie werd geactualiseerd naar eind 1975 viel dit terug tot ca. 2 %. Ook hier presteerde EPT dus veel beter dan UT.



Figuur 5.2 Voorspelde en actuele ontwikkeling van autoritten in het woon-werkverkeer

Verder zijn nog een aantal globale hindcasts uitgevoerd van het aantal forenzen dat tussen 1976 en 2005 met hun auto naar hun werk in het centrum van Singapore reden. Naast tijd en kosten werden daarbij de effecten van veranderingen in inkomen, lopende vervoerkosten en toltarieven meegenomen. Gezien de grote verschillen tussen het waargenomen en voorspelde gebruik van vervoerwijzen in 1976 zijn daartoe de lognormale verdelingen van de VTTS over de gebruikers van de verschillende vervoerwijzen opnieuw gekalibreerd voor de vervoerwijze aandelen in 1976. Zoals op basis van de hiervoor beschreven ontwikkelingen in 1975 en 1976 mocht worden verwacht namen de gemiddelde VTTS waarden toe en werden de verschillen tussen die volgens de UT en EPT implementaties kleiner (30 %, tegen 40.% bij de kalibratie voor de vervoerwijze aandelen in begin 1975). De geleidelijke ontwikkeling van de VTTS werd evenredig aan het maandelijks huishoudinkomen¹⁰ verondersteld. De resultaten zijn geschetst in figuur 5.2.

Opvallend is dat de plotselinge tariefverhogingen in 1980 en 1998 niet tot een abrupte vermindering in autogebruik leidden terwijl de tariefverlaging in 1989 wel direct gevolgd werd door een toename. Het EPT model voorspelt al deze veranderingen goed, wat verklaard kan worden uit de combinatie van referentieafhankelijk framen en verliesmijndend waarderen. Wanneer in het UT model een verliesneutrale parameter wordt ingevoerd¹¹ met een omvang waardoor het uitblijven van een reactie op de tariefsverhogingen nog net correct wordt voorspeld wordt ook de toename in autogebruik na de tariefsverlaging in 1989 niet meer voorspeld. UT met of zonder dit soort termen levert dus geen consistente verklaring voor het keuzegedrag in het Singaporese woon-werkverkeer, EPT doet dat wel.

Overigens blijken zowel UT als EPT met een volgens de inkomensontwikkeling geïndexeerde

¹⁰ Zie b.v. Mackie *et al.* (2001).

¹¹ Dit om het effect van transitiekosten, *inertia* en/of een *status quo* voorkeur te simuleren.

VTTS de trend in de ontwikkeling van het aantal autoritten tijdens de beprijsde uren goed te volgen. Maar UT overschat daarbij wel de toename in het absolute aantal betalende automobilisten. Dit strookt met de suggestie van Gunn (2001), gebaseerd op UT-conforme berekeningen, dat de ontwikkeling van VTTS achterblijft bij de toename in huishoudinkomen. Een oorzaak daarvoor kan zijn dat de weerstand tegen verandering door de verliesneutrale UT modellen wordt onderschat. Dat verklaart dan ook waarom het EPT model de ontwikkeling van het absolute aantal betalende automobilisten wel op de voet volgt.

EPT lijkt dus voor beleidseffect predicties en prognoses een veelbelovend alternatief voor op UT gebaseerde modellen te bieden. Daarbij moet wel aangetekend worden dat het waargenomen en voorspelde keuzegedrag van automobilisten in Singapore is gebaseerd op geaggregeerde informatie. De voorspellende kwaliteit van EPT-modellen zou beter kunnen worden gevalideerd tegen de achtergrond van longitudinale waarnemingen van transportgerelateerde keuzen van individuen in samenhang met relevante veranderingen in omgevingscondities. Dat geldt overigens ook voor de verschillende discrete keuzemodellen die thans in gebruik zijn.

6. Discussie

In de transportliteratuur zijn verschillende kritische kanttekeningen geplaatst bij de verschillende aannamen van PT. De meeste daarvan zijn te vinden in het overzicht dat Timmermans (2010) desgevraagd maakte voor een speciale uitgave van EJTIR over PT. Hieronder worden kenmerkende principiële en praktische bezwaren en opmerkingen over onvoldoende overeenkomst tussen aangenomen en waargenomen keuzegedrag besproken.

Veel principiële kritieken houden in dat de aannamen van PT onvoldoende overeenkomen met het veronderstelde "echte" keuzeproces. Dat geldt ook voor verschillende kritische kanttekeningen van Timmermans (2010), zoals "it is not very realistic to assume that they first assign probabilities and then apply some weighting scheme" (p. 373) en "departure time and route choice are just part of daily activity-travel scheduling processes and should be modelled accordingly" (p. 380). Omdat het keuzeproces van mensen overwegend onbewust verloopt (zie b.v. Nisbett & Wilson 1977) is het niet mogelijk de juistheid van dit soort kritiek te bewijzen of falsificeren. Vaak worden cognitieve beperkingen aangevoerd als bezwaar tegen aannamen die complexe beoordelingen vereisen, zoals het vaststellen van de waarde van probabilistische alternatieven volgens CPT (o.a. Fujii & Kitamura, 2004; Avineri & Prashker, 2006). In essentie wordt dan dezelfde redeneerlijn gevolgd als o.a. Simon (1955) en Gigerenzer en Todd (1999) in hun verwerping van UT's "omniscient economic man". Impliciet lijken deze critici de gewraakte theoretische aannamen isomorf te interpreteren (dat wil zeggen dat het werkelijke proces zowel gelijk is naar de vorm als naar de aard en uitkomst van de handelingen). De gebrekkige informatieverwerkingssnelheid van het bewuste lijkt hun kritiek dan te ondersteunen. Maar de informatieverwerkingscapaciteit van het onbewuste is enorm (o.a. Dijksterhuis 2007), zoals b.v. blijkt uit de fenomenale rekenvaardigheden van sommige *idiots savants* maar ook uit het gemak waarmee gewone mensen b.v. afstanden kunnen schatten, waar een bewuste geometrische berekening gebaseerd op b.v. de afstand tussen de ogen en de hoek van waarneming bepaald geen sinecure is. Een belangrijker kanttekening is dat de UT en PT aannamen ook paramorf kunnen worden opgevat (dat wil zeggen analoog aan de aard en uitkomst van de handelingen maar niet noodzakelijkerwijs hetzelfde proces volgend). De EPT aannamen zijn zelfs expliciet zo geformuleerd. Zo opgevat is het irrelevant of mensen onbewust ingewikkelde berekeningen uitvoeren of gebruik maken van b.v. heuristieken of hun geheugen om tot hetzelfde resultaat te komen.

In navolging van o.a. Avineri & Prashker (2005) stellen diverse transportonderzoekers dat PT niet in staat is goede benaderingen van een serie "dagelijks" terugkerende keuzen tussen

alternatieven met onzekere uitkomsten te geven. Avineri en Prashker baseerden hun mening onder meer op een drietal experimenten waarin een aantal proefpersonen honderd tot tweehonderd maal kiezen uit twee routes waarvan de reistijden werden getrokken uit twee normale verdelingen. Na iedere keuze kregen die feedback over de werkelijke reistijd. Ze vergeleken de mate waarin multinomial logit implementaties van EUT, CPT, Bayesian learning (BL) en Reinforcement learning (RL) de keuzen verklaarden. Voor het CPT model werd één (gemiddelde) reistijd als referentie gekozen, die tijdens de opeenvolgende keuzen niet veranderde. Dit model leverde een beter correlatie op met de waarnemingen dan de andere modellen. Avineri en Prashker's mening over de ongeschiktheid van PT voor dagelijks terugkerende keuzen uit "onzekere" alternatieven is geheel gebaseerd op het veronderstelde onvermogen van PT om de trends in keuzegedrag te benaderen. Maar Kahneman & Tversky (1979) geven nergens aanleiding om te veronderstellen dat mensen hun "frame" inclusief referentietoestand tussen opeenvolgende keuzeprocessen niet aanpassen aan hun ervaringen. Zowel hun "isolation effect" als het elders beschreven "instant endowment" effect suggereren het omgekeerde. Terecht merkt Timmermans (2010) op dat wanneer de referentietoestand tussen de opeenvolgende keuzen zou worden aangepast aan de ervaringen dit tot andere keuzereeksen zou leiden. Gezien de goede prestatie van CPT met een "gemiddelde" referentie lijkt een implementatie, met tussen opeenvolgende keuzen aanpassing van de referentietoestand, volgens Van de Kaa (2010a) juist uitermate geschikt voor dergelijke dagelijks terugkerende verplaatsingskeuzen.

Een min of meer principieel bezwaar is dat PT en EPT meer empirische parameters bevatten dan UT, wat b.v. tot een sterkere "overfitting" kan leiden. Maar zoals Simon (1978: 345-346) al opmerkte: "Succinctness of statement is not the only measure of a theory's simplicity...utility maximization can be stated more briefly than a satisfying theory...but makes stronger assumptions about the human cognitive system". Ten opzichte van een vergelijkbare lineaire implementatie van UT zou b.v. het schatten van "extra" verliesaversie factoren tot een betere benadering van de in een bepaalde context waargenomen keuzen kunnen leiden. Maar om tot een vergelijkbare benadering te komen worden aan UT modellen vaak empirische parameters zoals alternatiefspecifieke constanten en/of een status-quo parameter toegevoegd. Het minder parsimone PT model zal dan beter in staat zijn het keuzegedrag in een andere context te voorspellen dan het uitgebreide UT model, althans als de onderliggende gedragsaannamen van verliesaversie in beide contexten geldt (zie vorige hoofdstuk). Er worden trouwens in RUM modellen vaak veel empirische parameters geschat om een bevredigende overeenkomst met waarnemingen te bereiken. Zo werd in het Britse VTTS onderzoek een lineair-additieve functie van tijd en kosten gebruikt voor de systematische nutsfunctie. De benadering van de werkelijke keuzen werd verbeterd door deze twee attributen op te splitsen in 15 andere, door toenamen en afnamen te onderscheiden en, voor de tijdparameters, ook verschillende niveaus te specificeren (Gunn, 2001). Een vergelijkbare benadering zou met een PT model kunnen worden bereikt met twee of drie parameters, één VTTS- coëfficiënt van het reistijdattribuut en één of twee verliesaversie factoren voor de tijd en/of geldattributen. Een vergelijkbare EPT benadering waarin b.v. populatiesegmenten die verschillen met betrekking tot de verliesaversie voor tijd en/of kosten worden onderkend zou nog steeds meer parsimonieus zijn dan de bovengenoemde RUM implementatie.

Een praktische reden om de PT aannamen als alternatief voor die volgens het heersende UT paradigma te verwerpen zou zijn wanneer de PT aannamen waargenomen keuzegedrag slechter zouden benaderen of voorspellen. In dat licht is het interessant dat Timmermans (2010: 376) maar één empirische studie noemt, van Blavatsky & Pogrebna (2007), waarin een UT model de waarnemingen beter zou verklaren dan CPT. Hij stelt dat in deze studie "cumulative prospect theory never outperformed other decision theories, regardless of the assumed probabilistic choice rule". Blavatsky en Pogrebna rapporteren over de mate waarin combinaties van zeven

keuzemodellen (waaronder Regret Theory (RT), Rank-dependent Utility Theory (RDU) en twee versies van EUT) en vijf verschillende stochastische keuzeregels het keuzegedrag in de Italiaanse en Engelse versies van de slotronde van Miljoenenjacht benaderen. Welk keuzemodel de beste fit oplevert blijkt af te hangen van de gehanteerde stochastische keuzeregel en de deelpopulatie. Zo benaderde, bij het overall best passende stochastische concept. EUT voor de Italiaanse en RDU voor de Britse populatie de waargenomen keuzen het best. Hoe dan ook, “some theories are left out ...we do not estimate ... prospect theory” (Blavatsky & Pogrebna 2007: 10). Ook deze studie toont dus niet dat het UT paradigma beter presteert dan PT. In het voorliggende artikel wordt gerefereerd aan legio voorbeelden uit de transportliteratuur en andere sociale wetenschappen die het tegendeel aantonen.

Een ander praktisch bezwaar is dat er een grote “installed base” is van op UT gebaseerde discrete keuzemodellen met gekalibreerde parameters terwijl vergelijkbare EPT modellen ontbreken. Ook ontbreekt in veel databestanden, die wel geschikt zijn voor schattingen van RUM modellen, essentiële informatie voor het schatten van EPT modelparameters, b.v. over de referentietoestand. Dat valt niet te ontkennen, ook al zullen er zeker in Nederland nog heel wat databestanden van oude onderzoeken bestaan die wel geschikt zijn. Hoewel op belangrijke terreinen, zoals aan de VTTS gerelateerd verplaatsingsgedrag, voldoende informatie aanwezig lijkt om op EPT in plaats van op UT gebaseerde keuzemodellen over te stappen is op veel terreinen daarvoor eerst aanvullend onderzoek nodig.

7. Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Menselijk keuzegedrag kan worden beschouwd als een overwegend onbewust mentaal proces. Het kan functioneel worden beschreven als het uitvoeren van vier functies: framen van de context, beoordelen van de attributen van de alternatieven, kiezen uit de alternatieven, en een coördinerende keuzestrategie. De concrete aannamen over keuzegedrag die in de verschillende versies van Nutstheorie (UT) en Prospect Theorie (PT) worden aangehouden en/of binnen de sociale wetenschappen worden onderkend kunnen worden toebedeeld aan deze vier functies. Extended Prospect Theory (EPT) is een uitbreiding van PT met aannamen die de keuzen van mensen, zoals die in een groot aantal artikelen gepubliceerd werden, beter bleken te benaderen.

De vier aannamen waarin EPT als verklarende theorie het meest verschilt van UT zijn: referentieafhankelijk framen van de keuzecontext in samenhang met verliesmijdend waarderen van attributen; “diminishing sensitivity” voor toenemende winsten *en* verliezen in plaats van een referentie-onafhankelijke nutsfunctie; het toekennen van een niet-lineaire weegfactor aan kansen; en het onderkennen van interpersoonlijke heterogeniteit in keuzegedrag *naast* verschillen in preferentievorgordes. In een meta-analyse van 106 onderzoeken in voor de vervoerwetenschap relevante settings is de mate waarin deze vier aannamen de waargenomen keuzen beter verklaren dan die van UT vergeleken. De EPT aannamen bleken daarbij vrijwel altijd beter te voldoen. Op een enkele uitzondering na toonden geen van de studies aanwijzingen voor het tegendeel. Wel lijkt voor keuzegedrag m.b.t. verkeer en vervoer meestal met een (geknikte) lineaire waardefunctie te kunnen worden volstaan.

PT biedt geen heldere aanwijzingen hoe met de contextafhankelijkheid van keuzegedrag moet worden omgegaan als men er beleidseffect predicties of prognoses mee wil doen. In EPT zijn daarvoor enkele aanvullende aannamen gedaan. Om de bruikbaarheid daarvan te testen is een eenvoudig keuzemodel ontwikkeld dat een *ceteris paribus* vergelijking van de voorspellende kwaliteit van EPT en UT mogelijk maakt. De vergelijking is gemaakt door hindcasting van de waargenomen veranderingen in het autogebruik in Singapore als gevolg van de invoering van

betaald rijden, van tariefverhogingen en verlagingen daarin en van lange-termijn veranderingen in huishoudinkomens, reistijden en vervoerskosten. De UT implementatie leverde geen consistente verklaring voor het keuzegedrag m.b.t. het autogebruik, de EPT implementatie wel.

Gezien de betere prestaties bij zowel het verklaren als voorspellen van de besproken verplaatsingskeuzen lijkt EPT op dit moment in potentie beter geschikt om verkeer- en vervoergedrag te modelleren dan nutstheorie.

Aanbevelingen

Een verdere uitwerking van EPT zou gebaat zijn bij onderzoek naar welk referentiealternatief en welke subjectieve keuzeset verschillende mensen hanteren in voor verkeer en vervoer relevante situaties, omdat dit wezenlijke elementen van de keuzestrategie zijn waarover relatief weinig bekend is. Ook onderzoek naar interpersoonlijke verschillen in het gebruik van keuzestrategieën binnen de verschillende domeinen en omstandigheden van de vervoerwetenschappen verdienen de aandacht. Verder zou een nader onderzoek naar de verdeling van VTTS waarden over gebruikers van verschillende modaliteiten zeer welkom zijn, gezien het grote belang dat reistijdwaardering lijkt te spelen in de reactie op vervoerbeleidsmaatregelen.

Voor de modelontwikkeling wordt aanbevolen het keuzemodel dat voor de Singapore-cases werd gebruikt verder te ontwikkelen en verfijnen. Het ligt voor de hand dit in te bouwen in een state-of-the-art discreet keuzemodel van het Mixed Logit type. Daarmee zouden b.v. de VTTS verdelingen uit de vele datasets van stated preference onderzoeken uit verschillende landen opnieuw geanalyseerd kunnen worden. Een interessant alternatief modelconcept is het inbedden van de waardefunctie volgens EPT in een microsimulatie model. Daarin kan de keuzecontext van individuen worden benaderd door zowel de VTTS als de bereikbaarheidskarakteristieken en andere relevante attributen te trekken uit waargenomen, geschatte en/of verwachte frequentieverdelingen. Zo'n agent based model zou kunnen worden gebruikt om de geaggregeerde keuzedata van diverse grote studies nader te onderzoeken, wat aanvullend materiaal zou opleveren om de geschiktheid van EPT en UT te vergelijken.

Voor beleidsontwikkeling kan het keuzegedrag concept van EPT nu al in kwalitatieve zin worden gebruikt. Zo is het, ook zonder verder onderzoek, geschikt om vooraf kwalitatief het succes in te schatten van verschillende soorten maatregelen die ten doel hebben het gedrag van mensen te veranderen. Dat kan door voor relevante groepen van burgers de balans in te schatten van de veranderingen in positieve en negatieve zin die door de maatregel worden veroorzaakt, waarbij de negatieve gevolgen weer ongeveer tweemaal zo zwaar tellen als de positieve. Dat biedt uitzicht op een genuanceerder inschatting van zowel het draagvlak voor invoering van de betreffende maatregel als op de mate waarin de gewenste gedragsverandering wordt bereikt.

Erkentelijkheid

Graag wil ik mijn erkentelijkheid betuigen voor het opbouwend-kritische commentaar van Caspar Chorus en twee anonieme referenten op de concept versie van dit artikel.

Referenties

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.

Arentze, T., en H. Timmermans (2000). *Albatross, A Learning Based Transportation Oriented Simulation System*. Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, Eirass.

Atasoy, B., A. Glerum, R. Hurtubia, en M. Bierlaire (2010). *Demand for public transport services: Integrating qualitative and quantitative methods*. Paper presented at Swiss Transport Research Conference, Monte Verità.

Avineri, E., en J.N. Prashker (2005). Sensitivity to travel time variability: Travelers' learning perspective. *Transportation Research Part C*, 13, 157-183.

Avineri, E., en J.N. Prashker (2006). The impact of travel time information on travellers' learning under uncertainty. *Transportation*, 33, 393-408.

Bechara, A., en A.R. Damasio (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52, 336-372.

Ben-Akiva, M., en S.R. Lerman (1978). *Discrete Choice Analysis. Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, MA: MIT Press.

Ben-Akiva, M., D. McFadden, K. Train, J. Walker, C. Bhat, M. Bierlaire, D. Bolduc, A. Börsch-Supan, D. Brownstone, D.S. Bunch, A. Daly, A. De Palma, D. Gopinath, A. Karlstrom, en M.A. Munizaga (2002). Hybrid choice models: Progress and challenges. *Marketing Letters*, 13, 163-175.

Blavatsky, P., en G. Pogrebna (2007). *Models of Stochastic Choice and Decision Theories: Why Both are Important for Analyzing Decisions*. Inst. for Empirical Res. in Economics, Univ. of Zurich.

Cantillo, V., B. Heydecker, en J.d.D. Ortúzar (2006). A discrete choice model incorporating thresholds for perception in attribute values. *Transportation Research Part B*, 40, 807-825.

Chorus, C.G. (2010). A new model of Random Regret Minimization. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10(2), 181-196.

De Borger, B., en M. Fosgerau (2008). The trade-off between money and travel time: A test of the theory of reference-dependent preferences. *Journal of Urban Economics*, 64, 101-115.

Dijksterhuis, A. (2007). *Het Slimme Onbewuste. Denken met Gevoel*. Amsterdam, Bert Bakker.

Festinger, L. (1957). *A Theory of Cognitive Dissonance*. Stanford, CA: Stanford University Press.

Fishbein, M. (1963). An investigation of the relationships between beliefs about an object and the attitude towards that object. *Human Relations*, 16, 233-240.

Fujii, S., en R. Kitamura (2004). Drivers' mental representation of travel time and departure time choice in uncertain traffic network conditions. *Networks and Spatial Economics*, 4(3), 243-256.

Gigerenzer, G., en P.M. Todd (1999). Fast and frugal heuristics: The adaptive toolbox. In: G. Gigerenzer, P.M. Todd, en ABCGroup (eds.). *Simple Heuristics that Make us Smart* (pp. 3-34), Oxford, UK.: Oxford University Press.

Gunn, H. (2001). Spatial and temporal transferability of relationships between travel demand, trip cost and travel time. *Transportation Research Part E*, 37, 163-189.

Hess, S., J.M. Rose, en D.A. Hensher (2008). Asymmetrical preference formation in willingness to pay estimates in discrete choice models. *Transportation Research Part E*, 44, 847-863.

Hicks, J.R., en R.G.D. Allen (1934). A reconsideration of the theory of value. *Economica*, 54, 52-76.

Houthakker, H.S. (1950). Revealed preference and the utility function. *Economica, New Series*, 17(66), 159-174.

Johansson, M.V., T. Heldt, en P. Johansson (2006). The effects of attitudes and personality traits on mode choice. *Transportation Research Part A*, 40, 507-525.

Kahneman, D., en A. Tversky (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263-291.

Kahneman, D., en A. Tversky (1984). Choices, values, and frames. *American Psychologist*, 39(4), 341-350.

Kitamura, R., en T. Yoshii (eds.) (2009). *The Expanding Sphere of Travel Behaviour Research: The Proceedings of the 11th International Conference*. Bingley, UK: Emerald Group Publishing Ltd.

Klein, G.A. (1993). A Recognition-Primed Decision (RPD) Model of rapid decision making. In: G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, en C.E. Zsombok (eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*. Norwood, CT: Ablex Publishing Corporation.

Li, Z., en D. Hensher (2011). Prospect theoretic contributions in understanding traveller behaviour: A review and some comments. *Transport Reviews*, 31(1), 97-115.

Limpert, E., W.A., Stahel, en M. Abbt (2001). Log-normal distributions across the sciences: Keys and clues. *BioScience*, 51(5), 341-352.

Lou, Y., Y. Yin, en S. Lawphongpanich (2010). Robust congestion pricing under boundedly rational user equilibrium. *Transportation Research Part B*, 44, 15-28.

Mackie, P.J., S. Jara-Díaz, en A.S. Fowkes (2001). The value of travel time savings in evaluation. *Transportation Research Part E*, 37, 91-106.

Marschak, J. (1960). Binary choice constraints on random utility indicators. In: K. Arrow (ed.), *Stanford Symposium on Mathematical Methods in the Social Sciences* (pp. 312-329), Stanford, CA: Stanford University Press.

McFadden, D.L. (2001). Economic choices (revised version of Nobel Prize lecture). *The American Economic Review*, 91(3), 351-378.

Michea, A., en J. Polak (2006). Modelling risky choice behaviour: Evaluating alternatives to expected utility theory. *Paper presented at the 11th International Conference on Travel Behaviour Research*, Kyoto.

Nisbett, R.E., en T.D. Wilson (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84(3), 231-259.

Prelec, D. (1998). The probability weighting function. *Econometrica*, 60, 497-528.

Richardson, A.J. (2003). Some evidence of travelers with zero value of time. *Transportation Research Record*, 1854, 107-113.

Samuelson, P. (1938). A note on the pure theory of consumer behaviour. *Economica*, 5(17), 61-71.

Simon, H.A. (1955). A behavioral model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69, 99-118.

Simon, H.A. (1978). Rational decision-making in business organizations. In: A. Lindbeck (ed.), *Nobel Lectures in Economic Sciences 1969-1980* (pp. 343-370), Singapore: World Scientific Publishing Company.

Slovic, P. (1995). The construction of preference. *American Psychologist*, 50(5), 364-371.

Stott, H.P. (2006). Cumulative prospect theory's functional menagerie. *Journal of Risk and Uncertainty*, 32, 101-130.

Swait, J. (2001). A non-compensatory choice model incorporating attribute cutoffs. *Transportation Research Part B*, 35, 903-928.

Thaler, R.H. (1980). Toward a positive theory of consumer choice. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 1, 39-60.

Timmermans, H. (2010). On the (ir)relevance of prospect theory in modelling uncertainty in

travel decisions. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10(4), 368-384.

Train, K.E. (2003). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Tversky, A., en D. Kahneman (1991). Loss aversion in riskless choice: A reference-dependent model. *The Quarterly Journal of Economics*, 106, 1039-1061.

Tversky, A., en D. Kahneman (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323.

Van de Kaa, E.J. (2008). *Extended Prospect Theory. Findings on Choice Behaviour from Economics and the Behavioural Sciences and their Relevance for Travel Behaviour*. Delft, TRAIL Research School.

Van de Kaa, E.J. (2010a). Applicability of an extended prospect theory to travel behaviour research: A meta-analysis. *Transport Reviews*, 30, 771-804.

Van de Kaa, E.J. (2010b). Prospect theory and choice behaviour strategies: Review and synthesis of concepts from social and transport sciences. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10, 299-329.

Van de Kaa, E.J. (2010c). Sign-dependent value of time in stated preference: Judgment bias or exposure of genuine preference? *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10, 347-367.

Von Neumann, J., en O. Morgenstern (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, NJ.: Princeton University Press.

Watson, P.L., en E.P. Holland (1978). *Relieving Traffic Congestion: The Singapore Area License Scheme*. Washington DC, World Bank Staff Working Paper 281, The World Bank.