



IRIS Utrecht presenteert:

Gedeeltelijk gelijkstroomnet

Auteurs/makers:

Tom Baelemans, Maxim Boven, Thijmen van den Ouweelen, Twan Thio

Achtergrond/context van het rapport of product:

Vier studenten van de track Innovation Studies aan de Universiteit Utrecht onderzochten mogelijkheden voor de toepassing van gelijkstroom in de appartementen van woningcorporatie Bo-Ex in Kanaleneiland-Zuid. Van mei tot juli 2019 werkten ze samen aan deze concrete casus uit de praktijk.

Centrale onderzoeksvraag:

Wat is de beste optie voor het realiseren van een gelijkstroomnetwerk in een Bo-Ex appartement?

Opbrengst:

Het onderzoek leidde tot een rapportage dat in beknopte vorm gepresenteerd is. Deze rapportage omvat een analyse van de vraagstelling, een selectie van mogelijke oplossingen, een multicriteria-analyse voor deze mogelijke oplossingen en een conclusie en advies. Het advies dat de groep geeft aan Bo-Ex is om een convertor toe te passen in combinatie met een 120ah batterij.

Tags:

Innovation Studies
Gelijkstroomoplossing
Gelijkstroomnetwerk
Kanaleneiland-Zuid

Contact:

Alco Kieft - A.C.Kieft@uu.nl

Gedeeltelijk gelijkstroomnet

IN OPDRACHT VOOR WONINGCORPORATIE BO-EX

Opdrachtgever: Martijn Broekman

Uitgevoerd door: Tom Baelemans, Maxim Boven, Thijmen van den Ouweelen & Twan Thio

PROBLEEMSTELLING

Om de klimaatdoelen van de gemeente Utrecht voor 2030 te halen (Energieplan Utrecht, 2015) plaatst Bo-Ex zonnepanelen op hun appartementencomplexen. Woningcorporatie Bo-Ex is benieuwd naar de mogelijkheden omtrent implementatie van gelijkstroomnetwerken. Gelijkstroom is lastig ver te verplaatsen zonder energieverlies (Kennisplatform, 2019) In dit geval leveren deze panelen gelijkstroom bij de woning, waardoor de stroom direct en efficiënter gebruikt kan worden. **>bijlage 1**

In deze pilot is Bo-Ex van plan 8 appartementen te renoveren in Kanaleneiland-Zuid en daarom wordt er gezocht naar de beste optie voor het implementeren van deze gelijkstroomnetwerken. In deze analyse is er toegespitst op het leveren van een continue gelijkstroombron. Hiervoor wordt een Multi Criteria Analyse toegepast, omdat hierin zowel kwalitatieve als kwantitatieve data goed vergeleken kan worden om tot een duidelijk advies te komen.



ALTERNATIEVEN

De alternatieven kunnen niet te duur zijn doordat een vast subsidiebudget is gereserveerd. Daarnaast moet het draagvlak van toestemmende bewoners jegens de technologieën hoog genoeg zijn. Door middel van de zonnepanelen die op de daken komen is er in dit onderzoek dus gezocht naar alternatieven die hier op inspelen. Alle alternatieven hebben een converter om wisselspanning om te zetten naar gelijkspanning.

ALTERNATIEF 1



Alternatief 1 bevat enkel de converter die in het bestaande netwerk geplaatst wordt om de elektriciteit van het net efficiënter om te zetten naar gelijkstroom waar het nodig is.

ALTERNATIEF 2



Alternatief 2 heeft daarbij een 120ah lood batterij. De accu zal een groot deel van de opgewekte energie van de zonnepanelen opslaan voor later gebruik.

ALTERNATIEF 3

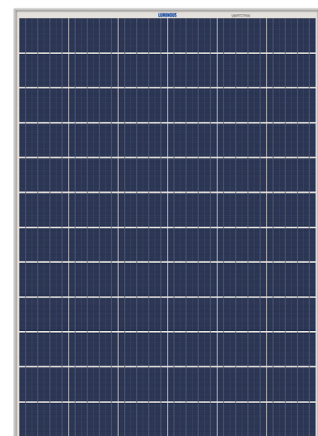


Alternatief 3 heeft een 260ah lood batterij. Deze accu zal hetzelfde doen als bij alternatief 2 maar heeft een grotere opslagcapaciteit, waardoor er geen stroom verloren zal gaan.



MULTI CRITERIA ANALYSE

De MCA is uitgevoerd met behulp van de volgende criteria die zijn verdeeld in financiële, technologische en sociaal-maatschappelijke context criteria. Deze zijn gekozen op basis van de competentie van de verschillende technologieën en op basis van financiële aspecten voor zowel Bo-Ex als de bewoner. De sociale context criteria gaan vooral over de markt rondom de technologieën en de houding van de bewoners hier tegen over. Door al deze criteria scores en wegingen toe te schrijven, is het mogelijk om een keuze te maken tussen de drie alternatieven. Op de volgende pagina zijn de criteria verder gedefinieerd.

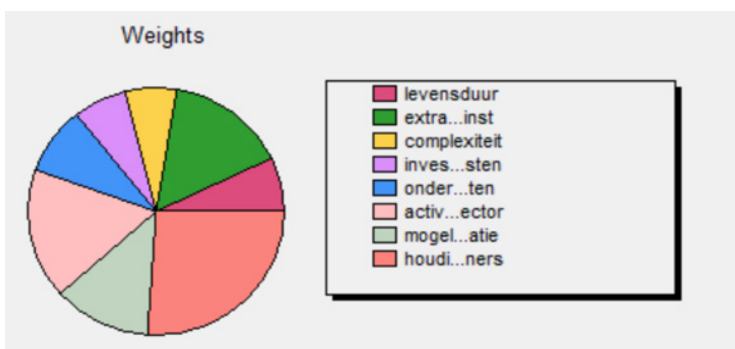


Criteria	Definitie	Eenheid
1. Levensduur	Verwachte levensduur van het nieuwe systeem	Jaren
2. Extra energiewinst	Energiebesparing door het opslaan van overtollige energie	kWh/jaar
3. Complexiteit	Complexiteit van het aan te leggen systeem	Ordinaal
4. Investeringskosten	Initiële kosten voor de aanschaf van het systeem	Euro
5. Onderhoudskosten	Verwachte onderhoudskosten voor het systeem	Euro/jaar
6. Activiteit R&D-sector	Mate van innovatie binnen de sector van het nieuwe systeem	Ordinaal
7. Mogelijkheid tot stabilisatie	Mate waarin het nieuwe systeem kan stabiliseren op de markt	Ordinaal
8. Houding van bewoners	De houding van de bewoners tegenover het nieuwe systeem	Ordinaal

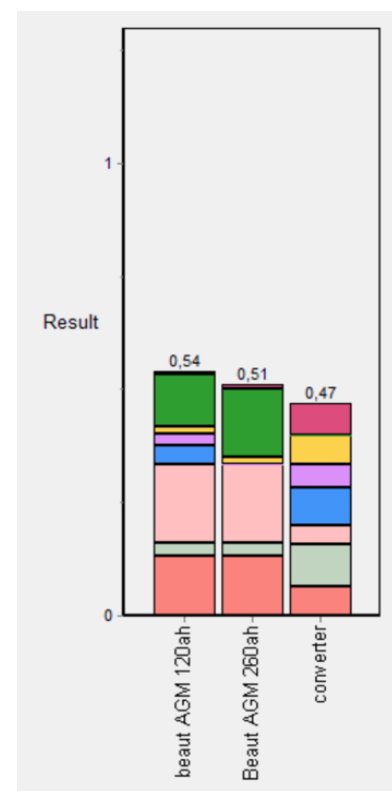
Tabel 1: criteria gebruikt in MCA. Voor extra uitleg zie bijlage 2 en 3.

RESULTATEN

Alternatief 2 komt als beste uit de MCA met een score van 0,54 gevolgd door alternatief 3 met een score van 0,51 en op de laatste plek komt alternatief 1 met een score van 0,47. In figuur 1 is te zien wat elk criterium voor invloed heeft op de eindscore. De onzekerheden van de wegen zijn door middel van een waarschijnlijkheidsanalyse geanalyseerd >**bijlage 4**. Hieruit komt uit dat in 88% van de gevallen alternatief 2 op de eerste plek eindigt wat de uitkomst vrij robuust maakt. Ook zijn er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met de onzekerste criteria om te kijken wat voor invloed deze hebben op de totaal score. >**bijlage 4**



Figuur 1: De wegingen van alle criteria.



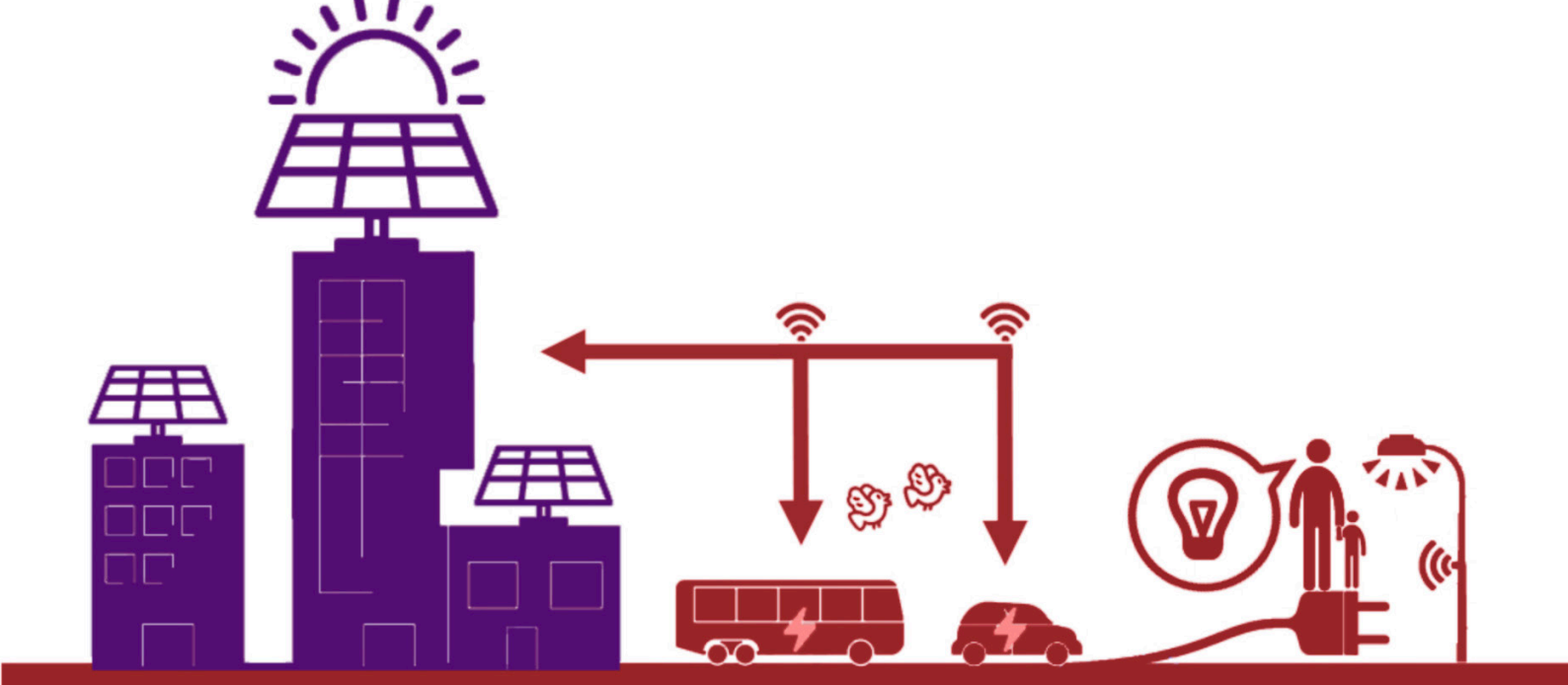
Figuur 2: De resultaten uit de MCA



Figuur 3: De renovaties die Bo-Ex aan het verrichten is.

REFLECTIE

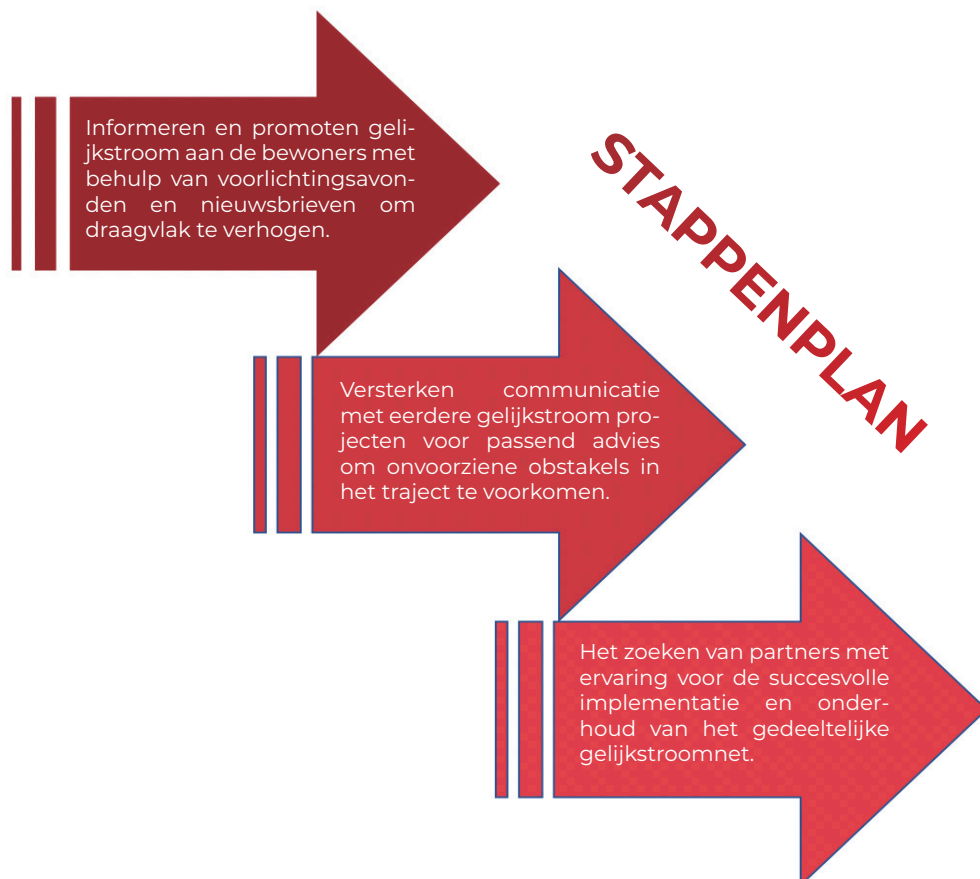
De selectie alternatieven in dit onderzoek is gelimiteerd en lijken op elkaar. Meerdere alternatieven kwamen boven, maar door de financiële en fysieke limitaties vielen deze weg. De wegingen van de criteria zijn bepaald op basis van de belangen van Bo-Ex, echter heeft de humane factor van het toekennen van wegingen invloed op de resultaten. Om de alternatieven met elkaar te vergelijken in woonsituaties waar andere belangen gelden wordt een vervolgonderzoek aangeraden. Andere woonsituaties geven ook de mogelijkheid om de verworpen alternatieven mee te nemen in de analyse. Er is in dit voornamelijk onderzoek vooral gekeken naar de theoretische achtergrond en minder naar de praktische implementatie. In een vervolgonderzoek zou er gekeken kunnen worden naar bedrijven en partners, die al ervaring hebben op dit gebied.



ADVIES

Het advies is om de 8 appartementen voor de pilot gelijkstroom uit te rusten met een converter en de Beaut AGM 120ah accu. Er zullen echter nog apparaten zijn die niet kunnen functioneren zonder wisselstroom. Dit hangt af van de beschikbaarheid van deze apparaten, wat uitgebreid wordt onderzocht door Six Hertz consulting. De aanbevolen lood-batterijen

hebben geen lange levensduur en zullen in capaciteit afnemen over de jaren. Uiteindelijk zal Bo-Ex deze moeten vervangen door nieuwe. Doordat de kosten voor deze batterijen relatief laag zijn is het vervangen hiervan goedkoop. Indien er een batterij op de markt verschijnt die rekening houdt met alle criteria van de MCA kan deze ook worden geïmplementeerd.





Utrecht University



Pilot Gelijkstroom

Opdrachtgever: Bo-Ex, Martijn Broekman

Begeleider: Jordi Maijenburg

Groep 2c

Tom Baelemans - 6039375

Maxim Boven - 6272215

Tijmen van den Ouweelen - 6257763

Twan Thio - 6208169

27-06-2019 / 9536 woorden



Inhoudsopgave

1. Pitch bijlage	3
1.1 Alternatieven en ideeën	3
1.2 Methode	4
1.3 Criteria	4
2. Deelanalyse 1	5
2.1 Technologie-analyse	5
2.1.1 Levensduur	5
2.1.2 Extra energiewinst	6
2.1.3 Complexiteit	8
2.2 Financiële-analyse	9
2.2.1 Investeringskosten	9
2.2.2 Onderhoudskosten	10
2.3 Effectentabel	11
2.4 Conclusie	12
3. Deelanalyse 2	13
3.1 Quickscan contextanalyse	13
3.2 Scores contextanalyse	15
3.2.1 Activiteit R&D sector	15
3.2.2 Mogelijkheid tot stabilisatie	16
3.2.3 Houding van bewoners	17
3.3 Effectentabel	19
3.4 Conclusie	19
3.5 Uitwerking TIS-functies	20
4. Multi Criteria Analyse	22
4.1 Standaardisatie methode	22
4.1.1 Maximum standaardisatie	22
4.1.2 Doel standaardisatie	22
4.2 Gewichten en onzekerheden toekennen	22
4.2.1 Levensduur	23
4.2.2 Extra energiewinst	23
4.2.3 Complexiteit	23
4.2.4 Investeringskosten	23
4.2.5 Onderhoudskosten	24
4.2.6 Activiteit R&D sector	24
4.2.7 Mogelijkheid tot stabilisatie	24
4.2.8 Houding van bewoners	24
4.3 Resultaten	25

4.4 Robuustheidsanalyse	28
4.4.1 Waarschijnlijkheidsanalyse	28
4.4.2 Gevoeligheidsanalyse	29
5. Bibliografie	31

1. Pitch bijlage

Toen er voor het eerst gebruik werd gemaakt van de opwekking van energie, was dit met gelijkstroom. Het verplaatsen hiervan resulteerde echter in een groot verlies van energie. Dit kon worden voorkomen met behulp van wisselstroom, wat een veel grotere afstand kan afleggen met relatief minder energieverlies (Kennissplatform, 2019). Vrijwel alle hedendaagse elektronica werkt eigenlijk op gelijkstroom en heeft een ingebouwde converter om de wisselspanning om te zetten naar gelijkstroom. Dit resulteert echter ook tot een groot verlies aan energie. In de eeuw waarin groene energie steeds maar populairder wordt, kan hier verandering in gebracht worden.

De woningcorporatie Bo-Ex is op zoek naar ideeën waarop een gelijkspanningsnet in bestaande woningen in Kanaleneiland-Zuid aangebracht kan worden met behulp van PV-panelen. Uit eerdere projecten is gebleken dat dit mogelijk is. De vraag is echter of het energienetwerk van oude appartementen renoveren voor Bo-Ex financieel lucratief is. Als het duurder is dan het huidige energienetwerk houden, kan dit een van de speerpunten van Bo-ex, betaalbaarheid, gaan beïnvloeden. Om hier advies over te geven, kijken we naar de financiële en sociale aspecten die deze veranderingen teweeg zullen brengen en hoe deze aspecten tegenover elkaar afwegen.

1.1 Alternatieven en ideeën

De overgrote meerderheid van alle huishoudelijke apparaten werkt al op gelijkstroom. Wanneer energie dichtbij wordt opgewekt door middel van bijvoorbeeld zonnepanelen, hoeft de overzetting naar wisselspanning niet plaats te vinden. Een deel van de apparaten werkt echter wel op wisselstroom. Van alle alternatieven ervaren de bewoners even veel last. De bewoners zullen gedurende de renovaties tijdelijk een andere woning krijgen. Groep 2D onderzoekt verder hoe de pilot ingevuld kan worden aan de hand van apparatuur en groepen. Er zal in dit onderzoek gekeken worden naar het leveren van een continue gelijkstroom. Hieronder staan drie alternatieven om dit te realiseren:

- **1.1.1 Efficiëntere converters in het bestaande energienetwerk plaatsen**

In dit alternatief zal gekeken worden naar het efficiënter maken van het bestaande net in het omzetten tot gelijkstroom. De PV-panelen zullen direct naar de meterkast gaan en alle stroom die de panelen niet kunnen leveren, zal worden aangevuld vanuit het bestaande net. Deze wisselspanning van het net kan dan met een efficiënte converter omgezet worden tot gelijkspanning. De converters moeten het energieverlies enorm beperken. Door van alle conversies het rendement drastisch te verbeteren, kan Bo-Ex hier alsnog het energiedoel van de woningvoorraad halen. De vraag is echter hoe duur, hoe duurzaam en hoe haalbaar dit zal worden in 2019.

- **1.1.2 Gedeeltelijk gelijkstroomnet met Beaut AGM 120ah accu**

Het tweede alternatief die besproken gaat worden heeft buiten eenzelfde converter als alternatief 1 ook een lead-acid batterij in het systeem, die overige stroom opvangt van de PV-panelen. Deze batterij is de AGM 120ah accu van Beaut. Alle stroom die niet direct wordt gebruikt, zal worden opgeslagen voor later gebruik. Aan de hand van een efficiënte converter zal er ook stroom van het net tot gelijkstroom gevormd worden, zodat dit

wederom de vraag van stroom kan opvangen, indien de panelen en batterij niet genoeg kunnen leveren. Deze accu heeft een relatief kleine opslag, maar zal een groot deel van de overige stroom van de zonnepanelen op moeten kunnen vangen.

- **1.1.3 Gedeeltelijk gelijkstroomnet met Beaut AGM 260ah accu.**

Het laatste alternatief die besproken gaat worden heeft dezelfde converter als alternatief 1 met daarbij een grotere lead-acid batterij in het systeem, die overige stroom opvangt van de PV-panelen. In dit alternatief wordt er gebruik gemaakt van de AGM 260ah accu van Beaut. Alle stroom die niet direct gebruikt kan worden in het appartement zal hierin opgeslagen worden. Ook hier zal een converter stroom van het net tot gelijkstroom vormen, in het geval dat de vraag de voorraad overschrijdt. Deze accu heeft een relatief grote opslag, waardoor in theorie alle overig opgewekte stroom opgevangen en weer gebruikt zou kunnen worden, voordat de accu vol zit. Dit zorgt ervoor dat er geen energie van de PV-panelen verloren zal raken.

1.2 Methode

Om een advies uit te brengen over welk alternatief de voorkeur heeft, zal er gebruik gemaakt worden van een Multi Criteria Analyse, ook wel een MCA genoemd. Een MCA is erg geschikt om kwantitatieve en kwalitatieve data te combineren tot gestandaardiseerde data. In dit onderzoek zal er onderscheid gemaakt worden tussen technologische, financiële en contextuele criteria. Waar financiële data erg kwantitatief is, zal de data uit de contextanalyse een stuk kwalitatiever zijn. Hierdoor is de MCA een ideale methode voor dit onderzoek.

1.3 Criteria

Om deze Multi Criteria Analyse succesvol uit te voeren, zullen er eerst een aantal criteria geselecteerd moeten worden. Hiervoor wordt er onderscheid gemaakt tussen drie groepen: De technologische criteria, de financiële criteria en de contextuele criteria.

Om alle data te verzamelen voor deze criteria, zal er gebruik gemaakt worden van wetenschappelijke bronnen, communicatie met de opdrachtgever en specifieke technische data vanuit het internet. Door al deze informatie te combineren kan er op logische en structurele wijze tot scores gekomen worden, zodat deze later in de analyse ingevuld kunnen worden. Hierdoor hopen wij uiteindelijk tot een duidelijk advies te komen voor woningcorporatie Bo-Ex, zodat ze kunnen beginnen aan een pilot Gelijkstroom in Kanaleneiland-Zuid.

2. Deelanalyse 1

Voor het implementeren van een continue gelijkstroomnet in een aantal woningen voor woningcorporatie Bo-Ex, zijn er drie alternatieven naar voren gekomen die na vooronderzoek de beste opties lijken te zijn. Er zal gekeken worden naar:

- Een gedeeltelijk gelijkstroomnet waar opgewekte zonne-energie direct op aansluit.
- Een gedeeltelijk gelijkstroomnet met een Beaut AGM 120ah accu.
- Een gedeeltelijk gelijkstroomnet met een Beaut AGM 260ah accu.

Om deze alternatieven te vergelijken wordt er gekeken naar aspecten binnen de alternatieven zelf die de keuze tussen de alternatieven beïnvloeden. Deze selectiecriteria krijgen vervolgens een weloverwogen weging en onzekerheid toegeschreven om deze later correct in de Multi-Criteria Analyse te kunnen gebruiken. Eerst zal er gekeken worden naar technologische criteria en vervolgens naar financiële criteria.

2.1 Technologie-analyse

Binnen de alternatieven zitten duidelijke verschillen op het gebied van technologie. Door te kijken naar de aspecten die de alternatieven relatief zwak of sterk beïnvloeden, zijn er drie duidelijke criteria naar voren gekomen. Deze criteria zijn het duidelijkst te beschrijven als levensduur, extra energiewinst en complexiteit. Er is voor deze drie aspecten gekozen, omdat deze de totaliteit van de aanleg van gedeeltelijk gelijkstroomnet goed weergeven. De levensduur kijkt naar de gemiddelde tijd die een dergelijk systeem functioneel blijft. Extra energiewinst houdt zich bezig met de hoeveel extra stroom die een huishouden uit de zonnepanelen haalt door het plaatsen van een accu en de complexiteit geeft de verschillende technologieën een score op basis van aanleg en kennis die nodig is om de technologie te gebruiken.

Hieronder zullen deze criteria verder uitgewerkt worden en zullen er scores berekend worden. Deze scores gaan gepaard met een bepaalde onzekerheid. Op deze manier kunnen deze scores en onzekerheid later direct in de Multi-Criteria Analyse toegepast worden.

2.1.1 Levensduur

Het aanleggen van een nieuw systeem gaat altijd gepaard met een levensduur. Het bezitten van een lange levensduur is erg belangrijk, zeker voor woningen. Veel onderhoud is iets waar bewoners niet op zitten te wachten en daarbij ook direct het draagvlak voor nieuwe projecten reduceert. De alternatieven verschillen in levensduur. Het plaatsen van enkel een converter zal aanzienlijk veel langer meegaan dan de andere alternatieven. Accu's gaan namelijk niet voor eeuwig mee. De levensduur van een accu heeft te maken met welke temperaturen hij moet opereren. Hoe hoger de temperatuur, hoe minder lang een accu mee gaat. Door data te verzamelen over de gekozen accu's en deze tegenover elkaar te vergelijken, kunnen de alternatieven duidelijk vergeleken worden. Een langere levensduur is ideaal, waardoor we de levensduur als baten-criterium zullen gebruiken in de Multi-Criteria analyse. De alternatieven

zullen aan de hand van gemiddelde data een levensduur toegeschreven in een ratio meetschaal: Jaren.

Voor het eerste alternatief, waar geen accu geplaatst zal worden, zal de gemiddelde tijd voor een renovatie van een elektranet genomen worden. Het bureau Advies Elektrotechniek geeft aan dat de gemiddelde levensduur van een bedradingen netwerk rond de 30 jaar ligt (Advies Elektrotechniek, 2014). Echter vermelden ze ook dat de leeftijd van een netwerk bijna altijd tussen de 20 en 40 jaar komt te liggen. Hierdoor is er een onzekerheid van 33% gegeven aan alternatief 1 voor het criterium levensduur.

Binnen alternatief 2 zal er een Beaut AGM 120ah accu geplaatst worden in elke woning. Deze batterijen hebben een gemiddelde levensduur van 4 jaar (Drummond, 2018). Deze leeftijd kan met 1 jaar verschillen. Om deze reden is er gekozen voor een onzekerheid van 25% voor de levensduur van de accu in alternatief 2.

Voor het derde alternatief wordt er gekeken naar een Beaut AGM 260ah accu binnen de woningen. De levensduur van deze accu is ook gemiddeld 4 jaar (Drummond, 2018). Omdat deze accu van hetzelfde bedrijf afkomt, is dezelfde onzekerheid meegenomen als binnen alternatief 2.

Levensduur	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	Jaren	30	33%
Alternatief 2	Jaren	4	25%
Alternatief 3	Jaren	4	25%

Tabel 1: De scores van de levensduur per alternatief.

2.1.2 Extra energiewinst

De alternatieven verschillen in het totale rendement van de woning. Het is belangrijk om zo efficiënt mogelijk om te gaan met alle gelijkstroom die vanuit de zonnepanelen opgewekt zal worden. Bij het eerste alternatief wordt geen accu geplaatst, maar enkel een converter. Hierdoor zal er relatief de grootste hoeveelheid stroom verloren raken. Er wordt in deze situatie geen *extra* stroom effectief gebruikt uit de panelen. In de andere alternatieven zal er ook een converter worden geplaatst. Echter zal er hiernaast ook een bepaalde accu geplaatst worden en zal de gelijkstroom direct worden opgevangen, om later weer te kunnen gebruiken.

Door te kijken naar de hoeveelheid energie per jaar die extra wordt gebruikt binnen elk alternatief, zullen de alternatieven tegenover elkaar afgewogen kunnen worden. Om deze berekeningen te maken, wordt er gebruik gemaakt van gemiddelde data over energiegebruik overdag, tijdens volle zonuren, in Nederland. Deze data zal samen met de gemiddelde opwekking van de zonnepanelen worden gebruikt om hieruit te bereken hoeveel kWh van de zonnepanelen er per jaar *extra* wordt gebruikt. Er zal dus gebruik gemaakt worden van een ratio meetschaal voor de extra

energiewinst. Dit criterium zal dan ook uiteraard worden meegenomen in de analyse als een baten-criterium.

Binnen alternatief 1 is er geen sprake van een slimme opvang van de zonne-energie, waardoor er geen *extra* stroom wordt opgewekt. De score van dit alternatief is dan ook 0 kWh per jaar. De gemiddelde hoeveelheid volle zonuren per jaar in Utrecht ligt rond de 1000 uur per jaar (KNMI, 2019). Uit data vanuit het CBS en een gesprek met Martijn Broekman van Bo-Ex, is er geconcludeerd dat het gemiddelde energieverbruik overdag rond de 1600 kWh per jaar is. De 5 panelen die per woning geplaatst zullen worden, brengen hoogstwaarschijnlijk 1100 kWh per jaar op.

De opbrengst van de zonnepanelen per dag is dus $1100 / 365 = 3,01$ kWh per dag.
 Het gemiddelde energieverbruik gedurende de zonuren is $1600 / 365 = 4,38$ kWh per dag.
 Het gemiddelde aantal volle zonuren per dag is $1000 / 365 = 2,73$ uur.
 De gemiddelde hoeveelheid licht per dag in Nederland ligt rond de 11 uur (KNMI, 2019).

Het percentage van het gemiddelde energieverbruik overdag *tijdens* volle zonuren, ligt dus op $(2,73 / 11) \times 100 = 24,8\%$. $4,38 \text{ kWh} \times 0,248 = 1,087$ kWh per dag tijdens volle zonuren. De opbrengst van de panelen, tijdens deze zonuren, ligt dus op ongeveer 3,01 kWh per dag. Het overschot dat hieruit ontstaat is $3,01 - 1,087 = 1,923$ kWh. Dit is de hoeveelheid die een batterij zou moeten opvangen.

Alternatief 2 werkt met een batterij met een opslag van 1,44 kWh. 1,923 kWh is meer dan deze hoeveelheid, waardoor er alsnog een deel van de stroom verloren zal raken. Echter is er dus wel een extra deel van de opbrengst van de panelen opgevangen. Dit getal is gelijk aan de capaciteit van de batterij = 1,44 kWh. Dit is te verrekenen naar $1,44 \times 365 = 525,6$ kWh per jaar.

In het derde alternatief wordt er gebruik gemaakt van een accu met een capaciteit 3,12 kWh. Dit is genoeg om de pieken op te vangen van het systeem, waardoor de extra energiewinst van deze accu optimaal ligt. Dit is te berekenen als een gemiddelde van $1,923 \times 365 = 701$ kWh per jaar.

Deze berekeningen hebben weinig rekening gehouden met het verschil in zonuren per maand. Ook verschilt het energieverbruik per huishouden enorm. Om deze redenen is er een grote onzekerheid van 40% toegeschreven aan zowel het tweede als het derde alternatief. Voor het eerste alternatief geldt dit niet, omdat dit de nul situatie is binnen dit criterium.

Extra energiewinst	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	kWh per jaar	0	0%
Alternatief 2	kWh per jaar	525,6	40%
Alternatief 3	kWh per jaar	701	40%

Tabel 2: De scores van de extra energiewinst per alternatief.

2.1.3 Complexiteit

Er zit natuurlijk verschil tussen de complexiteit van de alternatieven. Het is belangrijk om dit aspect van de technologie ook mee te nemen in de analyse, omdat een complexer systeem zal resulteren in een hogere kans op problemen die lastig opgelost kunnen worden. Het is belangrijk voor de pilot dat er weinig tot geen kans is op mislukking, zodat de subsidie van €80000 van IRIS zo goed mogelijk ingezet wordt. De complexiteit zal per alternatief verschillen; In het geval dat er geen accu geplaatst zal worden, is de complexiteit het laagst, terwijl het aanleggen van accu's een stuk complexer proces zal zijn.

Aan de hand van diverse bronnen zal er worden gekeken naar de complexiteit van elk alternatief. Deze alternatieven zullen een specifiek niveau toegeschreven krijgen op een kwalitatieve ordinale schaal van 1-5. Er is gekozen voor deze schaal, omdat er geen exacte data te verzamelen is over dit aspect van de technologische-analyse. Dit criterium zal in de analyse meegenomen worden als Kosten-criterium, omdat een hogere complexiteit een hogere kans op problemen met zich meeneemt. De onzekerheid voor deze complexiteit per alternatief is vastgesteld op 20%. De scores zijn toegeschreven op basis van bronnen en schattingen, waardoor de onzekerheid zodanig hoog is ingeschat dat er rekening gehouden kan worden met schattingsfouten.

Als er geen accu geplaatst zal worden, hoeft er enkel een converter geplaatst te worden om een deel van de wisselspanning van het net om te kunnen zetten naar gelijkspanning. Dit is een relatief niet-complexe procedure waarin er weinig kans is op problemen waardoor de bewoner hier weinig last van zal ervaren.

Het plaatsen van een accu is een grotere klus. Als er gekozen zou worden voor de Beaut AGM 120 accu, zal deze niet geïnstalleerd kunnen worden door mensen van het bedrijf, maar zullen er hier een ander bedrijf voor nodig zijn om de installatie feilloos te verrichten (Beaut, 2019). Dit verhoogt de complexiteit enorm en vermindert ook de kans op garanties, waardoor er is gekozen voor een score van 4 op de vijfpuntsschaal. Ditzelfde geldt voor alternatief 3. De accu is even complex als de andere accu van Beaut AGM, waardoor er eenzelfde score en eenzelfde onzekerheid aan de complexiteit is toegeschreven.

Complexiteit	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	1-5	1	20%
Alternatief 2	1-5	4	20%
Alternatief 3	1-5	4	20%

Tabel 3: De scores van de complexiteit per alternatief.

2.2 Financiële-analyse

Voor de opdrachtgever, Bo-ex, is het belangrijk om te weten wat de financiële kosten en baten zijn van de verschillende alternatieven. Hierom is het van belang om een financiële analyse op te stellen. De hieronder beschreven criteria zijn gekozen omdat ze het best de toepasbaar zijn voor onze specifieke case. De gekozen criteria zijn de investeringskosten, de Besparing en de Onderhoudskosten. De Investeringskosten geven een beeld van het kostenplaatje van de alternatieven. Vanuit het Europese subsidievoorstel IRIS is een budget van EUR 80.000,- toegeschreven aan Bo-ex voor het ontwikkelen van een gelijkstroomnetwerk binnen 8 verschillende woningen. Het is dus belangrijk voor onze opdrachtgever om te weten dat de alternatieven in de eerste instantie financieel haalbaar zijn en dus binnen het budget vallen. Daarna is het relevant voor Bo-ex om de verschillende kosten combinaties te weten die samengesteld kunnen worden uit de benodigde technische componenten. Als tweede omschrijft het criterium Onderhoudskosten de kosten die optreden voor Bo-Ex en/of de bewoner aan onderhoud van de nieuwe technologie. Door deze criteria verder uit te werken, kan er een duidelijke keuze gemaakt worden door Bo-ex die zo voordelig mogelijk is voor zowel het bedrijf zelf als voor de bewoners van de woningen.

Deze criteria lijken vrij direct te omvatten met het criterium *terugverdiëntijd*, echter is dit niet toepasselijk in deze specifieke situatie. De kosten en baten zijn namelijk verdeeld onder Bo-Ex en de bewoners. Bo-ex heeft subsidie gekregen om de initiële kosten van de aanleg van het systeem te financieren, maar onderhoudskosten die onder de 100 euro uitvallen, zullen door Bo-Ex betaald worden. Alles boven deze limiet is voor de bewoner zelf. Dit is waardoor er is gekozen voor het onderscheid tussen de Investeringskosten en Onderhoudskosten. In het bijgevoegde Excel-bestand zijn de volledige berekeningen voor de scores te vinden.

2.2.1 Investeringskosten

Het investeringskosten criterium van de financiële-analyse wordt meegenomen als een kosten-criterium. Hieronder vallen de aanschaf en de installatie van het alternatief. De aanschaf gaat over alle hardware die gekocht moet worden. De installatie omvat alle handelingen die moeten plaatsvinden voordat het alternatief in werking kan worden gebracht. Deze kosten zullen hoogstwaarschijnlijk vallen onder het budget van €10000 per woning. Dit zal gemeten worden in Euro's. Er is gekozen voor een kwantitatieve ratio meetschaal in Euro's, aangezien de analyse zich bezighoudt met meetbare verschillen.

De investeringskosten zullen worden onderverdeeld in twee categorieën: aanschaf en installatie. De aanschaf is duidelijk: een vertrouwde leverancier het product voor een bepaalde prijs. De installatie kan variëren tussen bedrijven, op basis van hun arbeidskosten, voorrijkosten en bekwaamheid op het gebied van elektriciteitsnetwerken die omgaan met zonnepanelen. Dit zal meegenomen worden in de onzekerheid van de scores. De accu's worden gekocht van de site de wit Schijndel omdat dit een betrouwbare site is.

Voor alternatief 1 zullen de aanschafkosten laag zijn omdat er alleen een converter moet worden aangeschaft die de wisselstroom van het huidige energienetwerk moet omzetten naar

gelijkstroom. Zo'n converter die 220V wisselstroom omzet naar 12V gelijkstroom kost rond de 50 euro bij diverse online leveranciers (Commscope, 2019) (Beslist.nl, 2019). De installatiekosten van de batterij liggen aan de arbeids- en voorrijkosten van het bedrijf. Om de converter te installeren zullen de voorrijkosten rond de 70 euro zijn (AJtec, 2019). De arbeidskosten worden los van de voorrijkosten ook nog 23,60 euro per kwartier. Ervan uitgaande dat ze hier ongeveer een uur mee bezig zijn, zullen de arbeidskosten 94,40 euro (AJtec, 2019). Dus in totaal kom je bij deze optie een uit op 214,40 euro per woning. Mocht het zo zijn dat de elektriciens 4 woningen in een dag kunnen doen en het dus in twee dagen klaar hebben, dan zijn de voorrijkosten per woning maar 17,50 per woning.

Voor het tweede alternatief zullen de investeringskosten bestaan uit het aanschaffen van een hoge kwaliteit lead-acid batterij, Beaut AGM 120 accu, die een capaciteit heeft van 120 Ah. Deze accu kost 311 euro en de kosten van de converter zijn 50 euro. De installatiekosten zijn iets anders dan bij optie een doordat ze ook de accu moeten installeren. De voorrijkosten blijven hetzelfde en bedragen 70 euro maar in plaats van dat ze nu een uur bezig zijn, zijn ze twee uur bezig per woning. Dus worden de installatiekosten rond de 188,80 euro (AJtec, 2019). In totaal kost optie twee 619,80 euro per woning.

Alternatief drie komt voor een groot deel overeen met alternatief twee, echter is dan de accu vervangen met een accu met een hogere capaciteit. Deze batterij heeft een groter rendement en een grotere opslag. De prijs van de Beaut AGM 260ah accu is 669 euro. Voorrij- en installatiekosten blijven gelijk, wat dus betekent dat dit alternatief in totaal 977,80 euro zal kosten per woning.

Deze bedragen zijn schattingen. De daadwerkelijke kosten kunnen hier wat van verschillen, maar de bedragen voor de accu's zelf staan vast. Dit is waarom we een relatief kleine onzekerheid hebben toegeschreven aan de investeringskosten van 10%.

Investeringskosten	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	€	214,40	10%
Alternatief 2	€	619,80	10%
Alternatief 3	€	977,80	10%

Tabel 4: De scores van de Investeringskosten per alternatief.

2.2.2 Onderhoudskosten

Hier wordt gekeken naar de onderhoudskosten die komen kijken per alternatief voor de bewoner. Een in de aanschaf goedkoop alternatief kan over lange termijn toch duur uitvallen door de onderhoudskosten. Ook hier wordt gebruik gemaakt van een kwantitatieve ratio meetschaal, omdat de verschillen duidelijk te meten zijn. Bo-Ex heeft gesteld dat onderhoud onder de 100 euro per jaar per woning wordt betaald door henzelf. Dit door de beperktheid van elektronica onderhoud, mits deze een levensduur hebben van ten minste 10 jaar. Een hoger bedrag en de

bewoner moet zelf betalen. Natuurlijk is er geen garantie dat er niets kapot zal gaan, of de prijs van reparaties, zeker niet in experimentele elektronica netwerken. Vandaar is er een onzekerheid van 30% toegeschreven aan het eerste alternatief. De alternatieven met de accu's hebben een hogere onzekerheid van 40% omdat er meer aspecten zijn binnen de technologie die mis kan gaan.

Indien er een probleem is, zal een elektricien moeten komen om ernaar te kijken. Het is verstandig om elke 5 jaar een controle van het elektranet te laten doen door te elektriciens. Dit is in de onderhoudskosten meegenomen en ook de enige kostenpost voor alternatief 1, €65 / 5 = €13. Voor alternatief 2 en 3 is er ook gekeken naar de levensduur van de batterijen. Na 4 jaar zijn beide accu's gemiddeld aan vervanging toe, waardoor de prijzen van de accu's door 4 gedeeld zijn en bij deze 13 euro zijn opgeteld. In het Excel bestand staan de volledige berekeningen.

Onderhoudskosten	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	€ per jaar	13	30%
Alternatief 2	€ per jaar	90,75	40%
Alternatief 3	€ per jaar	180,25	40%

Tabel 5: De scores van de onderhoudskosten per alternatief.

2.3 Effectentabel

Om duidelijk de scores en onzekerheden van de alternatieven weer te geven, staat hieronder een effectentabel met alle input die later gebruikt zal worden in de Multi-Criteria Analyse.

CRITERIA	SCHAAL	K/B	EENHEID	SCORE 1	ONZEKERHEID 1	SCORE 2	ONZEKERHEID 2	SCORE 3	ONZEKERHEID 3
Levensduur	Ratio	B	Jaren	30	25%	4	25%	4	25%
Extra Energiewinst	Ratio	B	kWh per jaar	0	10%	525,6	10%	701	10%
Complexiteit	Ordinaal	K	1 - 5	1	20%	4	20%	4	20%
Investeringskosten	Ratio	K	€	214,40	10%	619,80	10%	977,80	10%
Onderhoudskosten	Ratio	K	€ per jaar	13	40%	90,75	40%	180,25	40%

Tabel 6: de scores van alle criteria uitgezet in een effectentabel.

2.4 Conclusie

Concluderend uit de deelanalyse zijn er grote verschillen naar voren gekomen tussen de drie alternatieven. Alternatief 1, zonder een accu, komt voor nu het slechtst naar voren doordat eigenlijk al het overige opgewekte energie van de zonnepanelen weer terug wordt gevorderd in het net. Aan de andere kant zijn de kosten weer erg laag en is de levensduur relatief gezien heel hoog. Alternatief 2 en 3 komen voor een groot deel met elkaar overeen, echter raakt er bij de kleinere accu nog steeds een deel van de opgewekte zonne-energie verloren. Levensduur heeft dezelfde waarde gekregen van 4 jaar wat vrij laag is en zeker een belangrijk aspect is om mee te nemen in de analyse. Complexiteit heeft dezelfde score gekregen van 4 van de 5 wat erg hoog is door het aanbrengen van een extra accu in de meterkast. Extra Energiewinst en investeringskosten hebben relatief gezien ongeveer dezelfde ratio wat dus betekent dat wanneer de investeringskosten toenemen er ook meer energie winst behaald wordt. Van de onderhoudskosten valt alternatief 3 buiten het jaarlijkse onderhoudsbudget dat Bo-Ex opstelt, waardoor dit een extra last voor de bewoner zal zijn. Uiteindelijk zullen de wegingen die later worden toegeschreven meer vertellen over welk alternatief de beste optie zal worden voor deze pilot gelijkstroom.

3. Deelanalyse 2

Alle technologische en financiële criteria geven een goed beeld van de relatieve sterktes en zwaktes van de alternatieven. Echter zal er meer moeten gebeuren om een complete analyse te kunnen maken. In deze contextanalyse zal de sociaal-maatschappelijke context van de alternatieven geanalyseerd worden aan de hand van specifiek raamwerk, zodat er systematisch criteria opgesteld kunnen worden.

3.1 Quickscan contextanalyse

Er zal gebruik gemaakt worden van een technologisch raamwerk om zo de relevante sociaal-maatschappelijke factoren in onze case te identificeren en beoordelen. Er wordt gebruik gemaakt van het Technological Innovation System-model van Hekkert et al. (2007) om een op maat gemaakt raamwerk te ontwikkelen voor onze case. Dit model kijkt naar een innovatiesysteem rondom een bepaalde technologie. Dit systeem bevat actoren en instituties. Actoren zijn spelers die invloed hebben en/of meedoen in het systeem, terwijl instituties beter te beschrijven zijn als de regels van het systeem. Door invulling te geven aan opgestelde functies, wordt er meer inzicht gecreëerd binnen het innovatiesysteem en wordt deze gestimuleerd om door te ontwikkelen (Edquist, 2004).

Er is specifiek gekozen voor de TIS, omdat andere raamwerken veel bezig zijn met instituties en het totaalplaatje. Dit raamwerk focust zich echter meer op zowel de actoren als de instituties. Dit is voor Bo-Ex belangrijk omdat er veel institutionele en organisatorische obstakels zijn, waar een TIS veel inzicht in geeft (Thompson, 2018).. De specifieke functies die Hekkert et al. (2007) beschrijft, zijn verder uitgewerkt in bijlage 3.5. Om uit deze functies een duidelijke quickscan te kunnen maken, zijn een aantal van deze functies bij elkaar gegroepeerd tot 3 groepen. Vanuit deze groeperingen zal gekeken worden naar het meest relevante aspect binnen deze groep voor deze probleemstelling, om vervolgens uit elke groepering 1 criteria op te stellen voor deze contextanalyse.

De eerste groepering valt te omschrijven als de 'Zaken omtrent kennis' binnen de sector. De functies die hieronder vallen vanuit het raamwerk zijn: *entrepreneurial activities*, *knowledge development* en *knowledge diffusion through networks*. Deze groepering beschrijft de verwerving van kennis, de verspreiding van kennis en alle gevolgen hiervan en hieruit volgt het criterium 'Activiteit R&D-sector'. Het realiseren van een gelijkstroomnet is namelijk een technologie die nog niet breed geïmplementeerd is. Om dit proces in gang te zetten is er veel kennis nodig voor de aanleg en onderhoud hiervan. De activiteiten van bedrijven die zich bezighouden met het aanleggen van gelijkstroomnetwerken of investeren in technologieën van de verschillende alternatieven zijn belangrijke aspecten. In Nederland is er maar een bedrijf die zich bezighoudt met het implementeren van gelijkstroomnetwerken genaamd Direct Current BV. Er zijn echter in Nederland al wel veel pilots geweest die hebben geprobeerd een gelijkstroomnet te realiseren, bijvoorbeeld the Green Village en Strijp-S. Binnen de gelijkstroom niche is er nog weinig concurrentie van andere bedrijven wat leidt tot minder investeringen in R&D door het ontbreken van een prikkel tot innovatie. Aan de andere kant is er wel druk vanuit de overheid en de vraagkant

van energie. Dit zorgt ervoor dat de huidige manier van energieopwekking en -distributie zeer onder druk komt te staan en wat kan leiden tot een verandering binnen de markt (Geels, 2002). Aan de andere kant wordt er op grote schaal door veel bedrijven geïnvesteerd in R&D omtrent het verbeteren van batterijen (Mahesh & Sandhu, 2015). Door de verzamelde data te vergelijken per alternatief kan er een ordinale score toegekend worden. De *Activiteit R&D-sector* zal meegenomen worden als een baten-criterium in de analyse, aangezien meer activiteit zal leiden tot een gunstiger toekomstbeeld. Een lage score betekent natuurlijk niet dat er weinig al is ontwikkeld op dit gebied. Hier wordt uitgebreid naar gekeken in het tweede criterium. In tabel 1 zijn de verschillende ordinale scores toegelicht.

Score 1	Geen R&D-activiteit
Score 2	<i>R&D op kleine schaal door een paar bedrijven</i>
Score 3	<i>R&D op kleine schaal door veel bedrijven</i>
Score 4	<i>R&D op grote schaal door een paar bedrijven</i>
Score 4	<i>R&D op grote schaal door veel bedrijven</i>

Tabel 7: Toelichting verschillende scores ‘Activiteit R&D-sector’

De tweede groepering is te omschrijven als ‘Marktvorming en regelgeving’. Hieronder vallen de functies *guidance of the search*, *resources mobilization* en *market formation*. Deze functies vertellen wat over de weg die de markt, waarbinnen onze technologieën opereren, inslaat. Het criterium die hieruit is gehaald is ‘*Mogelijkheid tot stabilisatie*’. “Guidance of the search” is relevant voor de manier waarop de markt zich ontwikkelt omdat er externe druk is door de klimaatdoelen die de Nederlandse overheid gesteld heeft. Bo-ex ontving een subsidie van EUR 80.000,- voor het ontwikkelen van de pilot gelijkstroom van IRIS. Het onderzoeken van andere voordelen per alternatief is relevant voor de analyse en het maken van een keuze. “Market formation” is belangrijk voor Bo-ex omdat het duidelijkheid geeft over de ontwikkeling van de verschillende markt componenten van de alternatieven. Deze twee functies binnen ‘marktvorming en regelgeving’ geven inzicht in de mogelijkheid per alternatief tot stabilisatie binnen de markt waarin het opereert. Een hogere kans op stabilisatie vertaalt zich tot een gemakkelijkere implementatie en vooral beter onderhoud van een technologie. De ordinale scores worden hieronder verder toegelicht.

Score 1	<i>Zeer kleine kans op stabilisatie</i>
Score 2	<i>Kleine kans op stabilisatie</i>
Score 3	<i>Gemiddelde kans op stabilisatie</i>
Score 4	<i>Grote kans op stabilisatie</i>
Score 4	<i>Zeer grote kans op stabilisatie</i>

Tabel 8: Toelichting verschillende scores ‘Mogelijkheid tot stabilisatie’

De derde groepering bestaat enkel uit *creation of legitimacy/counteract resistance to change*. Dit gaat in ons geval over het vertrouwen winnen van bewoners. Het criterium dat hieruit is opgesteld is voor Bo-Ex is het ‘*Houding van bewoners*’. Dit gaat over het creëren van een groot genoeg draagvlak om de geplande renovaties door te laten gaan. Volgens Bo-ex moet 70% van de bewoners akkoord gaan met een project om hem te kunnen realiseren. Het winnen van vertrouwen voor gelijkstroomnetten gebeurt op Europees niveau door middel van projecten als the Green Village, Strijp-S en de subsidies die IRIS beschikbaar stelt voor deze pilot. Onder deze groepering valt ook het verzet van de bewoners. Bewoners moeten namelijk tijdens renovaties tijdelijk in een andere woning vertoeven en zullen anders moet omgaan met het energieverbruik. Dit is niet aantrekkelijk voor de bewoners. Voor een hoge kans op slagen, is het van belang voor Bo-Ex dat bewoners geen ongemakken zullen ondervinden in de pilot. De toelichting van de ordinale scores zijn in tabel 3 te vinden.

Score 1	<i>Negatieve houding</i>
Score 2	<i>Tamelijke negatieve houding</i>
Score 3	<i>Neutrale houding</i>
Score 4	<i>Tamelijke positieve houding</i>
Score 5	<i>Positieve houding</i>

Tabel 9: Toelichting verschillende scores ‘*Houding van bewoners*’

Door al deze groeperingen te specificeren zijn er drie duidelijke criteria ontstaan, die een groter inzicht zullen bieden op de sociaal-maatschappelijke context rondom deze case. De criteria die zijn vastgesteld zijn: *Activiteit R&D-sector*, *Mogelijkheid tot stabilisatie* en *Houding van bewoners*. Door het analyseren van deze criteria zal de analyse meer diepgang hebben, waardoor er een beter advies geschreven kan worden voor woningcorporatie Bo-Ex.

3.2 Scores contextanalyse

Er is binnen de contextanalyse gekozen voor een vijf-punt-likert schaal om de drie gekozen alternatieven te beoordelen aan de hand van de drie criteria. De drie criteria zullen beoordeeld worden aan de hand van vijf-punts-likert schalen. Dit zijn schalen die van 1 tot 5 lopen, zonder een vaste afstand tussen deze scores. De subjectiviteit die deze schaal met zich meebrengt creëert ook onzekerheid, die later in dit onderzoek meegenomen zal worden in de onzekerheidsanalyse.

3.2.1 Activiteit R&D-sector

Alternatief 1 krijgt een score toegewezen van 2 op *Activiteit R&D-sector*, omdat er weinig bedrijven aan het innoveren zijn op het gebied van converters. Een gemiddelde converter die AC-stroom naar DC omzet heeft een efficiëntie van 90% (Commscope, 2019). Dit percentage is relatief hoog en er zijn weinig bedrijven bezig om dit percentage te verbeteren. Ook voor in de

toekomst zal dit nog maar weinig toenemen omdat er bij een conversie altijd energie verloren gaat (Sabzehgar, 2015). Hierdoor zal Direct Current en nieuwe toetreders weinig investeren in R&D om zo de efficiëntie van de converter te verbeteren. De converters van nu zijn dus al ver doorontwikkeld; Deze stabilisatie wordt meegenomen in de *Mogelijkheid tot stabilisatie*.

Alternatief 2 en 3 hebben een score van 5 gekregen doordat de ontwikkeling van efficiënte batterijen zeer populair is in de duurzame sector. Deze worden niet alleen al veel gebruikt in verschillende industrieën, maar bijna ieder bedrijf binnen deze sector houdt zich hiermee bezig. Het produceren van een nieuwe goede batterij is erg lastig, maar essentieel voor de toekomst van energie- en transportnetwerken. Wereldwijd is men hier op grote schaal mee bezig, waardoor er is gekozen voor de maximale score (Mahesh & Sandhu, 2015).

De onzekerheid van alternatief 1 is vastgesteld op 10%, omdat de ontwikkeling van converters, zoals eerder is vermeld, al bijna aan het einde is en er hierdoor nog weinig geïnvesteerd wordt in R&D. De alternatieven 2 en 3 krijgen ook een onzekerheid van 10% omdat het vrij zeker is dat er op dit moment veel geïnvesteerd wordt in de ontwikkeling van batterijen. Of er veel achter de schermen gebeurt op deze gebieden is onduidelijk en de voornaamste reden voor de onzekerheden van 10%.

Activiteit R&D-sector	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	1-5	2	10%
Alternatief 2	1-5	5	10%
Alternatief 3	1-5	5	10%

Tabel 10: De scores van de Activiteit R&D-sector per alternatief.

3.2.2 Mogelijkheid tot stabilisatie

Het tweede criterium gaat over de *Mogelijkheid tot stabilisatie*. Dit gaat over de potentie van de verschillende technologieën om uiteindelijk de bestaande markt over te kunnen nemen. Binnen alternatief 1 is er een hoge kans dat dit uiteindelijk op meer plekken geïmplementeerd gaat worden, omdat dit zeer efficiënt energie bespaart. Hierdoor is gekozen voor een score van 4. Na 2030 mag er alleen nog maar energie neutrale nieuwbouw komen en er kan al veel energie bespaard worden met een goede AC/DC converter.

Alternatief 2 en 3 maken gebruik van een AGM-accu. Voor beide alternatieven is gekozen voor een score van 2. Deze accu's zijn relatief goedkoop en licht. Ze zijn gemaakt om duurzame energie op te slaan en niet alleen als secundaire energietoevoer te fungeren als er elektriciteit te kort is. De nadelen zijn echter dat de accu een lage energiedichtheid heeft en dus in omvang snel toeneemt naarmate de capaciteit eis hoger worden. De capaciteit van deze batterij is op kleine schaal een goedkope oplossing maar niet efficiënt wanneer het op grotere woningen wordt toegepast en erg vervuilend (Infonu, 2018). Lithium-ion batterijen hebben een betere opslagcapaciteit en ook een betere energiedichtheid. Hierdoor is het aannemelijk dat deze accu's

marktleider gaan worden binnen de energiemarkt (Zhang, 2006). Hierdoor krijgen alternatief 2 en 3 een score van 2.

De technologische componenten van de alternatieven zijn allemaal al operationeel en aanwezig in de markt. Er bestaat de kans dat er een inschattingsfout is gemaakt, omdat er wordt gekeken naar de toekomst in het criterium. Hierdoor hebben ze allemaal dezelfde onzekerheid gekregen van 20%.

Mogelijkheid tot stabilisatie	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	1-5	4	20%
Alternatief 2	1-5	2	20%
Alternatief 3	1-5	2	20%

Tabel 11: De scores van de Mogelijkheid tot stabilisatie per alternatief.

3.2.3 Houding van bewoners

Het laatste criterium binnen de contextanalyse is de *Houding van bewoners*. Het gelijkstroomnetwerk resulteert echter in het moeten aanpassen van huishoudelijke apparatuur. Groep 2D houdt zich hiermee bezig, terwijl dit onderzoek zich meer focust op het leveren van een continue gelijkstroom. De drie alternatieven hebben geen invloed op het gebruik van apparaten. De drie alternatieven hebben wel invloed op de efficiëntie van energiegebruik, en daarmee de energierekening. De alternatieven met een batterij slaan energie op. Deze energie zou anders opgewekt worden, maar niet gebruikt. Volgens de opdrachtgever zijn bewoners gevoelig voor positieve effecten op hun portemonnee. Hoe lager de energierekening voor de bewoner, hoe hoger het draagvlak zal zijn. Hiernaast zal er ook rekening gehouden worden met de lasten die bewoners ervaren. Elk alternatief bevat apparaten met een omvang die ergens in de meterkast geherbergd moeten worden. Hiervoor is niet altijd de ruimte beschikbaar omdat bewoners misschien zelf de ruimte benutten en dit kan als niet prettig worden ervaren. Deze factor heeft een hoge onzekerheid omdat dit per persoon kan verschillen. Door deze data te combineren kan er een ordinale score toegekend worden per alternatief. De *Houding van bewoners* zal ook meegenomen worden als een Baten-criterium, omdat een positieve houding een groter draagvlak zal creëren.

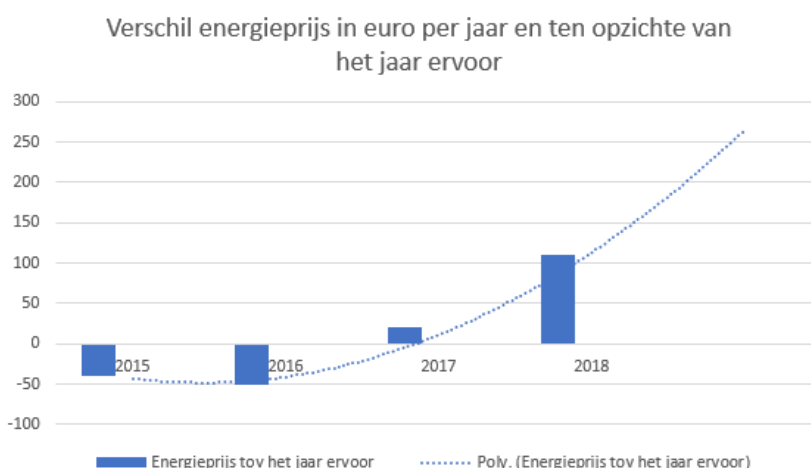
Voor alternatief 1 wordt enkel de converter geplaatst, met een gemiddelde efficiëntie van 90% (Commscope, 2019). Een woning op gelijkstroom direct afkomstig van zonnepanelen is efficiënter dan een woning op wisselstroom, omdat de energie bij wisselstroom omgezet moet worden voor transport en gebruik in apparaten zelf. Ook hoeft er geen omzetting meer plaats te vinden in elk apparaat die eigenlijk op gelijkstroom werkt. Bij deze omzetting gaat energie verloren. Door de verschillen in efficiëntie per apparaat en het verschil van gebruik per woning is het vrijwel onmogelijk te zeggen wat de gemiddelde efficiëntie per gelijkstroom woning is ten opzichte van een wisselstroom woning. Het is wel zeker dat het hoger is dan het verlies van de converter (Mahesh & Sandhu, 2015). Het plaatsen van een converter neemt relatief erg weinig ruimte in,

waardoor ruimte overlast laag is. Een lage ruimte overlast samen met lage energiebesparingen zorgen voor een score van 2 voor alternatief 1.

Alternatief 2 heeft bovenop de converter een batterij met een capaciteit van 1,44 kWh. Per jaar kan deze 526 kWh opslaan. De berekeningen hiervan staan in de bijlage van de analyse 1. Met een constante energieprij van 22 cent komt dat neer op een besparing van 115,72 euro per jaar, of €9,60 per maand. Dit bespaart de bewoner bovenop de converter besparing, wat aantrekkelijk is voor diens portemonnee. Naarmate energie duurder wordt zal dit bedrag oplopen. De batterij neemt een kleine ruimte in (Afmeting: 407x177x225mm), wat voor overlast kan zorgen als mensen deze ruimte liever gebruiken als berging. Iets meer ruimte overlast en redelijke besparingen heffen elkaar op. Alternatief 3 krijgt een score van 3.

Alternatief 3 heeft een converter en batterij met een capaciteit van 3,12 kWh. Per jaar kan deze 701 kWh opslaan. De berekeningen hiervan staan in de bijlage van de analyse 1. Met een constante energieprij van 22 cent komt dat neer op een besparing van 154,22 euro per jaar, of €12,80 per maand. Dit bespaart de bewoner bovenop de converter besparing, wat bij elkaar net wat aantrekkelijker is dan alternatief 2. Naarmate energie duurder wordt zal dit oplopen. De grotere batterij (Afmeting: 520x268x220mm) kan voor meer ruimte overlast zorgen vergeleken met alternatief 2. Ook hier heffen de twee factoren elkaar op en zorgen voor een score van 3 voor het laatste alternatief.

Voor alle alternatieven is er onzekerheid in de prijs van energie. De Nederlandse energieprijvergelijker doet een voorspelling dat in de komende jaren energie duurder wordt, uitgetekend in de figuur hieronder. De energieprij zal hoogstwaarschijnlijk oplopen, wat betekent dat bewoners meer besparen dan de hierboven genoemde bedragen. Echter er een kleine afwijking te zien tussen de verwachting en de daadwerkelijke energieprij. In figuur 1 is het verschil van de energieprij in de afgelopen jaren te zien. In het afgelopen jaar zat de verwachting er met ongeveer 25% naast. Daarom is er gekomen voor een onzekerheid van 25% voor alle alternatieven.



Figuur 1: Verschil in energieprij in de afgelopen jaren.

Houding van bewoners	Eenheid	Score	Onzekerheid
Alternatief 1	1-5	2	25%
Alternatief 2	1-5	3	25%
Alternatief 3	1-5	3	25%

Tabel 12: De scores van de Houding van bewoners per alternatief.

3.3 Effectentabel

Om duidelijk de scores en onzekerheden van de alternatieven weer te geven, staat hieronder een effectentabel met alle input uit de contextanalyse die later gebruikt zal worden in de Multi-Criteria Analyse.

CRITERIA	SCHAAL	K/B	EENHEID	SCORE 1	ONZEKERHEID 1	SCORE 2	ONZEKERHEID 2	SCORE 3	ONZEKERHEID 3
Activiteit R&D-sector	Ordinaal	B	1 - 5	2	10%	5	10%	5	10%
Mogelijkheid tot stabilisatie	Ordinaal	B	1 - 5	4	20%	2	20%	2	20%
Houding van bewoners	Ordinaal	B	1 - 5	2	25%	3	25%	3	25%

Tabel 13: de scores van alle criteria uitgezet in een effectentabel.

3.4 Conclusie

Binnen de contextanalyse zit relatief weinig verschil tussen alternatief 2 en 3. Het verschil in opslag van de accu's heeft weinig invloed op de sociaal-maatschappelijke factoren die besproken worden in deze contextanalyse. De accu's komen er in *Activiteit R&D-sector* en *Houding van bewoners* beter uit dan alternatief 1, waar enkel een converter geplaatst wordt. Voor *Mogelijkheid tot stabilisatie* geldt het tegenovergestelde. Alternatief 1 heeft misschien weinig activiteit binnen de R&D-sector, maar de converter heeft wel de grootste kans op toekomstige stabiliteit, terwijl op de andere criteria de andere alternatieven wenselijker zijn. Een hoge score op beide criteria zou ideaal zijn. Zonder de wegingen toegeschreven te hebben, lijkt alternatief 3, sociaal-maatschappelijk gezien, de beste optie voor woningcorporatie Bo-Ex.

3.5 Uitwerking TIS-functies

Entrepreneurial activities

De alternatieven die dit onderzoek suggereert worden al elders gebruikt en zijn dus niet nieuw voor de markt. De activiteit van de spelers in de duurzame energiemarkt zijn tamelijk actief. Het produceren en verwerken van duurzame, groene energie is namelijk een van de populairste bezigheden op de dag van vandaag. Veel ondernemers doen hieraan mee en hieruit ontstaan veel alternatieven. Er zijn al veel opties, zoals Simply Solar. Dit bedrijf biedt al pakketten aan waarmee je volledig van de grid af kan zijn door middel van zonnepanelen, converters en accu's. Voor het renoveren van de appartementen van Bo-Ex, is er echter vraag naar een slimme nieuwe optie, die gelijkstroom nog efficiënter gebruikt. Op dit gebied is er nog weinig activiteit van ondernemers. Er is maar één bedrijf in Nederland die zich bezighoudt met gelijkstroomnetwerken, Direct Current BV. Om de woningen zo goed mogelijk te renoveren, zal hier verbetering in moeten komen.

Knowledge development

De ontwikkeling van kennis is zeer relevant voor eventuele groei binnen onze alternatieven. De verschillen tussen onze alternatieven zijn voornamelijk gebaseerd op technische aspecten en in hoeverre deze beschikbaar zijn. Op het gebied van gelijkstroom is er enorm veel R&D nodig, zodat er hogere rendementen ontstaan en er meer toegankelijkheid komt voor de consument. Een belangrijk aspect van de kennisontwikkeling binnen onze probleemstelling is de verbetering van accu's en het efficiënter maken van de converters die de wisselstroom omzetten naar gelijkstroom.

Knowledge diffusion through networks

Informatie-uitwisseling binnen een netwerk is een belangrijk aspect volgens Hekkert et al. Met name bij netwerken met een heterogene context waar R&D, de overheid (institutionele zaken), concurrenten en de markt samenkomen. Binnen het netwerk van dit onderzoek is er een hoge concurrentie tussen verschillende accu's die kunnen gebruikt worden. Om de verschillende alternatieven goed uit te voeren is er een goede samenwerking nodig tussen alle partijen om zo alles perfect op elkaar aan te sluiten.

Guidance of the search

Een van de oorzaken van dit onderzoek is dat de Nederlandse overheid klimaatdoelen heeft gesteld. In 2020 moet tien procent van alle energie duurzaam opgewekt zijn (Hekkert et al. 2007). Om dit doel te behalen geeft de overheid subsidies aan woningcorporaties om ervoor te zorgen dat het aandeel groene energie toeneemt. Deze interactie van de overheid die zich actief bemoeit met de markt en dus invloed uitoefent op het netwerk vertaalt zich in stijging van het aandeel duurzame energie.

Market formation

Het idee om een huishouden geheel op gelijkstroom (of alleen sommige delen van het huis) te laten werken wordt steeds vaker onderzocht en ook geïmplementeerd. Volgens het onderzoek van Glasgoa et al. (2016) bespaart men tot wel 7-16% energie per jaar met efficiëntere conversies

of wel geen conversies in samenwerking met zonnepanelen. De technologieën die gebruikt worden in de alternatieven zijn niet nieuw maar de combinatie ervan wel. Het combineren van zonnepanelen met accu's om de overige energie op te slaan kan je zien als een nieuwe markt. Volgens Hekkert et al. (2007) kan deze het best zich ontwikkelen in een nichemarkt. Er zijn al een paar pilots geweest waar ze dit hebben getest zoals in Green Village en Strijp-S.

Resources mobilization

Hekkert et al. (2007) bedoelen met deze functie alle benodigdheden binnen een innovatiesysteem die nodig zijn om innovatie mogelijk te maken en om een technologie te laten floreren. Denk aan grondstoffen, financiële hulpmiddelen en menselijk kapitaal/kennis. In dit onderzoek zijn dit de elektriciens, accu's, converters en de subsidie die de pilot mogelijk maakt. Deze grondstoffen zijn in overschot aanwezig in het systeem en deze functie wordt dan ook goed ingevuld binnen de wereld van gelijkstroom.

Creation of legitimacy/counteract resistance to change

In een Technological Innovation System betekent "the creation of legitimacy" dat een technologie als een mogelijke optie wordt gezien voor een bepaald probleem bij een innovatievraagstuk. De "counteract to resistance" is wat er moet gebeuren rondom een technologie op het gebied van lobbyen om subsidies te regelen als de bestaande markt een opkomende technologie probeert de kop in te drukken. Om genoeg te blijven ontwikkelen moet een nieuwe technologie geïmplementeerd worden door een incumbent of moet de nieuwe toetreders deze juist inhalen en marktleider worden. De gevestigde orde zal hier echter wel tegen vechten en zal er alles aan doen om toch marktleider te blijven. Binnen ons onderzoek zijn dit dus dat de gevestigde traditionele energiebedrijven zoals Essent en Nuon die veel geld hebben zitten in energiewinning met behulp van fossiele brandstoffen. Met de creation of legitimacy wordt bedoeld dat de alternatieven een bepaald (70%) draagvlak behalen waardoor ze geïmplementeerd kunnen worden door Bo-Ex.

4. Multi Criteria Analyse

4.1 Standaardisatie methode

In de deelanalyses zijn scores en onzekerheden opgesteld aan de hand van onderzoek en wetenschappelijke bronnen. Om deze scores in de MCA te kunnen verwerken, zullen ze gestandaardiseerd moeten worden. Door dit te doen, ontstaan er eindscores waarmee simpel gerekend kan worden voor een duidelijk resultaat. Er zijn verschillende standaardisatie methodes die toegepast zullen worden.

4.1.1 Maximum standaardisatie

Zowel de *Investeringskosten*, de *Onderhoudskosten*, de *Levensduur* en de *Extra energiewinst* zullen in de analyse gestandaardiseerd worden via de maximum-methode. Deze standaardisatie methode rekent vanaf een absoluut nulpunt. Door de score te delen door de maximumscore binnen het criterium, zal er een waarde tussen de 0 en 1 ontstaan, waar vervolgens verder mee gerekend kan worden. Er is gekozen voor het maximum standaardiseren van de kosten, omdat geld in veel gevallen geen relativiteit kent; Weinig geld is alsnog geld. Hetzelfde geldt voor de hoeveelheid stroom die extra bespaard wordt. De goedkoopste optie binnen deze criteria krijgt hierbij dan een score van 1 en de andere alternatieven zullen een score toegekend krijgen tussen 0 en 1.

4.1.2 Doel standaardisatie

Er worden ook een aantal criteria gestandaardiseerd aan de hand van doel standaardisatie. Dit zijn alle ordinale schalen; *Complexiteit*, *Activiteit R&D-sector*, *Mogelijkheid tot stabilisatie & Houding van bewoners*. Deze vier criteria worden gemeten met vijfpuntsschalen. Door de minimumwaarde, 1, van de score af te halen en deze vervolgens te delen door de doelwaarde minus de minimumwaarde, ontstaan hier scores tussen de 0 en 1 uit, die vervolgens in de MCA verder gebruikt kan worden. Deze schalen hebben een specifieke minimum- en maximumscore, waardoor doel standaardisatie een betere afspiegeling van de verschillen zal geven.

4.2 Gewichten en onzekerheden toekennen

Elk criterium heeft een weging nodig voor de eindberekening. Hieronder zullen deze wegingen worden toegelicht per criterium en zal er ook een onzekerheidsmarge per criterium worden toegeschreven. De precieze wegingen zijn berekend aan de hand van een paarsgewijze vergelijking. Hierin moet er voor elk paar criteria aangegeven worden welk criterium belangrijker is en de mate waarin het ene criterium belangrijker is dan het andere criterium. Door alle criteria paarsgewijs met elkaar te vergelijken, is het mogelijk om een consequente, precieze gewichten te creëren.

4.2.1 Levensduur

De levensduur is een relatief gemiddeld criteria binnen deze analyse. Een lange levensduur betekent een lagere last voor woningcorporatie Bo-Ex. Bovendien zullen verdere vervangingen en reparaties niet worden gedekt door het subsidievoorstel IRIS. Echter is de levensduur wel een factor die opgevangen zal worden door *Activiteit R&D-sector*. Ook hebben we te maken met een pilot. Naar aanleiding van deze informatie en het gesprek met Bo-Ex, is er gekozen voor een middelmatige weging van 0,092. Deze weging heeft een onzekerheid van 10% toegeschreven gekregen, omdat de levensduur van het alternatief weleens heel bepalend kan worden als de pilot vlekkeloos verloopt. Omdat hier nu nog niks over te zeggen valt, is dit meegenomen in een onzekerheid die later in de robuustheidsanalyse verder uitgewerkt zal worden.

4.2.2 Extra energiewinst

Om dit criterium een weging toe te schrijven, is er gebruikt gemaakt van meerdere bronnen. Allereerst hebben we het gesprek met Martijn van Bo-Ex gebruikt om af te wegen welke criteria er belangrijk zijn voor de woningcorporatie. De speerpunten van Bo-Ex; betaalbaarheid, beschikbaarheid en duurzaamheid, geven dan ook aan dat het goedkoop aanbieden van woningen Bo-Ex hoog in het vaandel staat. Door extra energie te winnen, zal de bewoner een lagere energierekening kunnen verwachten. Aan de hand hiervan is er verder onderzoek gedaan naar de impact die deze energiewinst heeft op de pilot in haar geheel. Het opvangen van de zonne-energie in accu's reduceert pieken in de energievraag gemiddeld met 8% tot 32% (Fares et al., 2017). Op basis van al deze informatie, is er een weging van 0,166 uitgekomen, Deze zit niet hoger dan 0,166, omdat het sociale aspect hiervan ook al meegenomen zal worden in de contextuele criteria. Deze weging heeft een lage onzekerheid van 5% gekregen, omdat er veel zekerheid aan de hand van data is voor dit criterium, zowel berekeningen als toezegging van Bo-Ex zelf.

4.2.3 Complexiteit

Het is belangrijk voor woningcorporatie Bo-Ex dat er geen problemen optreden in het proces van het aanleggen van een gedeeltelijk gelijkstroomnet. Naar aanleiding van het gesprek met Martijn, is duidelijk naar voren gekomen dat het wenselijk is dat er zo min mogelijk drastisch omgegooid hoeft te worden. Dit advies heeft een leidende rol gehad in het project, waardoor er geen alternatieven aan bod zijn gekomen die een drastische verandering zullen creëren. Hierdoor is de complexiteit van de technologie niet dominerend in de analyse en is er dan ook besloten dat dit criterium een weging van 0,053 krijgt. Deze weging heeft een onzekerheid van 10% gekregen, omdat deze weging zou veranderen als er toch problemen op zullen treden tijdens de aanleg. De onzekerheid van de weging zal in de waarschijnlijkheidsanalyse meegenomen worden.

4.2.4 Investeringskosten

Elk alternatief kost geld om aan te schaffen en aan te leggen. In dit specifieke geval is er een subsidie van €10.000 vanuit IRIS opgesteld voor deze pilot. Voor Bo-Ex als bedrijf is dit dan ook niet een doorslaggevend criterium omdat de kans nihil is dat Bo-Ex bij zou hoeven te betalen. Het duurste alternatief neemt nog geen 15% van de gehele subsidie in. Het belang van dit criterium

is dus niet erg hoog en zal daarom een weging van 0,063 met een kleine onzekerheid van 5% krijgen.

4.2.5 Onderhoudskosten

Bo-Ex benadrukt dat onderhoudskosten boven de 100 euro naar de bewoner gaan, wat niet aantrekkelijk is en het draagvlak vermindert. Hoewel het een onzekerheid is, is het belang van deze voor Bo-Ex het hoogst onder de financiële criteria. Ook zijn de onderhoudskosten erg afhankelijk van de levensduur, waardoor deze weging niet uitermate hoog zal liggen. Door dit allen te combineren krijgt dit criterium een weging van 0,083. De onzekerheid van onderhoudskosten is 10%, omdat het net als bij de levensduur, tamelijk onzeker is hoe lang een technologie meegaat en hoe vaak deze onderhouden moet worden.

4.2.6 Activiteit R&D-sector

Deze pilot wordt, net als alle pilots, ontwikkeld om eventuele grote toekomstplannen uit te proberen. Dan is het ook erg belangrijk dat er binnen de Research & Development sector van gelijkstroom veel activiteit is om aan een duurzamere toekomst te werken. Dit wordt meegenomen in de Activiteit R&D-sector met een hoge weging van 0,168. Dit criterium heeft op alle andere criteria invloed en is dan ook erg belangrijk voor dit project. Deze weging heeft echter wel een hoge onzekerheid van 20% toegeschreven gekregen. Dit komt door het gebrek aan data over de toekomstplannen binnen deze sector (Sabzehgar, 2015). Het is onduidelijk hoeveel beter batterijen nog kunnen worden en hoeveel efficiënter converters nog zouden kunnen zijn. Hierdoor is de hoge onzekerheid toegeschreven.

4.2.7 Mogelijkheid tot stabilisatie

Het implementeren van een niet gestabiliseerde technologie is lastig. Er wordt tegen veel problemen aangelopen en deze zullen niet in 1 keer op te lossen zijn. Het criterium Mogelijkheid tot stabilisatie kijkt naar de potentie per alternatief om te stabiliseren. Als deze pilot goed zal verlopen, bestaat de kans dat Bo-Ex dit op veel meer woningen zou willen toepassen. Het ondernemen hiervan zou vele malen soepeler verlopen met een gestabiliseerde technologie. Hierdoor is er een relatief hoge weging van 0,118 aan dit criterium toegeschreven. Deze weging is niet hoger dan dit, omdat hij zich voornamelijk met uiteindelijke markt verspreiding bezighoudt. Voor de pilot zelf maakt dit criterium wel wat uit, maar voor de toekomst van Bo-Ex is het veel belangrijker. Deze weging heeft wel een onzekerheid van 10% gekregen, omdat het tamelijk lastig is om de toekomst van Bo-Ex te voorspellen. Als deze pilot positief zal uitpakken, kan het namelijk een stuk belangrijker dat het alternatief is gestabiliseerd.

4.2.8 Houding van bewoners

Vanaf de eerste dag van dit project is het al duidelijk geweest dat de bewoners het allerbelangrijkst zijn voor deze pilot. Bo-Ex heeft een draagvlak nodig van minimaal 70% om projecten te kunnen uitvoeren en wil de bewoners graag tevreden houden. Een project kan namelijk niet zonder de instemming van bewoners worden uitgevoerd. Om deze redenen is er gekozen voor de hoogste weging van alle criteria; 0,257. Zoals eerder gezegd, is er veel

zekerheid over de weging van dit criterium, waardoor er een onzekerheid van 5% is toegeschreven aan de *Houding van bewoners*.

	levensduur	ex...winst	complexiteit	in...kosten	on...osten	ac...sector	mo...iliasatie	ho...oners	Weight
levensduur		0,500	2,000	1,500	1,500	0,500	0,667	0,333	0,092
extra energiewinst	2,000		2,500	2,500	2,500	1,000	1,500	0,588	0,166
complexiteit	0,500	0,400		0,667	0,500	0,333	0,500	0,250	0,053
investeringskosten	0,667	0,400	1,500		0,588	0,400	0,500	0,250	0,063
onderhoudskosten	0,667	0,400	2,000	1,700		0,500	0,667	0,333	0,083
activiteit R&D sector	2,000	1,000	3,000	2,500	2,000		2,000	0,476	0,168
mogelijkheid tot stabilisatie	1,500	0,667	2,000	2,000	1,500	0,500		0,588	0,118
houding van bewoners	3,000	1,700	4,000	4,000	3,000	2,100	1,700		0,257

Tabel 14: Een overzicht van de paarsgewijze vergelijking om gewichten te verkrijgen.

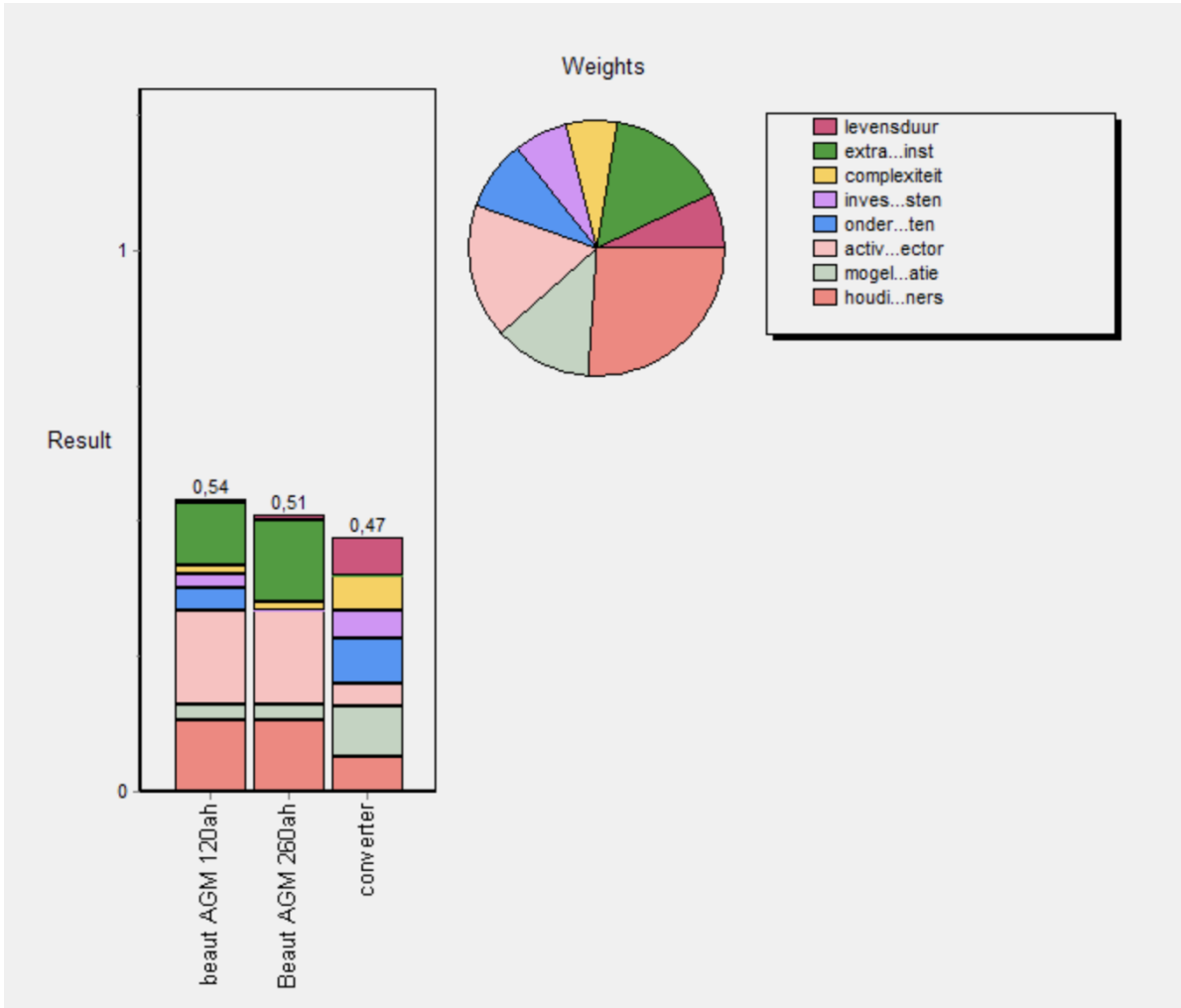
Criterium	Kosten/Baten	Weefactor	Onzekerheid weefactor
Levensduur	Baten	0,092	10%
Extra energiewinst	Baten	0,166	5%
Complexiteit	Kosten	0,053	10%
Investeringskosten	Kosten	0,063	5%
Onderhoudskosten	Kosten	0,083	10%
Activiteit R&D-sector	Baten	0,168	20%
Mogelijkheid tot stabilisatie	Baten	0,118	10%
Houding van bewoners	Baten	0,257	5%

Tabel 15: De criteria met hun toegeschreven wegingen en onzekerheden.

4.3 Resultaten

CRITERIA	K/ B	Standaardisatie methode	Gewicht	Gewicht onzekerheid	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3
Levensduur	B	Maximum	0,044	10%	1,00	0,13	0,13
Extra Energiewinst	B	Maximum	0,190	5%	0,00	0,75	1,00
Complexiteit	K	Doel	0,029	10%	1,00	0,25	0,25
Investeringskosten	K	Maximum	0,080	5%	0,78	0,37	0,00
Onderhoudskosten	K	Maximum	0,058	10%	0,93	0,50	0,00
Activiteit R&D-sector	B	Doel	0,140	20%	0,25	1,00	1,00
Mogelijkheid tot stabilisatie	B	Doel	0,093	10%	0,75	0,25	0,25
Houding van bewoners	B	Doel	0,367	5%	0,25	0,50	0,50
TOTAAL					0,47	0,54	0,51

Tabel 16: de standaardisering van alle criteria uitgezet in een effectentabel.



Figuur 2: De resultaten van de Multi Criteria Analyse via BOSDA.

4.4 Robuustheidsanalyse

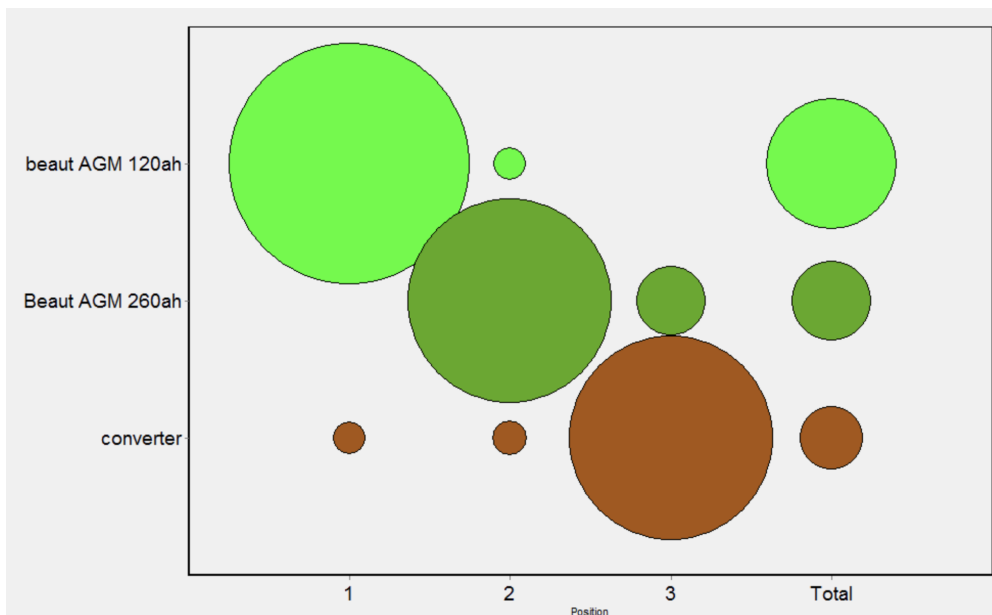
Om de robuustheid van de analyse te onderzoeken, zullen er een waarschijnlijkheidsanalyse en een paar gevoeligheidsanalyses uitgevoerd worden. Er zijn aan de toegeschreven gewichten ook onzekerheden toegeschreven. Deze onzekerheden zullen deze robuustheidsanalyse leiden en meer inzicht bieden in de zekerheid van het onderzoek.

4.4.1 Waarschijnlijkheidsanalyse

Het programma BOSDA heeft aan de hand van de onzekerheden van de wegingen de analyse honderden keren uitgevoerd. Elke analyse verschilt in wegingen, maar valt binnen de marge die is gegeven aan elk gewicht. Door dit te doen, wordt het duidelijk hoe groot de kans dat een alternatief toch niet op de eerste plek belandt. In het figuur hieronder is te zien dat de Beaut AGM 120ah voor 88% procent op de eerste plek eindigt, terwijl de converter 12% van de tijd hieruit komt. Wat opvalt is dat alternatief 3, de Beaut AGM 260ah, geen enkele keer op plek 1 uitkomt. De einduitslag is dus best robuust, maar niet 100% robuust. Dit zal meegenomen worden in het eindadvies.

Alternatives/Positions	1	2	3	Total
beaut AGM 120ah	0,880	0,120	0,000	2,880
Beaut AGM 260ah	0,000	0,750	0,250	1,750
converter	0,120	0,130	0,750	1,370

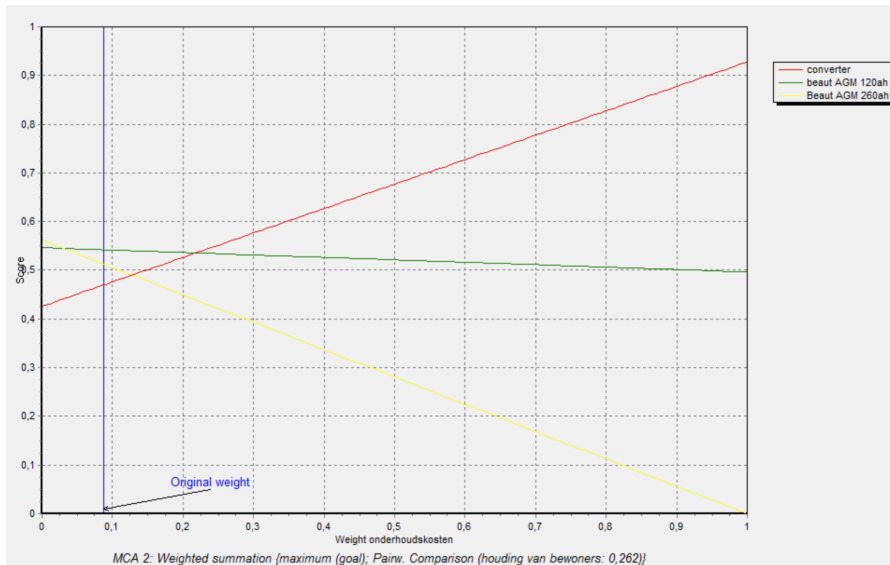
Tabel 17: De waarschijnlijkheid van elk alternatief per positie in de rangorde.



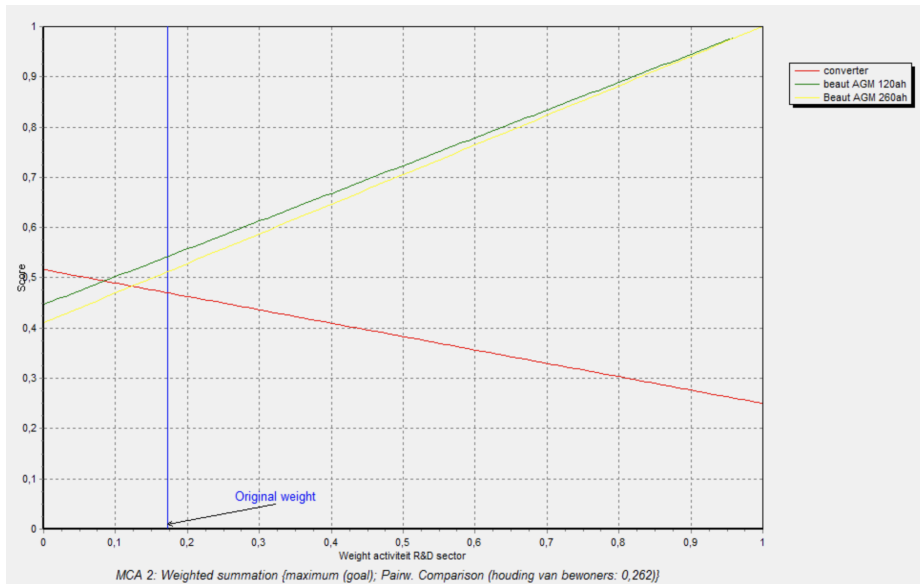
Figuur 3: De waarschijnlijkheid van elk alternatief per positie in de rangorde.

4.4.2 Gevoeligheidsanalyse

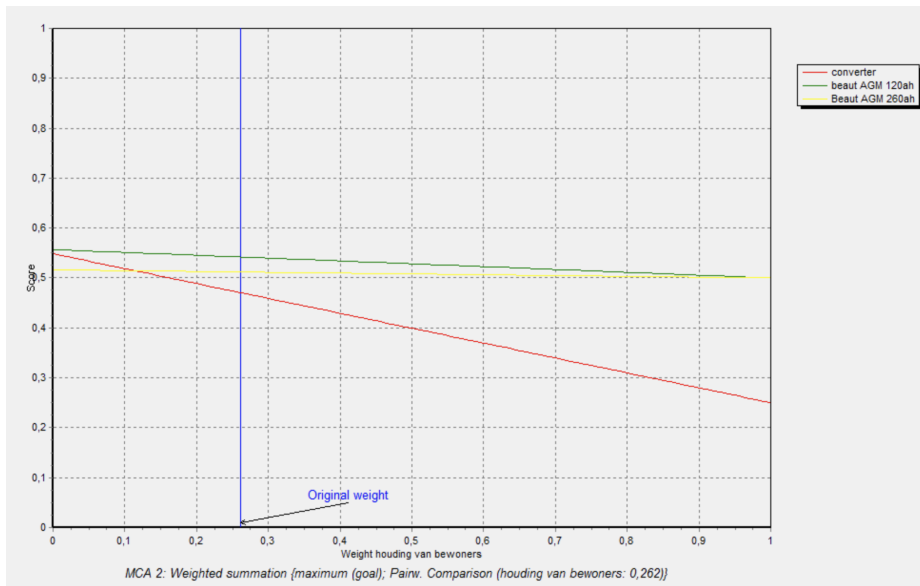
Om de robuustheid van de analyse nog verder te onderzoeken, zijn er ook drie verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op het grootste gewicht en twee van de meest onzekere gewichten. In deze figuren is te zien hoe hoog het gewicht is, via de blauwe lijn, en hoe de scores veranderen als dit gewicht hoger of lager zou zijn. Over het algemeen geldt dan ook dat hoe verder weg van de blauwe lijn de nummer 1 kruist met een ander alternatief, hoe robuuster de analyse is.



Figuur 4: Gevoeligheidsanalyse van het gewicht van het criterium Onderhoudskosten.



Figuur 5: Gevoeligheidsanalyse van het gewicht van het criterium Activiteit R&D-sector.



Figuur 6: Gevoeligheidsanalyse van het gewicht van het criterium *Houding van bewoners*.

Uit de bovenstaande figuren is te zien dat het grootste gewicht, *Houding van bewoners*, erg ongevoelig is voor verandering. De kans is nihil dat het beste alternatief veranderd. Als er wordt gekeken naar de andere gevoeligheidsanalyses, valt het op dat bij twee van de onzekerste gewichten, *Onderhoudskosten* en *Activiteit R&D-sector*, de lijnen relatief snel kruisen. Als de *Onderhoudskosten* toch belangrijker blijken te zijn, is het mogelijk dat er geschoven zal worden in de rangorde. Hetzelfde geldt voor het minder belangrijk worden van de *Activiteit R&D-sector*. Zodra het gewicht van dit criterium 10% minder belangrijk zou blijken te zijn, zal de rangorde dan ook veranderen. Aan de hand van de communicatie met Bo-Ex en de zekerheid van andere wegingen, is de kans niet erg groot dat deze wegingen zodanig veel zullen veranderen om de rangorde op te schudden. Echter zal hier alsnog rekening mee gehouden worden in het bieden van een advies, om zo transparant mogelijk te communiceren met de opdrachtgever Bo-Ex.

5. Bibliografie

Advies Elektrotechniek. (2014, 27 oktober). Kabels in elektrische installaties verouderen de loop der tijd en verdienen aandacht. Geraadpleegd 20 Mei 2019, van <https://advies-elektrotechniek.nl/kabels-elektrische-installaties-verouderen-de-loop-der-tijd-en-verdiene-aandacht/>

AJtec. (2019). *Prijslijst AJtec*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van <https://www.ajtec.nl/prijzen/>

Beaut. (2019). *Accu's: Beaut®: AGM accu 120ah*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van http://www.beautsolar.nl/accus/AGM_accu_120ah/

Beaut. (2019). *Accu's: Beaut®: AGM accu 260ah*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van http://www.beautsolar.nl/accus/AGM_accu_260ah/

Beslist.nl. (2019). *Ac 220 v dc transformer 12 v 30a power levert 12 volt 30 amp 360 w led kopen? | BESLIST.nl | Laagste prijs*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van https://www.beslist.nl/klussen/d0024027431/Ac_220_v_dc_transformer_12_v_30a_power_levert_12_volt_30_amp_360_w_led.html?productIdentifier=00000150323879387431956248133

Centraal Beheer. (2019). *Klushulp - Laat uw klus snel en goed uitvoeren - Centraal Beheer*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van <https://klushulp.centraalbeheer.nl/klus/elektricien-per-uur>

Commscope. (2019). *HR150-KIT-ACDC*. Geraadpleegd 18 mei 2019, van https://www.commscope.com/catalog/antennas/product_details.aspx?id=48270

Dion. (2019). *De lithium-ion accu, goudmijn voor de toekomst?* <https://centurionbattery.nl/lithium-ion-accu-goudmijn-toekomst/>

Drummond, J. (2018, 21 juni). *The Average AGM Battery Life Expectancy*. Geraadpleegd 20 mei 2019, van <http://www.thelongestlecture.com/agm-battery-life-expectancy/>

Edquist, C., (2004). Systems of Innovation: perspectives and challenges. In: Fagerberg (Ed). *The Oxford Handbook of Innovation*, pp.181–204

Enersolar. (2019). *Installatie | Enersolar*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van <https://www.enersolar.nl/particulieren/installatie>

Fares, R. L., & Webber, M. E. (2017). The impacts of storing solar energy in the home to reduce reliance on the utility. *Nature Energy*, 2(2), 17001.

Geels, F.W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study

Glasgoa, B., Azevedoa, I.L., Hendrickson, C. (2016). *How much electricity can we save by using direct current circuits in homes? Understanding the potential for electricity savings and assessing feasibility of a transition towards DC powered buildings*

Hekkert, M.P., Suurs, R.A.A., Negro, S.O., Kuhlmann, S., Smits, R.E.H.M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change.

IRIS Oplossingen. (2019). Geraadpleegd op 6 mei 2019, van <https://iris-utrecht.nl/project-iris/iris-oplossingen/>

Kennisplatform (2019). WAAROM BESTAAT ER ZOWEL GELIJKSPANNING ALS WISSELSPANNING?

<https://www.kennisplatform.nl/waarom-is-er-gelijkspanning-en-wisselspanning/>

KNMI. (2019). *KNMI - Archief maand/seizoen/jaaroverzichten*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/>

Laudani, G. A., Mitcheson, P. D. (2014). Comparison of cost and efficiency of DC versus AC in office buildings. *Transformation of the Top and Tail of Energy Networks, London*.

Mahesh, A., & Sandhu, K. S. (2015). Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1135-1147.

Rickandie. (2018). *Accu's en batterijen: veel soorten voor talrijk gebruik*

<https://electronica.infonu.nl/diversen/186644-accus-en-batterijen-veel-soorten-voor-talrijk-gebruik.html>

RVO. *Wereldwijd grote kansen voor nieuwe batterijtechnologie*.

<https://www.rvo.nl/actueel/praktijkverhalen/wereldwijd-grote-kansen-voor-nieuwe-batterijtechnologie>

RVO. *Subsidies & financiering*. Geraadpleegd op 4 juni 2019, van <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen>

Sabzehgar, R. (2015, November). A review of AC/DC microgrid-developments, technologies, and challenges. In *2015 IEEE Green Energy and Systems Conference (IGESC)* (pp. 11-17). IEEE.

SolSolutions. (2019). *Opbrengst Zonne-panelen - zonnepanelen | SolSolutions*. Geraadpleegd 21 mei 2019, van <https://www.solsolutions.nl/zonnestroom/opbrengst-zonnestroom/>

Thompson, V. (2018). Difference Between a Macro-level and Micro-level Theoretical Orientation.

<https://yourbusiness.azcentral.com/difference-between-macrolevel-microlevel-theoretical-orientation-29514.html>

Utrecht: Energiek middelpunt van het land Energieplan Utrecht. (2015, June 8). Retrieved June 23, 2019, from <https://www.utrecht.nl/fileadmin/uploads/documenten/zz-omgevingsvisie/thematisch-beleid/energie/2015-06-energieplan-utrecht-energiek-middelpunt-van-het-land.pdf>

Zhang, S. S. (2006). A review on electrolyte additives for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, Pages 1379-1394