

2013•2014  
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN  
*master in de toegepaste economische wetenschappen:  
beleidsmanagement*

## Masterproef

Vereisten voor nieuwe toepassingen van consumentenelektronica op  
zonne-energie

Promotor :  
Prof.dr.ir Steven VAN PASSEL

## Brecht Schoofs

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste  
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*

2013•2014

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE  
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:  
beleidsmanagement*

## Masterproef

Vereisten voor nieuwe toepassingen van  
consumentenelektronica op zonne-energie

Promotor :  
Prof.dr.ir Steven VAN PASSEL

Brecht Schoofs

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste  
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*



## **Woord vooraf**

Dit werkstuk is opgesteld in het kader van de opleiding Master in de Toegepaste Economische Wetenschappen. Ik heb voor dit onderwerp gekozen omdat ik er een uitdaging in zag. Het betreft namelijk een jonge technologie. Dit betekent dat er nog veel onderzoek nodig is en dat er nog relatief weinig over geweten is. Het is een eer om mij hier verder in te kunnen verdiepen en om een bijdrage te kunnen leveren aan deze bijzonder veelbelovende technologie.

Verder zou ik graag enkele mensen bedanken. In de eerste plaats mijn ouders, omdat zij het mij mogelijk gemaakt hebben om deze bijzonder interessante opleiding te volgen. De afgelopen vier jaar zijn zeer leerrijk geweest en hebben mij in staat gesteld om mezelf verder te ontplooiën. Een tweede persoon die ik zeer dankbaar ben, is mijn begeleider, Sebastien Lizin. Hem wil ik vooral bedanken voor zijn geduld en zijn steun doorheen dit project. Ten derde wil ik ook mijn promotor, Steven Van Passel, bedanken. Hij heeft er mede voor gezorgd dat dit onderzoek überhaupt mogelijk was. Ten slotte wil ik ook mijn dank betuigen aan de Universiteit Hasselt. Zij hebben mij een fantastische tijd gegeven waarin ik als persoon enorm ben gegroeid.



## Samenvatting

We beginnen dit onderzoek met een verklaring waarom er steeds meer nood is aan alternatieve energiebronnen. Zonne-energie is één vorm van dergelijke alternatieve energiebronnen. Ondanks de potentiële voordelen van zonne-energie, wordt zonne-energie tot op de dag van vandaag weinig gebruikt. Dat komt door de bijzonder hoge productiekosten. Dit onderzoek focust zich op organische fotonvoltaïsche (OPV) zonnecellen. Dit is een zeer interessant type zonnecel, omdat dit type in staat wordt geacht om de hoge productiekost van zonnecellen enorm te drukken.

Vervolgens bespreken we de theoretische achtergrond bij 'choice experiments' (CE). In de eerste plaats verklaren we dat we bij CE in feite *nut* gaan meten. Dat brengt ons bij de indifferentiecurven en de nutvergelijking:  $U_{ni} = V_{ni} + E_{ni}$ . Het is onze taak om de waargenomen factoren van nut ( $V_{ni}$ ) zo groot mogelijk te maken en de niet waargenomen factoren van nut ( $E_{ni}$ ) zo klein mogelijk te maken. Dit zal ons namelijk toelaten om het *feitelijke* nutsniveau ( $U_{ni}$ ) beter in te schatten. Vervolgens verklaren we hoe het mogelijk is om via aggregatietechnieken een algemene maatstaf te bekomen. Dit is bij CE niet vanzelfsprekend aangezien we ons op het niveau van het individu bevinden.

Daarna hebben we de begrippen 'choice set', alternatief, attribuut en karakteristiek geïntroduceerd. Overigens hebben we de link tussen deze begrippen verduidelijkt aan de hand van een voorbeeld. Vervolgens maken we een onderscheid tussen 'preference data' en 'choice data'. We komen tot de conclusie dat wij in dit onderzoek choice data nodig hebben. Dan stellen we vast dat we choice data op twee verschillende manieren kunnen verzamelen: (1) via 'Revealed Preference' (RP) en (2) via 'Stated Preference' (SP). Wij hebben in dit onderzoek gekozen voor SP.

In de volgende sectie bespreken wij de acht stappen die nodig zijn voor het 'design' van een SP onderzoek. Deze acht stappen, in chronologische volgorde, zijn: (1) probleemdefinitie, (2) bepalen van de stimuli, (3) nadenken over het ontwerp, (4) ontwikkelen van het ontwerp, (5) allocatie van attributen, (6) creëren van choice sets, (7) randomiseren van de choice sets en (8) ontwikkelen van de enquête. In de tweede stap gaan we de alternatieven, attributen, 'attribute levels' en 'attribute-level labels' bepalen. In de derde stap maken we een vergelijking tussen een 'full factorial design' en een 'fractional factorial design'. Wij maken in dit onderzoek gebruik van het tweede. Verder maken we in deze stap een onderscheid tussen een 'labeled experiment' en een 'unlabeled experiment'. Dit onderzoek is een unlabeled experiment. Tevens maken we een onderscheid tussen hoofdeffecten en interactie-effecten. Wij hebben gekozen om enkel hoofdeffecten in rekening te brengen omdat zij 70% tot 90% van de variantie kunnen verklaren. Ten slotte verklaren we in de derde stap dat we in dit onderzoek een 'blocking variable' met twee attributen gebruikt hebben, en dat we gebruikmaken van 'dummy coding'. In stap vier vergelijken we een 'main effects only design' met een 'main effects plus selected interactions design'. Aangezien wij enkel rekening houden met hoofdeffecten, is het eerste design voor ons van toepassing. In de zesde stap hebben we het over 'D-efficiency'. Wij hebben in dit onderzoek D-efficiency gebruikt om onze choice sets op een efficiënte manier op te stellen. Zoals uit het werk

van Rose en Bliemer (2013) blijkt, is het veel belangrijker om een efficiënt ontwerp te hebben dan een grote steekproef. In de laatste stap bespreken we de stappen tot het ontwikkelen van een goede enquête en de valkuilen waar we voor moeten opletten.

Hierna geven we een woordje uitleg over de steekproeftrekking. We gaan hier eerst het '*sampling frame*' opstellen en vervolgens onze '*sampling strategy*' bepalen. De sampling strategy die wij gebruiken heet '*Simple Random Sampling*' (SRS), en ons sampling frame omvat alle Vlamingen tussen 18 en 64 jaar.

Vervolgens verklaren we welk model we in dit onderzoek gebruiken en waarom. Wij gebruiken voor dit onderzoek het '*Multinomial Logit Model*' (MNL-model). Dit model rust op het '*IIA-axioma*' en op de '*IID-assumptie*'. Verder veronderstelt het MNL-model dat de niet waargenomen factoren van nut ( $E_{ni}$ ) een '*Extreme Value Type 1*' (EV1) verdeling hebben. Wij bespreken in deze sectie de relatie tussen het 'representatieve nut' ( $V_{ni}$ ) en de keuzekansen. Ook bespreken wij hier de kracht en beperkingen van het MNL-model. Hiervoor snijden wij drie onderwerpen aan: (1) variaties in smaak, (2) substitutiepatronen en (3) herhaalde keuzen doorheen de tijd ('*panel data*'). Verder staan wij in deze sectie even stil bij de berekening van het consumentensurplus en bij afgeleiden en elasticiteiten. Ten slotte bespreken we de 'log-likelihoodfunctie' en het testen van de '*goodness of fit*' en van hypothesen.

Nadat we ons model besproken hebben, nemen we de huidige technologische staat van (O)PV zonnecellen onder de loep. In eerste instantie evalueren we de algemene technologische status van PV zonnecellen. Daarna richten we ons specifiek op de technologische status van OPV zonnecellen. Bij de technologische staat van PV zonnecellen hebben we het over de groei van de PV markt, de gebruikte materialen, de efficiënties van de verschillende PV modules, de kost van de modules en meer. Bij de technologische staat van OPV zonnecellen benadrukken we voornamelijk de grote ontwikkeling die OPV zonnecellen hebben gekend en het potentieel dat zij hebben. Tevens komen we tot de conclusie dat OPV zonnecellen, ondanks de grote ontwikkeling van het afgelopen decennium en hun potentieel, nog een lange weg af te leggen hebben vooraleer zij commercieel succesvol kunnen zijn.

Ten slotte bespreken we de resultaten van ons onderzoek. In de eerste plaats hebben we onze gegevens geanalyseerd met behulp van het MNL-model. Wij bespreken hier hoe de coëfficiënten geïnterpreteerd moeten worden en of deze coëfficiënten significant zijn of niet. Verder berekenen we de '*Willingness to Pay*' (WTP) voor al onze attributen en stellen we een '*ranking*' op van onze attributen. Vervolgens testen we of het IIA-axioma al dan niet overschreden is. Uit deze test blijkt dat het IIA-axioma inderdaad overschreden is. Omdat het '*Mixed Logit Model*' niet rust op het IIA-axioma, hebben wij besloten om onze gegevens ook te analyseren met behulp van dit model. Net zoals bij het MNL-model bespreken wij hier de interpretatie van de coëfficiënten, de significantie van de coëfficiënten, de WTP van de attributen en de ranking van de attributen. Uiteindelijk brengen we ook '*attribute non-attendance*' (ANA) in rekening. Uit de resultaten van ANA blijkt dat er in ons onderzoek inderdaad sprake is van ANA en dat we er dus goed aan gedaan hebben om dit mee in rekening te brengen.

# Inhoudsopgave

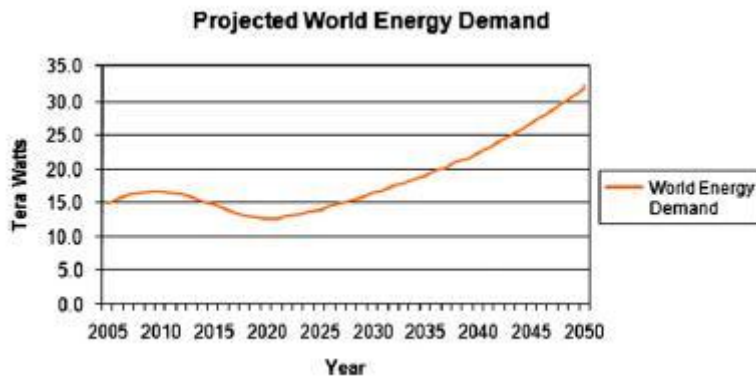
1. Inleiding .....	1
2. Literatuurstudie.....	5
2.1. Individuele voorkeuren .....	5
2.1.1. Indifferentiecurven en budgetlijnen.....	5
2.1.2. Afleiden van een vraagcurve aan de hand van indifferentiecurven en budgetlijnen.....	6
2.2. Een 'keuzegedragregel' ontwikkelen.....	7
2.2.1. Aggregatie.....	8
2.2.1.1. Sample Enumeration .....	8
2.2.1.2. Segmentation.....	8
2.3. Theoretische achtergrond bij Choice Experiments.....	9
2.3.1. Choice sets en alternatieven .....	9
2.3.2. Attributen en karakteristieken .....	9
2.3.3. Het meten van nut .....	10
2.3.4. Choice data .....	10
2.3.4.1. Revealed Preference en Stated Preference .....	10
2.3.4.2. Conclusie met betrekking tot RP en SP .....	11
2.4. Ontwikkelen van een onderzoeksontwerp.....	12
2.4.1. Stap 1: Probleemdefinitie .....	13
2.4.2. Stap 2: Bepalen van de stimuli.....	13
2.4.3. Stap 3: Nadenken over het experimenteel ontwerp.....	14
2.4.3.1. Het full factorial design .....	14
2.4.3.2. Het fractional factorial design .....	16
2.4.3.3. Dummy coding en effects coding .....	18
2.4.4. Stap 4: Ontwikkelen van het experimenteel ontwerp .....	19
2.4.5. Stap 5: Allocatie van attributen.....	20
2.4.6. Stap 6: Creëren van choice sets .....	20
2.4.6.1. D-efficiency.....	20
2.4.7. Stap 7: Randomiseren van de choice sets.....	23
2.4.8. Stap 8: Ontwikkelen van een enquête.....	23
2.4.8.1. Algemeen .....	23
2.4.8.2. Enquêtes voor choice experiments .....	24



2.4.8.3. Structuur van een enquête.....	25
2.5. Steekproeftrekking.....	26
2.5.1. Het Sampling Frame .....	27
2.5.2. De Sampling Strategy .....	27
2.5.3. Enkele vuistregels voor de steekproeftrekking .....	27
2.6. Het Multinomial Logit Model.....	28
2.6.1. Formule voor keuzekansen .....	28
2.6.2. Relatie tussen het representatieve nut en de keuzekansen .....	29
2.6.3. De kracht en beperkingen van het MNL-model .....	30
2.6.3.1. Variaties in smaak.....	30
2.6.3.2. Substitutiepatronen.....	30
2.6.3.3. Panel Data .....	32
2.6.4. Het consumentensurplus .....	32
2.6.5. Afgeleiden en elasticiteiten .....	33
2.6.6. Berekening .....	34
2.6.7. Goodness of fit en het testen van hypothesen .....	35
2.6.7.1. Goodness of fit .....	35
2.6.7.2. Testen van hypothesen.....	36
2.7. Technologische status van fotovoltaïsche zonnecellen.....	36
2.7.1. Algemeen .....	36
2.7.2. Organische PV zonnecellen .....	41
3. Resultaten van het onderzoek.....	43
3.1. Resultaten Multinomial Logit.....	43
3.2. Testen van het IIA-axioma .....	45
3.3. Resultaten Mixed Logit.....	46
3.4. Resultaten Attribute Non-Attendance.....	48
4. Conclusies en discussie .....	53
5. Lijst van geraadpleegde werken .....	55
6. Bijlagen.....	57
6.1. Bijlage 1: Exemplaar van de enquête gebruikt voor dit onderzoek.....	57
6.2. Bijlage 2: Grotere weergave van figuren 18 en 19.....	57
6.3. Bijlage 3: Resultaten MNL-model voor het opstellen van de ranking .....	57
6.4. Bijlage 4: Resultaten Mixed Logit model voor het opstellen van de ranking.....	57

## 1. Inleiding

Ondanks een afnemende groei van elektriciteitsconsumptie in ontwikkelde landen en ontwikkelingen op vlak van energie-efficiënte technologieën, blijft de mondiale vraag naar energie toenemen. Dat komt door toenemende urbanisatie en door de sterke economische groei van landen als China en India (Ahmad, Bazaka, Anderson, White, & Jacob, 2013). Figuur 1 geeft een overzicht van de mondiale vraag naar energie.



Figuur 1: Voorspelde ontwikkeling mondiale energievraag

Om aan deze toenemende vraag voor energie te voldoen, vertrouwen we tot op heden voornamelijk op fossiele brandstoffen. Zo staan gas, olie en steenkool in voor ongeveer 70% van de elektriciteit die wereldwijd opgewekt wordt. Deze grote afhankelijkheid van fossiele brandstoffen zorgt voor twee bezorgdheden. In de eerste plaats denken we aan schaarste. Het is al lange tijd bekend dat de fossiele brandstoffen binnen enkele decennia op zullen zijn. In tweede instantie denken we aan de schadelijke emissies die de verbranding van fossiele brandstoffen met zich meebrengt (Ahmad et al., 2013).

Deze bezorgdheden hebben geleid tot een toenemende vraag naar alternatieve energiebronnen. Zonne-energie is één van deze alternatieve energiebronnen. Fotovoltaïsche (PV) technologieën (technologieën die gebruikt worden om zonne-energie om te zetten in elektriciteit) zijn zeer veelbelovend omdat zonne-energie uitbundig aanwezig is, gemakkelijk toegankelijk is en een hernieuwbare energiebron is. Omdat zonne-energie overal ter wereld gemakkelijk te "verkrijgen" is, geeft dit PV technologieën een groot schaalvoordeel ten opzichte van veel andere alternatieve energiebronnen (Ahmad et al., 2013).

Toch wordt er tot op heden niet bijzonder veel gebruik gemaakt van PV technologieën. Dat komt omdat de kostprijs van PV technologieën hoog ligt in vergelijking met fossiele brandstoffen, maar ook in vergelijking met andere hernieuwbare energiebronnen. Deze hoge kostprijs is vooral te wijten aan hoge productiekosten. De productiekosten voor PV technologieën liggen bijzonder hoog omdat er zeer gesofisticeerde technologieën nodig zijn (Ahmad et al., 2013).

Opdat PV technologieën een sterke marktpositie kunnen veroveren is het noodzakelijk dat de productiekosten gedrukt worden. Dit is het punt waar organische fotonvoltaïsche (OPV) zonnecellen, en ons onderzoeksonderwerp, in beeld komen. Er wordt namelijk verwacht dat OPV zonnecellen in staat gaan zijn om de productiekosten enorm te doen afnemen (Ahmad et al., 2013). Deze afname van productiekosten is mogelijk door de zogenaamde 'roll-to-roll' productiemethode. De roll-to-roll productiemethode zorgt ervoor dat zonnecellen op grote schaal geproduceerd kunnen worden, hierdoor zullen de kosten significant afnemen (Jørgensen et al., 2013).

Wij focussen in dit onderzoek op nieuwe toepassingen van 'consumer electronics' die gebruikmaken van zonne-energie. Zoals hierboven al werd aangegeven, bestaan er verschillende PV technologieën. De technologie die voor ons van belang is, is OPV. Volgens Ahmad et al. (2013) en Su, Lan en Wei (2012) zijn OPV zonnecellen uitermate geschikt voor toepassingen in consumer electronics omdat zij geproduceerd kunnen worden op flexibele, lichte substraten. Verder kunnen OPV zonnecellen transparant gemaakt worden en zijn ze zeer gemakkelijk te integreren in allerlei toepassingen.

OPV technologieën hebben veel potentieel, maar staan nog niet voldoende op punt om gecommmercialiseerd te worden. Dat komt voornamelijk omdat de huidige 'power conversion efficiency' (PCE) en de levensduur nog te wensen overlaten (Ahmad et al., 2013).

Wij gaan in dit onderzoek kijken aan welke vereisten nieuwe toepassingen van consumentenelektronica moeten voldoen, wanneer deze gebruikmaken van OPV zonnecellen. De waarde van dit onderzoek zit in het volgende: Wanneer men weet aan welke kenmerken van een product het meeste belang wordt gehecht, kan men hier extra aandacht aan besteden. Indien dan de meest cruciale kenmerken voldoen aan de verwachtingen, is de kans op een commercieel succes veel groter. Het doel van dit onderzoek is dus om kennis bij te dragen omtrent de meest cruciale kenmerken van consumentenelektronica op zonne-energie. Om dit te kunnen doen, hebben wij vier onderzoeksvragen opgesteld: (1) "Wat zijn choice experiments en hoe worden zij opgesteld?", (2) "Welk model gebruiken we om de gegevens te analyseren? Waarom?", (3) "Hoe ziet de technologische staat van zonnecellen er op dit moment uit?" en (4) "Waaraan moeten consumer electronics op zonne-energie voldoen, opdat zij commercieel succesvol kunnen zijn?". Door een antwoord te formuleren op deze vragen, zullen we uiteindelijk in staat zijn om een uitspraak te doen over het doel van dit onderzoek.

Om een uitspraak over bovenstaande doelstelling te kunnen doen, is het noodzakelijk dat we voldoende informatie verzamelen. Wij hebben dit gedaan aan de hand van 451 enquêtes. Wel willen we hier erop wijzen dat de steekproefgrootte in feite niet zo super belangrijk is. Rose en Bliemer (2013) tonen namelijk aan dat de steekproefgrootte maar een klein effect heeft op de schattingsfouten. Zij stellen dan ook dat het beter is om meer te focussen op het ontwikkelen van efficiënte ontwerpen. Het ontwerp dat wij in dit onderzoek hanteren, maakt gebruik van 'D-efficiency'. Zoals in sectie 2.4.6.1. zal blijken, is ons ontwerp efficiënt. De enquêtes die wij voor dit onderzoek afgenomen hebben, nemen de vorm aan van een 'choice experiment' (CE). Omdat er een grote theoretische achtergrond schuilgaat bij choice experiments, hebben wij gekozen om deze

theorie eerst aan bod te laten komen. Vervolgens geven wij een overzicht van de huidige technologische status van PV en OPV technologieën. Ten slotte analyseren wij de gegevens uit onze enquêtes en doen we een uitspraak over de resultaten van dit onderzoek.



## 2. Literatuurstudie

Om een choice experiment uit te voeren, moeten we de voorkeuren van mensen gaan meten. Verschillende mensen hebben verschillende voorkeuren, er is met andere woorden sprake van 'heterogeniteit' (Chesher & Santos-Silva, 2002). Om dergelijke heterogeniteit te kunnen verklaren, is het belangrijk dat we informatie verzamelen over een groot aantal respondenten. We willen namelijk correcte conclusies kunnen trekken en deze conclusies op een betrouwbare manier kunnen extrapoleren naar de totale populatie. Het is dan ook de bedoeling om een onderzoek te verrichten dat representatief is voor een hele populatie. Dit is niet mogelijk wanneer we maar informatie over enkele respondenten hebben (Hensher, Rose, & Greene, 2005).

### 2.1. Individuele voorkeuren

#### 2.1.1. Indifferentiecurven en budgetlijnen

Wanneer we voorkeuren gaan analyseren, gaan we eigenlijk kijken naar nut (McFadden, 2001). Indien alternatief A een hoger nut oplevert dan alternatief B, dan geeft A de voorkeur over B. Hier komen we dan terecht bij de indifferentiecurven (figuur 2). Een indifferentiecurve is een verzameling van punten die de respondent in kwestie eenzelfde niveau van nut opleveren. Hoe hoger de indifferentiecurve ligt, hoe meer nut de respondent ondervindt. Bij CE gaan we er vanuit dat mensen nutmaximaliserend zijn. Dit impliceert dat een respondent altijd zal kiezen voor een alternatief dat op de hoogste indifferentiecurve ligt (Hensher et al., 2005).

Door de kwantiteit van twee goederen tegen elkaar af te wegen, kunnen we een indifferentiecurve opstellen. Dit gebeurt als volgt: We zoeken het punt waar de respondent zich momenteel bevindt. Stel dat de respondent beschikt over 12 kledingstukken en over 14 eenheden voedsel. Vervolgens vragen we hem hoeveel eenheden voedsel hij wil afgeven om 1 kledingstuk bij te krijgen. Stel dat hij bereid is om hiervoor 2 eenheden voedsel af te staan. Dit betekent dat 13 kledingstukken en 12 eenheden voedsel evenveel waarde hebben voor hem als 12 kledingstukken en 14 eenheden voedsel. Dit proces herhalen we dan meerdere malen om zo verschillende punten van gelijke waarde te vinden. Wanneer we nu deze punten met elkaar verbinden, krijgen we een indifferentiecurve (Lipsey & Chrystal, 2007).

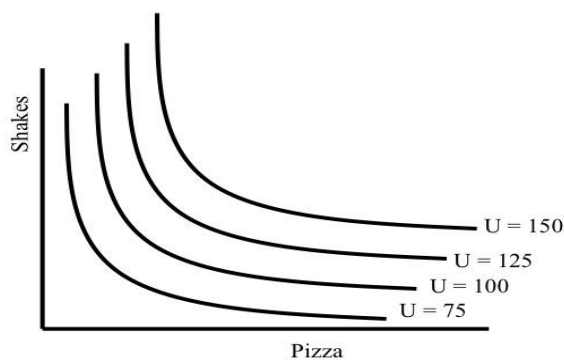
Bovenstaande redenering rust op twee veronderstellingen. Ten eerste gaan we er vanuit dat, ceteris paribus, de respondent altijd meer eenheden van een product verkiest boven minder eenheden van dat product. Ten tweede nemen we aan dat hoe minder de respondent van een product bezit, hoe minder hij zal willen afstaan om meer te krijgen van een ander product. We spreken in dit geval van de 'afnemende marginale substitutiegraad' (Lipsey & Chrystal, 2007). Deze tweede veronderstelling verklaart de vorm van een indifferentiecurve (= convex) (zie figuur 2). De afnemende marginale substitutiegraad lijkt op het principe van 'afnemend marginaal nut' maar is niet hetzelfde. Voor het laatste houden we alle consumptie constant, behalve van het goed

in kwestie. Voor het principe van de afnemende marginale substitutiegraad laten we de afname van goed x gecompenseerd worden door een toename van goed y (Lipsey & Chrystal, 2007).

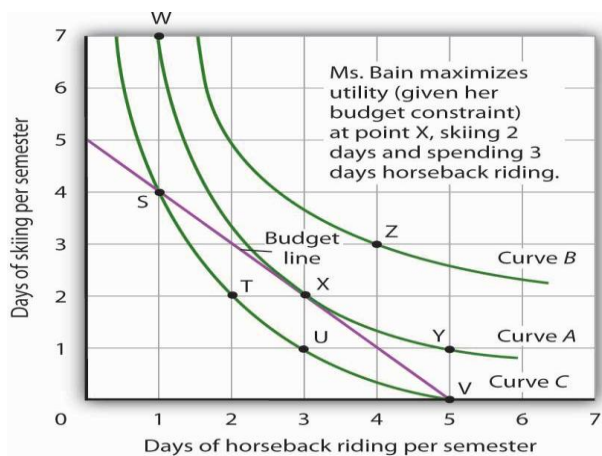
Volgens Hensher et al. (2005) is het echter niet altijd mogelijk om voor het nutmaximaliserende alternatief te kiezen. Bijvoorbeeld: Er is sprake van een budgetbeperking. In dat geval zal de respondent altijd kiezen voor het alternatief dat ligt op het raakpunt van zijn indifferentiecurve en zijn budgetlijn (figuur 3). Dit is dan het alternatief dat voor hem het hoogst *haalbare* nut oplevert.

Via choice experiments is het mogelijk om indifferentiecurven af te leiden. CE kunnen ons namelijk de nodige informatie verschaffen om punten te bepalen waartussen de respondent indifferent is.

### Indifference Curve Map



Figuur 2: Indifferentiecurven

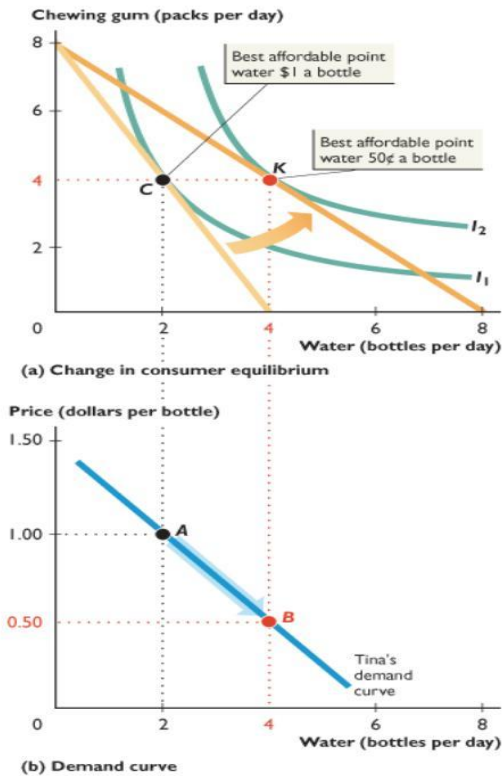


Figuur 3: Indifferentiecurven en budgetlijnen

#### 2.1.2. Afleiden van een vraagcurve aan de hand van indifferentiecurven en budgetlijnen

Aan de hand van indifferentiecurven en budgetlijnen kunnen we vervolgens een vraagcurve afleiden (figuur 4). Dit is handig aangezien we op deze manier de gevraagde hoeveelheid van een bepaald goed bij elke prijs kunnen inschatten. Voorwaarde hiervoor is, dat het budget vast is en dat dit budget altijd volledig benut wordt. Indien aan deze voorwaarde voldaan is, zal de budgetlijn

steiler (vlakker) worden naarmate de prijs toeneemt (afneemt). De verschuivingen van de budgetlijn zullen er voor zorgen dat het optimale punt (punt waar het individu het meeste nut behaalt) verschuift. Aan de hand van de nieuwe optima kunnen we dan de vraagcurve afleiden (Hensher et al., 2005).



Figuur 4: Vraagcurve afleiden uit indifferentiecurven en budgetlijnen

## 2.2. Een 'keuzegedragregel' ontwikkelen

Een verschil in voorkeur impliceert dat verschillende mensen anders redeneren, een andere manier van denken hebben. Het doel van CE is om een zo groot mogelijk deel van deze variatie te verklaren. Merk op dat het hier gaat om een "zo groot mogelijk deel" van de variatie te verklaren. Dit betekent dat er altijd factoren zullen zijn die aan ons oog ontsnappen. We kunnen dus stellen dat er sprake is van waargenomen en niet waargenomen invloeden op het keuzegedrag van personen (Chesher & Santos-Silva, 2002). De volgende vergelijking dringt zich nu op:  $U_{ni} = V_{ni} + E_{ni}$ . Waarbij  $U_{ni}$  het totale nut voor persoon  $n$  van alternatief  $i$  representeert,  $V_{ni}$  de waargenomen invloeden representeert en  $E_{ni}$  de niet waargenomen invloeden representeert (Hensher et al., 2005). Stel dat er twee alternatieven zijn: Alternatief  $i$  en alternatief  $j$ . Dan is de kans dat persoon  $n$  alternatief  $i$  kiest:  $P(U_{ni} > U_{nj}) = P(V_{ni} + E_{ni} > V_{nj} + E_{nj}) = P(V_{ni} - V_{nj} > E_{nj} - E_{ni})$ . Uit deze laatste uitdrukking kunnen we een dichtheidsfunctie afleiden, dit geeft dan:

$$\int_E I(V_{ni} - V_{nj} > E_{nj} - E_{ni})f(E)dE$$



Waar  $I$  een indicatorfunctie is, die gelijk is aan 1 wanneer de uitdrukking  $V_{ni} - V_{nj} > E_{nj} - E_{ni}$  waar is en die gelijk is aan 0 wanneer die uitdrukking niet waar is. Merk op dat deze dichtheidsfunctie in functie van de niet waargenomen factoren ( $f(E)$ ) van nut opgesteld is. Afhankelijk van de assumpties die gemaakt worden omtrent de  $E$ , belanden we bij een ander model. Bij het model dat wij in dit onderzoek gaan hanteren, het '*Multinomial Logit Model*' of het MNL-model, wordt de IID-assumptie gemaakt (Train, 2002). In sectie 2.6.3.2. gaan wij dieper in op de IID-assumptie.

### 2.2.1. Aggregatie

Bij CE maken we gebruik van een '*Discrete Choice Model*' (DCM). Dit is een model dat de keuzen tussen twee of meer alternatieven beschrijft, verklaart en voorspelt (Brownstone, 2001). Zoals hierboven al werd vermeld, wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van het MNL-model. Bij DCM's bevinden we ons op het niveau van het individu. Dit kan een probleem vormen wanneer we op zoek zijn naar één of andere algemene maatstaf. Om dit probleem op te lossen, is het mogelijk om de individuele resultaten te aggregeren. Dit kan op twee manieren (Train, 2002).

#### 2.2.1.1. Sample Enumeration

Een eerste methode die we volgens Train (2002) kunnen gebruiken is: '*Sample Enumeration*'. Bij deze methode worden de keuzekansen van elke respondent in de steekproef opgeteld en wordt het gemiddelde van al deze keuzekansen berekend. Volgende formule wordt hiervoor gebruikt:

$$N_i = \sum_n w_n P_{ni}$$

$P_{ni}$  staat voor de kans dat respondent  $n$  zal kiezen voor alternatief  $i$ ;  $w_n$  staat voor het aantal gelijkaardige personen in de populatie en  $N_i$  staat voor het totale aantal personen in de populatie die kiezen voor alternatief  $i$ .

#### 2.2.1.2. Segmentation

De tweede manier waarop we volgens Train (2002) kunnen aggregeren is via '*Segmentation*'. Deze methode kan enkel gebruikt worden wanneer het aantal verklarende variabelen klein is, en wanneer deze variabelen slechts een beperkt aantal waarden kunnen aannemen. Indien dit daadwerkelijk het geval is, is het mogelijk om de populatie in segmenten op te delen. De keuzekansen variëren dan over de segmenten heen, maar variëren niet van individu tot individu. Wanneer we gegevens hebben over het aantal personen per segment, kunnen we de geaggregeerde variabelen schatten. Dit doen we door de keuzekansen van elk segment te berekenen en vervolgens de gewogen som van deze kansen te nemen. In formulevorm geeft dit:

$$N_i = \sum_{s=1}^s w_s P_{si}$$

Het grote verschil tussen deze formule en de voorgaande, is dat we hier werken met  $s$  (segmenten) en niet met  $n$  (personen). Dit impliceert dat  $P_{si}$  staat voor de kans dat een persoon in segment  $s$  voor alternatief  $i$  kiest, en dat  $w_s$  staat voor het aantal personen in segment  $s$ .

### 2.3. Theoretische achtergrond bij Choice Experiments

#### 2.3.1. Choice sets en alternatieven

Bij een CE stellen we steeds een 'choice set' ter beschikking van de respondenten. Deze choice set toont de verschillende alternatieven waaruit de respondenten dienen te kiezen. In ons onderzoek bevat elke choice set vier alternatieven. Een voorbeeld van een choice set is te vinden in figuur 5. Er zijn evenveel nutvergelijkingen ( $U_{ni} = V_{ni} + E_{ni}$ ) als er alternatieven zijn. Immers, een vergelijking reflecteert het nut van één alternatief (Hensher et al., 2005).

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
Prijs	Referentie	Goedkoper	Nog goedkoper	Goedkoopst
	3,5€/Wp	2,5€/Wp	1,5€/Wp	0,5€/Wp
Efficiëntie	Referentie	Minder efficiënt	Nog minder efficiënt	Minst efficiënt
	20%	15%	10%	5%
Levensduur	Referentie	Minder lang	Nog minder lang	Minst lang
	25 jaar	15 jaar	10 jaar	5 jaar
Esthetiek	Heel lelijk	Lelijk	Mooi	Heel mooi
Integreerbaarheid	Slecht integreerbaar	Moeilijk integreerbaar	Integreerbaar	Zeer integreerbaar
KEUZE		X		

Figuur 5: Voorbeeld van een choice set

#### 2.3.2. Attributen en karakteristieken

Om de respondenten te laten kiezen tussen verschillende alternatieven, is het noodzakelijk dat deze alternatieven goed beschreven worden. Dit gebeurt aan de hand van attributen. Attributen kunnen we definiëren als de kenmerken van een alternatief. Echter, attributen zijn niet de enige factoren die het 'keuzegedrag' van een individu beïnvloeden. Er zijn namelijk ook karakteristieken in het spel. Karakteristieken worden gedefinieerd als de persoonlijke vooroordelen/smaken van een individu. Deze karakteristieken hebben ook hun invloed op het keuzegedrag van een individu (Hensher et al., 2005). Wij hebben in dit onderzoek rekening gehouden met persoonskenmerken. Dit blijkt uit bijlage 1. In het laatste deel van onze enquête vragen wij namelijk expliciet naar de karakteristieken van de respondent.

In figuur 5 zien we dat er in ons onderzoek gebruik is gemaakt van vijf attributen. Het gaat hier over prijs, efficiëntie, levensduur, esthetiek en integreerbaarheid. Wij hebben voor deze attributen gekozen omdat uit het onderzoek van Lizin, Van Passel, De Schepper en Vranken (2012) gebleken is dat deze attributen de meest belangrijke zijn. Om er zeker van te zijn dat de respondenten deze

attributen op een identieke wijze interpreteren, hebben wij op een voorgaande bladzijde van de enquête deze attributen gedefinieerd. Dit is van belang voor de betrouwbaarheid van de resultaten.

### 2.3.3. *Het meten van nut*

De vraag rijst nu hoe we nut gaat meten. Hier treedt meteen een probleem op. Zo is het niet mogelijk om aan een respondent te vragen "Hoeveel nut ondervind je aan dit product?". Sommige onderzoekers hebben geprobeerd om dit probleem te vermijden door te werken met 'rating' of 'ranking' van de alternatieven. Deze methoden zijn echter niet meteen geschikt voor CE (Hensher et al., 2005). Hieronder verduidelijken wij waarom.

Een eerste probleem met rating en ranking, is dat de respondenten niet gevraagd worden om een keuze te maken. Dit staat anders wel centraal bij CE, of in het Nederlands: 'keuze-experimenten'. Ten tweede is de regressieanalyse de meest gebruikte methode om dit type data te modelleren. Het probleem daarbij is dat zowel ratings als rankings niet gemeten worden met hun optimale schaal (interval, respectievelijk ordinaal). Een derde probleem is dat een voorkeur niet noodzakelijk resulteert in een keuze. Denk maar aan het geval van een budgetbeperking. Bijgevolg kunnen we concluderen dat we geen 'preference data' nodig hebben, maar wel 'choice data' (Hensher et al., 2005). Preference data kunnen we verkrijgen via rating en ranking, choice data via choice experiments.

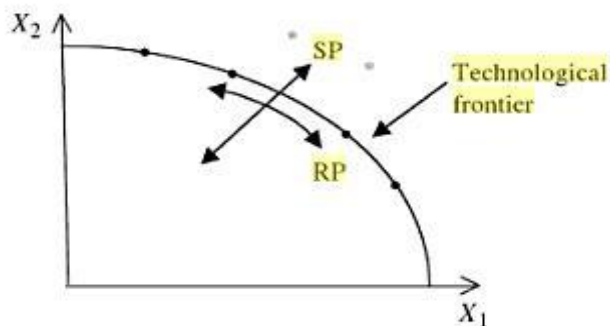
### 2.3.4. *Choice data*

Hensher et al. (2005) stellen dat choice data verzameld wordt via gemaakte keuzes. Vandaar dat wij onze gegevens verzamelen via onze choice sets. In deze choice sets worden de respondenten namelijk gevraagd om een keuze te maken (zie sectie 2.3.1.). Verder wordt choice data binair genoteerd: 0 indien het alternatief niet gekozen werd en 1 wanneer het alternatief wel gekozen werd. We nemen aan dat het gekozen alternatief het hoogst mogelijke nut oplevert.

#### 2.3.4.1. Revealed Preference en Stated Preference

Er zijn twee manieren waarop we choice data kunnen verzamelen. Het gaat hier meer bepaald over 'Revealed Preference' (RP) en 'Stated Preference' (SP). Bij RP gaan we kijken naar het gedrag dat de respondenten vertonen. We gaan kijken welke keuzen de respondenten effectief maken en we gaan er vanuit dat de respondenten nutmaximaliserend tewerk gaan. Volgens Li en Hensher (2012) gaan we bij SP aan de respondenten vragen welke keuze zij zouden maken uit een set van alternatieven (= choice set). Opnieuw gaan we er vanuit dat de respondenten nutmaximaliserend zijn en dat het gekozen alternatief het hoogste nut oplevert. Bij RP gaan we de keuzen van de respondenten *waarnemen* en bij SP gaan we er expliciet naar *vragen* (Hensher et al., 2005). In ons onderzoek is er gebruik gemaakt van SP, wij verklaren in deze sectie waarom. Omdat wij gebruik gemaakt hebben van SP, gaan wij enkel de voor- en nadelen van SP bespreken en niet van RP. Wij verwijzen naar het werk van Hensher et al. (2005) voor de geïnteresseerde lezer die meer wil weten over RP. Hieronder bespreken we de voor- en nadelen van SP:

- Bij SP is het mogelijk om gebruik te maken van hypothetische scenario's. Dit is zowel een plus- als een minpunt. Langs de ene kant laat het ons toe om veel flexibeler te zijn en om veel meer alternatieven te testen. Langs de andere kant lopen we dan wel het risico dat de respondenten het onderzoek niet serieus gaan opvatten en bijgevolg onrealistische antwoorden gaan geven. Daarom is het onze taak om de geschetste scenario's zo realistisch mogelijk te maken. Kort samengevat kunnen we stellen dat *RP* toelaat om data te verzamelen *tot aan* de zogeheten 'technologische grens' en dat *SP* toelaat om data te verzamelen over zaken *voorbij* de technologische grens (figuur 6);
- Bij SP moeten we op voorhand de attributen en de 'attribute levels' bepalen. Dit laat ons toe om de relaties tussen de verschillende attributen te manipuleren en om op die manier specifieke hypothesen te testen (Louviere, Hensher, & Swait, 2000).



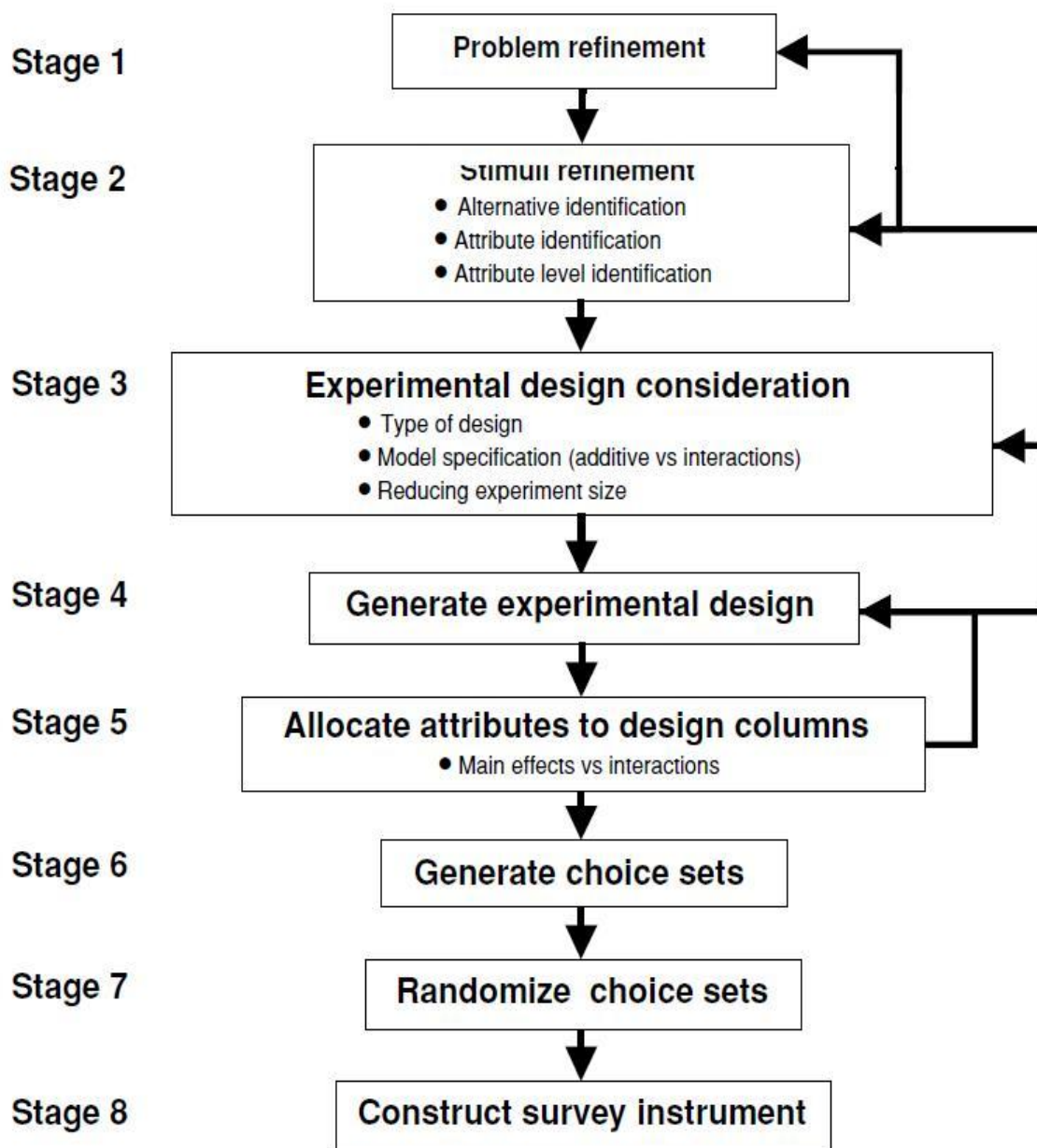
Figuur 6: De technologische grens bij RP en SP

#### 2.3.4.2. Conclusie met betrekking tot RP en SP

Concluderend kunnen we stellen dat zowel RP als SP hun voor- en nadelen hebben. Afhankelijk van de doeleinden van de studie is het aangeraden om gebruik te maken van RP, SP of RP én SP. Zoals reeds vermeld, maken wij in dit onderzoek gebruik van SP. De reden hiervoor is dat we gegevens gaan verzamelen die voorbij de technologische grens liggen. We verzamelen namelijk data over consumentenelektronica die gebruikmaken van organische zonnecellen. Tot op heden staan deze technologieën nog niet op punt en moeten we dus werken met hypothetische scenario's. Dit is niet mogelijk met RP, maar enkel met SP. Om die reden gaan we nu verder met de verschillende stappen die nodig zijn om een SP experiment op poten te zetten.

## 2.4. Ontwikkelen van een onderzoeksontwerp

Het startpunt voor elk SP experiment is het ontwerpen van een 'onderzoeksontwerp'. Bij een onderzoek gaan we altijd kijken naar het effect van een bepaalde verandering op een bepaalde variabele. We hebben het hier over de '*response variable*', oftewel de 'afhankelijke variabele'. We spreken over een *onderzoeksontwerp* omdat de afhankelijke variabele én de veranderingen nauwkeurig bepaald worden en niet aan het toeval worden overgelaten (Hensher et al., 2005). Hieronder gaan we kijken welke stappen er nodig zijn om een onderzoeksontwerp op te stellen. Figuur 7 geeft een overzicht van al deze stappen. Vervolgens gaan we elke stap verder in detail bekijken. Dit zijn dezelfde als de stappen die wij in ons onderzoek gehanteerd hebben. Enkel stap zes is bij ons anders gebeurd. Zie sectie 2.4.6. voor meer uitleg.



Figuur 7: Ontwikkelingsfasen van een experimenteel ontwerp

#### 2.4.1. Stap 1: Probleemdefinitie

De eerste stap in het proces om een onderzoeksontwerp op te stellen is de probleemdefinitie. Om het probleem te kunnen definiëren, moeten we ons afvragen: "Waarom wordt dit onderzoek gedaan?". Aan de hand van een goede probleemdefinitie kunnen we vervolgens bepalen welke vragen we wel en welke we niet moeten stellen om een antwoord te vinden op het probleem. We gaan in deze fase van het onderzoek onderzoeksvragen formuleren en hypothesen opstellen (Hensher et al., 2005). Wij hebben reeds in de inleiding het probleem gedefinieerd en de doelstelling van het onderzoek verklaard.

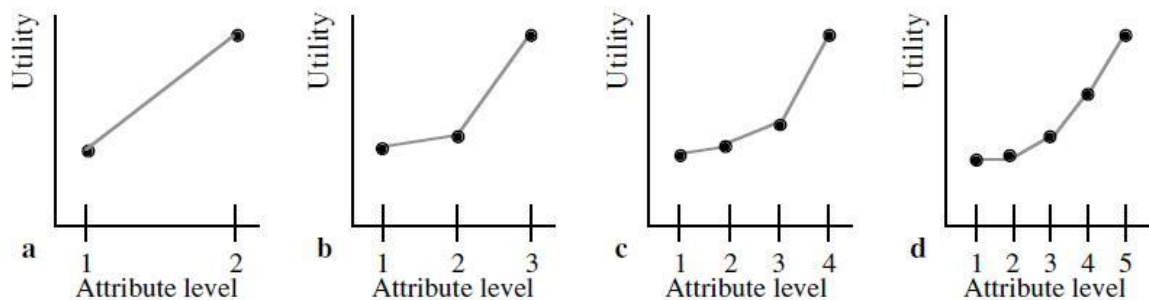
#### 2.4.2. Stap 2: Bepalen van de stimuli

In een tweede stap gaan we de zogenaamde 'stimuli' bepalen. In het geval van een '*labeled experiment*' gaat men nu eerst alle relevante alternatieven identificeren. Vervolgens kiest men dan uit deze lijst van alternatieven de "meest belangrijke" alternatieven. Dit zijn dan de alternatieven die in het onderzoek gebruikt gaan worden (Hensher et al., 2005). Echter, wij maken in dit onderzoek gebruik van een '*unlabeled experiment*'. Bijgevolg is bovenstaande identificatie niet van toepassing. In de volgende stap geven wij meer uitleg over beide experimenten.

Vervolgens gaan we de attributen bepalen. Een eerste gevaar waar we voor moeten opletten is de zogenaamde '*inter-attribute correlation*'. Het gaat hier niet over een statistisch concept, maar wel over de cognitieve percepties van respondenten met betrekking tot de attribuutbeschrijvingen. Een voorbeeld kan dit misschien enigszins verduidelijken. We denken hierbij aan de prijs-kwaliteit heuristiek. Deze heuristiek impliceert dat respondenten geneigd zijn om er vanuit te gaan dat een hogere prijs gepaard gaat met een betere kwaliteit. Wanneer we nu een onderzoeksontwerp ontwikkeld hebben, dat toelaat om prijs en kwaliteit afzonderlijk en onafhankelijk van elkaar te schatten, wil dit niet zeggen dat de respondenten deze attributen als onafhankelijk zullen beschouwen. Inter-attribute correlation kan de resultaten van het onderzoek beïnvloeden, waardoor we misschien tot foute conclusies komen (Hensher et al., 2005). Omdat wij onze enquêtes persoonlijk afgenomen hebben, konden wij tijdens het enquêteren de visie van de respondenten bijstellen. Wanneer een respondent dus een correlatie zag tussen bepaalde attributen, konden wij ingrijpen en er voor zorgen dat hij alle attributen als onafhankelijk beschouwde. Op deze manier hebben wij inter-attribute correlation in rekening gebracht.

Nadat we de attributen bepaald hebben, is het tijd om de attribute levels en de '*attribute-level labels*' te bepalen. Attribute levels nemen de vorm aan van getallen en hebben een betekenis voor de onderzoeker, maar niet zozeer voor de respondenten. Attribute-level labels kunnen de vorm aannemen van getallen, maar kunnen ook woorden zijn. Attribute-level labels verschaffen meer informatie aan de respondenten (Hensher et al., 2005). Een voorbeeld: Het attribuut "Levensduur" heeft de attribute levels "25 jaar", "15 jaar", "10 jaar" en "5 jaar" en heeft de attribute-level labels "referentie", "minder lang", "nog minder lang" en "minst lang".

Hensher et al. (2005) wijzen er verder op dat het aantal attribute levels van het ene attribuut niet gelijk hoeft te zijn aan het aantal attribute levels van een ander attribuut. Zo kan attribuut X drie attribute levels hebben, maar attribuut Y heeft er vijf. Interessant om hierbij op te merken is, hoe meer attribute levels we gebruiken, hoe meer informatie we te weten kunnen komen over een bepaald attribuut (figuur 8). Meer informatie leidt tot correctere schattingen van de marginale nutsfuncties. Deze correctere schattingen leiden op hun beurt tot betere interpretaties en dit leidt dan weer tot betere onderzoeksresultaten. Wel moeten we hierbij rekening houden met de kost. We zullen een afweging moeten maken tussen informatie (attribute levels) en kost.



Figuur 8: Relatie tussen het aantal attribute levels en het verloop van de nutsfunctie

In dit onderzoek hebben wij gekozen om te werken met vijf attributen, die elk vier verschillende waarden kunnen aannemen. Er zijn met andere woorden vier attribute levels voor elk attribuut. Dit zou voldoende moeten zijn om ons een betrouwbaar beeld te geven van het verloop van de nutsfuncties van de attributen.

#### 2.4.3. Stap 3: Nadenken over het experimenteel ontwerp

Pas in de derde stap gaan we beginnen aan het feitelijke ontwerp. Er bestaan meerdere vormen van onderzoeksontwerpen. Wij gaan enkel de meest voorkomende vormen bespreken.

##### 2.4.3.1. Het full factorial design

De eerste vorm die wij onder de loep gaan nemen is het zogeheten 'full factorial design'. Een full factorial design is een ontwerp waarin alle mogelijke attribute-level combinaties worden opgenomen (Hensher et al., 2005 en Louviere et al., 2000). Stel dat er één alternatief is, dat gekenmerkt wordt door twee attributen, met elk vier attribute levels. Dit zou dan leiden tot een full factorial design van 16 ( $= 4^2$ ) mogelijke combinaties. Carlsson en Martinsson (2002) tonen aan dat men het aantal mogelijke attribute-level combinaties als volgt kan berekenen:  $L^A$ . Waarbij C staat voor het aantal alternatieven en elk alternatief heeft A attributen met L attribute levels. In ons onderzoek levert dat het volgende resultaat op:  $4^{5*4} = 4^{20}$ . Dit betekent dat er in ons onderzoek 1.099.511.627.776 mogelijke attribute-level combinaties zijn.

## Design Coding en Orthogonal Coding

Uit het werk van Hensher et al. (2005) blijkt dat er in de literatuur een speciaal coderingsformaat ontwikkeld is. Dit coderingsformaat geeft een uniek nummer aan elk attribute level en gaat als volgt: 0,1,2,...,L-1. L staat voor het aantal levels van dat specifieke attribuut. Toegepast op ons onderzoek geeft dat 0,1,2 en 3. We spreken hier over '*design coding*'.

Een alternatief coderingsformaat is het zogeheten '*orthogonal coding*'. Bij orthogonal coding is de som van een kolom altijd gelijk aan 0. In ons geval zouden we dan niet langer werken met 0,1,2 en 3, maar wel met -3, -1, 1 en 3. Wel dienen we nog op te merken dat we bij orthogonal coding enkel gebruikmaken van oneven getallen, uitgezonderd van 5 en -5. Zo zou men bij zes attribute levels verwachten dat men gebruik zou maken van de getallen -5, -3, -1, 1, 3 en 5. We zien echter in figuur 9 dat dit niet het geval is (Hensher et al., 2005).

Attribute Levels	Design Coding	Orthogonal Coding
2	0	-1
	1	1
3	0	-1
	1	0
	2	1
4	0	-3
	1	-1
	2	1
	3	3
5	0	-3
	1	-1
	2	0
	3	1
	4	3
6	0	-7
	1	-3
	2	-1
	3	1
	4	3
	5	7

Figuur 9: Design Coding en Orthogonal Coding

### Labeled en Unlabeled Experiments

Eerder in dit onderzoek werd reeds aangehaald dat er een onderscheid gemaakt moet worden tussen '*labeled*' en '*unlabeled experiments*'. Bij unlabeled experiments worden de alternatieven niet benoemd. De alternatieven worden dan gewoonweg "alternatief 1", "alternatief 2",... Bij labeled experiments daarentegen krijgen de alternatieven wel een specifieke benaming, zoals: "auto", "bus" en "trein" (Louviere et al., 2000). Dit onderzoek is een unlabeled experiment.



De beslissing om te werken met een labeled of een unlabeled experiment lijkt banaal, maar is toch van groot belang. Een voordeel van unlabeled experiments is dat niet alle alternatieven uit de universele set van alternatieven (zie stap 2) geïdentificeerd en gebruikt moeten worden. Een nadeel van labeled experiments is dat het label dat gegeven wordt aan de alternatieven gecorreleerd kan zijn met de attributen die in het onderzoek gebruikt worden. Dit leidt dan tot een schending van de IID-assumptie (Hensher et al., 2005). Wanneer de IID-assumptie geschonden wordt, is het niet mogelijk om het MNL-model te gebruiken.

Toch kunnen labeled experiments wel degelijk nuttig zijn. Dit is vooral zo wanneer het doel van het onderzoek er uit bestaat om alternatiefspecifieke parameters in te schatten. Parameters of coëfficiënten representeren de effecten van de attributen op een alternatief. Wanneer één of meerdere parameters verschillende waarden aannemen, over de alternatieven heen, spreken we van alternatiefspecifieke parameters (Louviere et al., 2000). Wanneer deze parameters een constante waarde hebben, over de alternatieven heen, spreken we van generieke parameters. Omdat wij in dit onderzoek gebruikmaken van een unlabeled experiment, zijn alternatiefspecifieke parameters niet van toepassing.

#### Reduceren van het aantal Choice Sets

Om terug te komen op het full factorial design kunnen we stellen dat een dergelijk ontwerp vrij snel te omslachtig kan worden. Daarom zijn er methoden ontwikkeld die er voor kunnen zorgen dat het aantal choice sets gereduceerd wordt. Dit is vaak noodzakelijk omdat we anders het risico lopen dat er te weinig respondenten bereid zijn om deel te nemen aan het onderzoek, of dat de betrouwbaarheid van de antwoorden te wensen overlaat (Hensher et al., 2005).

Volgens Hensher et al. (2005) kan men het aantal choice sets in de eerste plaats verminderen door het aantal attribute levels te verminderen. Door het aantal attribute levels te doen afnemen, wordt de grootte van het onderzoeksontwerp drastisch verkleind (denk hierbij aan  $L^{AC}$ ). De keerzijde van de medaille is dan wel dat de onderzoeker ook een groot deel informatie verliest. Een techniek die in deze context vaak gebruik wordt staat bekend als een 'end-point design'. Bij deze techniek heeft elk attribuut maar twee levels, namelijk: De hoogst mogelijke en de laagst mogelijk waarde.

#### 2.4.3.2. Het fractional factorial design

Een tweede manier om het aantal choice sets te verminderen, bestaat er in om gebruik te maken van een 'fractional factorial design' (Hensher et al., 2005). Bij deze vorm van ontwerp gebruiken we niet alle attribute-level combinaties, maar gebruiken we "slechts" een fractie van alle combinaties (Louviere et al., 2000). Het is de bedoeling om enkel de meest optimale attribute-level combinaties in het onderzoek op te nemen. Om dit te kunnen doen is het noodzakelijk dat we rekening houden met bepaalde statistische concepten. Wij hebben in dit onderzoek een fractional factorial design gebruikt. Dit is niet verrassend aangezien ons onderzoeksontwerp nogal omslachtig zou zijn indien we alle 1.099.511.627.776 mogelijke combinaties erin zouden verwerken. Hieronder gaan we dieper in op de statistische concepten waarmee we rekening moeten houden.

## Orthogonaliteit

Het eerste concept waar we rekening mee moeten houden is 'orthogonaliteit'. Dit concept impliceert dat alle attributen statistisch onafhankelijk van elkaar dienen te zijn. Dit betekent dat er geen correlatie mag bestaan tussen de attributen (Hensher et al., 2005).

## Hoofdeffecten en Interactie-effecten

Ten tweede houden we rekening met het concept van de 'hoofdeffecten' en de 'interactie-effecten'. Het hoofdeffect is het directe effect van een attribuut op de afhankelijke variabele. Het interactie-effect is het effect dat twee of meer attributen *samen* hebben op de afhankelijke variabele (Louviere et al., 2000). In formulevorm geeft dit:  $Y = X_1 + X_2 + (X_1X_2)$ , waarbij Y de afhankelijke variabele is,  $X_1$  en  $X_2$  hoofdeffecten zijn en  $(X_1X_2)$  het interactie-effect reflecteert. In dit voorbeeld hebben  $X_1$  en  $X_2$  zowel een hoofd- als een interactie-effect. Dit is perfect mogelijk, maar het kan ook zijn dat er een interactie-effect ( $X_3X_4$ ) opduikt. Dit zou dan impliceren dat  $X_3$  en  $X_4$  wel degelijk een effect hebben op Y, maar enkel wanneer ze in interactie staan met elkaar. Een concreet voorbeeld hiervan vinden we terug in het werk van Hensher et al. (2005). Hieruit blijkt dat de respondenten geen voorkeur hebben voor de kleur van de bus voor reizen van minder dan tien uur. Echter, ze hebben wel een voorkeur voor de kleur van de bus voor reizen van meer dan tien uur. De voorkeur van de respondenten komt dus voort uit de *interactie* van kleur en reistijd. Wij hebben er voor gekozen om enkel gebruik te maken van hoofdeffecten. De reden hiervoor is dat hoofdeffecten 70 tot 90% van de variantie verklaren (Dawes & Corrigan, 1974).

In het bovenstaande hebben we twee verschillende, doch vergelijkbare termen gebruikt. Hieronder bespreken wij het verschil tussen correlatie en interactie. *Correlatie* komt voor wanneer een verandering in de ene variabele gepaard gaat met een soortgelijke verandering in een andere variabele. Bijvoorbeeld: De prijs stijgt, maar ook de kwaliteit gaat erop vooruit. *Interactie* daarentegen gaat over het effect dat twee of meer attributen gezamenlijk hebben op de afhankelijke variabele. Bijvoorbeeld: De tevredenheid van de reizigers neemt toe wanneer de bussen een lichte kleur hebben voor reizen van meer dan tien uur. Kort samengevat kunnen we stellen dat correlatie een relatie tussen twee variabelen reflecteert en dat interactie het effect van twee of meer variabelen op een derde variabele reflecteert (Hensher et al., 2005).

## Vrijheidsgraden

Het derde en laatste concept waar we rekening mee moeten houden, is het concept van de 'vrijheidsgraden' (Hensher et al., 2005). We moeten namelijk in staat zijn om het aantal benodigde vrijheidsgraden te berekenen. De regel hiervoor is: Des te meer parameters we willen schatten, des te meer vrijheidsgraden we nodig hebben. Dit brengt één probleem met zich mee: Hoe meer vrijheidsgraden, hoe groter (en dus complexer) het experimenteel ontwerp wordt. Voor *labeled experiments* geldt de regel  $n+1$ : Stel dat we 4 parameters willen schatten, dan hebben we hier 5 vrijheidsgraden voor nodig. De "+1" is nodig voor de '*blocking variable*' die gewoonlijk aan het ontwerp toegevoegd wordt. In de volgende paragraaf geven we nog wat meer uitleg over de

blocking variable. Voor *unlabeled experiments* zijn er over het algemeen minder vrijheidsgraden nodig. De oorzaak hiervoor vinden we in het feit dat er bij een labeled experiment alternatiefspecifieke parameters geschat worden. Dit is niet zo bij unlabeled experiments. Wij verwijzen naar de sectie over labeled en unlabeled experiments voor een definitie van alternatiefspecifieke parameters.

#### De Blocking Variable

In deze paragraaf staan we even stil bij het in "blokken" opdelen van het ontwerp. Dit is een techniek die gebruikt wordt om de respondenten minder grote hoeveelheden choice sets te geven. Bij deze techniek wordt er een nieuwe kolom (lees "attribuut") toegevoegd aan het ontwerp. De attribute levels van dit nieuwe attribuut worden vervolgens gebruikt om het ontwerp in segmenten of blokken op te delen. Wanneer dit nieuwe attribuut bijvoorbeeld drie attribute levels heeft, dan wordt het ontwerp in drie blokken opgedeeld. Elk blok wordt dan voorgelegd aan een andere respondent, zodat er drie respondenten nodig zijn om het volledige ontwerp te vervolledigen. Het nadeel hiervan is dat er veel meer respondenten nodig zijn en dat de steekproefgrootte dus aangepast dient te worden. Het nieuwe attribuut dat hier aan het experimenteel ontwerp toegevoegd wordt, is de eerder genoemde blocking variable (Hensher et al., 2005). Wij hebben voor ons onderzoek ook gebruik gemaakt van een blocking variable. Om onze choice sets te ontwikkelen, hebben wij gebruik gemaakt van het statistische programma SAS. Dit programma heeft voor ons een blocking variable aangemaakt met 2 attribute levels. Merk wel op dat deze blocking variable *enkel* gebruikt is om het ontwerp in blokken op te delen. Dit betekent dat deze blocking variable *niet* in het ontwerp, en bijgevolg niet in onze choice sets, vervat zit.

#### 2.4.3.3. Dummy coding en effects coding

'*Dummy coding*' laat niet-lineaire effecten toe in de attribute levels (Hensher et al., 2005). Dit wordt verwezenlijkt door de creatie van nieuwe variabelen. Er worden evenveel variabelen gecreëerd als dat er attribute levels zijn die gecodeerd worden, min één (Louviere et al., 2000). Er zijn bijvoorbeeld drie attribute levels die gecodeerd worden, dan levert dit de creatie van twee nieuwe variabelen op voor dummy coding. Een dummy variabele kan slechts twee waarden aannemen, namelijk 0 of 1. Indien de dummy in kwestie van toepassing is, dan neemt de dummy de waarde 1 aan, anders de waarde 0. Bijvoorbeeld: Er zijn drie mogelijke routes met de respectievelijke reistijden 2 uur ( $D_1$ ), 4 uur ( $D_2$ ) en 6 uur. Wanneer de reistijd 2 uur bedraagt is  $D_1 = 1$  en  $D_2 = 0$ , wanneer de reistijd 4 uur bedraagt is  $D_1 = 0$  en  $D_2 = 1$  en wanneer de reistijd 6 uur bedraagt is  $D_1 = 0$  en  $D_2 = 0$ . We kunnen dan het nut van reistijd als volgt berekenen:  $U = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2$ . Uit deze formule kunnen we afleiden dat we bij het schatten van het nut van een reistijd van 6 uur niet expliciet het nut van die reistijd schatten, maar wel het gemiddelde niveau van nut dat men sowieso ervaart door de verplaatsing ( $\beta_0$ ).

Om dergelijk probleem te vermijden kunnen we gebruikmaken van 'effects coding' in plaats van dummy coding. Indien we nu het nut van een reistijd van 6 uur willen schatten, vullen we in:  $D_1 = -1$  en  $D_2 = -1$  in plaats van  $D_1 = 0$  en  $D_2 = 0$ . In plaats van  $\beta_0$  gaan we dan  $\beta_0 - \beta_1 - \beta_2$  schatten. Zo schatten we wel expliciet het nut van een reistijd van 6 uur. Overigens blijft alles hetzelfde als bij dummy coding (Hensher et al., 2005).

Het is belangrijk om een goed coderingsformaat te kiezen omdat het ons helpt om de marginale nutsfunctie van de attributen correcter in te schatten. Vaak is deze nutsfunctie niet-lineair. Bijgevolg zal de schatting van deze nutsfunctie veel accurater zijn wanneer we gebruik hebben gemaakt van dummy of effects coding, dan wanneer we slechts één parameter (de zogenaamde 'slope') gebruikt hebben. In dit laatste geval schatten we namelijk een lineaire relatie en geen niet-lineaire relatie (Hensher et al., 2005).

Uit het bovenstaande kunnen we nu de volgende conclusie trekken: Naarmate de marginale nutsfunctie van de attributen complexer wordt, is het beter om gebruik te maken van een type codering dat in staat is om niet-lineaire relaties accuraat in te schatten (Hensher et al., 2005). Zoals reeds vermeld, maken wij in ons onderzoek gebruik van vier attribute levels. Om dan de marginale nutsfunctie van een attribuut goed in te kunnen schatten, is het noodzakelijk om niet-lineaire relaties te schatten. Daarom is het voor ons onderzoek noodzakelijk om gebruik te maken van dummy of effects coding. Omdat in de literatuur voornamelijk gebruik wordt gemaakt van dummy coding, doen wij dat in dit onderzoek ook. Verder lost effects coding het "probleem" van dummy coding (zie paragrafen 1 en 2 van deze sectie) maar op een kunstmatige manier op. Wij zien bijgevolg geen goede reden om effects coding boven dummy coding te verkiezen.

#### 2.4.4. Stap 4: Ontwikkelen van het experimenteel ontwerp

In de vierde stap van het proces tot het ontwikkelen van een onderzoeksontwerp gaan we effectief onderzoeksontwerpen ontwikkelen. Om onderzoeksontwerpen te ontwikkelen maken we gebruik van software (Hensher et al, 2005). Zoals in de paragraaf "De Blocking Variable" reeds vermeld werd, hebben wij SAS gebruikt.

In deze fase moeten we beslissen of we gebruik gaan maken van een 'main effects only design' of van een 'main effects plus selected interactions design'. Aangezien wij enkel de hoofdeffecten gaan schatten (zie de sectie over hoofdeffecten en interactie-effecten), maken wij in dit onderzoek gebruik van een main effects only design. Verder moeten we in deze fase beslissen of we lineaire of niet-lineaire effecten gaan schatten. In sectie 2.4.3.3. hebben wij gekozen voor dummy coding, dit impliceert dat wij niet-lineaire effecten gaan schatten. Tevens moeten we in deze fase beslissen of we al dan niet gebruik gaan maken van een blocking variable. Uit de paragraaf "De Blocking Variable" weten we dat we daar inderdaad gebruik van hebben gemaakt.

Bij een main effects only design wordt aan elk attribuut een benaming toegekend (Hensher et al., 2005). Zo werken we bijvoorbeeld met het attribuut "Levensduur" en niet met "attribuut 3". Dit impliceert dat de attribute levels van onze attributen specifiek moeten zijn. We moeten onze

attribute levels met andere woorden goed definiëren (bv.: Levensduur = 25 *jaar* en niet 25). In figuur 5 zien we dat dit bij ons inderdaad zo gebeurd is. Bij een main effects plus selected interactions design worden de attributen niet altijd een specifieke benaming toegekend. Indien er inderdaad geen specifieke benamingen zijn toegekend, moeten we opletten dat we de correcte attribute levels toekennen aan de overeenkomstige attributen (Hensher et al., 2005).

#### 2.4.5. Stap 5: Allocatie van attributen

De vijfde stap gaat over het toewijzen van attributen aan ontwerpkolommen. In het geval van een main effects only design, gebeuren stappen vier en vijf simultaan. Bijgevolg gaan we verder met stap zes. De geïnteresseerde lezer kan in het werk van Hensher et al. (2005) terugvinden hoe stap vijf verloopt in het geval van een main effects plus selected interactions design.

#### 2.4.6. Stap 6: Creëren van choice sets

Stap zes in het proces tot het ontwikkelen van een onderzoeksontwerp gaat over de creatie van choice sets. Een choice set verschaft de respondent informatie over de alternatieven, de attributen en de attribute levels (Hensher et al., 2005). Zie figuur 5 voor een voorbeeld van een choice set.

##### 2.4.6.1. D-efficiency

In ons onderzoek hebben wij gebruik gemaakt van '*D-efficiency*' om de choice sets op te stellen. D-efficiency impliceert dat er expliciet rekening wordt gehouden met de waarden die de attributen aannemen (met de attribute levels) (Kanninen, 2002). Het is belangrijk dat de attribute levels goed uitgebalanceerd worden (Huber & Zwerina, 1996). Indien dit niet gebeurt, kan het zijn dat een bepaald attribuut of een bepaald alternatief dominant wordt, of gedomineerd wordt door de andere attributen/alternatieven. In dat geval verkrijgen we slechts weinig informatie uit de keuze van de respondenten. Dat komt omdat de respondenten dan nauwelijks verplicht worden om een trade-off te maken tussen de verschillende attributen. Traditionele ontwerpen, zoals een orthogonal design, houden hier geen rekening mee. Een '*D-efficient design*' houdt hier echter wel rekening mee, en zorgt ervoor dat er wel aanzienlijk wat informatie vrijkomt over de trade-off tussen de attributen (Carlsson & Martinsson, 2002). Het doel van D-efficiency is om de maximale hoeveelheid informatie uit de respondenten te krijgen. De centrale vraag die hierbij beantwoord moet worden is: "Hoe gaan we net *die* attribute levels selecteren die ervoor zorgen dat de maximale hoeveelheid informatie bekomen wordt?".

Carlsson en Martinsson (2002) stellen in de eerste plaats dat we voldoende *voorafgaande* informatie moeten hebben over de voorkeuren van de respondenten. Deze voorafgaande informatie is noodzakelijk, want zonder dergelijke informatie kunnen we geen goed D-efficient design ontwikkelen. We kunnen dergelijke informatie soms verkrijgen via de resultaten van eerdere studies, maar meestal wordt dergelijke informatie verkregen via eigen '*focus groups*' en pilootstudies.

Ten tweede stellen Rose, Bliemer, Hensher en Collins (2007) dat een statistisch efficiënt ontwerp, de elementen van de 'asymptotische variantie covariantie matrix' (AVC matrix) minimaliseert. Om een dergelijke matrix op te kunnen stellen, is voorafgaande informatie nodig. Dit doen we aan de hand van de log-likelihoodfunctie uit paragraaf 2.6.6. Voor de AVC matrix nemen we de tweede afgeleide van de log-likelihoodfunctie. Vervolgens berekenen we de 'Fisher informatie matrix',  $I$ . Deze matrix representeert de verwachte waarden van de tweede afgeleide van de log-likelihoodfunctie. In formulevorm geeft dit:

$$I(\beta^*, \beta) = N * \frac{\partial^2 LL(\beta^*, \beta)}{\partial \beta^* \partial \beta}$$

Waarbij  $\beta^*$  en  $\beta$  de *werkelijke* waarden van de parameters representeren,  $\beta^*$  en  $\beta$  de generieke, respectievelijk de alternatiefspecifieke parameters representeren en waarbij  $N$  de steekproefgrootte representeert. Aangezien dit onderzoek een unlabeled experiment is, maken wij enkel gebruik van  $\beta^*$  en  $\beta^*$ . Nu kunnen we de AVC matrix,  $\Omega$ , afleiden:

$$\Omega = -(I(\beta^*, \beta))^{-1} = -\frac{1}{N} * \left( \frac{\partial^2 LL(\beta^*, \beta)}{\partial \beta^* \partial \beta} \right)^{-1}$$

Uit bovenstaande formule leiden we af dat de AVC matrix in feite de negatieve omgekeerde is van de Fisher informatie matrix (Rose et al., 2007). Vervolgens de formule voor D-efficiency:

$$D - efficiency = \left( |\Omega|^{1/K} \right)^{-1}$$

Waarbij  $K$  het aantal te schatten parameters representeert.  $K$  bedraagt in dit onderzoek 13. Wij schatten de parameters voor vijf attributen: "Prijs", "Efficiëntie", "Levensduur", "Esthetiek" en "Integreerbaarheid" (zie figuur 5). Waarbij we voor alle attributen, behalve prijs, gebruikmaken van dummies. Aangezien al onze attributen vier levels hebben, betekent dit dat we voor elk attribuut drie dummies moeten creëren. Dit geeft dan 12 parameters plus de parameter van prijs. In sectie 3.1. leggen wij uit waarom wij voor prijs geen dummies gebruiken.

#### Voorwaarden voor een efficiënt ontwerp

Uit het werk van Carlsson en Martinsson (2002) leiden we af dat er vier voorwaarden zijn waaraan een efficiënt ontwerp moet voldoen:

- 'Level balance': Dit impliceert dat de waarden van elk attribuut met een gelijke frequentie moeten voorkomen in het ontwerp. Bijvoorbeeld: Het attribuut "Efficiëntie" neemt 10 keer de waarde "20%" aan. Dan moet hetzelfde attribuut ook 10 keer de waarde "10%" aannemen. Indien dit niet het geval is, is er geen sprake van level balance;
- Orthogonaliteit: Er mag geen correlatie zijn tussen de attributen;

- Minimale 'overlap': Hieraan is voldaan wanneer een attribute level geen twee keer voorkomt in dezelfde choice set. Bijvoorbeeld: Het attribuut "Levensduur" neemt twee maal de waarde "25" aan in één choice set. In dit geval is er niet voldaan aan de voorwaarde van minimale overlap;
- 'Utility balance': Deze voorwaarde impliceert dat elk alternatief in de choice set een gelijke mate van nut representeert (Huber & Zwerina, 1996). De nutfuncties van de alternatieven zijn met andere woorden aan elkaar gelijk ( $(U_{ni} = V_{ni} + E_{ni}) = U_{nj} = U_{nk} = \dots$ ).

#### Het gebruik van algoritmes

Om een efficiënt model te ontwikkelen, wordt er meestal gebruik gemaakt van een algoritme (bv.: Het Fedorov algoritme). Een dergelijk algoritme werkt als volgt: In de eerste plaats wordt er een willekeurig ontwerp getrokken uit het Full Factorial Design van het onderzoek. Vervolgens zal het algoritme, via een herhalend proces, de alternatieven uit het initieel ontwerp vervangen met andere alternatieven. Dit gaat zo door tot het niet meer mogelijk is om de D-efficiency nog verder te verlagen. D-efficiency wordt met andere woorden geminimaliseerd (Carlsson & Martinsson, 2002). Het ontwerp met de kleinste 'D-error' (met de laagste D-efficiency) is het 'D-optimal design' (Rose et al., 2007).

#### Vergelijking van verschillende designs

Ten slotte is uit het werk van Carlsson en Martinsson (2002) gebleken dat een D-efficient design *met* voorafgaande informatie bij uitstek de beste schattingen oplevert. Zij hebben de volgende ontwerpen met elkaar vergeleken om tot bovenstaande conclusie te komen: (1) een orthogonal design, (2) een 'cyclical' design, (3) een D-efficient design *met* voorafgaande informatie ( $D_p$ -optimal) en (4) een D-efficient design *zonder* voorafgaande informatie ( $D_z$ -optimal). Deze modellen zijn allemaal op twee manieren getoetst: (a) via de fout in de geschatte marginale WTP en (b) via de 'Mean Square Error' (MSE) van de geschatte marginale WTP. Deze laatste maatstaf is in feite het gemiddelde van het kwadratische verschil tussen de *geschatte* marginale WTP en de *echte* marginale WTP. Carlsson en Martinsson (2002) kwamen tot de volgende resultaten:

		Sample Size			
		75		150	
		Bias	MSE	Bias	MSE
Experiment 1	Orthogonal	13,10	8836,62	6,49	3836,65
	Dz-optimal	2,53	5724,42	0,01	2857,66
	Dp-optimal	0,03	2007,69	0,09	1045,30
	Dp-optimal false prior 1	-0,02	2312,04	-0,07	1115,42
	Dp-optimal false prior 2	-2,53	2346,63	-0,69	1273,80
Experiment 2	Orthogonal	3,23	21440,65	1,62	11299,06
	Dz-optimal	8,87	11560,86	1,46	4813,53
	Dp-optimal	0,93	2590,67	0,38	1305,47
Experiment 3	Orthogonal	9,67	7607,44	6,56	3943,58
	Cyclical	7,29	4938,31	1,47	2470,40
	Dz-optimal	7,12	11270,29	6,37	5394,62
	Dp-optimal	0,37	1414,62	0,75	706,17

Figuur 10: Resultaten uit het werk van Carlsson en Martinsson (2002)

Uit bovenstaande figuur valt duidelijk af te leiden dat het  $D_p$ -optimal design in alle experimenten de meest correcte schattingen oplevert. Ook zien we dat de schattingen van dit ontwerp het minst gevoelig zijn aan veranderingen in de steekproefgrootte. Het  $D_p$ -optimal design levert met andere woorden ook zeer goede schattingen op in het geval van een kleine steekproef.

#### 2.4.7. Stap 7: Randomiseren van de choice sets

Hensher et al. (2005) identificeren het randomiseren van de choice sets als de zevende stap in het proces tot het ontwikkelen van een onderzoeksontwerp. Sommige respondenten hebben een aantal choice sets nodig om te leren hoe het precies werkt. Bijgevolg zullen de keuzen gemaakt in de latere choice sets de echte voorkeuren reflecteren en zullen de keuzen gemaakt in de eerste choice sets minder waarheidsgetrouw zijn. Andere respondenten hebben meteen door hoe het werkt, maar worden het beu naar het einde toe. In dat geval zullen de eerste choice sets de echte voorkeuren reflecteren en kunnen de laatste daarvan afwijken. Wanneer de choice sets nu gerandomiseerd zijn, krijgen twee verschillende respondenten wel dezelfde choice sets, maar in een andere volgorde. Zo kunnen bovenstaande "fouten" als het ware uitgebalanceerd worden. De choice sets in dit onderzoek zijn op bovenstaande manier gerandomiseerd.

#### 2.4.8. Stap 8: Ontwikkelen van een enquête

##### 2.4.8.1. Algemeen

###### Probleemdefinitie + ontwerp van de enquête

De laatste stap gaat over het opstellen van enquêtes (Hensher et al., 2005). Enquêtes worden vaak gebruikt voor het verzamelen van data voor een CE. In de eerste plaats formuleren we een



probleemdefinitie. Het probleem dat wij in dit onderzoek aanpakken, is het probleem van consumentenelektronica op zonne-energie. Via dit onderzoek willen wij meer inzicht krijgen in de vereisten waaraan consumentenelektronica op zonne-energie moeten voldoen. Nadat we een goede probleemdefinitie opgesteld hebben, kunnen we verdergaan met het ontwikkelen van een ontwerp voor de enquêtes. Het is zeer belangrijk dat dit ontwerp overeenstemt met de probleemdefinitie, niet omgekeerd.

Het ontwikkelen van het ontwerp voor de enquêtes is een iteratief proces. We moeten tijdens deze fase dan ook rekening houden met verschillende zaken. In eerste instantie moeten we rekening houden met de voorgaande fase (de probleemdefinitie), maar ook met de volgende fasen (verzamelen van gegevens, steekproeftrekking en analyse van de gegevens). Soms wordt tijdens het ontwikkelen van het ontwerp duidelijk dat de probleemdefinitie herzien moet worden. Dit impliceert dan dat we weer helemaal opnieuw moeten beginnen (Hensher et al., 2005).

#### Formuleren van vragen

Nadat het ontwerp van de enquête helemaal op punt staat, gaan we verder met het formuleren van vragen. Het is belangrijk dat de vragen van een enquête goed geformuleerd zijn. Het is namelijk niet mogelijk om ze te herformuleren. Daarom moeten de vragen aan bepaalde criteria voldoen. In het werk van Hensher et al. (2005) zijn deze criteria terug te vinden.

#### De Pilotstudie

Wanneer de enquête af is, voeren we een pilotstudie uit. Deze pilotstudie dient op exact dezelfde manier te gebeuren als de feitelijke studie. Voor een pilotstudie worden meestal 30 tot 40 respondenten geselecteerd. Het doel van een pilotstudie is om de laatste foutjes uit de enquête te halen. Overigens kan uit de pilotstudie afgeleid worden welke problemen zich mogelijk zullen voordoen bij de feitelijke gegevensverzameling. Op basis van de resultaten van de pilotstudie, kan de enquête herzien gaan worden. Dit kan veel tijd kosten, maar het is beter om nu de enquête op punt te stellen dan later te moeten vaststellen dat het onderzoeksprobleem niet beantwoord kan worden (Hensher et al., 2005).

#### 2.4.8.2. Enquêtes voor choice experiments

Elke keuze die wij maken, gebeurt binnen een bepaalde 'beslissingscontext'. Naarmate deze context verschilt, zullen ook de gemaakte keuzen verschillen. Een voorbeeld: Persoon A maakt een reis voor zijn werk, persoon B maakt dezelfde reis maar gaat op vakantie. Beide personen maken dezelfde reis, maar maken deze reis in een andere context. Bijgevolg is het waarschijnlijk dat beide personen andere beslissingen zullen nemen tijdens hun reis (Hensher et al., 2005).

Echter, bij CE is het belangrijk dat alle respondenten zich in dezelfde context bevinden. Dit is noodzakelijk om de betrouwbaarheid van de resultaten te garanderen. Om het probleem van context zo veel mogelijk te beperken, is het aangeraden om gebruik te maken van een '*descriptive story*'. Het descriptive story schetst de context waarin de respondenten zich dienen te plaatsen. Op basis van die, door de onderzoeker geschetste, context maken de respondenten dan hun keuze. Zo maken alle respondenten hun keuze op basis van dezelfde context (Hensher et al., 2005).

Verder raden Hensher et al. (2005) aan om een voorbeeldvraag op te nemen in de enquête. Met deze voorbeeldvraag wordt aan de respondenten uitgelegd wat er precies van hen verwacht wordt. Dit kan het 'leerproces', dat eerder al werd aangehaald (zie stap zeven), versnellen. Wij hebben in ons onderzoek ook gebruik gemaakt van zo'n voorbeeldvraag. Figuur 5 betreft de voorbeeldvraag die wij in ons onderzoek gebruikt hebben.

Volgens Hensher et al. (2005) is het ook belangrijk dat elke beslissing in elke choice set onafhankelijk is van de beslissingen in de andere choice sets. Dit houdt in dat het hypothetische scenario van de ene choice set niet vergeleken mag worden met de hypothetische scenario's van de andere choice sets. Wanneer de choice sets wel met elkaar vergeleken worden, leidt dit tot een schending van de IID-assumptie. Dit zou voor ons onderzoek nefaste gevolgen hebben, want een schending van de IID-assumptie impliceert dat het niet langer mogelijk is om het MNL-model te gebruiken. Het MNL-model is in beginsel niet bedoeld om toe te passen op '*panel data*'. Echter, wij doen dat in ons onderzoek toch. Om die reden hebben wij gekozen om onze enquêtes persoonlijk af te nemen. Zo konden wij namelijk toezien op een correcte afname van de choice sets. Bijgevolg is de IID-assumptie in dit onderzoek niet geschonden door het vergelijken van choice sets.

In sommige onderzoeken moeten de respondenten meer dan één keuze maken per choice set. In dergelijke gevallen gaat het meestal over experimenten waarbij één van de alternatieven een '*non-choice*' of een '*delay-choice*' alternatief is. Dit houdt in dat de respondenten de keuze hebben om geen enkel alternatief te kiezen of om hun keuze uit te stellen (Hensher et al., 2005). Omdat dit voor ons onderzoek niet van belang is, gaan wij hier niet dieper op in.

#### 2.4.8.3. Structuur van een enquête

Een enquête bestaat doorgaans uit meerdere delen. Aan de hand van het werk van Pearce en Özdemiroglu (2002) gaan wij in deze sectie de verschillende delen van een enquête kort overlopen. In bijlage 1 vindt u een exemplaar van de enquête die wij voor dit onderzoek gebruikt hebben. U zal zien dat onze enquête overeenstemt met de volgende richtlijnen.

##### Het doel van het onderzoek

In de eerste plaats moet het doel van het onderzoek verklaard worden aan de respondenten. Dit gebeurt aan de hand van een inleidende bladzijde. Het doel van dit onderzoek werd reeds verklaard in de inleiding.

## De Attitudinal Questions

Het tweede deel van de enquête bestaat uit de zogeheten '*attitudinal questions*'. Dit zijn vragen die gesteld worden om te weten te komen hoe de respondent zich opstelt ten opzichte van het onderzoeksonderwerp.

### Het nut van het goed in kwestie

Ten derde gaan we proberen te achterhalen welk nut de respondent toekent aan het goed/de goederen in kwestie (consumentenelektronica op zonne-energie).

### Het Valuation Scenario

Vervolgens beschrijven we het '*valuation scenario*'. Dit valuation scenario beschrijft het onderwerp van de studie nauwkeurig en creëert het scenario dat beoordeeld zal worden. Een goed valuation scenario moet aan drie vereisten voldoen.

Ten eerste moet een goed valuation scenario steeds een '*payment vehicle*' omvatten. Dit payment vehicle beschrijft hoe de respondent zal moeten betalen voor het goed. Betaling kan bijvoorbeeld rechtstreeks (via cash), maar kan ook onrechtstreeks (via belastingen).

Ten tweede moet een goed valuation scenario er voor kunnen zorgen dat bepaalde waarden/waarderingen afgeleid kunnen worden. We denken dan in de eerste plaats aan de '*Willingness to Pay*' (WTP) of aan de '*Willingness to Accept*' (WTA).

Ten slotte stellen we ook enkele '*follow-up questions*'. Dergelijke vragen zijn nodig om de motieven achter bepaalde antwoorden te ontdekken.

### De sociaaleconomische karakteristieken

Het laatste deel van een enquête bestaat uit de sociaaleconomische kenmerken van de respondenten. Het is nuttig om deze kenmerken op te nemen in de enquête omdat dit toelaat om te testen of de WTP verandert naarmate de sociaaleconomische kenmerken veranderen.

## **2.5. Steekproeftrekking**

Bij de steekproeftrekking gaat men over tot de feitelijke gegevensverzameling. Vooraleer we hieraan gaan beginnen, gaan we eerst bepalen wie voor onze studie in aanmerking komt en welke strategie we gaan gebruiken.

### 2.5.1. Het Sampling Frame

We starten met het 'sampling frame' op te stellen. Het sampling frame representeert de universele set van respondenten die voor het onderzoek in aanmerking komen (Hensher et al., 2005). Voor ons onderzoek zijn dat alle Vlamingen tussen 18 en 64 jaar.

### 2.5.2. De Sampling Strategy

Wanneer we het sampling frame geïdentificeerd hebben, gaan we vervolgens de 'sampling strategy' bepalen. Volgens Hensher et al. (2005) hebben we hier vier mogelijkheden:

- Simple random sampling (SRS);
- Stratified random sampling;
- Choice-based sampling (CBS);
- Non-random sampling.

In dit onderzoek hebben we gebruik gemaakt van Simple Random Sampling (SRS). Daarom gaan we enkel dieper ingaan op SRS en laten we de andere strategieën verder buiten beschouwing.

Bij SRS neemt men een steekproef ter grootte van  $N$  uit de totale populatie. De steekproefgrootte in dit onderzoek bedraagt 451 (300 respondenten uit het onderzoek van Lizin et al. (2012) en 151 respondenten extra voor dit onderzoek). Verder dienen we bij SRS het onderscheid te maken tussen enkelvoudige proporties en meervoudige proporties. Bij enkelvoudige proporties hebben de respondenten maar twee mogelijke keuzen: Ofwel kiezen ze voor het beschikbare alternatief, ofwel niet. Bij meervoudige proporties hebben de respondenten een ruimere keuze. Ze kunnen nu kiezen tussen meerdere alternatieven (Hensher et al., 2005). In ons onderzoek kunnen de respondenten telkens kiezen uit vier verschillende alternatieven. Wij maken dus gebruik van meervoudige proporties.

### 2.5.3. Enkele vuistregels voor de steekproeftrekking

In de praktijk gelden er voor CE bepaalde 'rules of thumb' of vuistregels. De vuistregel voor SP is dat men moet berekenen hoe veel observaties er minimaal nodig zijn om een robuust model te ontwikkelen. Een 'quota strategy' is dan vaak de beste aanpak, waarbij men regelmatig gaat kijken hoe vaak een bepaald alternatief gekozen wordt per choice set. Via de quota strategy kijkt men dus wanneer het minimale aantal observaties per alternatief bereikt wordt. Wanneer voor alle alternatieven het minimale aantal bereikt is, weet men dat men een robuust model ontwikkeld heeft (Hensher et al., 2005).

Het probleem met deze vuistregel is dat  $N$  vrij snel zeer groot kan worden. Zoals reeds vermeld, hebben wij in dit onderzoek alle enquêtes persoonlijk afgenomen. Wanneer  $N$  dan zeer groot wordt, kruipt er bijzonder veel tijd in het persoonlijk afnemen van enquêtes. Daarom hebben wij gekozen om in dit onderzoek geen gebruik te maken van bovenstaande vuistregel. Verder is uit het werk

van Rose en Bliemer (2013) gebleken dat er geen vaste N bestaat. Zij concluderen dat de ideale steekproefgrootte afhankelijk is van het gebruikte model, het aantal alternatieven, het aantal attributen, het aantal attribute levels, de 'range' van de attribute levels en het onderzoeksontwerp zelf. Bijgevolg kunnen we stellen dat bovenstaande vuistregel tekort schiet om de ideale steekproefgrootte te bepalen.

## 2.6. Het Multinomial Logit Model

### 2.6.1. Formule voor keuzekansen

Het Multinomial Logit Model is met voorsprong het meest gebruikte Discrete Choice Model. Dit is deels te danken aan het feit dat de formule voor de keuzekansen een gesloten vorm heeft en gemakkelijk te interpreteren is. Deze formule is gebaseerd op bepaalde assumpties omtrent de kenmerken van de keuzekansen. Het gaat hier over het zogenaamde IIA-axioma. IIA staat voor '*Independence from Irrelevant Alternatives*' (Brownstone, 2001). Indien er aan het IIA-axioma voldaan wordt, impliceert dit dat het model in overeenstemming is met het principe van nutmaximalisatie (Train, 2002). In sectie 2.6.3.2. gaan wij dieper in op het IIA-axioma. Uit het IIA-axioma volgt de IID-veronderstelling. IID staat voor '*Independently and Identically Distributed*' (Train, 2002). Ook de IID-veronderstelling wordt in meer detail besproken in sectie 2.6.3.2.

Verder gaan we bij het MNL-model er vanuit dat de niet waargenomen factoren van nut (E) een '*Extreme Value Type 1*' verdeling (EV1) hebben (Train, 2002). Samenvattend kunnen we stellen dat we bij het MNL-model drie assumpties aannemen omtrent de niet waargenomen factoren van nut. In concreto nemen we aan dat de E onafhankelijk, identiek en EV1 verdeeld zijn.

De belangrijkste assumptie hierbij, is dat de E onafhankelijk zijn van elkaar. Dit betekent dat de E van het ene alternatief niet gecorreleerd mogen zijn met de E van de andere alternatieven. Dit is een vrij strenge assumptie, maar toch is ze aanvaardbaar in het geval van een goed gedefinieerd model (Train, 2002). De formule voor de keuzekansen van het MNL-model is de volgende:

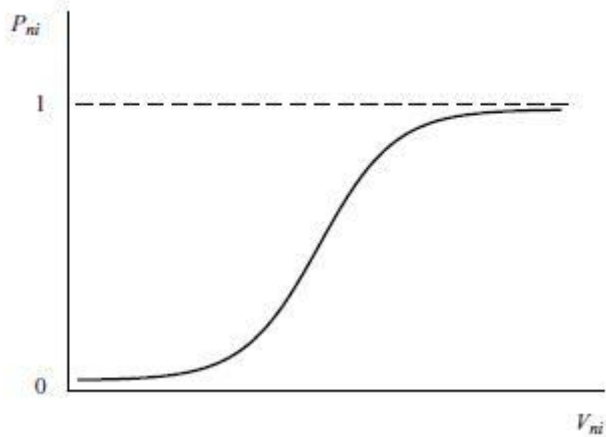
$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_j e^{V_{nj}}}$$

Omdat het 'representatieve nut' (de waargenomen factoren van nut (V)) vaak lineair voorgesteld wordt, gaan we dat ook in dit onderzoek doen. Dit geeft:  $V_{ni} = \beta'x_{ni}$ , waar  $x_{ni}$  een vector van waargenomen factoren (variabelen) van nut representeert voor alternatief i (Train, 2002). Wanneer we dit dan invullen in de bovenstaande vergelijking krijgen we de volgende formule:

$$P_{ni} = \frac{e^{\beta'x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta'x_{nj}}}$$

### 2.6.2. Relatie tussen het representatieve nut en de keuzekansen

In bovenstaande formules gaan we er vanuit dat er  $j$  alternatieven zijn waaruit de respondenten dienen te kiezen. Wanneer we nu de som van alle keuzekansen van alle alternatieven gaan nemen, dan komen we uit op 1. Dit is altijd zo bij kansen. Wel willen we hier nog wijzen op de relatie tussen de keuzekansen en het representatieve nut. Deze relatie heeft een S-vorm. Figuur 11 zal hieromtrent meer duidelijkheid verschaffen.



Figuur 11: Relatie tussen keuzekansen en representatief nut

Volgens Train (2002) brengt dergelijke relatie bepaalde implicaties met zich mee. Wanneer het representatieve nut ( $V_{ni}$ ) van een alternatief zeer laag is in vergelijking met  $V_{ni}$  van de andere alternatieven, dan zal een kleine verandering van  $V_{ni}$  van dat alternatief maar een beperkte invloed hebben op de kans dat dat alternatief gekozen wordt. Het alternatief in kwestie wordt gedomineerd door de andere alternatieven. We bevinden ons hier in het linkse deel van figuur 11. Eenzelfde conclusie bekomen we wanneer we ons in het rechtse deel van figuur 11 bevinden. Wanneer  $V_{ni}$  van een alternatief zeer hoog is in vergelijking met de andere alternatieven, dan zal een kleine verandering van  $V_{ni}$  van dat alternatief maar een beperkte invloed hebben op de kans dat dat alternatief gekozen wordt. Het alternatief in kwestie blijft namelijk dominant ten opzichte van de andere alternatieven. Maar wanneer het alternatief in kwestie ongeveer 50% kans heeft om gekozen te worden, is het een ander verhaal. Indien er nu een kleine verandering optreedt van  $V_{ni}$ , dan zal dit een significante invloed hebben op de kans dat dat alternatief gekozen wordt. We bevinden ons nu in het middelste gedeelte van figuur 11. Om deze reden is het belangrijk om een efficiënt onderzoeksontwerp te ontwikkelen. Bij een efficiënt ontwerp zullen de alternatieven zich veel meer in het middelste deel van figuur 11 bevinden. Dit impliceert dat de respondenten verplicht worden om een trade-off te maken tussen de alternatieven en attributen. Bijgevolg zal er veel meer informatie vrijkomen dan bij een inefficiënt ontwerp.

### 2.6.3. De kracht en beperkingen van het MNL-model

In deze sectie gaan we de kracht en de beperkingen van het MNL-model bespreken. We doen dit aan de hand van drie topics. De topics die we hier gaan bespreken zijn: (1) variaties in smaak, (2) substitutiepatronen en (3) herhaalde keuzen doorheen de tijd (panel data).

#### 2.6.3.1. Variaties in smaak

De waarde die een respondent geeft aan de attributen van de alternatieven, is voor elke respondent anders. Er is dus sprake van een variatie in smaak, of van heterogeniteit. Zoals reeds in sectie 2.2. besproken werd, hebben we te maken met zowel waargenomen, als niet waargenomen factoren (Chesher & Santos-Silva, 2002). Zo kan ook het MNL-model slechts in beperkte mate smaakvariaties verklaren/voorspellen. Het MNL-model kan enkel variaties verklaren die systematisch veranderen, in overeenstemming met de waargenomen variabelen. Variaties die voortkomen uit niet waargenomen variabelen kunnen niet verklaard worden. Ook zuiver willekeurige variaties kunnen niet verklaard worden. Dit impliceert dat het MNL-model niet de exacte variaties zal produceren, maar eerder een goede benadering ervan. Het is onze taak om er voor te zorgen dat we voldoende informatie verzamelen. Hoe meer informatie we hebben, hoe groter het waargenomen deel van nut ( $V$ ), hoe accurater de resultaten van het MNL-model zullen zijn (Train, 2002).

#### 2.6.3.2. Substitutiepatronen

Wanneer de attributen van een alternatief verbeteren, neemt de kans dat dat alternatief gekozen wordt toe. Omdat de som van de keuzekansen van de alternatieven altijd gelijk is aan 1, impliceert een toename van de keuzekans van één alternatief, een daling van de keuzekansen van de andere alternatieven. Het substitutiepatroon tussen de alternatieven heeft vaak belangrijke implicaties (Train, 2002). Bijvoorbeeld: Een producent van zonnepanelen brengt een nieuw type zonnepaneel op de markt met een hogere efficiëntie dan de vorige modellen. De producent is in dit geval zeer nieuwsgierig in welke mate dit nieuwe product consumenten weg kan trekken van zijn andere modellen en van zijn concurrenten. Immers, voor dit nieuwe model kan hij meer geld vragen dan voor zijn oudere modellen.

Train (2002) stelt dat het MNL-model in staat is om één bepaald substitutiepatroon te voorspellen. Wanneer het feitelijke substitutiepatroon overeenkomt met het voorspelde substitutiepatroon, dan is het MNL-model geschikt. Echter, dit is niet altijd het geval en dan is het aangeraden om te werken met meer flexibele modellen. Wij bespreken hieronder twee concepten. Beide concepten zijn in bepaalde situaties realistisch en in andere situaties onrealistisch. Wanneer zij realistisch zijn, zal het MNL-model goede schattingen opleveren, anders niet.

## Het IIA-axioma

Voor elke twee alternatieven i en k, is de ratio van hun keuzekansen gelijk aan:

$$\frac{P_{ni}}{P_{nk}} = \frac{e^{V_{ni}} / \sum_j e^{V_{nj}}}{e^{V_{nk}} / \sum_j e^{V_{nj}}} = \frac{e^{V_{ni}}}{e^{V_{nk}}} = e^{V_{ni} - V_{nk}}$$

Uit bovenstaande formule leiden we af dat deze ratio *enkel* afhankelijk is van alternatieven i en k. Dit impliceert dat de kans dat i over k gekozen wordt hetzelfde blijft, onafhankelijk van de andere alternatieven en hun attributen. Omdat deze ratio onafhankelijk is van andere alternatieven, zegt men dat deze ratio onafhankelijk is van *irrelevante* alternatieven. Vandaar dat men spreekt van '*Independence from Irrelevant Alternatives*', of IIA. Het probleem met het IIA-axioma is dat het niet altijd realistisch is (Train, 2002). Zoals al in sectie 2.6.1. vermeld werd, komt de IID-assumptie voort uit het IIA-axioma. IID staat voor '*Independently and Identically Distributed*'. De IID-assumptie impliceert dat de niet waargenomen factoren van nut (E) onafhankelijk zijn van elkaar en dat ze een identieke verdeling hebben (Hensher et al., 2005). In het geval van het MNL-model impliceert dat, dat de E een EV1-verdeling hebben. De EV1-verdeling lijkt heel fel op de normaalverdeling, maar er is één verschil: De uiteinden van de EV1-verdeling zijn minder smal dan die van de normaalverdeling. Dit impliceert dat er meer 'uitschieters' mogelijk zijn dan bij de normaalverdeling. De EV1-verdeling staat met andere woorden meer variatie toe in de waarden van de parameters (Train, 2002).

## Proportionele substitutie

Hieronder bespreken we de kruiselasticiteiten van de keuzekansen. Stel dat we een attribuut van alternatief h gaan veranderen. We willen nu te weten komen welk effect deze verandering heeft op de keuzekansen van alle andere alternatieven. Dit brengt ons bij de volgende formule:

$$E_{jz_{nh}} = -\beta_z z_{nh} P_{nh}$$

Waarbij  $z_{nh}$  het attribuut van alternatief h is dat veranderd wordt en  $\beta_z$  het coëfficiënt is van  $z_{nh}$ . Deze kruiselasticiteit is hetzelfde voor alle j alternatieven: j zit namelijk niet in de formule. Deze formule impliceert dat een verbetering van de attributen van één alternatief, de keuzekansen van alle andere alternatieven met eenzelfde percentage vermindert (Train, 2002). Bijvoorbeeld: Er zijn vijf alternatieven met elk een keuzekans van 0,2. De attributen van één alternatief verbeteren waardoor de keuzekans van dit alternatief toeneemt van 0,2 naar 0,3. Dit impliceert dat de keuzekansen van de vier andere alternatieven afnemen naar 0,175. Dit komt overeen met een daling van 12,5%. Een dergelijk substitutiepatroon noemt men '*proportionate shifting*' en is een manifestatie van het IIA-axioma (Train, 2002). Merk op dat de ratio van de keuzekansen van alternatieven i en k hetzelfde blijft wanneer een attribuut van alternatief h veranderd. Dit is zo omdat de keuzekansen van alternatieven i en k met eenzelfde percentage veranderen. Het bovenstaande brengt ons bij de volgende vergelijking:



$$\frac{P_{ni}^1}{P_{nk}^1} = \frac{P_{ni}^0}{P_{nk}^0}$$

Het superscript 0 reflecteert de keuzekansen van i en k vóór de attribuutverandering van alternatief h en het superscript 1 reflecteert de keuzekansen van i en k na de attribuutverandering van h.

Net zoals het IIA-axioma, is proportionele substitutie niet in alle situaties realistisch. In dergelijke situaties kan het MNL-model dan tot onrealistische schattingen leiden (Train, 2002).

### 2.6.3.3. Panel Data

Bij panel data laten we de respondent meerdere keuzen maken. Dit kan doorheen de tijd, bijvoorbeeld: De respondenten worden gedurende enkele weken/maanden gevolgd om te zien welke keuzen zij maken. Maar dit kan ook in de vorm van enquêtes (Train, 2002). Zoals reeds aangehaald in sectie 2.4.8.2., maken wij in dit onderzoek gebruik van panel data. Zo hebben wij de respondenten telkens negen verschillende choice sets voorgelegd. In elke choice set moet de respondent aanduiden welk alternatief hij kiest. We laten de attribute levels in iedere choice set veranderen zodat we kunnen waarnemen hoe de keuze van de respondent verandert naarmate de attribute levels veranderen. We gaan met andere woorden de *herhaalde* keuzen van de respondenten analyseren. Net omdat we werken met herhaalde keuzen, is er sprake van panel data.

Verder gaan wij er vanuit dat de niet waargenomen factoren van nut onafhankelijk van elkaar zijn, over de keuzen heen (IID-assumptie). Deze veronderstelling laat ons toe om het MNL-model toe te passen. Zoals wij reeds in sectie 2.4.8.2. vermeld hebben, is dat een zware assumptie. Echter, wij hebben wel maatregelen genomen om te trachten deze assumptie niet te schenden (persoonlijke afname).

### 2.6.4. Het consumentensurplus

Uit het werk van Train (2002) blijkt dat het consumentensurplus van een individu gelijk is aan het *in geld uitgedrukte* nut dat dit individu ondervindt. Het individu wordt verondersteld om dat alternatief te kiezen dat hem het meeste nut oplevert. Het consumentensurplus wordt gegeven door:  $CS_n = (1/a_n) \max_j (U_{nj} - V_j)$ .  $a_n$  is het marginale nut van inkomen:  $\partial U_n / \partial Y_n = a_n$ , en  $Y_n$  is het inkomen van persoon n. In bovenstaande formule werken we echter niet met  $a_n$ , maar met  $(1/a_n)$ . We doen dit omdat het nut op die manier in geldtermen uitgedrukt wordt:  $1/a_n = \partial Y_n / \partial U_n$ . Het probleem met deze formule is dat we niet in staat zijn om  $U_{nj}$  waar te nemen.

Zoals reeds in sectie 2.2. werd besproken, zijn we wel in staat om  $V_{nj}$  waar te nemen. Verder kennen wij ook de verdeling van het niet waargenomen deel van nut (IID en EV1). Dat brengt ons bij volgende formule:

$$E(CS_n) = \frac{1}{\alpha_n} E(\max_j (V_{nj} + E_{nj} V_j))$$

Als  $E_{nj}$  nu IID en EV1 verdeeld is, en nut lineair is in zijn parameters, dan kan bovenstaande verwachting vereenvoudigd worden naar:

$$E(CS_n) = \frac{1}{\alpha_n} \ln \left( \sum_{j=1}^J e^{V_{nj}} \right) + C$$

Waarbij C een ongekende constante is, die erop wijst dat het absolute niveau van nut niet precies gemeten kan worden. Vanuit het perspectief van de beleidsmaker is deze C echter te verwaarlozen en kan daarom genegeerd worden (Train, 2002). Een verandering in het consumentensurplus is nu gemakkelijk te berekenen:

$$\Delta E(CS_n) = \frac{1}{\alpha_n} \left( \ln \left( \sum_{j=1}^{J^1} e^{V_{nj}^1} \right) - \ln \left( \sum_{j=1}^{J^0} e^{V_{nj}^0} \right) \right)$$

De superscripten 0 en 1 refereren opnieuw naar de situatie voor en na de verandering. Een verandering in consumentensurplus kan ontstaan door een verandering in het aantal alternatieven, of door een verandering in de attribute levels.

#### 2.6.5. Afgeleiden en elasticiteiten

Het is vaak nuttig om te weten in welke mate de keuzekansen veranderen wanneer er zich een verandering voordoet in één (of meer) van de waargenomen factoren. Een voorbeeld: Een producent van zonnepanelen vraagt zich af in welke mate hij klanten kan afsnoepen van de concurrentie, wanneer hij in staat is om de efficiëntie van zijn zonnepanelen te verhogen. Om een antwoord op dergelijke vragen te formuleren maken we gebruik van afgeleiden van de keuzekansen (Train, 2002). De verandering in de kans dat persoon  $n$  kiest voor alternatief  $i$ , gegeven een verandering in de waargenomen factor  $z_{ni}$  is:

$$\frac{\partial P_{ni}}{\partial z_{ni}} = \frac{\partial V_{ni}}{\partial z_{ni}} P_{ni} (1 - P_{ni})$$

Als het representatieve nut lineair is in  $z_{ni}$ , met coëfficiënt  $\beta_z$ , dan wordt bovenstaande afgeleide  $\beta_z P_{ni} (1 - P_{ni})$ . Deze afgeleide is dan het grootst wanneer  $P_{ni} = 1 - P_{ni}$ . Dit is het geval wanneer  $P_{ni} = 0,5$ . Deze afgeleide wordt kleiner wanneer  $P_{ni}$  meer naar 0 of naar 1 toegaat. Merk op dat deze bevindingen consistent zijn met onze bevindingen omtrent figuur 11. Het effect van een verandering in een waargenomen variabele is het grootst wanneer de keuzekansen het meest onzeker zijn. Wanneer de keuze zekerder wordt ( $P_{ni}$  gaat meer naar 0 of naar 1 toe), wordt het effect van een verandering in een waargenomen variabele kleiner (Train, 2002).

Het is ook mogelijk om te berekenen hoe de keuzekans van het ene alternatief verandert, wanneer een waargenomen variabele van een *ander* alternatief verandert. Men berekent dit aan de hand van volgende formule:

$$\frac{\partial P_{ni}}{\partial z_{nk}} = -\frac{\partial V_{nk}}{\partial z_{nk}} P_{ni} P_{nk}$$

Train (2002) wijst erop dat economisten ook vaak gebruikmaken van elasticiteiten. Echter, voor ons onderzoek is dit niet van belang. Elasticiteiten hebben namelijk geen echte betekenis bij een unlabeled experiment.

#### 2.6.6. Berekening

Voor de berekening zijn er meerdere werkwijzen die men kan volgen. Wij gaan hier enkel bespreken hoe de berekening gaat in het geval van 'exogene steekproeven'. We doen dit omdat we in ons onderzoek gebruik hebben gemaakt van een exogene steekproef.

Een steekproef is exogeen wanneer de steekproef 'random' of 'stratified random' genomen is (Train, 2002). Zie sectie 2.5.2. voor meer informatie hieromtrent. Verder nemen we bij een exogene steekproef aan dat de verklarende variabelen (het representatieve nut) onafhankelijk zijn van de niet waargenomen factoren van nut. Vervolgens trekken we een steekproef ter grootte van N. In ons onderzoek is N gelijk aan 451: 300 observaties uit voorgaand onderzoek van Lizin et al. (2012) en 151 observaties extra voor dit onderzoek. Omdat de keuzekansen in het MNL-model een gesloten vorm aannemen (zie titel 2.6.1.), is het mogelijk om de traditionele 'maximum-likelihood' procedures toe te passen. Dat brengt ons bij onderstaande log-likelihoodfunctie:

$$LL(\beta) = \sum_{n=1}^N \sum_i y_{ni} \ln P_{ni}$$

Waarbij  $y_{ni} = 1$  indien persoon n voor alternatief i kiest en  $y_{ni} = 0$  in alle andere gevallen. De waarde die men verkrijgt wanneer men deze formule uitrekent, is die waarde van  $\beta$  die deze formule maximaliseert (Train, 2002). Dit impliceert dat de maximum likelihood schattingen voldoen aan de zogeheten 'first-order' voorwaarde:

$$\frac{\partial LL(\beta)}{\partial \beta} = 0$$

Volgens Train (2002) kan bovenstaande first-order voorwaarde herschreven worden tot:

$$\sum_n \sum_i (y_{ni} - P_{ni}) x_{ni} = 0$$

Wanneer we nu deze formule herschikken en delen door N krijgen we:

$$\frac{1}{N} \sum_n \sum_i y_{ni} x_{ni} = \frac{1}{N} \sum_n \sum_i P_{ni} x_{ni}$$

Deze vergelijking is eenvoudig te interpreteren:  $X$  is het gemiddelde van  $x$  over de alternatieven die *gekozen* zijn door de respondenten. Dit geeft:  $X = \frac{1}{N} \sum_n \sum_i y_{ni} x_{ni}$ .  $\mathbf{X}$  is het gemiddelde van  $x$  over de *voorspelde* keuzen van de respondenten. Dit geeft dan:  $\mathbf{X} = \frac{1}{N} \sum_n \sum_i P_{ni} x_{ni}$ .  $X$  is met andere woorden het *waargenomen* gemiddelde van  $x$ , terwijl  $\mathbf{X}$  het *voorspelde* gemiddelde is. Uit bovenstaande vergelijking kunnen we nu afleiden dat de maximum likelihood schattingen het voorspelde gemiddelde van de verklarende variabele gelijkstellen aan het waargenomen gemiddelde van die verklarende variabele (Train, 2002).

In het geval van 'alternatiefspecifieke constanten' heeft deze eigenschap van maximum likelihood schattingen een bijzondere implicatie. Het impliceert namelijk dat de voorspelde aandelen gelijk zijn aan de geobserveerde aandelen (bv.: Men verwacht dat alternatief  $i$  door 15% van alle respondenten gekozen gaat worden en uit de steekproef blijkt dat dit ook effectief het geval is). Bijgevolg is het geschatte model correct. Een alternatiefspecifieke constante is het coëfficiënt van een dummy variabele die een bepaald alternatief identificeert (Train, 2002).

### 2.6.7. Goodness of fit en het testen van hypothesen

#### 2.6.7.1. Goodness of fit

Volgens Train (2002) gebruikt men bij DCM vaak de '*likelihood ratio index*' om te meten hoe goed het gebruikte model overeenkomt met de gegevens. De likelihood ratio index meet hoe goed het model presteert in vergelijking met een model waarbij alle parameters gelijk zijn aan 0. De formule voor de likelihood ratio index is als volgt:

$$\rho = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)}$$

Rho ( $\rho$ ) neemt een waarde aan tussen 0 en 1, waarbij 0 de laagst mogelijk waarde is en 1 de hoogst mogelijke waarde is. Wanneer  $LL(\beta) = LL(0)$ , is  $\rho = 0$ . Dit is het geval wanneer het gebruikte model niet beter is dan helemaal geen model. De andere extreme waarde bereiken we wanneer  $LL(\beta) = 0$ . In dat geval is  $\rho = 1$ . In deze situatie is het gebruikte model zo goed dat de keuze van elke respondent perfect voorspeld wordt.

### 2.6.7.2. Testen van hypothesen

Net zoals bij regressies wordt er bij CE gebruik gemaakt van t-waarden om hypothesen te toetsen omtrent de individuele parameters. Voor meer complexe hypothesen wordt een likelihood ratio test gebruikt. Train (2002) stelt dat twee van de meest voorkomende (complexe) hypothesen zijn: (1) verschillende parameters zijn gelijk aan 0 en (2) twee of meer parameters zijn gelijk. In beide gevallen maken we gebruik van volgende toetsingsgrootte om de hypothese te testen:

$$-2(LL(\beta^H) - LL(\beta))$$

Waarbij  $\beta^H$  die waarde van  $\beta$  is waarmee de hoogste waarde van de LL-functie bereikt wordt, zonder de beperkingen van de nulhypothese te overschrijden.  $\beta$  zelf geeft de hoogste waarde van de LL-functie zonder rekening te houden met de beperkingen van de nulhypothese. De toetsingsgrootte heeft een chi-kwadraatverdeling en het aantal vrijheidsgraden is gelijk aan het aantal beperkingen die de nulhypothese oplegt. Bijvoorbeeld: De nulhypothese stelt dat drie parameters gelijk zijn aan nul. Dit betekent dat de nulhypothese drie beperkingen oplegt. Bijgevolg maken wij gebruik van drie vrijheidsgraden. Wanneer de waarde van  $-2(LL(\beta^H) - LL(\beta))$  groter is dan de kritieke waarde, dan wordt de nulhypothese verworpen. Voor beide hypothesen moet het model twee maal geschat worden. Vervolgens berekenen we de toetsingsgrootte en ten slotte vergelijken we deze toetsingsgrootte met de kritieke waarde. Op basis van deze vergelijking kunnen we dan beslissen om al dan niet de nulhypothese te verwerpen (Train, 2002).

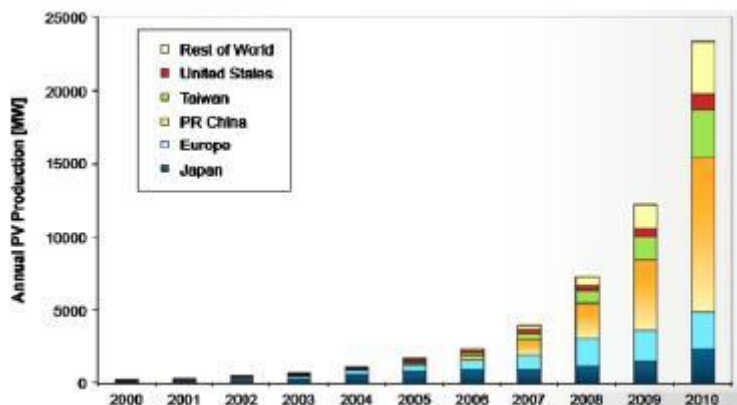
## 2.7. Technologische status van fotovoltaïsche zonnecellen

### 2.7.1. Algemeen

In deze sectie gaan we een algemeen beeld vormen over de technologische staat van PV zonnecellen. In de volgende sectie richten we ons specifiek op de technologische staat van organische fotovoltaïsche (OPV) zonnecellen. Wij besteedden extra aandacht aan OPV zonnecellen omdat dat het type zonnecel is, dat voor ons onderzoek het meest relevant is.

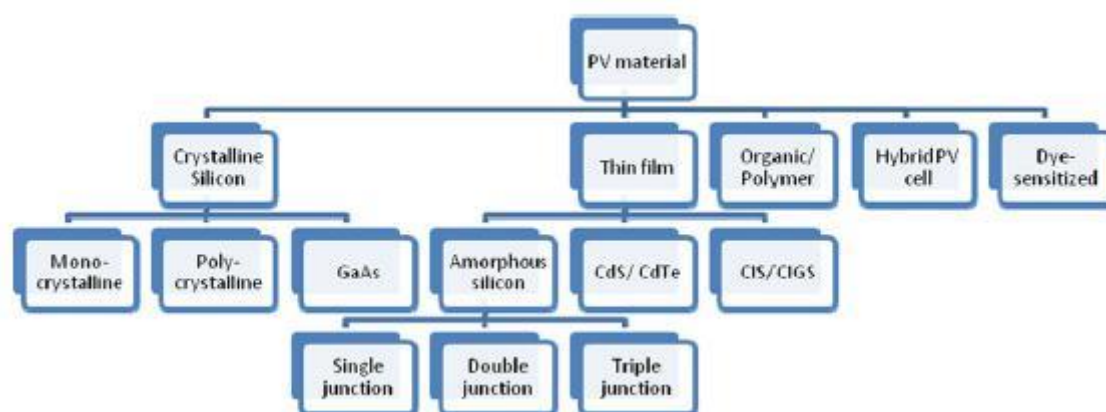
Momenteel bestaan er verscheidene vormen van fotovoltaïsche (PV) zonnecellen. Een PV zonnecel zet zonlicht om in elektriciteit. In het geval van PV zonnecellen spreekt men vaak over 'efficiëntie'. De efficiëntie van een PV zonnecel is gelijk aan het percentage van het invallende zonlicht dat omgezet wordt in elektriciteit (Lizin et al., 2012).

Uit het werk van Tyagi, Rahim, Rahim en Selvaraj (2013) blijkt dat de PV markt groeit aan een verbijsterend tempo van ruim 40% per jaar. Men voorspelt dat PV technologieën tegen 2020 ongeveer 345 Gigawatt (GW) zullen produceren en tegen 2030 zelfs 1081 GW. Figuur 12 geeft een mooi overzicht van de evolutie van de PV productie.



Figuur 12: PV productie van 2000 tot 2010

Figuur 13 geeft een beknopt overzicht van de verschillende materialen die gebruikt worden voor de productie van PV zonnecellen. Omwille van de hoge efficiëntie wordt kristallijn silicium het meest gebruikt. Toch is men op zoek naar andere materialen omdat kristallijn silicium zeer duur is. Momenteel ziet men vooral in de dunne film technologieën een haalbaar alternatief. Dat komt omdat men bij dunne film technologieën veel minder materiaal nodig heeft en aldus de productiekosten drastisch kan drukken. Het probleem is echter dat de efficiëntie van dunne film technologieën voorlopig nog te wensen overlaat (Tyagi et al., 2013).



Figuur 13: PV materialen

In figuren 14 en 15 zien we een aantal efficiënties van PV zonnecellen. Figuur 14 geeft cijfers met betrekking tot zonnecelproducenten en figuur 15 geeft cijfers met betrekking tot materialen.

Company	Module Type	Efficiency
Suntech Power	Monocrystalline	15,30 - 15,70
	Polycrystalline	14,50 - 14,80
Yingli Solar	Monocrystalline	15,30 - 16,20
	Polycrystalline	14,10 - 15,00
Trina Solar	Monocrystalline	14,50 - 15,20
	Polycrystalline	13,70 - 15,00
Canadian Solar	Monocrystalline	13,70 - 15,26
	Polycrystalline	12,65 - 14,12
Sharp	Polycrystalline	14,40
	Thin Film	10,00
Hanwha Solar One	Polycrystalline	13,60 - 15,10
	Monocrystalline	13,30 - 15,30
Jinko Solar	Polycrystalline	14,05 - 15,27
	Monocrystalline	14,36 - 15,59
LDK Solar	Monocrystalline	14,49 - 15,67
	Polycrystalline	13,32 - 15,67
Solar World	Polycrystalline	14,31
	Monocrystalline	14,31

Figuur 14: PV efficiënties per bedrijf [Bron: Tyagi et al. (2013)]

Device	Number of junctions	Efficiency (%)	Suns
Si	1	25,0 ± 0,5	1
GaAs	1	26,4 ± 0,8	1
CIGS	1	19,4 ± 0,6	1
CdTe	1	16,7 ± 0,5	1
GaInP/GaAs/GaInAs	3	35,8 ± 1,5	1
Si	1	27,6 ± 1,0	92
GaAs	1	29,1 ± 1,3	117
GaInP/GaInAs/Ge	3	41,6 ± 2,5	364

Figuur 15: PV efficiënties per materiaal [Bron: Tyagi et al. (2013)]

In figuur 16 zien we de evolutie van de productiekost van zonnecellen per materiaal. We zien dat de kost voor elk materiaal afneemt doorheen de tijd. Dit is te verklaren aan de hand van vijf gebeurtenissen: (1) innovaties op vlak van materiaaltechnologie, (2) toenemende productie van PV zonnecellen, (3) steeds hogere efficiënties dankzij nieuwe technologieën, (4) toenemende levensduur van PV zonnecellen en (5) beleidsbeslissingen die hernieuwbare energiebronnen ondersteunen (vb.: Subsidies voor zonnepanelen) (Tyagi et al., 2013).

Option	1996 (Price)	2000 (Cost/Price)	2010 (Cost/Price)
Single XTAL	3,30 - 4,25	1,50/2,50	1,20/2,00
Polycrystalline	3,20 - 4,25	1,50/2,50	1,20/2,00
Ribbon	-	1,50/2,50	1,20/2,00
Concentrator	4,00	1,20/2,00	0,80/1,33
Amorphous 81	3,00 - 3,50	1,20/2,00	0,75/1,25
TI Spherical	-	1,20/2,00	1,00/1,67
CIS	-	1,20/2,00	0,75/1,25
SI Film on LCS	-	1,20/2,00	0,75/1,25
Low Price (BAU)	3,75	2,50	2,00
Low Price (ACCEL)	3,00	2,00	1,25

Figuur 16: Evolutie productiekost van verschillende materialen

Figuur 17 toont ons een kostenanalyse voor PV zonnecellen op basis van kristallijn silicium. We zien dat men in deze analyse rekening heeft gehouden met de materiaalkosten, de arbeidskosten, de elektriciteitskosten en de kapitaalkosten. Verder zien we dat men ook een schatting voor 2020 ontwikkeld heeft. Door deze cijfers met elkaar te vergelijken merken we meteen op dat er nog een stevige vooruitgang verwacht wordt in de efficiëntie van de zonnecellen en in het gebruik van materiaal. Voorts merken we nog op dat de kosten ook verwacht worden om toe te nemen, maar in mindere mate dan de vooruitgang in efficiëntie en materiaalgebruik. Dit alles wijst erop dat zonnecellen op basis van kristallijn silicium rendabeler gaan worden en dat de 'payback time' zal afnemen.

Item	2012	2020
Module efficiency (%)	14,50	20,50
Cell thickness ( $\mu\text{m}$ )	180,00	50,00
Material utilization (%)	0,45	0,90
Contract Si price (\$/kg)	40,00	25,00
Base labor cost (\$/h)	15,80	18,50
Labor content (ppl/MW/a)	2,90	1,50
Electricity cost (\$/kW h)	0,07	0,09
Capital cost (MM/MW/a)	1,08	1,19

Figuur 17: Kostenanalyse voor PV zonnecellen op basis van kristallijn silicium [Bron: Tyagi et al. (2013)]

In figuur 18 zien we een vergelijking van de voor- en nadelen van PV technologie met de voor- en nadelen van nucleaire energie en van steenkool en fossiele brandstoffen. Verder zien we in figuur 19 een vergelijking van de voor- en nadelen van PV technologie met de voor- en nadelen van andere hernieuwbare energiebronnen. Wij verwijzen naar bijlage 2 voor een grotere, duidelijkere weergave van beide figuren.



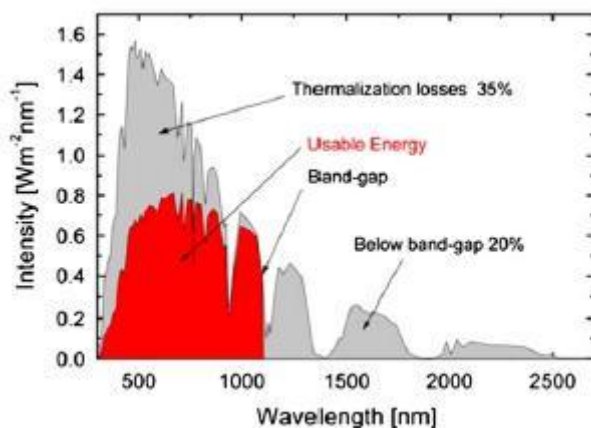
Advantage/Disadvantage	PV technology	Nuclear energy	Coal and fuels
Advantage	Low emission of CO2	Not expensive	High efficiency
	Free source - sun	High efficiency	Conventional electrical energy source
	Infinite source	No air pollution	Power plant can be built anywhere
Disadvantage	Environmental friendly	Reliable	Not expensive
	High start-up cost and investment	Very dangerous	High emission of CO2
	Low efficiency	Sources of uranium are depleting	Sources are depleting
	Large area required to install PV system	-	Price increases year by year
	Performance depends on weather and location	-	Source of greenhouse gas

Figuur 18: Vergelijking van PV technologie met nucleaire energie en met steenkool en fossiele brandstoffen [Bron: Tyagi et al. (2013)]

Advantage/Disadvantage	Solar Power	Tidal Power	Wind Power	Wave Power
Advantage	Low emission of CO2	No air pollution	Free source	No air pollution
	Free source - sun	Cheap maintenance	No air pollution	Free source of energy
	No moving parts required	Reliable	Economic	Low cost, low maintenance
Disadvantage	Environmental friendly	Use no fuel	May attract tourists	High efficiency
	High start-up cost and investment	Very expensive start-up cost	Weather dependent	Depends on the energy of waves
	Low efficiency	Low efficiency	Noise pollution	Noisy
	Large area required to install PV system	Can be installed only at certain places	May kill birds	Needs to be built at a place where waves can hit hard
	Land use	-	-	Needs to be able to withstand unpredictable weather
	Performance depends on weather and location	-	-	-

Figuur 19: Vergelijking van PV technologie met andere hernieuwbare energiebronnen [Bron: Tyagi et al. (2013)]

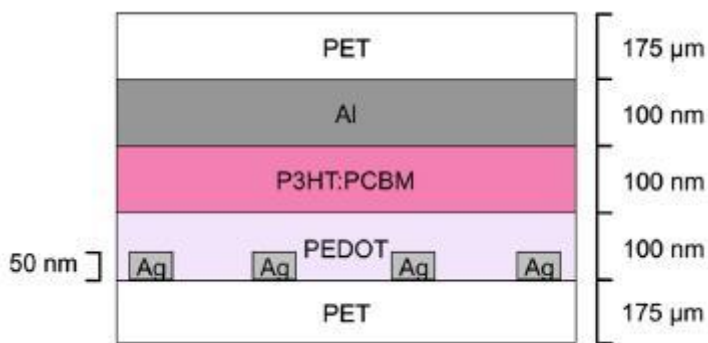
Ten slotte zien we in figuur 20 welke energie er verloren gaat bij een zonnecel op basis van silicium. De fotonen met een energieniveau lager dan de 'band-gap', worden rechtstreeks uit de zonnecel verwijderd. Op deze manier verliest een silicium zonnecel ongeveer 20% van de binnenkomende energie. De fotonen met een energieniveau hoger dan de band-gap, worden omgezet in warmte. Een silicium zonnecel verliest zo ongeveer 35% van de binnenkomende energie. Dit impliceert dat er uiteindelijk maar 45% van de binnenkomende energie gebruikt kan worden (Asim et al., 2012). Bijgevolg is het noodzakelijk om dergelijk energieverlies te beperken om hogere efficiënties te kunnen realiseren.



Figuur 20: Verloren energie in een silicium zonnecel

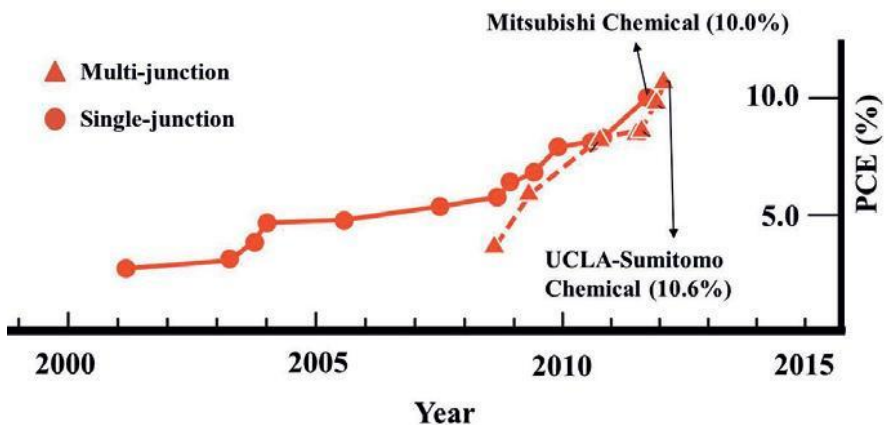
### 2.7.2. Organische PV zonnecellen

De organische PV (OPV) zonnecellen hebben het afgelopen decennium een grote ontwikkeling gekend. Dit heeft grotendeels te maken met het feit dat OPV zonnecellen in staat worden geacht om de hoge productiekost van zonnecellen aanzienlijk te verlagen. OPV zonnecellen maken dit mogelijk door de zogeheten 'roll-to-roll' productiemethode. Verder zijn OPV zonnecellen zeer licht, kunnen ze geproduceerd worden op plastic substraten en zijn ze flexibel. Dit maakt OPV zonnecellen uitermate geschikt voor toepassingen in consumentenelektronica. Omdat het mogelijk is om OPV zonnecellen transparant te maken of om de kleur ervan aan te passen, kunnen zij ook gebruikt worden voor allerlei toepassingen in de bouw (Su et al., 2012). In figuur 21 zien we uit welke lagen een OPV zonnecel bestaat. Merk op dat er verschillende types OPV zonnecellen zijn en dat de lagen kunnen verschillen naargelang het type. In onderstaande figuur is er gebruik gemaakt van een aluminium kathode (laag 2), een PEDOT en zilveren anode (laag 4), een PET substraat dat de "verpakking" van de zonnecel uitmaakt (lagen 1 en 5) en een 'actieve laag' die bestaat uit P3HT:PCBM (laag 3). P3HT:PCBM is één van de efficiëntste materialen voor organische zonnecellen (Mulligan et al., 2014). De getallen aan weerszijden van de figuur representeren de feitelijke dikte van de lagen.



Figuur 21: Voorbeeld van de structuur van een OPV zonnecel [Bron: Mulligan et al. (2014)]

Verder zien we in figuur 22 de evolutie van de recordefficiënties van OPV zonnecellen.



Figuur 22: Evolutie van de recordefficiënties van OPV zonnecellen [Bron: Su et al. (2012)]

Volgens Su et al. (2012) is de grote vooruitgang in bovenstaande OPV efficiënties te verklaren aan de hand van vier ontwikkelingen. In de eerste plaats begrijpt men nu beter het conversiemechanisme van foton naar elektron. Ten tweede is men nu beter in staat om het moleculaire ontwerp van zonnecellen aan te passen. Een derde ontwikkeling vinden we bij de productieprocessen. Hierdoor worden zonnecellen steeds goedkoper, maar ook efficiënter en robuuster. Ten slotte heeft men nieuwe samenstellingen/ontwerpen ontdekt waardoor de verschillende lagen in de zonnecel beter met elkaar samenwerken.

Ondanks deze grote vooruitgang zijn OPV zonnecellen nog steeds niet commercialiseerbaar. Volgens Su et al. (2012) kunnen OPV zonnecellen pas van commerciële waarde zijn, wanneer zij een efficiëntie van op zijn minst 15% hebben. Verder zouden OPV zonnecellen ook een levensduur van meer dan tien jaar moeten hebben en zou het roll-to-roll productieproces helemaal op punt moeten staan. Deze bevindingen staan in lijn met de bevindingen van Tyagi et al. (2013). Volgens hen ligt de huidige kost van een OPV zonnecel tussen \$1,00 en \$2,83 per Wattpiek (Wp), met een efficiëntie van 5%. Tyagi et al. (2013) stellen dat men enkel zonnecellen met een kost van minder dan \$1,00 per Wp en een efficiëntie van meer dan 10% als commercieel haalbaar beschouwt.

Kost, efficiëntie en levensduur zijn echter niet de enige factoren waar men rekening mee dient te houden. Een probleem waar men in de literatuur veel minder aandacht aan besteedt is het probleem van 'upscaling' (Jørgensen et al., 2013). Daarom zeggen bovenvermelde recordefficiënties in feite niet veel. Deze efficiënties nemen namelijk drastisch af wanneer men deze zonnecellen op een veel grotere schaal gaat ontwikkelen. Dit impliceert dat er ook voor het probleem van upscaling nog oplossingen gezocht moeten worden. Concluderend kunnen we stellen dat er nog steeds een lange weg af te leggen is tot de commercialisering van deze technologie. Er moet namelijk nog vooruitgang geboekt worden op vier vlakken: (1) kosten drukken, (2) efficiëntie opdrijven, (3) levensduur verlengen en (4) zonnecellen met succes op een grotere schaal produceren.

In het werk van Ahmad et al. (2013) wordt er dieper ingegaan op de korte levensduur van OPV zonnecellen. Zij verklaren dat deze korte levensduur te wijten is aan het feit dat organische materialen veel vatbaarder zijn voor aantasting door water en zuurstof dan inorganische materialen. Om de levensduur van OPV zonnecellen te doen toenemen is het dus noodzakelijk om hier oplossingen voor te vinden. Volgens Ahmad et al. (2013) ligt de oplossing in een goede 'encapsulatie' van de OPV zonnecellen. Mits een goede "verpakking" van de organische materialen zouden deze veel minder vatbaar moeten zijn voor aantasting door water en zuurstof. Hierdoor zou de levensduur enorm kunnen toenemen. Wel stellen zij dat er tot op heden onvoldoende kennis is over deze materialen en dat er nog verder onderzoek vereist is.

### 3. Resultaten van het onderzoek

#### 3.1. Resultaten Multinomial Logit

Iteration 0: log pseudolikelihood = -4162,2966						
Iteration 1: log pseudolikelihood = -4092,983						
Iteration 2: log pseudolikelihood = -4091,7119						
Iteration 3: log pseudolikelihood = -4091,7112						
Iteration 4: log pseudolikelihood = -4091,7112						
Conditional (fixed-effects) logistic regression					Number of obs = 14432	
					Wald chi2(13) = 801,06	
					Prob > chi2 = 0,0000	
Log pseudolikelihood = -4091,7112					Pseudo R2 = 0,1819	
(Std. Err. adjusted for 451 clusters in PersID)						
Choice	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Price	-0,1483846	0,0231066	-6,42	0,000	-0,1936727	-0,1030965
Efficiency 15%	-0,30492	0,0513514	-5,94	0,000	-0,4055669	-0,204273
Efficiency 10%	-0,9626915	0,0670007	-14,37	0,000	-1,09401	-0,8313725
Efficiency 5%	-1,661502	0,0939411	-17,69	0,000	-1,845623	-1,477381
Durability 15 Years	-0,065139	0,0581918	-1,12	0,263	-0,1791928	0,0489148
Durability 10 Years	-0,3938993	0,0687732	-5,73	0,000	-0,5286923	-0,2591062
Durability 5 Years	-1,267937	0,0895104	-14,17	0,000	-1,443374	-1,0925
Ugly Esthetics	0,4301873	0,0714184	6,02	0,000	0,2902097	0,5701649
Nice Esthetics	0,9780281	0,0785302	12,45	0,000	0,8241116	1,131945
Very Nice Esthetics	0,9814142	0,0767014	12,80	0,000	0,8310822	1,131746
Difficult to Integrate	0,1187041	0,0643155	1,85	0,065	-0,0073519	0,2447601
Integrable	0,7666427	0,0698124	10,98	0,000	0,6298129	0,9034725
Very Integrable	0,8437306	0,0734783	11,48	0,000	0,6997157	0,9877455

Figuur 23: Resultaten MNL-model

In bovenstaande figuur zien we de resultaten van het MNL-model. Uit de prijscoëfficiënt leiden we af dat prijs, zoals verwacht, een negatieve invloed heeft op nut. Wanneer de prijs bijvoorbeeld toeneemt met €1,00/Wp, neemt het nut van dit product af met 0,15. De interpretatie van de overige coëfficiënten moet anders gebeuren. Wij hebben namelijk gebruik gemaakt van dummies om de overige attributen te schatten (zie sectie 2.4.3.3.). Dit impliceert dat we de coëfficiënten van de dummies moeten vergelijken met hun basisniveau. In al onze choice sets kwam steeds hetzelfde referentiealternatief terug. Dit referentiealternatief bevat de basisniveaus van onze dummies. Dat levert volgende basisniveaus op: Efficiëntie = 20%, Levensduur = 25 jaar, Esthetiek = heel lelijk en Integreerbaarheid = slecht integreerbaar. Hieruit kunnen we dan afleiden dat een verlies van 10% efficiëntie gepaard gaat met een nutsverlies van 0,96.

Verder zien we in figuur 23 dat al onze attributen op een niveau van 95% significant zijn, behalve "Levensduur 15 jaar" en "Moeilijk te integreren". "Moeilijk te integreren" is wel significant op een niveau van 90%. Omdat we standaard werken op het niveau van 95%, is het aangeraden om de resultaten van "Levensduur 15 jaar" en "Moeilijk te integreren" buiten beschouwing te laten.

Vervolgens gaan we een 'ranking' van onze attributen opstellen. Deze ranking geeft een overzicht van het belang van elk attribuut. Op basis van deze ranking kunnen we afleiden welke attributen het belangrijkste zijn voor consumentenelektronica op zonne-energie. We gaan als volgt te werk: (1) we berekenen de 'utility range' per attribuut, (2) we berekenen de som van alle utility ranges en (3) we delen de utility range per attribuut door de som van de utility ranges (Lizin et al., 2012). Bovenstaande methode levert ons volgende ranking op:

1. Efficiëntie (32,10%)
2. Levensduur (27,51%)
3. Integreerbaarheid (16,85%)
4. Esthetiek (15,92%)
5. Prijs (7,62%)

Om bovenstaande ranking op te stellen, hebben wij ook voor prijs dummies gebruikt. In bijlage 3 vindt u de resultaten waarop wij ons gebaseerd hebben voor bovenstaande ranking.

De reden waarom wij in figuur 23 geen dummies gebruikt hebben voor prijs, is omdat wij slechts één prijscoëfficiënt kunnen gebruiken om de WTP te schatten. De WTP wordt als volgt berekend: De coëfficiënt van een bepaald attribuut gedeeld door de prijscoëfficiënt maal -1 (=  $c/p^*-1$ ). Omwille van de WTP is het dus noodzakelijk om één algemene prijscoëfficiënt te schatten. In figuur 24 vinden we de WTP voor onze attributen.

Attribute	WTP	95% Conf. Interval	
Efficiency 15%	-2,0549295	-3,0403102	-1,0695488
Efficiency 10%	-6,4878112	-8,6204872	-4,3551353
Efficiency 5%	-11,197263	-14,67043	-7,7240953
Durability 15 Years	-0,4389873	-1,2071481	0,3291736
Durability 10 Years	-2,6545827	-3,7330794	-1,576086
Durability 5 Years	-8,5449338	-11,309394	-5,7804735
Ugly Esthetics	2,8991365	1,4343005	4,3639725
Nice Esthetics	6,5911684	4,1340468	9,0482901
Very Nice Esthetics	6,6139883	4,1701602	9,0578164
Difficult to Integrate	0,7999758	-0,0728504	1,672802
Integrable	5,166591	3,3991034	6,9340786
Very Integrable	5,686105	3,6876304	7,6845796

Figuur 24: WTP op basis van het MNL-model

De resultaten van de WTP komen goed overeen met de resultaten van het MNL-model: Hoe groter het effect op nut (figuur 23), hoe groter de WTP (figuur 24). Zo zien we bijvoorbeeld in figuur 23 dat "Efficiëntie 5%" het grootste effect heeft op nut. In figuur 24 zien we dan dat "Efficiëntie 5%" ook de hoogste WTP heeft.

### 3.2. Testen van het IIA-axioma

Doorheen dit onderzoek zijn we er vanuit gegaan dat het IIA-axioma en bijgevolg, de IID-assumptie, niet geschonden zijn. Dit was noodzakelijk om het MNL-model te kunnen gebruiken. Wij hebben ons best gedaan om maatregelen te nemen zodat deze assumpties niet overschreden werden (bv.: Persoonlijk enquêtes afnemen om zeker te zijn dat alle choice sets onafhankelijk van elkaar ingevuld werden). In deze sectie gaan we testen of het IIA-axioma al dan niet geschonden is. Wij hebben deze test in stata uitgevoerd. Hieronder het resultaat:

Chi2(13) = 80,46

Prob > Chi2 = 0,0000

De kans dat we een waarde krijgen die groter is dan de huidige waarde is bijzonder klein (0,0000). Zelfs kleiner dan 0,05. Wanneer  $P < 0,05$  verwerpen we de nulhypothese. In ons geval betekent dat, dat het IIA-axioma geschonden is. We komen tot dezelfde conclusie wanneer we onze Chi2(13)-waarde vergelijken met de Chi2(13)-kritieke waarde: 22,362. Opdat het IIA-axioma op het niveau van 95% niet geschonden zou zijn, moest onze Chi2(13)-waarde kleiner zijn dan 22,362. Uit de resultaten van deze test blijkt duidelijk dat dit niet het geval is.

Deze test wijst dus uit dat we het MNL-model eigenlijk niet mochten gebruiken. Daarom gaan wij nu nog een ander model toepassen: het Mixed Logit model. In tegenstelling tot het MNL-model, is dit model wel geschikt voor panel data (Train, 2002). Het Mixed Logit model vermijdt drie beperkingen van het MNL-model, namelijk: (1) het staat willekeurige smaakvariëtes (= heterogeniteit) toe, (2) het staat onbeperkte substitutiepatronen toe en (3) het staat correlatie tussen de niet waargenomen factoren van nut toe. Het unieke aan het Mixed Logit model is dat de coëfficiënten van de attributen kunnen variëren over de respondenten heen. Dit is bij het MNL-model niet zo. Verder is het met het Mixed Logit model zelfs mogelijk om de coëfficiënten gecorreleerd te laten zijn met elkaar. Nog een groot voordeel van het Mixed Logit model, is dat het toelaat om een deel van de variatie en van de correlaties in de niet waargenomen factoren van nut mee in rekening te brengen (Train, 2002). Meer zelfs, in de literatuur spreekt men pas van een Mixed Logit model wanneer het model in kwestie een deel van de variatie en correlatie in de niet waargenomen factoren van nut mee in rekening brengt. Verder rust het Mixed Logit model niet op het IIA-axioma en bijgevolg ook niet op de IID-assumptie (Train, 2002). De reden waarom wij in dit onderzoek kiezen voor het Mixed Logit model, is omdat het alle problemen van het MNL-model oplost.

### 3.3. Resultaten Mixed Logit

Iteration 0: log likelihood = -4064,4249 (not concave)						
Iteration 1: log likelihood = -3959,9238 (not concave)						
Iteration 2: log likelihood = -3957,0368 (not concave)						
Iteration 3: log likelihood = -3940,6062						
Iteration 4: log likelihood = -3877,448						
Iteration 5: log likelihood = -3863,3931						
Iteration 6: log likelihood = -3858,6929						
Iteration 7: log likelihood = -3854,6484						
Iteration 8: log likelihood = -3854,5786						
Iteration 9: log likelihood = -3854,5786						
Mixed logit model				Number of obs = 14432		
				LR chi2(13) = 474,27		
Log likelihood = -3854,5786				Prob > chi2 = 0,0000		
Choice	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>Mean</b>						
Price	-0,1819312	0,0322198	-5,65	0,000	-0,2450808	-0,1187817
Efficiency 15%	-0,3828663	0,0650056	-5,89	0,000	-0,5102749	-0,2554578
Efficiency 10%	-1,335654	0,0876083	-15,25	0,000	-1,507363	-1,163945
Efficiency 5%	-2,514544	0,1289455	-19,50	0,000	-2,767273	-2,261816
Durability 15 Years	-0,1742535	0,0714541	-2,44	0,015	-0,314301	-0,0342061
Durability 10 Years	-0,5736357	0,075416	-7,61	0,000	-0,7214484	-0,425823
Durability 5 Years	-1,863778	0,113622	-16,40	0,000	-2,086473	-1,641082
Ugly Esthetics	0,5278516	0,0860869	6,13	0,000	0,3591244	0,6965789
Nice Esthetics	1,221097	0,0906431	13,47	0,000	1,04344	1,398754
Very Nice Esthetics	1,260878	0,0833332	15,13	0,000	1,097548	1,424208
Difficult to Integrate	0,1836787	0,0820146	2,24	0,025	0,022933	0,3444243
Integrable	1,099494	0,0761179	14,44	0,000	0,950306	1,248683
Very Integrable	1,153641	0,0810791	14,23	0,000	0,9947294	1,312553
<b>SD</b>						
Price	0,4744201	0,0340421	13,94	0,000	0,4076988	0,5411414
Efficiency 15%	0,4052649	0,12775	3,17	0,002	0,1548794	0,6556503
Efficiency 10%	0,704895	0,123229	5,72	0,000	0,4633707	0,9464194
Efficiency 5%	1,465864	0,1304112	11,24	0,000	1,210262	1,721465
Durability 15 Years	-0,3914633	0,1187688	-3,30	0,001	-0,6242459	-0,1586807
Durability 10 Years	0,4143655	0,1536892	2,70	0,007	0,1131403	0,7155908
Durability 5 Years	1,241243	0,1367007	9,08	0,000	0,9733141	1,509171
Ugly Esthetics	-0,0209164	0,1697066	-0,12	0,902	-0,3535352	0,3117023
Nice Esthetics	0,7570961	0,0947995	7,99	0,000	0,5712925	0,9428997
Very Nice Esthetics	0,4772933	0,111724	4,27	0,000	0,2583182	0,6962684
Difficult to Integrate	-0,2066037	0,1535911	-1,35	0,179	-0,5076367	0,0944294
Integrable	0,3013492	0,1608679	1,87	0,061	-0,0139462	0,6166446
Very Integrable	0,6984229	0,1157825	6,03	0,000	0,4714935	0,9253524
The sign of the estimated standard deviations is irrelevant: interpret them as being positive						

Figuur 25: Resultaten Mixed Logit model

De interpretatie van de resultaten in figuur 25 dient anders te gebeuren dan de resultaten in figuur 23. Het eerste wat opvalt aan figuur 25 is dat de figuur uit twee delen bestaat. Het eerste deel draagt de titel "Mean" en het tweede deel draagt de titel "SD" of '*standard deviation*'. We dienen beide delen in beschouwing te nemen voor de interpretatie. Wanneer we bijvoorbeeld de coëfficiënt van "Nice Esthetics" willen interpreteren, doen we dit als volgt: Eerst kijken we in deel 1 van de figuur of de coëfficiënt van "Nice Esthetics" significant is. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn. Vervolgens kijken we of de standaarddeviatie van "Nice Esthetics" ook significant is. Dit is ook het geval. Wanneer de standaarddeviaties significant blijken te zijn, betekent dit dat de coëfficiënten inderdaad variëren in de populatie (voor meer uitleg: zie sectie 3.2.) (Train, 2002). Dit is nog maar eens bewijs dat we er goed aan gedaan hebben om onze gegevens te analyseren aan de hand van het Mixed Logit model. Vervolgens kunnen we aan de hand van de "Mean" en de "SD" gegevens bepalen binnen welke range de coëfficiënt van "Nice Esthetics" zal variëren. Dat levert ons volgend resultaat op: De coëfficiënt van "Nice Esthetics" varieert binnen een range van 0,4640009 (= 1,221097 - 0,7570961) en 1,9781931 (= 1,221097 + 0,7570961). In tegenstelling tot het MNL-model nemen de coëfficiënten hier géén vaste waarde aan. Verder gebeurt de interpretatie van de gegevens analoog als in het MNL-model.

In tegenstelling tot het MNL-model zien we dat al onze attributen nu wel significant zijn op een niveau van 95%. Ondanks het feit dat niet alle standaarddeviaties van onze attributen op dit niveau significant zijn, kunnen we toch stellen dat over het algemeen de coëfficiënten variëren in de populatie.

Op basis van het "Mean" gedeelte in figuur 25 hebben wij, analoog aan het MNL-model, een ranking van de attributen opgesteld. Net zoals bij het MNL-model verwijzen wij naar de bijlagen voor het cijfermateriaal. De ranking die wij uitgekomen zijn voor het Mixed Logit model is als volgt:

1. Efficiëntie (34,67%)
2. Levensduur (28,00%)
3. Integreerbaarheid (16,02%)
4. Esthetiek (14,11%)
5. Prijs (7,20%)

Ten slotte hebben we ook voor het Mixed Logit model de WTP berekend. De interpretatie en redenering achter deze resultaten is geheel analoog aan het MNL-model.

Concluderend kunnen we stellen dat het Mixed Logit model meer informatie verschaft dan het MNL-model, omdat het variaties in de coëfficiënten toelaat. Verder zijn de standaarddeviaties grotendeels significant. Dit impliceert dat het Mixed Logit model een betere representatie van de werkelijkheid geeft dan het MNL-model. We kunnen dit ook zien in onze resultaten: Bij het MNL-model is de log-likelihood -4091,7112. Bij het Mixed Logit model is de log-likelihood -3854,5786. Dit betekent dat de '*fit*' van het Mixed Logit model beter is dan de fit van het MNL-model. Ten slotte heeft het Mixed Logit model geen problemen met panel data, iets wat wel het geval is bij het MNL-model (Train, 2002).



Attribute	WTP	95% Conf. Interval	
Efficiency 15%	-2,1044562	-3,1210193	-1,087893
Efficiency 10%	-7,3415321	-10,048059	-4,6350055
Efficiency 5%	-13,821398	-18,738305	-8,9044923
Durability 15 Years	-0,9577989	-1,7872831	-0,1283146
Durability 10 Years	-3,1530356	-4,3784365	-1,9276347
Durability 5 Years	-10,244406	-13,909364	-6,579448
Ugly Esthetics	2,9013799	1,3450936	4,4576662
Nice Esthetics	6,7118591	4,0370103	9,3867079
Very Nice Esthetics	6,9305208	4,187261	9,6737805
Difficult to Integrate	1,0096049	0,0465983	1,9726116
Integrable	6,0434616	3,8038799	8,2830432
Very Integrable	6,3410846	3,9252463	8,7569229

Figuur 26: WTP op basis van het Mixed Logit model

### 3.4. Resultaten Attribute Non-Attendance

De voorbije jaren is in de literatuur het besef gegroeid dat respondenten vaak gebruikmaken van heuristieken om hun keuze te vergemakkelijken. Een populaire heuristiek, is dat de respondenten ervoor kiezen om één of meerdere attributen buiten beschouwing te laten. We spreken hier over 'attribute non-attendance' (ANA) (Hole, 2011). Naarmate het besef van het bestaan van dergelijke heuristieken toenam, nam ook het bewijs toe dat dergelijke heuristieken kunnen leiden tot fouten in de schattingen. Een manier om ANA in rekening te brengen, is door de respondenten rechtstreeks te vragen of ze één of meerdere attributen genegeerd hebben. In dat geval spreken we van 'stated ANA'. Een andere manier is om een model te ontwikkelen dat toelaat om te testen wat de kans op ANA is. Nu spreken we van 'inferred ANA' (Hole, Kolstad & Gyrd-Hansen, 2013). Zoals in bijlage 1 te zien is, hebben wij gekozen om de respondenten te vragen welke attributen zij in beschouwing hebben genomen. Bijgevolg testen wij hier op stated ANA. Om ANA in rekening te brengen, hebben wij de niet-beschouwde attributen gelijk gesteld aan nul (bv.: Respondent X neemt "Esthetiek" niet in beschouwing  $\rightarrow \beta_{X,Esthetiek} = 0$ ). In figuren 27 en 29 vinden we de resultaten van het MNL-model met ANA. In figuren 28 en 30 vinden we de resultaten van het Mixed Logit model met ANA.

Wanneer we deze resultaten vergelijken met de resultaten van het MNL-model en het Mixed Logit model zonder ANA, valt ons meteen een aantal zaken op. In de eerste plaats zien we dat het MNL-model met ANA een betere fit heeft dan het MNL-model zonder ANA. We komen tot eenzelfde conclusie door het Mixed Logit model zonder en met ANA met elkaar te vergelijken. Dit bewijst dat ANA zeker aanwezig is in dit onderzoek en dat we er goed aan gedaan hebben om dit mee in rekening te brengen. Ten tweede zien we dat de coëfficiënten verschillen. Ten derde merken we nog op dat de WTP met ANA kleiner is dan de WTP zonder ANA. Deze bevindingen komen overeen met eerdere bevindingen in de literatuur. Zo kwamen onder andere Hole et al. (2013) en Kehlbacher, Balcombe en Bennett (2013) tot de conclusie dat de coëfficiënten met en zonder ANA verschillen. Verder constateerden zij ook dat de WTP overschat dreigt te worden wanneer men

geen rekening houdt met ANA. Dit blijkt ook uit onze resultaten. Kehlbacher et al. (2013) verklaren de fouten in de WTP-schattingen als volgt: Wanneer een respondent een attribuut negeert, voor een andere reden dan dat dit attribuut géén nut voor hem heeft, dan is zijn gedrag niet consistent met de onderliggende 'random utility theory' (RUT). Wanneer zijn gedrag inconsistent is met de RUT, zullen er fouten optreden in de WTP-schattingen.

Iteration 0: log pseudolikelihood = -3952,3444						
Iteration 1: log pseudolikelihood = -3855,9771						
Iteration 2: log pseudolikelihood = -3854,94						
Iteration 3: log pseudolikelihood = -3854,9397						
Conditional (fixed-effects) logistic regression					Number of obs = 14432	
					Wald chi2(13) = 537,45	
					Prob > chi2 = 0,0000	
Log pseudolikelihood = -3854,9397					Pseudo R2 = 0,2293	
(Std. Err. adjusted for 451 clusters in PersID)						
Choice	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Price	-0,2906923	0,0328761	-8,84	0,000	-0,3551283	-0,2262563
Efficiency 15%	-0,1876955	0,0628723	-2,99	0,003	-0,3109229	-0,0644681
Efficiency 10%	-0,9897279	0,0812857	-12,18	0,000	-1,149045	-0,8304109
Efficiency 5%	-2,037136	0,1228477	-16,58	0,000	-2,277913	-1,796358
Durability 15 Years	0,0336702	0,0734866	0,46	0,647	-0,1103608	-0,3016371
Durability 10 Years	-0,4748948	0,0883984	-5,37	0,000	-0,6481526	-0,3016371
Durability 5 Years	-1,558304	0,1218218	-12,79	0,000	-1,797071	-1,319538
Ugly Esthetics	0,5184277	0,1112516	4,66	0,000	0,3003785	0,7364768
Nice Esthetics	1,533624	0,1132244	13,54	0,000	1,311708	1,75554
Very Nice Esthetics	1,489541	0,1155242	12,89	0,000	1,263118	1,715965
Difficult to Integrate	0,1177939	0,1037789	1,14	0,256	-0,085609	0,3211967
Integrable	1,194559	0,1073286	11,13	0,000	0,9841989	1,404919
Very Integrable	1,214064	0,1090554	11,13	0,000	1,000319	1,427809

Figuur 27: Resultaten MNL-model met ANA

Iteration 0: log pseudolikelihood = -3835,7598 (not concave)						
Iteration 1: log pseudolikelihood = -3750,1744 (not concave)						
Iteration 2: log pseudolikelihood = -3727,8852 (not concave)						
Iteration 3: log pseudolikelihood = -3720,978						
Iteration 4: log likelihood = -3713,7932 (not concave)						
Iteration 5: log likelihood = -3695,0625						
Iteration 6: log likelihood = -3669,0775						
Iteration 7: log likelihood = -3667,9222						
Iteration 8: log likelihood = -3667,9114						
Iteration 9: log likelihood = -3667,9114						
Mixed logit model				Number of obs = 14432		
				Wald chi2(13) = 374,06		
Log likelihood = -3667,9114				Prob > chi2 = 0,0000		
Choice	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>Mean</b>						
Price	-0,2870426	0,0400686	-7,16	0,000	-0,3655756	-0,2085095
Efficiency 15%	-0,2696777	0,0729757	-3,70	0,000	-0,4127075	-0,1266479
Efficiency 10%	-1,352015	0,0966129	-13,99	0,000	-1,541373	-1,162657
Efficiency 5%	-2,902498	0,1518056	-19,12	0,000	-3,200032	-2,604965
Durability 15 Years	-0,0063054	0,0815178	-0,08	0,938	-0,1660773	0,1534665
Durability 10 Years	-0,6414446	0,0899892	-7,13	0,000	-0,8178203	-0,465069
Durability 5 Years	-2,194567	0,1468289	-14,95	0,000	-2,482347	-1,906788
Ugly Esthetics	0,7254605	0,1199152	6,05	0,000	0,4904311	0,96049
Nice Esthetics	1,954245	0,1127964	17,33	0,000	1,733168	2,175322
Very Nice Esthetics	1,939374	0,1146758	16,91	0,000	1,714614	2,164135
Difficult to Integrate	0,1752996	0,1182117	1,48	0,138	-0,0563911	0,4069904
Integrable	1,54198	0,1048425	14,71	0,000	1,336492	1,747467
Very Integrable	1,607354	0,11308	14,21	0,000	1,385721	1,828986
<b>SD</b>						
Price	0,5447083	0,0445726	12,22	0,000	0,4573477	0,632069
Efficiency 15%	0,4659932	0,1407791	3,31	0,001	0,1900712	0,7419151
Efficiency 10%	0,552087	0,1955529	2,82	0,005	0,1688104	0,9353636
Efficiency 5%	1,295863	0,2081997	6,22	0,000	0,8877988	1,703926
Durability 15 Years	-0,6709353	0,1163339	-5,77	0,000	-0,8989456	-0,4429249
Durability 10 Years	0,6985459	0,1562122	4,47	0,000	0,3923757	1,004716
Durability 5 Years	1,430588	0,1639943	8,72	0,000	1,109166	1,752011
Ugly Esthetics	0,3821589	0,2004904	1,91	0,057	-0,0107951	0,7751129
Nice Esthetics	0,5528492	0,1311269	4,22	0,000	0,2958452	0,8098533
Very Nice Esthetics	0,4963042	0,2516597	1,97	0,049	0,0030602	0,9895481
Difficult to Integrate	-0,365275	0,2713499	-1,35	0,178	-0,897111	0,166561
Integrable	-0,5409079	0,1523942	-3,55	0,000	-0,8395952	-0,2422207
Very Integrable	0,9134179	0,1500401	6,09	0,000	0,6193447	1,207491
The sign of the estimated standard deviations is irrelevant: interpret them as being positive						

Figuur 28: Resultaten Mixed Logit model met ANA

Attribute	WTP	95% Conf. Interval	
Efficiency 15%	-0,6456845	-1,0958193	-0,19554965
Efficiency 10%	-3,4047272	-4,2492228	-2,5602315
Efficiency 5%	-7,0078761	-8,4546527	-5,5610995
Durability 15 Years	0,11582766	-0,3849946	0,61664988
Durability 10 Years	-1,6336685	-2,2233234	-1,0440136
Durability 5 Years	-5,3606663	-6,6061716	-4,1151611
Ugly Esthetics	1,7834242	0,87693968	2,6899087
Nice Esthetics	5,2757649	3,8884781	6,6630516
Very Nice Esthetics	5,1241174	3,7609104	6,4873244
Difficult to Integrate	0,40521837	-0,2891428	1,0995795
Integrable	4,1093591	3,0900292	5,128689
Very Integrable	4,1764575	3,1024452	5,2504698

Figuur 29: WTP op basis van het MNL-model *met* ANA

Attribute	WTP	95% Conf. Interval	
Efficiency 15%	-0,93950427	-1,494477	-0,38453154
Efficiency 10%	-4,7101548	-6,0938737	-3,3264359
Efficiency 5%	-10,111734	-13,043445	-7,1800242
Durability 15 Years	-0,02196683	-0,5784705	0,53453684
Durability 10 Years	-2,2346673	-3,0466306	-1,422704
Durability 5 Years	-7,645442	-9,9110623	-5,3798217
Ugly Esthetics	2,5273623	1,368922	3,6858025
Nice Esthetics	6,8082052	4,7183202	8,8980902
Very Nice Esthetics	6,7563997	4,6413407	8,8714587
Difficult to Integrate	0,61070951	-0,21948169	1,4409007
Integrable	5,3719553	3,7433003	7,0006103
Very Integrable	5,5997047	3,8313485	7,3680608

Figuur 30: WTP op basis van het Mixed Logit model *met* ANA



## 4. Conclusies en discussie

De eerste conclusie die we kunnen trekken, is dat efficiëntie nog steeds het belangrijkste aandachtspunt moet blijven. Een verbetering in efficiëntie zal immers de grootste verbetering in nut met zich meebrengen. Daarom moet de R&D zich in de eerste plaats blijven focussen op het verhogen van de efficiëntie. Merk wel op dat het niet enkel belangrijk is om de efficiëntie in het labo te verhogen, maar ook om de efficiëntie in '*real world*' toepassingen te verhogen. Dit betekent dat men ook voldoende rekening moet houden met het probleem van upscaling (Jørgensen et al., 2013).

Ten tweede stellen we vast dat een verhoging van de levensduur een groot effect zal hebben op het nut. Bijgevolg is het goed als de R&D ook aan het verhogen van de levensduur voldoende aandacht besteedt. Wel hebben wij hier een bedenking bij. Consumer electronics worden doorgaans maar enkele jaren gebruikt. Bijvoorbeeld: Na drie of vier jaar een nieuwe GSM kopen. Daarom lijkt de levensduur ons hier minder relevant. Echter, een verhoging van de levensduur zal in andere toepassingen wel een groot voordeel kunnen opleveren.

De derde conclusie die we trekken, is dat zowel een mooie esthetiek als een goede integreerbaarheid een meerwaarde zijn voor zonnecellen in consumer electronics. Beide attributen zijn niet van dergelijk belang dat ze de focus van de R&D verdienen. Echter, zij zijn wel de moeite waard om in te investeren, aangezien zij toch een significant effect hebben op het nut. Daarbij komt dat zowel esthetiek als integreerbaarheid van de zonnecellen zeer belangrijke verkooppunten zijn van consumer electronics. Niemand koopt een GSM, horloge,... wanneer hij deze lelijk vindt. Daarom raden wij toch aan om voldoende aandacht te besteden aan deze attributen.

Ten vierde besluiten we dat prijs het minst belangrijke attribuut is. Dit verbaast ons niet echt aangezien veel mensen bijvoorbeeld bereid zijn om 400 euro te betalen voor een GSM. Hieruit leiden wij af dat consumer electronics als luxeartikelen beschouwd mogen worden. Bij dergelijke producten wordt een hoge prijs als normaal beschouwd. We concluderen dat Vlamingen bereid zijn om een hoge prijs te betalen voor kwalitatief hoogstaande zonnecellen (= zonnecellen met een hoge efficiëntie, een lange levensduur, een mooie esthetiek en een goede integreerbaarheid).

Ten slotte duiden we een aantal minpunten van ons onderzoek aan en geven we enkele suggesties voor verder onderzoek. Een eerste minpuntje is onze steekproef. In onze steekproef zijn de Limburgers namelijk oververtegenwoordigd. Bijgevolg geven onze resultaten meer een beeld van de smaken van de Limburger dan van de smaken van de Vlaming. Voor verder onderzoek is het aangewezen om een stratified random sample te nemen. Op deze manier is het gemakkelijker om een ideale verdeling van respondenten over de provincies heen te realiseren. Dit zal dan leiden tot een betrouwbaarder beeld van de smaken van de Vlaming. Een tweede suggestie voor verder onderzoek is om een ander referentiealternatief te gebruiken. Een ander referentiealternatief zou namelijk kunnen zorgen voor andere resultaten. Het referentiealternatief in dit onderzoek is

gebaseerd op een polykristallijne zonnecel, geprijsd anno 2010. Ten derde denken we aan D-efficiency. Zoals uit het werk van Carlsson en Martinsson (2002) reeds bleek, is een onderzoeksontwerp op basis van D-efficiency *met* voorafgaande informatie ( $D_P$ -optimal) het meest efficiënt. Echter, in dit onderzoek is het ontwerp gebaseerd op D-efficiency *zonder* voorafgaande informatie ( $D_Z$ -optimal). Daarom raden wij aan om in toekomstig onderzoek wel gebruik te maken van voorafgaande informatie. Dit zal de efficiëntie van het onderzoeksontwerp verder doen toenemen. Een resultaat hiervan is dat de fit van het model zal toenemen en dat de nauwkeurigheid van de schattingen zal verbeteren. Als laatste geven we nog een suggestie om attribute non-attendance (ANA) beter in rekening te brengen. Zoals in sectie 3.4. reeds werd aangegeven, hebben wij de niet-beschouwde attributen gelijk gesteld aan nul. Echter, volgens Kehlbacher et al. (2013) is het beter om de genegeerde attributen 'in te krimpen' (= '*shrinking*') in plaats van gelijk te stellen aan nul. Kehlbacher et al. (2013) concluderen immers dat shrinking de beste fit oplevert. Dit betekent dat de schattingen met behulp van shrinking accurater zijn dan de schattingen waarbij we parameters gelijkstellen aan nul. Concreet gaat men bij shrinking de genegeerde attributen laten krimpen tot een waarde dicht bij nul. Men doet dit omdat men er vanuit gaat dat de genegeerde attributen *wel* bijdragen aan nut, maar in mindere mate dan de beschouwde attributen.

## 5. Lijst van geraadpleegde werken

- Ahmad, J., Bazaka, K., Anderson, L.J., White, R.D., & Jacob, M.V. (2013). Materials and methods for encapsulation of OPV: A review [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 104 – 117.
- Asim, N., Sopian, K., Ahmadi, S., Saeedfar, K., Alghoul, M.A., Saadatian, O., & Zaidi, S.H. (2012). A review on the role of materials science in solar cells [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5834 – 5847.
- Brownstone, D. (2001). *Discrete Choice Modeling for Transportation*. Opgevraagd op 24 september, 2013, via <http://www.economics.uci.edu/~dbrownst/discret.pdf>.
- Carlsson, F., & Martinsson, P. (2002). Design techniques for stated preference methods in health economics [Elektronische versie]. *Health Economics*, 12, 281 – 294.
- Chesher, A., & Santos-Silva, J.M.C. (2002). Taste Variation in Discrete Choice Models [Elektronische versie]. *Review of Economic Studies*, 69, 147 – 168.
- Dawes, R., & Corrigan, B. (1974). Linear models in decision making [Elektronische versie]. *Psychological Bulletin*, 81, 95 – 106.
- Hensher, D.A., Rose, J.M., & Greene, W.H. (2005). *Applied Choice Analysis: A Primer*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hole, A.R. (2011). A discrete choice model with endogenous attribute attendance [Elektronische versie]. *Economics letters*, 110, 203 – 205.
- Hole, A.R., Kolstad, J.R., & Gyrd-Hansen, D. (2013). Inferred vs. Stated attribute non-attendance in choice experiments: A study of doctors' prescription behaviour [Elektronische versie]. *Journal of Economic Behaviour & Organisation*, 96, 21 – 31.
- Huber, J., & Zwerina, K. (1996). The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs [Elektronische versie]. *Journal of Marketing Research*, 33, 307 – 317.
- Jørgensen, M., Carlé, J.E., Søndergaard, R.R., Lauritzen, M., Dagnæs-Hansen, N.A., Byskov, S.L., Andersen, T.R., Larsen-Olsen, T.T., Böttiger, A.P.L., Andreasen, B., Fu, L., Zuo, L., Liu, Y., Bundgaard, E., Zhan, X., Cheng, H., & Krebs, F.C. (2013). The state of organic solar cells – A meta-analysis [Elektronische Versie]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, In Press.
- Kanninen, B.J. (2002). Optimal Design for Multinomial Choice Experiments [Elektronische versie]. *Journal of Marketing Research*, 39, 214 – 227.
- Kehlbacher, A., Balcombe, K., & Bennett, R. (2013). Stated Attribute Non-attendance in Successive Choice Experiments [Elektronische versie]. *Journal of Agricultural Economics*, 64, 693 – 706.
- Li, Z., & Hensher, D.A. (2012). Congestion charging and car use: A review of stated preference and opinion studies and marketing monitoring evidence [Elektronische versie]. *Transport Policy*, 20, 47 – 64.
- Lipsey, R.G., & Chrystal, K.A. (2007). *Economics*. New York: Oxford University Press.
- Lizin, S., Van Passel, S., De Schepper, E., & Vranken, L. (2012). The Future Of Organic Photovoltaic Solar Cells As A Direct Power Source For Consumer Electronics [Elektronische versie]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 103, 1-10.



- Louviere, J.J., Hensher, D.A., & Swait, J.D. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McFadden, D. (2001). Economic Choices [Elektronische Versie]. *The American Economic Review*, 91, 351 – 378.
- Mulligan, C.J., Wilson, M., Bryant, G., Vaughan, B., Zhou, X., Belcher, W.J., & Dastoor, P.C. (2014). A projection of commercial-scale organic photovoltaic module costs [Elektronische versie]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 120, 9 – 17.
- Pearce, D., & Özdemiroglu, E. (2002). *Economic Valuation With Stated Preference Techniques: Summary Guide*. London: Department for Transport, Local Government and the Regions.
- Rose, J.M., & Bliemer, M.C.J. (2013). Sample size requirements for stated choice experiments [Elektronische versie]. *Transportation*, 40, 1021 – 1041.
- Rose, J.M., Bliemer, M.C.J., Hensher, D.A., & Collins, A.T. (2007). Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives [Elektronische versie]. *Transportation Research Part B*, 42, 395 – 406.
- Su, Y.W., Lan, S.C., & Wei, K.H. (2012). Organic photovoltaics [Elektronische versie]. *Materials Today*, 15, 554 – 562.
- Train, K.E. (2002). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tyagi, V.V., Rahim, N.A.A., Rahim, N.A., & Selvaraj, J.A.L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 443 – 461.

## **6. Bijlagen**

**6.1. Bijlage 1: Exemplaar van de enquête gebruikt voor dit onderzoek**

**6.2. Bijlage 2: Grotere weergave van figuren 18 en 19**

**6.3. Bijlage 3: Resultaten MNL-model voor het opstellen van de ranking**

**6.4. Bijlage 4: Resultaten Mixed Logit model voor het opstellen van de ranking**

# De waarde van het gebruik van fotovoltaïsche zonnecellen als directe energiebron

---

Geachte heer/mevrouw,

De universiteit Hasselt voert onderzoek naar *de waarde die consumenten hechten aan het gebruik van fotovoltaïsche (PV) zonnecellen als directe energiebron*. Fotovoltaïsche zonnecellen (omcirkeld op de onderstaande figuur op het zonnepaneel) zijn de onderdelen van een fotovoltaïsch zonnepaneel (centraal op de onderstaande afbeelding) die de eigenlijke productie van stroom verzorgen. Waar fotovoltaïsche zonnepanelen onrechtstreeks elektronische toestellen van stroom voorzien via het elektriciteitsnet, is het evenzeer mogelijk fotovoltaïsche zonnecellen te integreren in een toestel en zodoende het toestel direct van stroom te voorzien (omcirkelde producten op de onderstaande afbeelding).

Het aantal mogelijke dergelijke toepassingen in *consumer electronics* of kleine elektronische toestellen bereikt tot op heden verre van zijn volle potentieel. De universiteit Hasselt vraagt zich bijgevolg af waarom dit potentieel niet bereikt wordt. Om dit te kunnen beantwoorden, zal worden gevraagd of u bepaalde alternatieve zonnecellen verkiest boven de huidige, meest gebruikte zonnecellen (kristallijn silicium).

Het invullen van deze vragenlijst neemt ongeveer 10 à 15 minuten in beslag. De antwoorden worden strikt vertrouwelijk behandeld en zullen anoniem verwerkt worden.

Alvast hartelijk bedankt!

Hoogachtend,

Sebastien Lizin

E-mail: [sebastien.lizin@uhasselt.be](mailto:sebastien.lizin@uhasselt.be)

# Deel 1

De volgende vragen peilen naar uw energie- en milieubewustzijn. Deze vragen laten toe de bekomen resultaten verder te analyseren.

1. Bezit of bezat u fotovoltaïsche (PV) zonnepanelen? [omcirkel **1** antwoord + **vul** indien nodig **aan**]
  - a. Ja, ik bezit een installatie sinds het jaar: [vul **4** cijfers in] . . . . →Ga naar vraag **2**
  - b. Ja, maar ik bezit deze niet meer sinds het jaar: [vul **4** cijfers in] . . . . →Ga naar vraag **2**
  - c. Neen, ik heb nooit fotovoltaïsche zonnepanelen in bezit gehad →Ga naar vraag **4**

2. Hoe tevreden bent u over de investering in PV zonnepanelen? [kleur **1** bolletje in + specificeer **waarom**]

Zeer ontevreden	Ontevreden	Neutraal	Tevreden	Zeer tevreden
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
..... .....				

3. Wat was het doorslaggevende argument bij de aankoop van PV zonnepanelen? [omcirkel **1** antwoord]
  - a. Besparing op elektriciteitskosten
  - b. Subsidies
  - c. Onafhankelijkheid van elektriciteitsleveranciers
  - d. Imagoredenen
  - e. Vermindering van de milieu-impact van elektriciteitsproductie
  - f. Eenvoudig te installeren/gebruiken en onderhoudsvriendelijke alternatieve energiebron
  - g. Kennissen zijn tevreden over hun installatie
  - h. Andere [specificeer]: .....

→ ga verder naar vraag 5

4. Waarom investeerde u (nog) niet in PV zonnepanelen? [omcirkel **1** antwoord]
  - a. Te hoge investeringskost of andere uitgavenprioriteiten
  - b. Ik ken weinig van de technologie, diens werking, of de administratieve vereisten
  - c. Onesthetisch karakter en beschadiging aan het uitzicht van mijn eigendom
  - d. Praktische belemmeringen (bvb.: schaduw, plaatsgebrek, onvoldoende draagvermogen, ...)
  - e. Sociale (on)aanvaardbaarheid (bvb.: burenruzie, invloed op reputatie, ...)
  - f. Kennissen zijn ontevreden over hun installatie
  - g. Vrees voor het niet halen van het beloofde rendement
  - h. Vrees voor aanpassingen aan het subsidiebeleid
  - i. Andere [specificeer]: .....

5. Op welke wijze(n) tracht u uw energiefactuur te drukken? [omcirkel **elk passend** antwoord]
- Verandering van elektriciteitsleverancier of contract
  - Aanbrengen thermische isolatie (bvb.: muren, daken, vloeren, ramen)
  - Gedragswijziging (bvb.: minder verbruiken, verbruiken tijdens daluren)
  - Aankoop van energie-efficiënte huishoudelijke toestellen (bvb.: spaarlampen, vaatwas, ...)
  - Aankoop van alternatieve energieproducerende toestellen (bvb.: zonnepanelen, warmtepomp, ...)
  - Andere [specificeer]: .....
  - Ik onderneem geen actie

6. Hoeveel maal per week gebruikt u de trein? [vul het **aantal** in]

--	--

7. In welke mate gaat u akkoord met de volgende stellingen? [kleur **1** bolletje in]

<u>Stelling</u>	<u>Helemaal niet akkoord</u>	<u>Niet akkoord</u>	<u>Neutraal</u>	<u>Akkoord</u>	<u>Helemaal akkoord</u>
Ik gebruik het openbaar vervoer zo vaak mogelijk.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ik tracht mijn hoeveelheid afval tot een minimum te beperken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ik ga zuinig om met leidingwater.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ik koop bewust biologisch geteelde groenten en fruit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Economische groei is belangrijker dan het milieu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Producten moeten op een milieuvriendelijke wijze geproduceerd worden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mijn houding is te omschrijven als milieubewust.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

# Deel 2

De volgende vragen peilen naar uw ervaring met elektronische toestellen. Deze vragen laten toe de bekomen antwoorden verder te analyseren.

8. Hoe vervelend vindt u het dat u uw elektronische toestellen moet opladen? [kleur **1** bolletje in + specificeer **waarom**]

Heel vervelend	vervelend	Neutraal	Weinig vervelend	Niet vervelend
○	○	○	○	○
.....				
.....				
.....				
.....				

9. Welke producten, met geïntegreerde PV zonnecellen, heeft u reeds in uw bezit (gehad)? [omcirkel **elk passend** antwoord]

- a. Zakrekenmachine
- b. Horloge
- c. Ventilator
- d. Radio
- e. Zaklamp(je)
- f. Batterijlader voor herlaadbare batterijen
- g. Speelgoed (bvb.: modelvliegtuigjes, autootjes, helikopters, robots, ...)
- h. Zonnetas, -zak,-rugzak
- i. Gsm
- j. Verlichte huisnummers, andere verlichting
- k. Andere [specificeer]: .....
- l. Geen

# Deel 3

In de hierop volgende vragen zullen aan u telkens vier zonnecellen worden voorgesteld. U wordt gevraagd telkens **één enkele keuze** te maken tussen deze vier opties en zodoende uw voorkeur aan te geven. Het is mogelijk dat geen van de drie alternatieve fotonvoltaïsche zonnecellen (Alternatief A, B of C) uw voorkeur wegdraagt en u bijgevolg het basisscenario, zijnde de huidige (kristallijn silicium) zonnecellen, verkiest. **Vergeet niet** dat de cellen zullen geïntegreerd worden in **consumer electronics**. Gelieve na het invullen van een vraag **niet naar een vorige vraag terug te keren**.

Hieronder kan u een **definitie van de verschillende kenmerken** die eigen zijn aan een zonnecel samen met **een voorbeeld** van dergelijke keuzemogelijkheden terugvinden. De vragen starten op p.6.

<u>Kenmerk</u>	<u>Verduidelijking</u>
<b>Prijs</b>	De prijs van volledig geïntegreerde PV zonnecellen kan worden uitgedrukt in euro per wattpiek (€/Wp). De Wp is een eenheid van vermogen gemeten onder standaard testomstandigheden. De prijs zal afwisselen tussen 0,5; 1,5; 2,5 en 3,5€/Wp in de hierop volgende vragen.
<b>Efficiëntie</b>	De efficiëntie van een PV zonnecel is gelijk aan het percentage van het invallende zonlicht dat omgezet wordt in elektriciteit onder standaard testomstandigheden. De efficiëntie zal variëren tussen 5, 10, 15 en 20% in de hierop volgende vragen.
<b>Levensduur</b>	De levensduur van een PV zonnecel wordt gedefinieerd als de periode waarin zij 80% van haar oorspronkelijke efficiëntie behoudt. De levensduur zal de waardes 5, 10, 15 en 25 jaar aannemen in de hierop volgende vragen.
<b>Esthetiek</b>	Esthetiek kan worden begrepen als de aantrekkelijkheid voor het oog van het totale product na integratie van PV zonnecellen. De esthetiek kan beoordeeld worden als heel lelijk, lelijk, mooi en heel mooi in de hierop volgende vragen.
<b>Integreerbaarheid</b>	Integreerbaarheid kan worden gedefinieerd als hoe makkelijk zonnecellen kunnen worden geïntegreerd in consumer electronics. Dit attribuut is gebaseerd op het gewicht, de flexibiliteit en de aanpasbaarheid van de kleur van de zonnecellen. De integreerbaarheid schommelt tussen de waardes slecht integreerbaar, moeilijk integreerbaar, integreerbaar en heel integreerbaar.

**Voorbeeldvraag:**

In deze vraag staan de **waardes** die de kenmerken aannemen **op volgorde gerangschikt** lezende van **links naar rechts**. Dit zal **niet noodzakelijkerwijze het geval zijn in de echte vragen** die starten op de volgende bladzijde. Tevens hebben wij **bewoording** voorzien voor de **kwantitatieve kenmerken** zodat de **vergelijking met het basisscenario**, dat referentiewaardes bevat, **makkelijker** wordt.

Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur **1** bolletje in]

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp	goedkoopst 0,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	minder efficiënt 15%	nog minder efficiënt 10%	minst efficiënt 5%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	minder lang 15 jaar	nog minder lang 10 jaar	minst lang 5 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	lelijk	mooi	heel mooi
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	moeilijk integreerbaar	integreerbaar	heel integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hieruit blijkt dat persoon X Alternatief A verkiest uit deze 4 keuzemogelijkheden.



10. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (1)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	goedkoopst 0,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	referentie 3,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	nog minder efficiënt 10%	referentie 20%	minder efficiënt 15%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	nog minder lang 10 jaar	minst lang 5 jaar	minder lang 15 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	mooi	lelijk	heel mooi
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	slecht integreerbaar	moeilijk integreerbaar	heel integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (2)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp	referentie 3,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	nog minder efficiënt 10%	referentie 20%	minder efficiënt 15%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	minst lang 5 jaar	nog minder lang 10 jaar	minder lang 15 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	heel mooi	lelijk	mooi
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	slecht integreerbaar	heel integreerbaar	moeilijk integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (3)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	referentie 3,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	minder efficiënt 15%	minst efficiënt 5%	nog minder efficiënt 10%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	minder lang 15 jaar	nog minder lang 10 jaar	referentie 25 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	heel lelijk	heel mooi	lelijk
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	heel integreerbaar	moeilijk integreerbaar	integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (4)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	goedkoopst 0,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	minder efficiënt 15%	minst efficiënt 5%	nog minder efficiënt 10%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	referentie 25 jaar	nog minder lang 10 jaar	minst lang 5 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	lelijk	mooi	heel lelijk
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	heel integreerbaar	slecht integreerbaar	integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (5)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	referentie 3,5 €/Wp	goedkoopst 0,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	minst efficiënt 5%	referentie 20%	minder efficiënt 15%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	nog minder lang 10 jaar	minst lang 5 jaar	referentie 25 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	lelijk	heel mooi	mooi
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	heel integreerbaar	integreerbaar	moeilijk integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

15. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (6)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	referentie 3,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	minst efficiënt 5%	nog minder efficiënt 10%	referentie 20%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	minst lang 5 jaar	nog minder lang 10 jaar	minder lang 15 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	lelijk	heel lelijk	heel mooi
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	integreerbaar	heel integreerbaar	moeilijk integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (7)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	goedkoopst 0,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	referentie 3,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	nog minder efficiënt 10%	referentie 20%	minder efficiënt 15%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	nog minder lang 10 jaar	minst lang 5 jaar	minder lang 15 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	mooi	lelijk	heel mooi
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	slecht integreerbaar	moeilijk integreerbaar	heel integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur 1 bolletje in] (8)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	goedkoopst 0,5 €/Wp	referentie 3,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	minst efficiënt 5%	nog minder efficiënt 10%	minder efficiënt 15%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	referentie 25 jaar	minder lang 15 jaar	nog minder lang 10 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	mooi	lelijk	heel mooi
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	moeilijk integreerbaar	integreerbaar	slecht integreerbaar
<b>KEUZE</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. Duid a.u.b. uw unieke voorkeur aan uit de volgende 4 zonnecellen. [kleur **1** bolletje in] (9)

Kenmerk	Basisscenario	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C
<b>Prijs</b>	referentie 3,5 €/Wp	nog goedkoper 1,5 €/Wp	goedkoper 2,5 €/Wp	goedkoopst 0,5 €/Wp
<b>Efficiëntie</b>	referentie 20%	minst efficiënt 5%	minder efficiënt 15%	nog minder efficiënt 10%
<b>Levensduur</b>	referentie 25 jaar	referentie 25 jaar	minst lang 5 jaar	minder lang 15 jaar
<b>Esthetiek</b>	heel lelijk	heel mooi	mooi	heel lelijk
<b>Integreerbaarheid</b>	slecht integreerbaar	integreerbaar	slecht integreerbaar	moeilijk integreerbaar
<b>KEUZE</b>	○	○	○	○

19. Vond u het eenvoudig om een keuze te maken tussen de 4 alternatieven? [omcirkel **1** antwoord]

- a. Ja, ik begreep onmiddellijk de bedoeling
- b. Ja, maar pas na het invullen van een aantal vragen
- c. Nee

20. Op welke manier maakte u een keuze tussen de 4 alternatieven? [omcirkel **1** antwoord + vul aan]

- a. Ik beschouwde voor elk van de mogelijkheden alle kenmerken samen en koos vervolgens het meest aantrekkelijke pakket.
- b. Ik beschouwde voor elk van de mogelijkheden 1 kenmerk, namelijk ..... en koos mijn voorkeur op basis van dit ene kenmerk.
- c. Ik beschouwde voor elke van de mogelijkheden 2 kenmerken, namelijk ..... en vervolgens ..... en koos mijn voorkeur op basis van deze 2 kenmerken
- d. Ik beschouwde voor elke van de mogelijkheden 3 kenmerken, namelijk ....., vervolgens ..... en ten slotte ..... en koos mijn voorkeur op basis van deze 3 kenmerken.
- e. Ik beschouwde voor elke van de mogelijkheden 4 kenmerken, namelijk ....., vervolgens ....., dan ..... en ten slotte ..... en koos mijn voorkeur op basis van deze 4 kenmerken.
- f. Een andere manier, namelijk .....

# Deel 4

De onderstaande vragen hebben betrekking op uw persoon. Deze vragen laten toe de bekomen resultaten verder te analyseren.

21. Wat is uw geslacht? [omcirkel **1** antwoord]

- a. Man
- b. Vrouw

22. Wat is uw geboortjaar? [vul de **4** cijfers in]

--	--	--	--

23. Wat is de postcode van de gemeente waarin u woont? [vul de **4** cijfers in]

--	--	--	--

24. Wat is uw hoogst behaalde opleiding? [omcirkel **1** antwoord]

- a. Lagere school
- b. Middelbaar onderwijs
- c. Hogeschool korte type, 3 jarige opleiding (graduaat, professionele bachelor, A1)
- d. Universitaire opleiding (hogeschool lange type, universiteit, licentiaat)
- e. Post-universitaire opleiding (ManaMa, doctoraat)

25. Wat is uw huidige hoofdzakelijke professionele status? [omcirkel **1** antwoord]

- a. Werknemer - Arbeider →Ga naar vraag **26**
- b. Werknemer - Bediende - Geen kader →Ga naar vraag **26**
- c. Werknemer - Bediende - Kader/Directie →Ga naar vraag **26**
- d. Zelfstandige/Bedrijfsleider/Vrij beroep →Ga naar vraag **26**
- e. Ambtenaar/Onderwijs →Ga naar vraag **27**
- f. Werkzoekende →Ga naar vraag **28**
- g. Huisman/Huisvrouw →Ga naar vraag **28**
- h. Gepensioneerde →Ga naar vraag **28**
- i. Student →Ga naar vraag **28**

26. In welke sector bent u werkzaam? [specificeer uw antwoord]

.....

27. Komt u door uw beroep in aanraking met hernieuwbare energietechnologie? [omcirkel **1** antwoord]

- a. Ja
- b. Nee

28. Bent u getrouwd of wettelijk samenwonend? [omcirkel **1** antwoord]

- a. Ja
- b. Nee

29. Uit hoeveel leden bestaat uw gezin, inclusief uzelf, gedurende het grootste aantal dagen in de maand? [vul het **aantal** in]

--	--

30. Wat is het maandelijks netto gezinsinkomen? [omcirkel **1** antwoord]

- a. 0-1000 euro
- b. 1001-2000 euro
- c. 2001-3000 euro
- d. 3001-4000 euro
- e. 4001-5000 euro
- f. 5001-6000 euro
- g. >6000 euro
- h. Ik wens dit niet mee te delen

# EINDE

**Nogmaals hartelijk bedankt voor uw medewerking!**

**Bijlage 2: Grotere weergave van figuren 18 en 19**

Advantage/Disadvantage	PV technology	Nuclear energy	Coal and fuels
Advantage	Low emission of CO2	Not expensive	High efficiency
	Free source - sun	High efficiency	Conventional electrical energy source
	Infinite source	No air pollution	Power plant can be built anywhere
	Environmental friendly	Reliable	Not expensive
Disadvantage	High start-up cost and investment	Very dangerous	High emission of CO2
	Low efficiency	Sources of uranium are depleting	Sources are depleting
	Large area required to install PV system	-	Price increases year by year
	Performance depends on weather and location	-	Source of greenhouse gas

Figuur 18: Vergelijking van PV technologie met nucleaire energie en met steenkool en fossiele brandstoffen [Bron: Tyagi et al. (2013)]

Advantage/Disadvantage	Solar Power	Tidal Power	Wind Power	Wave Power
Advantage	Low emission of CO2	No air pollution	Free source	No air pollution
	Free source - sun	Cheap maintenance	No air pollution	Free source of energy
	No moving parts required	Reliable	Economic	Low cost, low maintenance
	Environmental friendly	Use no fuel	May attract tourists	High efficiency
Disadvantage	High start-up cost and investment	Very expensive start-up cost	Weather dependent	Depends on the energy of waves
	Low efficiency	Low efficiency	Noise pollution	Noisy
	Large area required to install PV system	Can be installed only at certain places	May kill birds	Needs to be built at a place where waves can hit hard
	Land use	-	-	Needs to be able to withstand unpredictable weather
	Performance depends on weather and location	-	-	-

Figuur 19: Vergelijking van PV technologie met andere hernieuwbare energiebronnen [Bron: Tyagi et al. (2013)]



### Bijlage 3: Resultaten MNL-model voor het opstellen van de ranking

Iteration 0: log pseudolikelihood = -4141,1295						
Iteration 1: log pseudolikelihood = -4063,6539						
Iteration 2: log pseudolikelihood = -4062,1027						
Iteration 3: log pseudolikelihood = -4062,102						
Iteration 4: log pseudolikelihood = -4062,102						
Conditional (fixed-effects) logistic regression				Number of obs = 14432		
				Wald chi2(15) = 806,51		
				Prob > chi2 = 0,0000		
Log pseudolikelihood = -4062,102				Pseudo R2 = 0,1879		
(Std. Err. adjusted for 451 clusters in PersID)						
Choice	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Price 2,5	0,5852068	0,0647248	9,04	0,000	0,4583484	0,7120651
Price 1,5	0,4450491	0,0745796	5,97	0,000	0,2988758	0,5912224
Price 0,5	0,5130922	0,0757798	6,77	0,000	0,3645665	0,6616179
Efficiency 15%	-0,3387567	0,0520453	-6,51	0,000	-0,4407636	-0,2367499
Efficiency 10%	-0,9720123	0,0667331	-14,57	0,000	-1,102807	-0,8412179
Efficiency 5%	-1,777754	0,1013521	-17,54	0,000	-1,976401	-1,579108
Durability 15 Years	-0,1338298	0,0587593	-2,28	0,023	-0,2489959	-0,0186637
Durability 10 Years	-0,458626	0,0697126	-6,58	0,000	-0,5952603	-0,3219918
Durability 5 Years	-1,335085	0,0890556	-14,99	0,000	-1,509631	-1,160539
Ugly Esthetics	0,4547839	0,0737555	6,17	0,000	0,3102257	0,5993421
Nice Esthetics	0,9671173	0,0849426	11,39	0,000	0,800633	1,133602
Very Nice Esthetics	1,009116	0,0836472	12,06	0,000	0,8451702	1,173061
Difficult to Integrate	0,0826332	0,0657085	1,26	0,209	-0,0461531	0,2114194
Integrable	0,6954178	0,0674122	10,32	0,000	0,5632923	0,8275433
Very Integrable	0,722863	0,0736832	9,81	0,000	0,5784467	0,8672794

Een voorbeeld van utility range: de utility range van efficiëntie =  $-0,2367499 + 1,976401$ .

#### Bijlage 4: Resultaten Mixed Logit model voor het opstellen van de ranking

Iteration 0: log likelihood = -4052,8463 (not concave)						
Iteration 1: log likelihood = -4006,3809 (not concave)						
Iteration 2: log likelihood = -3982,1906 (not concave)						
Iteration 3: log likelihood = -3969,2833 (not concave)						
Iteration 4: log likelihood = -3954,8231						
Iteration 5: log likelihood = -3893,4873						
Iteration 6: log likelihood = -3884,1723						
Iteration 7: log likelihood = -3883,8332						
Iteration 8: log likelihood = -3883,8327						
Iteration 9: log likelihood = -3883,8327						
Mixed logit model					Number of obs = 14432	
					LR chi2(15) = 356,54	
Log likelihood = -3883,8327					Prob > chi2 = 0,0000	
Choice	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>Mean</b>						
Price 2,5	0,7579783	0,0822179	9,22	0,000	0,5968342	0,9191224
Price 1,5	0,5366808	0,0826097	6,50	0,000	0,3747688	0,6985928
Price 0,5	0,6430376	0,0836062	7,69	0,000	0,4791724	0,8069028
Efficiency 15%	-0,5136572	0,0704002	-7,30	0,000	-0,6516391	-0,3756754
Efficiency 10%	-1,38487	0,0841575	-16,46	0,000	-1,549816	-1,219924
Efficiency 5%	-2,730831	0,1361642	-20,06	0,000	-2,997708	-2,463955
Durability 15 Years	-0,2560746	0,0744485	-3,44	0,001	-0,401991	-0,1101582
Durability 10 Years	-0,7597572	0,0817593	-9,29	0,000	-0,9200026	-0,5995119
Durability 5 Years	-2,006377	0,1128301	-17,78	0,000	-2,22752	-1,785234
Ugly Esthetics	0,5807353	0,0898237	6,47	0,000	0,4046841	0,7567865
Nice Esthetics	1,172222	0,0922709	12,70	0,000	0,9913749	1,35307
Very Nice Esthetics	1,29412	0,0908335	14,25	0,000	1,11609	1,472151
Difficult to Integrate	0,0952254	0,0814903	1,17	0,243	-0,0644927	0,2549435
Integrable	0,9904395	0,0798876	12,40	0,000	0,8338626	1,147016
Very Integrable	0,8926497	0,0853201	10,46	0,000	0,7254253	1,059874
<b>SD</b>						
Price 2,5	0,5620789	0,1080876	5,20	0,000	0,3502311	0,7739267
Price 1,5	0,6473879	0,1104131	5,86	0,000	0,4309821	0,8637937
Price 0,5	0,63428	0,1121275	5,66	0,000	0,4145141	0,8540459
Efficiency 15%	0,6552623	0,0968345	6,77	0,000	0,4654701	0,8450544
Efficiency 10%	0,5772055	0,1273549	4,53	0,000	0,3275944	0,8268166
Efficiency 5%	1,4831	0,1348099	11,00	0,000	1,218877	1,747322
Durability 15 Years	0,5431603	0,1040251	5,22	0,000	0,3392749	0,7470457
Durability 10 Years	0,6114917	0,1135562	5,38	0,000	0,3889257	0,8340577
Durability 5 Years	1,063172	0,1269268	8,38	0,000	0,8144004	1,311944
Ugly Esthetics	0,188429	0,2078949	0,91	0,365	-0,2190374	0,5958955
Nice Esthetics	0,7721533	0,1050586	7,35	0,000	0,5662421	0,9780644
Very Nice Esthetics	-0,4921933	0,1080306	-4,56	0,000	-0,7039293	-0,2804572
Difficult to Integrate	-0,1099039	0,1361183	-0,81	0,419	-0,3766909	0,156883
Integrable	0,5143226	0,116336	4,42	0,000	0,2863083	0,7423369
Very Integrable	0,797078	0,1082856	7,36	0,000	0,5848422	1,009314
The sign of the estimated standard deviations is irrelevant: interpret them as being positive						

## Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Vereisten voor nieuwe toepassingen van consumentenelektronica op zonne-energie**

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen-beleidsmanagement**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Schoofs, Brecht**

Datum: **14/01/2014**