

Alternatieve beslisregels in mobiliteitskeuze-modellen: Een kritische discussie¹

Caspar Chorus

Technische Universiteit Delft (TUD)²

Sinds de introductie van het keuzemodellen-paradigma in de jaren 1970, zijn nagenoeg alle modeltoepassingen in mobiliteit gebaseerd op de zogenaamde lineair-additieve nuts-maximaliserende beslisregel. Toch is er ook binnen het mobiliteitsonderzoek de laatste jaren in groeiende mate sprake van een interesse in alternatieve beslisregels, zoals lexicografische, referentiepunt-afhankelijke, elimination-by-aspects, of spijtminimalisatie beslisregels. Deze interesse is grotendeels gestoeld op de verwachting dat deze alternatieve modelvormen leiden tot een hogere mate van gedragsmatig realisme, betere empirische prestaties, nieuwe gedragsinzichten en - uiteindelijk - beter mobiliteitsbeleid. Vaak loopt men echter bij de ontwikkeling en toepassing van dergelijke alternatieve modelvormen aan tegen conceptuele en operationele obstakels en valkuilen. Dit artikel presenteert een kritische discussie van relevante ontwikkelingen, en de beloften en beperkingen met betrekking tot de inbedding van alternatieve beslisregels in mobiliteitskeuze-modellen.

Keywords

Keuzemodellen; mobiliteitsmodellen; beslisregels; nutsmaximalisatie; discussie

1. Introductie

Sinds de introductie van het keuzemodellen-paradigma zo'n 40 jaar geleden (McFadden, 1973), heeft het een centrale plaats verworven in de 'gereedchapskist' voor kwantitatief mobiliteitsonderzoek (bijvoorbeeld, Small & Verhoef, 2007; Ortúzar & Willumsen, 2011). Het betreft hier tweerichtingsverkeer: keuzemodellen hebben mobiliteitsonderzoek ontegenzeggelijk verrijkt en versterkt, en tegelijkertijd zijn mobiliteitsonderzoekers verantwoordelijk voor doorbraken op het gebied van keuzemodellen (bijvoorbeeld, Small & Rosen, 1981; Ben-Akiva & Lerman, 1985; Brownstone & Train, 1998; Walker & Ben-Akiva, 2002; Bhat, 2005)³. Een blik op de wetenschappelijke literatuur over (mobiliteits-)keuzemodellen toont aan dat niet alle aspecten van deze modellen evenveel aandacht hebben gekregen. Bijzonder veel aandacht is bijvoorbeeld

¹ Dit artikel is een ingekorte, bewerkte, en vertaalde weergave van: Chorus, C.G., 2014. Capturing alternative decision rules in travel choice models: A critical discussion. In: Hess, S. & Daly, A. (Eds.) Handbook of Choice Modelling, Edward Elgar, United Kingdom

² Sectie Transport en Logistiek; Faculteit of Techniek, Bestuur en Management; TU Delft.

Jaffalaan 5, 2628BX, Delft, c.g.chorus@tudelft.nl

³ Zie Hensher & Rose (2011) voor een verzameling van cruciale bijdragen aan het keuzemodellen-vakgebied, en een uitgebreide historische analyse van dat vakgebied.

besteed aan de rol van de zogenaamde storingsterm: een serie van ontwikkelingen leidde van elegante maar vaak simplistische veronderstellingen betreffende de storingsterm (zie bijvoorbeeld het MNL-model), naar de meer realistische maar tegelijkertijd meer gecompliceerde veronderstellingen van, bijvoorbeeld, Nested en Mixed Logit modellen (bijvoorbeeld, Ben-Akiva, 1974; McFadden, 1978; Small, 1987; McFadden & Train, 2000). Naast deze van oudsher sterke focus op de storingsterm, is er meer recentelijk sprake van een sterk groeiende interesse voor het modelleren van zogenaamde 'psychologische' factoren, zoals -latente- attitudes en percepties van reizigers, in keuzemodellen. Zie Van Acker et al. (2011), Prato et al. (2012), en Chorus (2012a) voor recente overzichten en discussies betreffende deze ontwikkeling.

Een aspect van (mobiliteits-)keuzemodellen dat door de jaren heen op beduidend minder interesse kon rekenen, is de veronderstelde beslisregel. Deze beslisregel is nochtans een cruciaal element van elk keuzemodel, want ze representeert de veronderstellingen van de modelbouwer betreffende hoe de reiziger attributen (kenmerken) van alternatieven (mobiliteits-opties) combineert met zijn of haar voorkeuren (schatbare parameters), om uiteindelijk tot een keuze voor één van de alternatieven te komen. Tot vrij recentelijk was de overgrote meerderheid van (mobiliteits-)keuzemodellen gebaseerd op zogenaamde lineair-additieve nut-maximalisatie beslisregels. Deze modellen (in de rest van dit artikel conventionele of standaardmodellen genoemd) veronderstellen dat de keuzemaker een hoeveelheid nut toekent aan elk alternatief, en dat dit nut is gebaseerd op een gewogen sommatie van attributen van de alternatieven (zoals reistijd en -kosten); de gewichten worden gegeven door schatbare parameters die de voorkeuren van de keuzemaker representeren. Het alternatief met het hoogste totaalnut (inclusief de storingsterm) wordt vervolgens gekozen.

Deze combinatie van veronderstellingen lijkt op het eerste zicht zeer verdedigbaar, elegant en 'gebruiksvriendelijk' voor modelbouwers. Toch zijn er altijd onderzoekers geweest die hebben gewezen op het feit dat deze lineair-additieve nut-maximaliserende beslisregel zeker niet de enige kandidaat voor (mobiliteits-)keuzemodellen is (bijvoorbeeld, Ben-Akiva & Lerman, 1985), en dat andere beslisregels misschien wel realistischer modellen zouden kunnen opleveren. De in eerste instantie sluimerende interesse voor alternatieve beslisregels is het afgelopen decennium gegroeid; een mogelijke medeoorzaak hiervan is te vinden in de sterke groei van het zogenaamde 'gedragseconomisch' onderzoek, dat klassieke micro-economische axioma's ter discussie stelt in het licht van bevindingen uit de psychologie en andere sociale wetenschappen (bijvoorbeeld, Kahneman, 2003; McFadden, 2007). Een relatief kleine maar groeiende groep mobiliteitsonderzoekers heeft zich de afgelopen jaren in toenemende mate gericht op de inbedding van alternatieve beslisregels in (mobiliteits-)keuzemodellen (bijvoorbeeld, Arentze & Timmermans, 2007; Hess et al., 2008; Chorus et al., 2008; Hensher, 2010; Zhu & Timmermans, 2010; Chorus, 2012b; Hess et al., 2012; Prato, 2014)⁴. Zoals te verwachten is wanneer een relatief nieuw onderzoeksonderwerp aan populariteit wint bij wetenschappers, zijn de verwachtingen betreffende de potentiële impact van de inbedding van alternatieve beslisregels in (mobiliteits-)keuzemodellen hoog. Zo worden in de literatuur (varianten op) de volgende verwachtingen geformuleerd: de alternatieve modellen zouden (1) een meer realistische weergave zijn van werkelijke beslisprocessen; (2) empirisch beter presteren dan conventionele modellen; (3) leiden tot nieuwe en diepere gedragsinzichten; en (4) als gevolg daarvan uiteindelijk resulteren in effectiever mobiliteitsbeleid.

Dit artikel heeft tot doel bij te dragen aan deze opkomende literatuur door een kritische discussie te voeren aangaande de inbedding van alternatieve beslisregels in (mobiliteits-)keuzemodellen⁵.

4 Voor een uitgebreid overzicht van deze literatuur, zie Leong & Hensher (2012a); voor een kort overzicht zie de volgende paragraaf.

5 Net als de overgrote meerderheid van mobiliteits-keuzemodellen, richt dit artikel zich op zogenaamde 'riskless' keuzes - dat wil zeggen, keuzes waarbij de attributen van de verschillende alternatieven bekend zijn bij de keuzemaker. Voor een overzicht van de toepassing van mobiliteits-keuzemodellen in de context van zogenaamde 'risky' keuzes (waarbij er onzekerheid bestaat bij de keuzemaker betreffende de attributen van alternatieven), zie

Zo worden de hierboven genoemde verwachtingen beoordeeld in termen van hun realisme, en worden in meer algemene zin de beloften en beperkingen van alternatieve (mobiliteits-)keuzemodellen besproken op een conceptueel en operationeel niveau. Waar mogelijk, zullen aanbevelingen worden gepresenteerd richting mobiliteitsonderzoekers en keuzemodelbouwers, met als doel het ontwijken van obstakels en valkuilen, en het realiseren van de belofte van deze alternatieve modelvormen.

In lijn met de focus van dit tijdschrift, richt dit artikel zich op *mobiliteits*-keuzemodellen; maar, dit betekent niet dat de observaties, conclusies, en aanbevelingen irrelevant zouden zijn voor keuzemodelbouwers uit een ander (toepassings-)domein, zoals consumentenmarketing, milieu- en gezondheidseconomie. Het artikel heeft niet tot doel een volledig overzicht te geven van keuzemodellen met alternatieve beslisregels; het richt zich op het initiëren en voeren van een wetenschappelijk discussie, en is dus eerder polemisch dan puur beschouwend van aard.

Sectie 2 presenteert een grove classificatie van beslisregels in keuzemodellen, en bespreekt kort enkele relatief vaak voorkomende beslisregels. (de Appendix geeft de wiskundige weergave van deze modellen) Sectie 3 bediscussieert valkuilen en uitdagingen bij het modelleren van alternatieve beslisregels, en Sectie 4 sluit af met een bespreking van de potentie van alternatieve beslisregels voor het ontwikkelen van mobiliteitsbeleid.

2. Alternatieve beslisregels in mobiliteits-keuzemodellen: een kort overzicht

Door de jaren heen, en in verschillende hoeken van de sociale wetenschappen, zijn talloze alternatieven voor de lineair-additieve nut-maximaliserende beslisregel ontwikkeld – zie bijvoorbeeld Payne et al. (1993) en Gigerenzer en Selten (2002) voor overzichten. Al zijn sommige van deze regels min of meer recentelijk ingebed in mobiliteits-keuzemodellen, de meeste zijn nog niet ‘ontdekt’ door de gemeenschap van mobiliteitsonderzoekers. Het is natuurlijk onmogelijk om al deze regels te classificeren op een eenduidige manier. Toch zou de volgende grove tweedeling kunnen worden gehanteerd: een eerste categorie beslisregels is geïnspireerd door de notie dat keuzemakers proberen de hoeveelheid cognitieve inspanning (alsook tijd, en aandacht) in beschouwing nemen en meewegen bij het maken van keuzes. Deze notie wordt expliciet aangehaald door de bedenkers en gebruikers van beslisregels zoals ‘satisficing’ (Simon, 1955), ‘elimination-by-aspects’ (Tversky, 1972), en de lexicografische beslisregel (bijvoorbeeld, Saelensminde, 2006). Deze regels worden verondersteld minder cognitieve inspanning te vereisen dan de conventionele lineair-additieve nutsmaximalisatie beslisregel, al is het uiteraard moeilijk, zo niet onmogelijk, om onomstootbaar bewijs voor die claim te vinden.

Een tweede categorie beslisregels is geïnspireerd op de notie dat de voorkeuren van keuzemakers context-afhankelijk zijn – met context wordt hier met name de compositie van de keuzeset bedoeld, en het bestaan van referentiepunten binnen of buiten die keuzeset. Er is inderdaad een aanzienlijke hoeveelheid empirisch bewijs voor de stelling dat keuzes makkelijk gemanipuleerd kunnen worden door – op het eerste zicht irrelevante – aanpassingen in de compositie van de keuzeset (zoals de toevoeging of verwijdering van zeer slecht presterende alternatieven), en door schijnbaar irrelevante ‘cheap talk’ met betrekking tot referentiepunten. Op basis van deze literatuur hebben verschillende onderzoekers geprobeerd om deze ‘gedragsanomalieën’ in te bedden in modellen, door middel van alternatieve beslisregels. Voorbeelden van deze ontwikkeling zijn bijvoorbeeld referentiepunt-afhankelijke of ‘loss aversion’ modellen (Tversky & Kahneman, 1991), het ‘relative advantage model’ (Tversky & Simonson, 1993), het ‘contextual concavity model’ (Kivetz et al., 2004), en het ‘random regret minimization model’ (Chorus, 2010).

Hieronder volgt een zeer korte beschouwing van enkele van de genoemde beslisregels, voor

zover deze zijn ingebed in mobiliteits-keuzemodellen. Meer gedetailleerde reviews zijn te vinden in Leong & Hensher (2012a), en in de artikelen die hieronder geciteerd worden.

Ik begin bij beslisregels en modellen die verondersteld kunnen worden gebaseerd te zijn op de minimalisatie van cognitieve inspanning. Een belangrijk voorbeeld hiervan is de *Elimination-by-Aspects* (EBA) beslisregel. Die regel, kort gezegd, komt neer op een iteratief proces van attribuutselectie (belangrijkere attributen hebben een hogere kans op selectie), en daaropvolgende eliminatie van alternatieven die niet 'goed genoeg' scoren op dat attribuut (continue attributen), of die het aspect niet bevatten (dummy-attributen). Dit proces wordt herhaald totdat er één alternatief over is, dat vervolgens gekozen wordt. Deze beslisregel, ingebed in een mobiliteits-keuzemodel, is onder meer gebruikt door Hess et al. (2012). De *lexicografische* beslisregel is verwant aan de EBA-regel: ze veronderstelt dat de keuzemaker zicht richt op één enkel (i.e., het meest belangrijke) attribuut, en het alternatief kiest dat op dat attribuut het best presteert. Toepassingen in mobiliteits-keuzemodellen zijn te vinden in Killi et al. (2007), Zhu & Timmermans (2010), en Hess et al. (2012). Het is opmerkelijk dat Herbert Simon's iconische 'satisficing' beslisregel, hoewel veelvuldig aangehaald in mobiliteitsonderzoek als motivatie voor de ontwikkeling van alternatieve beslisregels, geen rechtstreekse toepassingen kent in mobiliteits-keuzemodellen⁶.

De categorie beslisregels die gemotiveerd zijn door de notie van context-afhankelijkheid kent verschillende toepassingen in mobiliteits-keuzemodellen. Zo zijn er verschillende voorbeelden van *referentiepunt-afhankelijke modellen*, die voortbouwen op de veronderstelling dat keuzemakers, tijdens het evalueren van alternatieven, kijken naar op hoe een alternatief – in termen van zijn relevante attributen – presteert ten opzichte van referentiewaarden, in plaats van dat enkel gekeken wordt naar de absolute prestaties van het alternatief op die attributen. Daarnaast verwachten deze modellen meestal dat 'verliezen' ten opzichte van deze referentiewaarden zwaarder wegen dan 'winsten' van vergelijkbare grootte (bijvoorbeeld door verschillende parameters te schatten voor het verlies- en winst-domein). Ook bieden de meeste van deze modellen voor toe- of afnemende marginale gevoeligheid (door de introductie van convexiteit-concaviteit parameters). Deze noties van referentie-afhankelijkheid, 'loss aversion', en toe-/afnemende marginale gevoeligheid, hoewel in eerste instantie geopperd in de context van zogenaamde 'risky choices' (Prospect Theory; Kahneman & Tversky, 1979) zijn evenzeer toepasbaar (zie Tversky & Kahneman (1991)) – en worden ook vaak gebruikt – in de context van 'riskless' keuzes. Voorbeelden van dergelijke studies zijn te vinden in, bijvoorbeeld, Hess et al. (2008), De Borger & Fosgerau (2008), en Stathopoulos & Hess (2012). Zoals hieronder duidelijk wordt, zijn ook de meeste andere context-afhankelijke beslisregels conceptueel en operationeel verwant aan de referentiepunt-afhankelijke beslisregel.

Het *relative advantage model* (Tversky & Simonson, 1993) bouwt voort op de veronderstelling dat de keuzemaker alternatieven evalueert door middel van een context-onafhankelijke (lineair-additieve) nutsfunctie, én door middel van een term die weergeeft hoe de attributen van het alternatief scoren in vergelijking met corresponderende attributen van andere alternatieven uit de keuzeset. Met andere woorden: de attributen van concurrerende alternatieven fungeren als referentiepunten. Afhankelijk van hoe het model parametrisch gezien gespecificeerd wordt – meer specifiek: wanneer een 'loss aversion' parameter en een convexiteit-parameter geschat worden – kan het model preferenties voor compromis-alternatieven genereren; dit zijn alternatieven die – in vergelijking met concurrerende alternatieven – op elk attribuut gemiddeld scoren in plaats van op sommige zeer goed en op andere zeer slecht⁷. Toepassingen van het

⁶ Hetzelfde geldt overigens voor andere toepassingsdomeinen; een uitzondering is een recente studie in de context van consumenten-keuzegedrag (Stüttgen et al. (2012)).

⁷ De voorkeur van keuzemakers voor compromis-alternatieven is empirisch herhaaldelijk aangetoond in verschillende vakgebieden (bijvoorbeeld, Simonson, 1989; Wernerfelt, 1995; Kivetz et al., 2004; Muller et al., 2010; Chorus & Rose, 2012), en een recente publicatie laat ook de relevantie van dit compromis-effect zien in de context van mobiliteitsonderzoek (Chorus & Bierlaire, 2013).

relative advantage model in de mobiliteits-context zijn tot op heden beperkt, maar zie Leong & Hensher (2014) voor een voorbeeld, al is dit een variant van het model zonder 'loss aversion' parameter en convexiteit-parameter.

Het *contextual concavity model* hanteert als attribuut-specifiek referentiepunt de minst geprefereerde attribuutwaarde in de keuzeset (bv: de hoogste reistijd in een routekeuzeset). De prestatie van een alternatief op een attribuut wordt vervolgens gemodelleerd in termen van het verschil tussen de attribuutwaarde van dat alternatief, en het referentiepunt (dit verschil wordt vermenigvuldigd met een parameter die het belang van het attribuut aangeeft). De uitkomst wordt vervolgens gebruikt als de basis van een machtsfunctie. Afhankelijk van de geschatte parameter in de macht van die functie (die afnemende gevoeligheid – of: concaviteit in de nutsfunctie – kan ondervangen), wordt bijvoorbeeld een voorkeur voor compromis-alternatieven voorspeld. Toepassingen van dit model in een mobiliteitscontext zijn schaars, maar zie Leong & Hensher (2012b) en Chorus & Bierlaire (2013).

Het recentelijk voorgestelde *random regret minimization model* (spijtmodel) veronderstelt ook dat de attributen van concurrerende alternatieven fungeren als referentiepunten. Het model veronderstelt dat keuzes worden bepaald door de wens van de keuzemaker om geanticiperde spijt te minimaliseren: voortbouwend op eerdere spijt-theoretische modellen (bijvoorbeeld Bell, 1982; Fishburn, 1982; Loomes & Sugden, 1982) – die echter substantieel verschillen van het random regret model in termen van scope, gedragsveronderstellingen en wiskundige weergave – wordt spijt geconceptualiseerd als de emotie die wordt gevoeld wanneer één of meer niet-gekozen alternatieven beter presteren dan het gekozen alternatief, in termen van één of meer attributen. De spijt die geassocieerd wordt met een alternatief is gelijk aan de som van alle zogenaamde 'binaire spijt' die gegenereerd wordt door bilaterale vergelijkingen van het beoogde alternatief met concurrerende alternatieven, in termen van hun attributen. Wanneer het andere alternatief het slechter doet dan het beoogde alternatief in termen van het attribuut benadert deze 'attribuutspijt' nul; wanneer het andere alternatief het beter doet dan het beoogde alternatief in termen van het attribuut, groeit spijt als een bij benadering lineaire functie van het verschil in attribuutwaarden – de richtingscoëfficiënt van die bij benadering lineaire curve wordt gegeven door de te schatten parameter die het belang van het attribuut weergeeft. Het spijtmodel genereert per definitie (i.e., door zijn modelvorm) voorkeuren voor compromis-alternatieven (bijvoorbeeld, Chorus, 2010, 2012b; Chorus & Rose, 2012; Chorus & Bierlaire, 2013). Toepassingen van het model in een transportcontext zijn te vinden in, bijvoorbeeld, Chorus & de Jong (2011), Bekhor et al. (2012), Hess et al. (2012), Thiene et al. (2012), Kaplan & Prato (2012), Beck et al. (2012), Hensher et al. (2013), Boeri & Masiero (2014), en Prato (2014). Zie Chorus (2012c) voor een recent overzichtsartikel van de empirische literatuur over spijtmodellen (en de vergelijking met nutsmodellen).

3. Valkuilen, obstakels en uitdagingen bij het inbedden van alternatieve beslisregels in mobiliteits-keuzemodellen

3.1. Valkuilen, obstakels en uitdagingen op het gebied van identificatie

Verschillende van de in de vorige sectie geciteerde artikelen rapporteren moeilijkheden in termen van modelidentificatie: kort gezegd komen deze moeilijkheden neer op het onvermogen van het model om variatie in keuzes (keuzekansen) toe te wijzen aan variatie in een specifieke te schatten parameter. Identificatieproblemen uiteten zich bijvoorbeeld in problemen met convergentie en/of sterk correlerende en daardoor insignificante parameters. Ook al zijn de meeste alternatieve modelvormen die hierboven genoemd zijn wel *theoretisch* geïdentificeerd, het blijkt soms lastig om ze *empirisch* te identificeren op basis van de beschikbare keuzedata. Met name het schatten (identificeren) van parameters in de exponent van een machtsfunctie (bv om convexe/concave nutsfuncties te schatten) blijkt vaak problematisch (bijvoorbeeld, Kivetz et al., 2004; Avineri &

Bovy, 2008; Chorus & Bierlaire, 2013). Eigenlijk zou dit niet als een verrassing moeten komen: het is nu eenmaal per definitie moeilijk om variatie in keuzes (keuzekansen) toe te schrijven aan ofwel de ene parameter in de basis van de machtsfunctie (smaak- of loss aversion-parameter), ofwel de andere parameter in de exponent van die functie (convexiteit/concaviteit-parameter) – met name wanneer de effecten op de keuzekansen klein zijn.

Transportonderzoekers hebben verschillende oplossingen bedacht om met type identificatieproblemen om te gaan. In sommige studies zijn parameters simpelweg ‘geleend’ van eerdere studies van zowel binnen als buiten het transportdomein. Het spreekt voor zich dat deze aanpak zeker niet aan te raden is, gegeven de vele verschillen tussen de keuzesituaties en de steekproeven in de verschillende onderzoeken – zie Chorus (2012a) voor meer hierover. Een andere aanpak is om lastig te identificeren parameters te fixeren op een bepaalde waarde (bijvoorbeeld de waarde ‘1’, wanneer het om een exponent gaat). Neem bijvoorbeeld Leong & Hensher (2014) die een zogenaamd symmetrisch relative advantage model schatten, en zodoende de ‘loss aversion’- en convexiteit/concaviteit-parameters fixeren in plaats van schatten. Deze benadering is hoogstwaarschijnlijk gemotiveerd door identificatieproblemen die kunnen optreden bij het schatten van de generieke vorm van het model (dus inclusief de ‘loss aversion’- en convexiteit/concaviteit-parameters), zoals gerapporteerd in Kivetz et al. (2004) en aangehaald in Leong & Hensher (2012a). Het resulterende *symmetrische* relative advantage model presteert empirisch gezien goed (zie sectie 4), maar verliest wel een deel van de gedragsmatige intuïtie en flexibiliteit van het generieke model. Het is het vermelden waard dat deze symmetrische variant van het relative advantage model in de meeste contexten een *afkeer* in plaats van een voorkeur van compromiseffecten genereert, wat niet lijkt te stroken met empirisch bewijs uit andere studies (zie voetnoot 6). Een derde, gerelateerde manier om identificatiemoeilijkheden te vermijden is om gedeeltelijk parameter-loze functionele specificaties te gebruiken: neem bijvoorbeeld de logsum-specificatie als functionele vorm van de spijtfunctie in het random regret minimization model (Chorus, 2010); deze vorm genereert convexiteit in de spijtfunctie, zonder hiervoor parameters te hoeven schatten in de exponent van machtsfuncties. Dit resulteert erin dat het spijtmodel geen theoretische en empirische identificatieproblemen kent. Maar ook deze oplossing, hoewel econometrisch pragmatisch, betekent tegelijkertijd een verlies aan flexibiliteit.

Deze identificatieproblemen, die min of meer typerend zijn voor keuzemodellen op basis van alternatieve beslisregels, kunnen beschouwd worden als voorbeelden van een meer algemeen identificatieprobleem: het is lastig om een *keuzeproces* te identificeren op basis van een *keuze-uitkomst*. Kort gezegd kan een keuze-uitkomst vaak evengoed verklaard worden door verschillende combinaties van beslisregels en parametersets. In veel gevallen kunnen keuzekansen die gegenereerd worden door een specifieke combinatie van een beslisregel en een parameterset zeer goed benaderd worden door een andere beslisregel in combinatie met een andere parameterset. Zie ook Hess et al. (2012), die modellen schatten waarbij keuzemakers worden toebedeeld aan (latente) klassen van (lineair-additieve) nut-maximaliseerders en spijt-minimaliseerders. De onderzoekers zagen vervolgens dat het lidmaatschap van de ‘spijt-klasse’ varieerde tussen 30% en 40%, afhankelijk van de specificatie van de smaakparameters (al dan niet ‘random parameter logit’). Dat resultaat is een duidelijke indicator van een mogelijke verwarring of ‘confounding’ tussen smaak-parameters en beslisregels, potentieel leidend tot identificatieproblemen⁸. Een gerelateerd probleem is dat in sommige gevallen twee modellen met ogenschijnlijk verschillende beslisregels, in hun wiskundige uitwerking equivalent zijn (zie bijvoorbeeld de appendix in Daly (1982)). Zie ook Batley & Daly (2006), die onderzoeken onder welke condities de wiskundige formulering van het hierboven genoemde elimination-by-aspects model en die van (lineair-additieve) nut-gebaseerde ‘generalized extreme value’-modellen

⁸ In meer algemene zin stroken deze bevindingen met recent werk in de context van ‘risky’ keuzes. Een recente studie toont aan dat de relatieve empirische prestaties van keuzemodellen die gebaseerd zijn op verschillende beslisregels in aanzienlijke mate afhangen van de gekozen functionele vormen voor de storingsterm (Blavatskyy & Pogrebna, 2010).

equivalent zijn. Een andere uitdaging betreffende het EBA-model is dat in de originele specificatie, attribuut-gewichten (smaakparameters) verantwoordelijk zijn voor het genereren van een volgorde in het eliminatieproces. Het mag echter duidelijk zijn dat in de overgrote meerderheid van gevallen, de onderzoeker deze volgorde niet observeert (maar enkel de uiteindelijke keuze). Dit maakt het intrinsiek lastig om de attribuut-gewichten (smaakparameters) te identificeren in een EBA-model.

Identificatieproblemen steken ook de kop op wanneer het niet duidelijk is waar een referentiepunt moet worden gepositioneerd. In sommige modellen (zoals het relative advantage model en het random regret minimization model) is de positionering van referentiepunten eenduidig – in beide gevallen dienen de attribuutwaarden van concurrerende alternatieven als referentiepunt. Maar in andere modellen is het niet a priori duidelijk waar het referentiepunt precies ligt⁹ (bijvoorbeeld, Stathopoulos & Hess, 2012). Met name bij modellen die geïnspireerd zijn door de meest algemene versie van referentiepunt-afhankelijkheid zoals voorgesteld in Tversky & Kahneman (1991) is het vaak geheel niet duidelijk welk punt te gebruiken als referentie. In dat artikel wordt namelijk gesteld dat referentiepunten van keuzemakers niet noodzakelijkerwijs hoeven te refereren naar de huidige status quo (bv: de reistijd van iemands gebruikelijke route van huis naar werk), maar dat ook “aspirations, expectations, norms and social comparisons” gebruikt kunnen worden als, of invloed kunnen hebben op, referentiepunten. Het is duidelijk dat, gezien vanuit dit perspectief, veel verschillende attribuut-specifieke referentiepunten mogelijk zijn, bijvoorbeeld bij het modelleren van de keuze tussen verschillende routes of modaliteiten. Zo zijn er talloze kandidaten voor het reistijd-referentiepunt: de normale of gemiddelde reistijd, de ‘free-flow’ reistijd, de meest recentelijk ervaren reistijd, etc. Daar komt bij dat de keuze voor een referentiepunt niet arbitrair is: parameterschattingen (smaak-, ‘loss aversion’- en convexiteit/concaviteit-parameters) kunnen aanzienlijk variëren, afhankelijk van het gekozen referentiepunt. Zie ook Stathopoulos & Hess (2012) die rapporteren dat willingness-to-pay (betalingsbereidheid) maten significant en substantieel verschillen, afhankelijk van het gekozen referentiepunt. In de context van keuze-experimenten (Stated Preference of Stated Choice dataverzameling) worden deze moeilijkheden meestal vermeden door de attribuutwaarden van het in werkelijkheid laatst gekozen alternatief expliciet op te nemen als referentiepunt in de keuzetaak (bijvoorbeeld onder het label ‘your current route’) – zie bijvoorbeeld Hess et al. (2008). Dit stelt de onderzoeker in staat om dat alternatief als multi-dimensioneel referentiepunt te hanteren. Deze aanpak is echter niet zonder risico’s: door de respondent expliciet te vragen naar zijn of haar ‘normale’, ‘gebruikelijke’, of ‘laatstgekozen’ alternatief (bijvoorbeeld route), en dat alternatief vervolgens expliciet te positioneren en te benoemen in de keuzetaak, wordt het potentiële referentiepunt wel erg onder de aandacht gebracht van de respondent. Deze kunstmatige nadruk op het referentiealternatief kan tot gevolg hebben dat er meer referentie-afhankelijkheid sluipt in de voorkeuren van de deelnemer aan het keuze-experiment, dan het geval zou zijn in werkelijkheid (i.e., in Revealed Preference data).

Een gerelateerd identificatieprobleem steekt zijn kop op in de context van het schatten van lexicografische modellen. De reguliere manier om dergelijke modellen te identificeren (bijvoorbeeld, Hess et al., 2010) komt neer op het inspecteren van meerdere keuzes, gemaakt door een hetzelfde individu, en om na te gaan of dat individu – bijvoorbeeld – altijd de snelste vervoerswijze kiest, ongeacht de kosten. Zulk keuzegedrag wordt vervolgens lexicografisch

⁹ Bijna zonder uitzondering wordt de positie van het referentiepunt a priori bepaald door de onderzoeker zelf, meestal op basis van intuïtie en/of in een proces van ‘trial and error’. Met andere woorden: de locatie is tot op zekere hoogte exogeen ten opzichte van het model. Een recent artikel (Schmidt & Zank, 2012) laat zien hoe referentiepunten als endogeen kunnen worden gemodelleerd (i.e., ze worden bepaald tijdens het proces van modelschatting); deze aanpak is uiteraard te prefereren vanuit een wetenschappelijk gezichtspunt. De auteurs geven echter geen empirische toepassing van hun modelleeraanpak. Het ligt voor de hand dat simultane schatting van parameters en referentiepunten vanuit (empirisch) identificatie-oogpunt niet zonder moeilijkheden zal zijn.

genoemd. Echter, het ligt zeer voor de hand dat elke inschatting van de onderzoeker betreffende lexicografisch gedrag strikt genomen afhankelijk is van de door de onderzoeker gespecificeerde 'ranges' of reikwijdtes van attribuutwaarden (Stated Preference data) of van de in de markt aanwezige reikwijdtes (Revealed Preference data). Zo is het bijvoorbeeld lastig voor te stellen dat het hierboven genoemde individu ook de snelste vervoerswijze zou kiezen in het – toegegeven, zeer hypothetische – geval waarin een reistijdreductie van 1 minuut, 1000 euro kost. Met andere woorden: het lijkt veiliger om lexicografisch gedrag te interpreteren als relatief steile indifferentiecurves in combinatie met een specifieke constellatie van attribuut-ranges in de data. Zo bezien bestaat er feitelijk geen bewijs van 'echt' lexicografisch keuzegedrag. Conceptueel gezien, kan het per abuis interpreteren van keuzes als zijnde de uitkomst van een lexicografisch keuzeproses gezien worden als een empirisch identificatieprobleem, dat het gevolg is onvoldoende variatie in verklarende variabelen. Zie Saelensminde (2006), Killi et al. (2007), en Börjesson et al. (2012) voor diepgaande empirische analyses, gevolgd door soortgelijke conclusies.

3.2. *Valkuilen, obstakels en uitdagingen op het gebied complexiteit*

Bijna zonder uitzondering zijn keuzemodellen die gebaseerd zijn op alternatieve beslisregels meer complex dan conventionele modellen die gebaseerd zijn op de lineair-additieve nut-maximalisatieregels. Deze toename in complexiteit kan de vorm aannemen van additionele parameters; en/of meer gecompliceerde functionele vormen (bijvoorbeeld stapsgewijze functies, machtsfuncties of logaritmische transformaties); en/of de vereiste van additionele data of additionele veronderstellingen van de onderzoeker (bijvoorbeeld betreffende de locatie van referentiepunten); en/of meer gecompliceerde data-preprocessing (bijvoorbeeld de identificatie van het minst geprefereerde attribuutniveau). Het is enigszins ironisch dat zelfs de beslisregels die zijn ontworpen vanuit de gedachte dat keuzemakers beperkte cognitieve vermogens hebben, en spaarzaam zijn met hun tijd en aandacht, bijna zonder uitzondering resulteren in meer complexe modelvormen dan de conventionele lineair-additieve nutsmodellen.

Deze toenemende complexiteit zorgt voor een aantal problemen. Ten eerste: het is bekend dat het schatten van keuzemodellen die gebaseerd zijn op alternatieve beslisregels in het algemeen langer duurt dan het schatten van conventionele modellen. Dit komt in het algemeen door het feit dat het evalueren van de alternatieve beslisregels zelf meer tijd kost (bijvoorbeeld wanneer er logaritmen of machtsfuncties aan te pas komen), in combinatie met het feit dat alternatieve modellen vaak meer stappen nodig hebben om te convergeren (dit is weer meestal een gevolg van de hierboven genoemde identificatieproblemen). Deze langere schattingstijden worden met name zichtbaar, en soms problematisch, in de context van modellen met een meer complexe structuur voor de storingsterm (zoals Mixed Logit modellen). Het is hier het vermelden waard dat de schattingstijd van modellen die veronderstellen dat keuzemakers alternatieven met alle concurrerende alternatieven vergelijken in termen van elk attribuut (zoals random regret minimization modellen en relative advantage modellen), meer dan proportioneel toeneemt met de grootte van de keuzeset. Dit kan problematisch blijken in de context van sommige route- en bestemmingskeuze-situaties. In deze context is het het vermelden waard dat er recentelijk een methode is ontwikkeld om 'asymptotically unbiased' schattingen te verkrijgen bij het schatten van random regret minimization modellen op relatief kleine keuzesets, die getrokken zijn uit een zeer grote universele set (Guevara et al., 2013).

Ten tweede: veel van de keuzemodellen die zijn gebaseerd op alternatieve keuzeregels, zeker wanneer die regels wiskundig complexer worden, zijn niet schatbaar met behulp van softwarepakketten; deze modellen moeten door de onderzoeker zelf gecodeerd worden in meer algemene programmeeromgevingen. Dit geldt bijvoorbeeld voor modellen die gebruik maken van max-operators en stapfuncties, zoals het geval is bij de meeste modellen die context-(referentie-) afhankelijke preferenties veronderstellen (bijvoorbeeld, Kivetz et al., 2004; Hess et al., 2008; Chorus et al., 2008; Leong & Hensher, 2012a). Gegeven dat de meeste studenten, net als de

meeste toepassingsgerichte onderzoekers en analisten van buiten de wetenschap, leunen op conventionele software voor het schatten van keuzemodellen (zoals Biogeme, of NLOGIT – echter nog niet in ALOGIT), betekent dit dat veel van de ontwikkelde alternatieve modellen niet of nauwelijks hun weg vinden buiten kringen van sterk methodologisch/econometrisch georiënteerde onderzoekers. Met name vanuit het perspectief van beleids- en praktische relevantie geredeneerd, is dit een problematische ontwikkeling. In deze context is het overigens relevant erop te wijzen dat er manieren zijn om max-operators en stapfuncties te benaderen met een ‘smoothing functie’ die schatting met behulp van conventionele software mogelijk maakt. Een voorbeeld is de nieuwste versie van het random regret minimization-model (Chorus, 2010), die deels een ‘smoothened’ versie is van een eerder gepubliceerde modelvariant (Chorus et al., 2008). Deze nieuwste versie kan, in tegenstelling tot de eerste versie, geschat worden met behulp van Biogeme and NLOGIT software. Ook Leong & Hensher (2014) gebruiken de in Chorus (2010) geïntroduceerde ‘smoothing’ functie om hun symmetrische relative advantage model schatbaar te maken met behulp van de genoemde software.

Ten derde: de vaak forse complexiteit van alternatieve modellen maakt dat deze modellen (en hun resultaten) vaak lastig te communiceren zijn richting beleidsmakers, en richting mensen uit ‘de praktijk’ in het algemeen. Deels heeft dit te maken met het feit dat veel onderzoekers binnen en buiten de academische wereld door de jaren heen bekend zijn geraakt met het iconische MNL-model met lineair-additieve nutsmaximalisatieregels. Velen in het vakgebied weten inmiddels hoe modeluitkomsten zoals parameters en betalingsbereidheid-maten geïnterpreteerd moeten worden in de context van deze modellen. Dit is (nog) niet het geval bij nieuwere, alternatieve modelvormen. Los van dat aspect, is het duidelijk dat de uitkomsten van de meeste alternatieve modelvormen vaak lastiger te interpreteren zijn dan hun conventionele tegenhangers. Zo vergt bijvoorbeeld de interpretatie van parameters van geschatte spijtmodellen een extra denkstap. Hoewel de meeste wetenschappelijk onderzoekers van mening lijken te zijn dat deze lastiger interpretatie juist ook diepere inzichten genereert, is het de persoonlijke ervaring van de auteur dat veel beleidsmakers en bezoekers van buiten de universitaire gemeenschap hier anders over denken (zie ook Washington et al. (2003), sectie 11.4).

Ten vierde: er is nog een fundamenteeler probleem dat wordt veroorzaakt door de grotere complexiteit van alternatieve modelvormen, en dit probleem heeft te maken met de breed gedragen notie – ook wel Occam’s scheermes genoemd – dat wetenschappers altijd zouden moeten proberen om met de meest simpele verklaring (het meest simpele model) te komen dat de feiten verklaart. Als men geobserveerde keuzes beschouwt als de feiten die verklaard moeten worden, dan is het nog maar de vraag of de additionele complexiteit van keuzemodellen die gebaseerd zijn op alternatieve beslisregels terecht is, in termen van een additionele of diepere verklaring van die keuzes. Dit vraagstuk is overigens sterk gerelateerd aan de identificatieproblemen die in sectie 3.1 aan bod kwamen: er zijn vele en fundamentele moeilijkheden verbonden aan de taak om te bepalen welke beslisregel of welk keuzeproces de (meest) correcte is, gegeven dat enkel de keuze-uitkomsten gebruikt kunnen worden als richtpunt. Wanneer men toegenomen complexiteit enkel meet in termen van additionele parameters (of, equivalent: in termen van verloren vrijheidsgraden), dan bestaan er verschillende statistische testen (zoals de likelihood ratio test voor geneste modellen, of de Ben-Akiva & Swait test (1986) voor niet-geneste modellen) om een formeel antwoord op die vraag te geven. Wanneer men toegenomen complexiteit echter ook conceptualiseert in termen van andere, lastiger te formaliseren noties zoals degene die in de alinea’s hierboven aan bod kwamen, dan wordt het gebruik van Occam’s scheermes veel moeilijker. In dergelijke situaties moet de onderzoeker zelf op de één of andere manier een afweging maken tussen de ‘kosten’ en de ‘baten’ van het gebruik van conventionele en alternatieve modelvormen.

Het verdient hier ook vermelding dat, zoals in de introductie al genoemd werd, onderzoekers regelmatig claimen dat (hun) alternatieve modelvorm een betere representatie is van het keuzeproces. Formeel gezien rust deze claim op de impliciete veronderstellingen i) dat de

onderzoeker dit keuzeproces kent (mogelijk op basis van een vorm van introspectie), en ii) dat dat proces het 'feit' is dat verklaard moet worden door middel van het keuzemodel. Echter, het is in het verleden zeer overtuigend aangetoond (zie Nisbett and Wilson (1977) voor een klassiek artikel, of Senk (2010) voor een recent artikel in de context van mobiliteitsgedrag) dat dergelijke introspecties van keuzeprocessen onbetrouwbaar zijn, en slechts beperkt overeenkomen met daadwerkelijk gemaakte keuzes. Die bevindingen in acht nemend - en ook meenemend dat de overgrote meerderheid van studies geen proces-observaties bevatten - verdient het sterk aanbeveling om niet (teveel) te leunen op 'observaties' aangaande het keuzeproces, maar om bij het beoordelen van keuzemodellen de overeenkomst met gemaakte keuzes (de uitkomsten van het proces) centraal te stellen.

4. Mobiliteitskeuze-modellen gebaseerd op alternatieve beslisregels: hun potentie en hoe deze gerealiseerd kan worden

4.1. *Potentie in termen van modelfit en voorspelkracht*

Recente studies tonen aan dat in de meerderheid van de gevallen, alternatieve modelvormen een betere modelfit (met keuzedata) hebben dan het conventionele, lineair-additieve nutsmodel. Voor de meeste alternatieve modellen, zoals de meeste modellen die een vorm van referentie-afhankelijkheid modelleren, gaat deze verhoging van de modelfit gepaard met een verlies in vrijheidsgraden (of: toename in aantal geschatte parameters). In die gevallen tonen statistische toetsen meestal aan dat de toegenomen fit het verlies in vrijheidsgraden meer dan compenseert, in statistische zin. In de meeste gevallen is het alternatieve model (wanneer dat meer parameters consumeert dan zijn conventionele tegenhanger) zodanig gespecificeerd dat het reduceert tot het conventionele model voor bepaalde (combinaties van) parameterwaarden; in dergelijke gevallen worden meestal schattingen verkregen die stroken met de gedragsmatige hypothesen die aan de basis staan van de alternatieve modelvorm, zoals de 'loss aversion'-hypothese of toe-/afnemende gevoeligheid. Met andere woorden, de statistische hypothese dat het geschatte alternatieve model reduceert tot het conventionele model, kan meestal worden verworpen. Hess et al. (2012), Hess & Stathopoulos (2014) en Boeri et al. (2014) rapporteren dat latente klasse modellen van het type waarbij elke klasse een verschillende beslisregel representeert een veel hogere modelfit bereiken dan wanneer één en dezelfde beslisregel wordt verondersteld voor de gehele populatie (ook na correctie voor het forse verschil in parameters tussen de modelvormen).

Sommige alternatieve modelvormen, zoals het random regret minimization model en de symmetrische versie van het relative advantage model, reduceren niet tot het conventionele model voor bepaalde combinaties van parameters; deze twee modellen gebruiken evenveel parameters als het standaardmodel. De empirische prestaties van deze modellen (in termen van modelfit en voorspelkracht) zijn relatief veelbelovend. Voor wat betreft het random regret model, presenteren Chorus et al. (2014) een overzicht van ruim veertig empirische vergelijkingen tussen spijt- en nutmodellen in de context van een variëteit aan datasets van binnen en buiten het transportdomein. De resultaten kunnen als volgt samengevat worden: in grofweg twee-derde van de gevallen wordt de hoogste modelfit behaald door een spijtmodel, of door een hybride nut-spijt model; zie Chorus et al. (2013a) voor een gedetailleerde bespreking van de hybride nut-spijt variant. Al zijn de verschillen in modelfit over het algemeen significant, ze variëren meestal van klein tot zeer klein. Een uitzondering (Hess et al., 2014) lijkt de situatie te zijn waar, in de context van keuze-experimenten, een zogenaamde 'opt out' optie bestaat ('geen keuze'): wanneer deze geformuleerd is als 'none of these' (of een variant daarop), presteert het nutsmodel aanzienlijk beter dan het spijtmodel. Maar wanneer deze optie is geformuleerd als 'I am indifferent' (of een variant daarop) dan presteert het spijtmodel aanzienlijk beter dan het nutsmodel. Deze verschillen zijn rechtstreeks te herleiden tot de gedragsveronderstellingen die ten grondslag liggen aan de twee verschillende modelvormen, zoals uitgebreid besproken in dat artikel. Echter,

het dient hier vermeld te worden dat Chorus & Rose (2012), op basis van andere data, rapporteren dat zelfs in de context van een 'none of these' opt out het spijtmodel beter presteert dan het nutmodel (al is het verschil tussen spijt- en nutmodel aanzienlijk kleiner dan wanneer de opt out optie niet wordt meegenomen). Al met al moet aanvullend onderzoek duidelijk maken tot op welke hoogte de resultaten van Hess et al. (2014) algemeen toepasbaar zijn.

In de context van de symmetrische vorm van het relative advantage model, rapporteren Leong & Hensher (2014) goede prestaties in termen van model fit, vergeleken met het lineair additieve nutsmodel en spijtmodellen. In de context van acht datasets (waarvan er zeven overigens zeer op elkaar lijken qua opzet, onderwerp en vorm van het keuze-experiment, wat de bewijsvoering iets minder overtuigend maakt), blijkt het symmetrische relative advantage model in bijna alle gevallen de beste modelfit te hebben, al zijn ook hier de verschillen met de overige modellen klein. Deze goede prestaties van de symmetrische (i.e., 'restricted') versie van het relative advantage model is opvallend te noemen gegeven de matige prestaties van de generieke ('unrestricted') modelvariant (Kivetz et al., 2004).

Terwijl vergelijkingen tussen alternatieve en conventionele modellen in termen van modelfit standaard aanwezig zijn in empirische studies, worden vergelijkingen in 'externe' voorspelkracht (bijvoorbeeld op een deel van de data dat niet voor modelschatting gebruikt is) veel minder vaak uitgevoerd en/of gerapporteerd. Het spreekt voor zich dat dergelijke vergelijkingen in 'out-of-sample' voorspelkracht aan te bevelen zijn, met name wanneer er een (groot) verschil is tussen de modelvormen in termen van het aantal gebruikte parameters; in dat geval ligt namelijk het risico van 'overfitting' op de loer, bij schatting van het model met het grootste aantal parameters. In de context van vergelijkingen tussen spijt- en nutmodellen zijn verschillende 'out-of-sample' voorspelkracht-vergelijkingen gerapporteerd (bijvoorbeeld, Chorus, 2010; Kaplan & Prato, 2012; Chorus et al., 2013a, b). De resultaten suggereren dat de verhoudingen tussen spijt-, nut- en hybride modellen qua modelprestaties stroken met de hierboven genoemde verhoudingen in termen van modelfit. Echter, verrassend genoeg blijkt het regelmatig voor te komen dat een bepaalde modelvorm tegelijkertijd beter presteert dan een andere modelvorm in termen van modelfit, en minder in termen van externe voorspelkracht. Ook al zijn de verschillen ook hier klein, toch suggereert deze bevinding dat empirische modelvergelijkingen tussen alternatieve en conventionele modellen niet enkel beperkt moeten blijven tot modelfit.

Gerelateerd aan deze discussie, is het ook goed om op te merken dat de overgrote meerderheid van studies die conventionele en alternatieve mobiliteits-keuzemodellen vergelijken, dat doen met behulp van Stated Preference (in plaats van Revealed Preference) data. Zo zijn er slechts vijf Revealed Preference toepassingen van het spijtmodel in de literatuur te vinden, waar bijna 40 Stated Preference studies tegenover staan; voor andere alternatieve modelvormen valt de balans nog meer in het nadeel van Revealed Preference data uit. Dit is niet alleen zorgwekkend in het licht van de aanmerkelijk grotere (externe) validiteit van Revealed Preference data in het algemeen, maar ook in het licht van het feit dat Stated Preference data specifieke problemen kunnen opleveren bij het testen van, bijvoorbeeld, referentie-afhankelijkheid (zie sectie 3). Al is ook het gebruik van Revealed Preference data niet zonder problemen (en is het verzamelen ervan vaak duurder en tijdrovender dan het verzamelen van Stated Preference data), toch verdient het sterk aanbeveling om meer dan nu het geval is, vergelijkingen tussen alternatieve en conventionele mobiliteits-keuzemodellen te baseren op Revealed Preference data.

Samenvattend: wanneer men vanuit een puur statistisch perspectief de vraag stelt of het de moeite loont om alternatieve beslisregels in te bedden in mobiliteits-keuzemodellen, dan is het antwoord - hoewel dit uiteraard afhangt van het modeltype en de data - in de meeste gevallen 'ja'. Aan de andere kant zijn de verschillen in modelfit met conventionele modellen vaak klein, en berust de meerderheid van het bewijs op Stated Preference data met beperkte externe validiteit. Bovendien is het nog onvoldoende duidelijk of, en in welke mate, alternatieve modelvormen ook beter presteren in 'out-of-sample' voorspelkracht. Daar komt nog bij dat, zoals in de vorige sectie besproken, statistiek niet de enige maatstaf is bij de beoordeling van modelprestaties.

Onderzoekers die eerder in inhoudelijke toepassingen dan in methodologie zijn geïnteresseerd, zullen een ander type vraag stellen wanneer ze met alternatieve mobiliteits-keuzemodellen worden geconfronteerd: leiden deze modellen uiteindelijk tot nieuwe inzichten in mobiliteitsgedrag en/of tot meer effectief mobiliteitsbeleid?

4.2. *Potentie in termen van gedragsinzichten en beleidsimplicaties*

Elke claim dat mobiliteits-keuzemodellen die gebaseerd zijn op alternatieve beslisregels leidt tot meer inzicht in mobiliteitsgedrag, en/of tot effectiever mobiliteitsbeleid, impliceert noodzakelijkerwijs dat deze modellen *andere* uitkomsten genereren (bijvoorbeeld in termen van parameterschattingen, betalingsbereidheid-maten, elasticiteiten, of keuzekansvoorspellingen). Een blik op de literatuur leert dat deze implicatie tot op zekere hoogte ondersteund wordt door empirische studies: zo is het bijvoorbeeld herhaaldelijk gerapporteerd dat referentie-afhankelijke keuzemodellen resulteren in andere betalingsbereidheid-maten dan conventionele modellen (bijvoorbeeld, De Borger & Fosgerau, 2008; Hess et al., 2008; Leong & Hensher, 2012b). Ook blijken de uitkomsten van spijtmodellen (zoals keuzekansen voor alternatieven in specifieke keuzesituaties) regelmatig substantieel te verschillen van die van nutsmodellen, ook wanneer de geaggregeerde modelfit niet veel verschilt tussen de twee modeltypen (bijvoorbeeld, Thiene et al., 2012; Kaplan & Prato, 2012; Chorus & Bierlaire, 2013; Chorus et al., 2013b; Hensher et al., 2013; Boeri et al., 2014). In sommige - maar niet alle - gevallen blijken gevonden verschillen overigens statistisch insignificant te zijn. Zie bijvoorbeeld Chorus & Bierlaire (2013), de Bekker-Grob & Chorus (2013), en Leong & Hensher (2014), voor tests op significantie van verschillen in model-output. Verschillen tussen het symmetrische relative advantage model en het conventionele nutsmodel, in termen van zowel parameters en betalingsbereidheid-maten, blijken overigens in de tot nu bekende toepassingen bijzonder klein te zijn, en niet significant (Leong & Hensher, 2014).

Tot welke nieuwe gedragsinzichten deze verschillen - wanneer aanwezig - leiden, is deels nog een open vraag. De waarschijnlijk meest overtuigend aangetoonde gedragsinzichten die ondervangen worden in alternatieve mobiliteitskeuze-modellen, zijn als volgt samen te vatten: (1) referentiepunten doen ertoe, en (2) de compositie van de keuzeset doet ertoe. Met andere woorden: de voorkeuren en keuzes van reizigers blijken gevoelig te zijn voor referentiepunten en voor de samenstelling van de keuzeset, op een wijze die niet wordt gerepresenteerd in conventionele mobiliteits-keuzemodellen. Dit resultaat strookt overigens met inzichten en modellen die gerapporteerd zijn in het marketing-vakgebied (zie bijvoorbeeld Rooderkerk et al. (2011) voor een recente en relevante bijdrage). In termen van mobiliteitsbeleid-implicaties suggereren deze resultaten dat mobiliteitsgedrag kan worden beïnvloed (sommigen zouden zeggen: gemanipuleerd) door de context of keuzesituatie aan te passen waarbinnen de reiziger zijn keuze maakt. Dergelijke beïnvloeding door bijvoorbeeld 'choice set engineering' en 'framing' is overigens aan de orde van de dag in consumentenmarketing. Een voorbeeld van mogelijke beïnvloeding is het construeren van een mobiliteitskeuze-set op zodanige wijze dat het mobiliteits-alternatief dat in de ogen van de beleidsmaker een groter marktaandeel verdient (bijvoorbeeld een duurzame vervoerswijze) gepositioneerd wordt als compromis-alternatief. In tegenstelling tot conventionele mobiliteitskeuze-modellen zijn verschillende van de in dit artikel besproken alternatieve modellen goed in staat om het effect van dergelijke subtiele gedragsbeïnvloedingen te modelleren, analyseren en voorspellen. Dit impliceert dat deze alternatieve modelvormen relatief goed passen bij de recente ontwikkeling van zogenaamde 'nudging' strategieën die mikken op duurzamer mobiliteitspatronen (bijvoorbeeld Avineri, 2012). Deze nudging-strategieën maken gebruik van recente psychologische inzichten om de keuzemaker - die hier meestal niet zelf van op de hoogte is - op subtiele wijze te sturen door middel van, bijvoorbeeld, het 're-framen' van keuzesituaties.

Een andere manier waarop alternatieve modelvormen van nut kunnen zijn voor de ontwikkeling van mobiliteitsbeleid is door middel van zogenaamde 'forecasting' studies. Zo kunnen

verschillende modelvormen (het standaardmodel en één of meerdere alternatieve modelvormen) tegelijkertijd worden gebruikt voor de analyse en het voorspellen van mobiliteitsgedrag. De verschillende uitkomsten (bijvoorbeeld in termen van elasticiteiten of marktaandeelvoorspellingen) kunnen vervolgens worden gebruikt voor de constructie van zogenaamde 'gedragsintervallen' en/of het uitvoeren van 'gedragsmatige gevoeligheidsanalyses'. Met andere woorden, in de mate dat de verschillende modellen (alternatief versus conventioneel) verschillende uitkomsten genereren, kan het zinnig zijn om elk model te beschouwen als een 'gedrags-scenario', grofweg op dezelfde manier waarop sociodemografische scenario's worden gebruikt bij beleidsevaluatie. In de context van deze scenario's kunnen beleidsanalisten en beleidsmakers vervolgens, met behulp van conventionele technieken voor gevoeligheidsanalyses, 'gedragsmatig robuust' beleid ontwikkelen - ofwel, beleid dat effectief is, ongeacht de gebruikte beslisregel / modelvorm. Zie ook de discussie in Chorus (2012c).

Het is overigens nog maar de vraag in welke mate de verschillen tussen conventionele en alternatieve modelvormen overeind blijven wanneer deze modellen op macroschaal worden toegepast, zoals bijvoorbeeld in de context van landelijke modelsystemen. Het is nog niet duidelijk of de verschillen die op microniveau worden gevonden al dan 'uitmiddelen' of misschien juist versterkt worden op macroniveau, wanneer bijvoorbeeld aanbod-vraag interacties op het transportnetwerk worden meegenomen. Recente studies op het gebied van verkeersevenwichten in transportnetwerken lijken te suggereren dat de verschillen tussen alternatieve en conventionele modellen er ook op geaggregeerd niveau toe doen (zie Delle Site & Filippi (2011) en Bekhor et al. (2012) voor voorbeelden betreffende, respectievelijk, referentieafhankelijkheid en spijtminimalisatie). Meer onderzoek is echter nodig om te bepalen of deze resultaten algemeen geldend zijn.

Samenvattend: het lijkt erop dat mobiliteits-keuzemodellen die gebaseerd zijn op alternatieve beslisregels inderdaad in staat zijn om andere, nieuwe gedragsinzichten te genereren, die niet aan bod komen in conventionele modellen. Deze inzichten kunnen in principe worden gebruikt om duurzaam mobiliteitsbeleid - met name 'nudging' strategieën - te ondersteunen, en om gedragsmatig robuustere voorspellingen te doen op microniveau en mogelijk ook met behulp van macro-modellen. Echter, op dit vlak is momenteel nog maar weinig onderzoek verricht, zeker in vergelijking met de overvloedige aandacht voor zaken als verschillen modelfit. Hier ligt dus een fors en belangrijk gebied voor verder onderzoek.

Dankwoord

Financiële ondersteuning door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), in de vorm van VENI-beurs 451.10.001 en VIDI-beurs 016-125-305 heeft bijgedragen aan de totstandkoming van dit artikel. Opmerkingen van drie anonieme referenten hebben bijgedragen aan de verbetering van een eerdere versie van dit artikel.

Bibliografie

Arentze, T.A., Timmermans, H.J.P., 2007. Parametric action trees: incorporating continuous attribute variables into rule-based models of discrete choice. *Transportation Research Part B*, 41(7), 772-783

Avineri, E., Bovy, P.H.L., 2008. Identification of parameters for Prospect Theory model for travel choice analysis. *Transportation Research Record*, 2082, 141-147

Avineri, E., 2012. On the use and potential of behavioral economics from the perspective of transport and climate change. *Journal of Transport Geography*, 24, 512-521

- Batley, R., Daly, A., 2006. On the equivalence between elimination-by-aspects and generalized extreme value models of choice behavior. *Journal of Mathematical Psychology*, 50(5), 456-467
- Beck, M.J., Chorus, C.G., Rose, J.M., 2013. Vehicle purchasing behavior of individuals and groups: Regret or reward? *Journal of Transport Economics and Policy*, 47(3), 475-492
- Bekhor, S., Chorus, C.G., Toledo, T., 2012. Stochastic User Equilibrium for route choice model based on Random Regret Minimization. *Transportation Research Record*, 2284, 100-108
- de Bekker-Grob, E.W., Chorus, C.G., 2013. Random regret-based discrete choice modelling: An application to health care. *PharmacoEconomics*, 31(7), 623-634
- Bell, D.E., 1982. Regret in decision making under uncertainty. *Operations Research*, 30(5), 961-981
- Ben-Akiva, 1974. Structure of passenger travel demand models. *Transportation Research Record*, 526, 26-41
- Ben-Akiva, M., Lerman, S.R., 1985. *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. The MIT Press, Cambridge, Mass
- Ben-Akiva, M.E., Swait, J., 1986. The Akaike likelihood ratio index. *Transportation Science*, 20(2), 133-136
- Bhat, C.R., 2005. A multiple discrete-continuous extreme value model: formulation and application to discretionary time-use decisions. *Transportation Research Part B*, 39, pp. 679-707
- Blavatsky, P.R., Pogrebn, G., 2010. Models of stochastic choice and decision theories: Why both are important for analyzing decisions. *Journal of Applied Econometrics*, 25, 963-986
- Boeri, M., A. Longo, E. Doherty, Hynes, S., 2012. Site choices in recreational demand: A matter of utility maximization or regret minimization? *Journal of Environmental Economics and Policy*, 1(1), 32-47
- Boeri, M., Masiero, L., 2014. Regret minimization and utility maximization in a freight transport context: An application from two stated choice experiments. *Transportmetrica Part A*, 10(6), 548-560
- Boeri, M., Scarpa, R., Chorus, C.G., 2014. Stated choices and benefit estimates in the context of traffic calming schemes: Utility maximization, regret minimization, or both? *Transportation Research Part A*, 61, 121-135
- Börjesson, M., Fosgerau, M., Algers, S., 2012. Catching the tail: Empirical identification of the distribution of the value of travel time. *Transportation Research Part A*, 46(2), 378-391
- Brownstone, D., Train, K., 1998. Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns. *Journal of Econometrics*, 89 (1-2), 109-129
- Chorus, C.G., Arentze, T.A., Timmermans, H.J.P., 2008. A Random Regret Minimization model of travel choice. *Transportation Research Part B*, 42(1), pp. 1-18
- Chorus, C.G., 2010. A new model of Random Regret Minimization. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10(2), pp. 181-196
- Chorus, C.G., de Jong, G.C., 2011. Modeling experienced accessibility for utility-maximizers and regret-minimizers. *Journal of Transport Geography*, 19, 1155-1162
- Chorus, C.G., 2012a. What about behavior in travel demand modeling? An overview of recent progress. *Transportation Letters*, 4(2), 93-104
- Chorus, C.G., 2012b. Random Regret Minimization: An overview of model properties and empirical evidence. *Transport Reviews*, 32(1), 75-92
- Chorus, C.G., 2012c. Spijtminimalisatie als discrete keuzemodel: Een overzicht van empirische

vergelijkingen met het nutsmaximalisatiemodel. *Tijdschrift Vervoers-wetenschap*, 48(3), 47-64

Chorus, C.G., Rose, J.M., 2012. Selecting a date: A matter of regret and compromises. Chapter 11 in Hess, S., Daly, A. (Eds.) *Choice modelling: The state of the art and the state of practice*. Edward Elgar

Chorus, C.G., Rose, J.M., Hensher, D.A., 2013a. Regret minimization or utility maximization: It depends on the attribute. *Environment and Planning Part B*, 40(1), 154-169

Chorus, C.G., Koetse, M.J., Hoen, A., 2013b. Consumer preferences for alternative fuel vehicles: Comparing a utility maximization and a regret minimization model. *Energy Policy*, 61, 901-908

Chorus, C.G., Bierlaire, M., 2013. An empirical comparison of travel choice models that capture preferences for compromise alternatives. *Transportation*, 40(3), 549-562

Chorus, C.G., van Cranenburgh, S., Dekker, T., 2014. Random Regret Minimization for consumer choice modeling: Assessment of empirical evidence. *Journal of Business Research* (in druk)

Daly, A., 1982. Applicability of disaggregate models of behaviour: A question of methodology. *Transportation Research Part A*, 16(5-6), 363-370

De Borger, B., Fosgerau, M., 2008. The trade-off between money and time: A test of the theory of reference dependent preferences. *Journal of Urban Economics*, 64(1), 101-115

Delle Site, P., Filippi, F., 2011. Stochastic user equilibrium and value-of-time analysis with reference-dependent route choice. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 11(2), 194-218

Fishburn, P.C., 1982. Non-transitive measurable utility. *Journal of Mathematical Psychology*, 26(1), 31-67

Gigerenzer, G., Selten, T., 2002. *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*. MIT Press, Cambridge, MA, USA

Guevara, C.A., Chorus, C.G., Ben-Akiva, M.E., 2013. Sampling of alternatives in Random Regret Minimization models. Paper presented at the 92nd annual meeting of the *Transportation Research Board*, Washington, D.C.

Hensher, D.A., Greene, W., Chorus, C.G., 2013. Random Regret Minimisation or Random Utility Maximisation: An exploratory analysis in the context of automobile choice. *Journal of Advanced Transportation*, 47(7), 667-678

Hensher, D.A., 2010. Attribute processing, heuristics and preference construction in choice analysis. In Hess, S. and Daly, A. (eds.) *State-of art and State-of practice in choice modelling*, Emerald Press, UK, 35-70

Hensher, D.A., Rose, J.M., 2011. *Choice modeling: Foundational contributions*. Edward Elgar, United Kingdom

Hess, S., Rose, J.M., Hensher, D.A., 2008. Asymmetric preference formation in willingness to pay estimates in discrete choice models. *Transportation Research Part E*, 44(5), 847-863

Hess, S., Rose, J.K., Polak, J., 2010. Non-trading, lexicographic and inconsistent behavior in stated choice data. *Transportation Research Part D*, 15, 405-417

Hess, S., Stathopoulos, A., Daly, A., 2012. Allowing for heterogeneous decision-rules in discrete choice models: An approach and four case-studies. *Transportation*, 39(3), 565-591

Hess, S., Stathopoulos, A., 2014. A mixed random utility - random regret model linking the choice of decision rule to latent character traits. *Journal of Choice Modelling*, 9, 27-38

Hess, S., Beck, M., Chorus, C.G., 2014. Contrasts between utility maximisation and regret minimisation in the presence of opt out alternatives. *Transportation Research Part A* (in druk)

Kahneman, D., Tversky, A., 1979. Prospect Theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, pp. 263-291

Kahneman, D., 2003. Maps of bounded rationality: psychology for behavioural economics. *The American Economic Review*, 93(5), pp. 1449-1475

Kaplan, S., Prato, G., 2012. The application of the random regret minimization model to drivers' choice of crash avoidance maneuvers. *Transportation Research Part F*, 15(6), 699-709

Killi, M., Nossum, a., Veisten, K., 2007. Lexicographic answering in travel choice: Insufficient scale extensions and steep indifference curves? *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 7(1), 39-62

Kivetz, R., Netzer, O., Srinivasan, V., 2004. Alternative models for capturing the compromise effect. *Journal of Marketing Research*, 41, 237-257

Leong, W., Hensher, D.A., 2012a. Embedding decision heuristics in discrete choice models: A Review. *Transport Reviews*, 32(3), 313-331

Leong, W., Hensher, D.A., 2012b. Embedding multiple heuristics into choice models: An alternative approach. *Journal of Choice Modelling*, 5(3), 131-144

Leong, W., Hensher, D.A., 2014. Contrasts of relative advantage maximization with random utility maximization and regret minimization. *Journal of Transport Economics and Policy* (in druk)

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

Loomes, G., Sugden, R., 1982. Regret Theory: an alternative theory of rational choice under uncertainty. *The Economic Journal*, 92, 805-824

McFadden, D., 1973. Conditional logit analysis of qualitative choice-behaviour. In Zarembka, P. (Eds.) *Frontiers in econometrics*, Academic Press, New York, pp. 105-142

McFadden D. 1978. Modeling the Choice of Residential Location. In *Spatial Interaction Theory and Residential Location*, Karlquist, Lundqvist, Snickers and Weibull (eds). North Holland, Amsterdam, 75-96.

McFadden, D., Train, K.E., 2000. Mixed MNL models for discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, 15(5), pp. 447-470

McFadden, 2007. The behavioral science of transportation. *Transport Policy*, 14(4), 269-274

Müller, H., Kroll, E.B., Vogt, B., 2010. Fact or artifact? Empirical evidence on the robustness of compromise effects in binding and non-binding choice contexts. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 17(5), 441-448

Nisbett, R.E., DeCamp Wilson, T., 1997. Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259

Ortúzar, J., Willumsen, L.G., 2011. *Modelling Transport (fourth edition)*. Wiley, United Kingdom

Payne, J.W., Bettman, J.R., Johnson, E.J., 1993. *The adaptive decision maker*. Cambridge University Press, Cambridge

Prato, C.G., 2014. Estimating Random Regret Minimization models in the route choice context. *Transportation*, 41, 351-375

Rooderkerk, R.P., van Heerde, H.J., Bijmolt, T.H.A., 2011. Incorporating context effects into a choice model. *Journal of Marketing Research*, 48, 767-780

Saelensminde, K., 2006. Causes and consequences of lexicographic choice in stated choice studies. *Ecological Economics*, 59(3), 331-340

Schmidt, U., Zank, H., 2012. A genuine foundation for Prospect Theory. *Journal of Risk and Uncertainty*, 45, 97-113

Senk, P., 2010. Route choice under the microscope. *Transportation Research Records*, 2156, 56-63

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

Simonson, I., 1989. Choice based on reasons: The case of attraction and compromise effects. *Journal of Consumer Research*, 19, 158-174

Small, K.A., Rosen, H.S., 1981. Applied welfare economics with discrete choice models. *Econometrica*, 49(1), 105-130

Small, K.A., 1987. A discrete choice model for ordered alternatives. *Econometrica*, 55(2), 409-424

Small, K.A., Verhoef, E.T., 2007. *The Economics of Urban Transportation*. Routledge, US

Stathopoulos, A., Hess, S., 2012. Revisiting reference point formation, gain-loss asymmetry and non-linear sensitivities with an emphasis on attribute specific treatment. *Transportation Research Part A*, 46, 1673-1689

Stüttgen, P., Boatwright, P., Monroe, R.T., 2012. A satisficing choice model. *Marketing Science*, 31(6), 878-899

Thiene, M., Boeri, M., Chorus, C.G., 2012. Random Regret Minimization: Exploration of a new choice model for environmental and resource economics. *Environmental and Resource Economics*, 51(3), 413-429

Tversky, A., 1972. Elimination by Aspects: a theory of choice. *Psychological Review*, 79, pp. 281-299

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

Tversky, A., Simonson, I., 1993. *Context dependent preferences*. *Management Science*, 39(10), 1179-1189

Van Acker, V., Mokhtarian, P., Witlox, F., 2011. Going soft: On how subjective variables explain modal choices for leisure travel. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 11(2), 115-146

Van de Kaa, E., 2010. Prospect Theory and choice behavior strategies: Review and synthesis of concepts from social and transport sciences. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10(4), 299-329

Walker, J.L., Ben-Akiva, M.E., 2002. Generalized random utility model. *Mathematical Social Sciences*, 43(3), pp. 303-343

Washington, S.P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L., 2003. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. CRC Press, New York, USA

Wernerfelt, B., 1995. A rational reconstruction of the compromise effect: Using market data to infer utilities. *Journal of Consumer Research*, 21(4), 627-633

Zhu, W., Timmermans, H.J.P., 2010. Cognitive process model of individual choice behaviour incorporating principles of bounded rationality and heterogeneous decision-rules. *Environment & Planning Part B*, 37, 59-74

Appendix: Wiskundige weergave van de in het artikel behandelde modellen¹⁰

Notatie

C	Keuzeset
i, j	Keuzealternatieven in C
V_i	Nut van alternatief i
R_i	Spijt van alternatief i
x_{im}	Waarde (of niveau) van het m 'de attribuut ¹¹ van alternatief i
\tilde{x}_m	Aspiratieniveau voor het m 'de attribuut
\bar{x}_m	Referentiewaarde voor het m 'de attribuut
\bar{m}	Het belangrijkste van de M attributen
β_m	Smaakparameter voor het m 'de attribuut
$\tilde{\beta}_m$	Smaakparameter voor het m 'de attribuut (voor $x_{im} \leq \bar{x}_m$)
$\vec{\beta}_m$	Smaakparameter voor het m 'de attribuut (voor $x_{im} > \bar{x}_m$)
φ^m, ϑ^m	Concaviteit-convexiteit parameters voor het m 'de attribuut
γ_m	Loss-aversion parameter
δ	Relative advantage parameter
y_i	Geeft aan of alternatief i wordt gekozen (1) of niet (0)

¹⁰ Deze appendix, net als het artikel, stelt het perspectief van de keuzemaker centraal, en niet dat van de onderzoeker. Als zodanig richt ik me hier niet op de rol van de storingsterm (die onzekerheid van de kant van de onderzoeker weergeeft) en op de mogelijke statistische verdeling van die term (leidend tot logit, probit, of andere modelvormen). De meeste van de beslisregels die hier gepresenteerd worden zijn compatibel met verschillende storingsterm-specificaties. Zo kan de onderzoeker bijvoorbeeld een op lineair-additieve nutsmaximalisatie gebaseerd logit, probit, nested logit of mixed logit model specificeren, net als – bijvoorbeeld – spijtgebaseerde tegenhangers van die modellen.

¹¹ Uit oogpunt van eenduidige communicatie richt deze appendix zich op continue variabelen, en op attributen waarvan hogere waarden de voorkeur hebben boven lagere waarden.

<i>A1. Standaardmodel: Lineair-additieve nutsmaximalizatie</i>
--

$$V_i = \sum_m \beta_m \cdot x_{im}$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow V_i \geq V_j, \forall j \in C$$

<i>A2. Elimination-by-Aspects¹²</i>
--

$$y_i = 1 \Leftrightarrow x_{im} \geq \tilde{x}_m, \forall m$$

<i>A3. Lexicografische keuzes</i>

$$y_i = 1 \Leftrightarrow x_{i\bar{m}} = \max_{j \in C} [x_{j\bar{m}}]$$

<i>A4. Referentie-afhankelijke nutsmaximalizatie I¹³</i>

$$V_i = \sum_m (-\tilde{\beta}_m \cdot \max[0, \bar{x}_m - x_{im}] + \vec{\beta}_m \cdot \max[0, x_{im} - \bar{x}_m])$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow V_i \geq V_j, \forall j \in C$$

¹² Het originele elimination-by-aspects model richtte zich op dummy-attributen, terwijl in de meeste mobiliteitsstudies (en in deze appendix) continue attributen centraal staan. Een mogelijke interpretatie (zie Hess et al., 2012 voor andere mogelijkheden) van de notie van elimination-by-aspects in de context van continue attributen is om te veronderstellen dat het individu attribuut-specifieke aspiratieniveaus hanteert, die door de onderzoeker kunnen worden bepaald (door ‘trial and error’) en mogelijk zelfs geschat kunnen worden. Wanneer het alternatief onder een aspiratieniveau scoort voor een bepaald attribuut, wordt dit geïnterpreteerd als dat het alternatief dit ‘aspect’ niet bevat, en dus geëlimineerd wordt. Mochten meerdere alternatieven op alle attributen minstens even goed scoren als de corresponderende aspiratieniveaus, dan wordt er een willekeurige keuze uit die deelverzameling gemaakt. Tot slot: net als in het artikel het geval is, is de focus hier op de keuze-*uitkomst*, en niet op het – zelden geobserveerde – eliminatieproces.

¹³ Deze specificatie kan ‘loss aversion’ ondervangen ($\tilde{\beta}_m > \vec{\beta}_m$), maar staat geen toe- of afnemende gevoeligheid toe. NB: de specificatie veronderstelt referentie-afhankelijkheid voor alle attributen.

<i>A5. Referentie-afhankelijke nutsmaximalizatie II</i> ¹⁴

$$V_i = \sum_m (-\gamma_m \cdot \max[0, \bar{x}_m - x_{im}]^{\varphi^m} + \max[0, x_{im} - \bar{x}_m]^{\vartheta^m})$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow V_i \geq V_j, \forall j \in C$$

<i>A6. Relative Advantage Model</i>

$$V_i =$$

$$\sum_m \beta_m \cdot x_{im} + \delta \cdot$$

$$\sum_{j \neq i} \frac{\sum_m \max[0, \beta_m \cdot (x_{im} - x_{jm})]}{\sum_m \max[0, \beta_m \cdot (x_{im} - x_{jm})] + \sum_m (\max[0, \beta_m \cdot (x_{jm} - x_{im})] + \gamma_m \cdot \{\max[0, \beta_m \cdot (x_{jm} - x_{im})]\}^{\varphi^m})}$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow V_i \geq V_j, \forall j \in C$$

<i>A7. Symmetrisch Relative Advantage Model</i>

$$V_i = \sum_m \beta_m \cdot x_{im} + \sum_{j \neq i} \frac{\sum_m \ln(1 + \exp[\beta_m \cdot (x_{im} - x_{jm})])}{\sum_m \ln(1 + \exp[\beta_m \cdot (x_{im} - x_{jm})]) + \sum_m \ln(1 + \exp[\beta_m \cdot (x_{jm} - x_{im})])}$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow V_i \geq V_j, \forall j \in C$$

<i>A8. Contextual Concavity Model</i>

$$V_i = \sum_m (\beta_m \cdot x_{im} - \beta_m \cdot \min_{j \in C} [x_{jm}])^{\varphi^m}$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow V_i \geq V_j, \forall j \in C$$

¹⁴ Deze specificatie staat ‘loss aversion’ toe ($\gamma > 1$) en ook toe- of afnemende gevoeligheid ($\varphi^m \neq 1, \vartheta^m \neq 1$). Deze specificatie is slechts één van vele mogelijke (bijvoorbeeld, De Borger & Fosgerau, 2008; Stathopoulos & Hess, 2012) die simultaan deze twee effecten kunnen modelleren. NB: de specificatie veronderstelt referentie-afhankelijkheid voor alle attributen.

A9. <i>Random Regret Minimization Model: 2008-specificatie</i>
--

$$R_i = \max_{j \neq i} [\sum_m \max[0, \beta_m \cdot (x_{jm} - x_{im})]]$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow R_i \leq R_j, \forall j \in C$$

A10. <i>Random Regret Minimization Model: 2010-specificatie</i>

$$R_i = \sum_{j \neq i} \sum_m \ln(1 + \exp[\beta_m \cdot (x_{jm} - x_{im})])$$

$$y_i = 1 \Leftrightarrow R_i \leq R_j, \forall j \in C$$