

Semi-autarke woningen

**Kan een woning in België omgevormd worden tot een semi-autarke woning
die zichzelf voorziet van energie in geval van een black-out?**

Nick Van Loy

Promotor: Prof. dr. ir. Griet Verbeeck

Masterthesis voor het behalen

Master in Architectuur

Universiteit Hasselt

Faculteit Architectuur en Kunst

Academiejaar 2015-2016

Dankwoord

Om deze thesis tot een goed einde te brengen heb ik hulp gehad van vele mensen, daarom zou ik hen bij deze graag bedanken voor hun steun en inzet.

Bijzondere dank gaat uit naar mijn promotor, prof. dr. Ir. Griet Verbeeck, voor het aanreiken van het onderwerp, het verstrekken van onontbeerlijke informatie en het kritisch evalueren van de tekst. Haar inzicht en deskundige kennis hebben een duidelijke meerwaarde betekend.

Ook zou ik graag meneer De Cuyper, meneer Lemmens en meneer Vangoidsenhoven bedanken voor hun deskundig advies en professionele visie op deze materie.

Daarnaast wil ik mijn ouders bedanken, zonder hun steun, zowel moreel als financieel was de realisatie van deze thesis niet mogelijk geweest.

Ten slotte wil ik ook al mijn vrienden bedanken voor de steun die zij mij geboden hebben, alsook voor het nalezen van de teksten.

Abstract

Van netgekoppelde woning naar semi-autarke woning.

De stijging van het aandeel aan groene energie de afgelopen jaren kan de stabiliteit en betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet in gedrang brengen, doordat de productie van groene energie, zoals bv. zonne- en windenergie, niet kan aangepast worden in functie van het verbruik. Hierbij kan een onevenwicht ontstaan in het elektriciteitsnet met als gevolg een energietekort of een energieoverschot. Dit onevenwicht kan uiteindelijk leiden tot een black-out.

Dit onderzoek gaat in op de oplossingen die een semi-autarke woning kan leveren, alsook op het realiseren van dit type woningen. Een semi-autarke woning dient in de eerste plaats om elektriciteit te leveren indien zich een black-out voordoet. Indien een black-out zich aandient, zal de woning zich afkoppelen van het elektriciteitsnet en wordt elektriciteit voorzien vanuit een buffer, zoals batterijen. De semi-autarke woning is in deze scriptie ook in een grotere context geplaatst. Er is onderzoek gedaan naar het optimaliseren van de eigen productie van de fotovoltaïsche panelen, alsook om het elektriciteitsverbruik af te stemmen op de productie.

De semi-autarke woning is in een casestudie toegepast op mijn ouderlijke woning, waarbij nagegaan is of er een mogelijkheid bestaat om deze om te bouwen tot een semi-autarke woning. Hierbij is de grootte en de kostprijs van de installatie berekend. De autonomie van de woning is onderzocht en ook op de manier waarop de autonomie verlengd kan worden.

De scriptie sluit af met een gedeelte eigen onderzoek waarin nagegaan wordt of er interesse is in de semi-autarke woning, maar tevens ook hoe de energieleverancier Elegant en netbeheerder Infracx tegenover dit systeem staan. Uit het onderzoek blijkt dat de respondenten niet vrezen voor een black-out in de toekomst, toch toont ongeveer 40% interesse voor het semi-autark systeem. Volgens energieleverancier Elegant kan een semi-autarke woning een meerwaarde betekenen voor het toekomstig elektriciteitsnet, maar hiervoor zijn nog aanpassingen vereist; bv. op economisch vlak.

Abstract

From on-grid house to semi-autarkic house.

Because the proportion of green energy has increased in the last years, the stability and reliability of the electricity grid isn't so sure anymore. This because the production of green energy like sun and wind energy can't be matched with the electricity use. In that case there can arise an unbalance in the electricity grid. The consequences of the unbalance is an energy shortage or an energy surplus, which can result in a black-out.

This thesis examines the solutions that a semi-autarkic house can provide as well the realisation of this type of houses. In the first place a semi-autarkic house is meant to provide electricity when there is a black-out. When this occurs, the house can disconnect itself from the electricity grid and the energy storage, like batteries, will provide electricity to the house. In this thesis the semi-autarkic house is also placed in a bigger context, research is done about the optimisation of the production of the photovoltaic solar panels and also to adapt the electricity use to the production.

In the case study the semi-autarkic house is applied to my parent's home, there is explored if our house can be converted to a semi-autarkic house. Also the size and the costs of the installation are calculated. The autonomy of house is calculated and there is been searched to extend the autonomy.

The thesis ends with a part of own research to examine whether there is interest in the semi-autarkic house, but also what the energy supplier Elegant and the grid operator Infrax think about the system. The research shows that there is only few people who fear a black-out, but still 40% of the respondents are interested in the semi-autarkic system. The energy supplier explained that semi-autarkic houses can be seen as an added value but the economic system needs to change.

Inhoudsopgave

1	Opzet van de thesis	9
1.1	Inleiding	9
1.2	Doelstellingen.....	10
1.3	Onderzoeksvraag.....	11
1.3.1	Hoofdonderzoeksvraag	11
1.3.2	Deelonderzoeksvragen	11
2	Probleemstelling.....	12
2.1	Energie in België	12
2.1.1	Klimaat in België	12
2.1.2	Elektriciteitsverbruik België.....	14
2.2	Probleemsituaties.....	17
2.2.1	Jaarbasis	17
2.2.2	Dagbasis.....	20
2.2.3	Besluit	20
3	Elektriciteitsnetwerk	21
3.1	Werking van het huidige net	21
3.2	Elektriciteitsproductiepark	23
3.3	Energiespelers	24
3.3.1	Energieproducent.....	24
3.3.2	Invoerders van elektriciteit	24
3.3.3	Transmissienetbeheerder.....	24
3.3.4	Distributienetbeheerder.....	24
3.3.5	Leverancier	24
3.4	Problemen in de toekomst.....	25
3.4.1	Elektriciteitstekort.....	25
3.4.2	Elektriciteitoverschot.....	25
3.4.3	Afschakelplan	26
3.5	Toekomstig elektriciteitsnetwerk.....	27
3.5.1	Smart grid	27
3.5.2	Energieprojecten	28
3.5.3	Smart grid in combinatie met de semi-autarke woning.....	33
4	Autonomie van de woning	34
4.1	Type woningen	34
4.1.1	Netgekoppelde woning	34

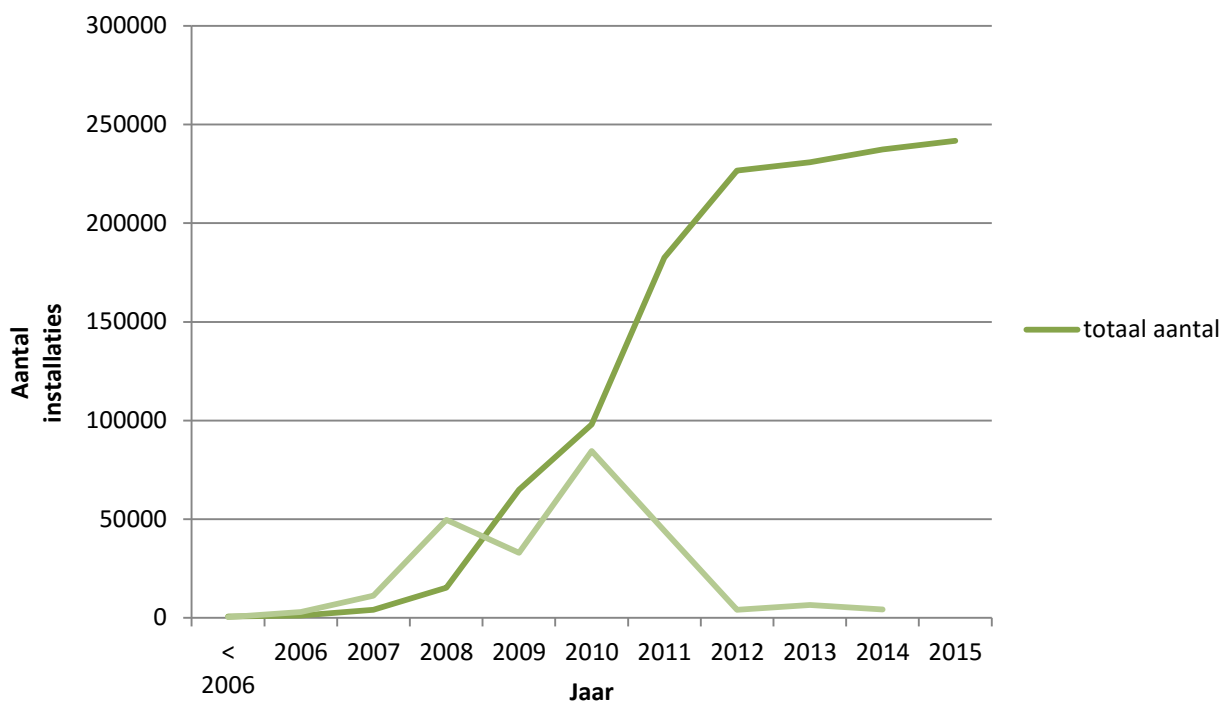
4.1.2	Autonome woning.....	35
4.1.3	Semi-autarke woning.....	36
4.2	Autonomie.....	37
4.2.1	Stroomonderbrekingen in België	37
4.2.2	Black-out energienet	37
4.2.3	Besluit.....	38
4.3	Elektriciteitsverbruik	39
4.4	Elektriciteitsproductie	42
4.4.1	Werking	42
4.4.2	Types.....	42
4.4.3	Energieopbrengst	43
4.5	Opslagsystemen	46
4.5.1	Bestaande systemen.....	46
4.5.2	Nieuwe projecten	50
4.5.3	Bruikbare systemen voor de semi-autarke woning.....	52
5	Casestudie	53
5.1	Elektriciteitsverbruik	53
5.1.1	Energiemeetsystemen.....	53
5.1.2	Eigen metingen.....	57
5.1.3	Verbruik reduceren	61
5.2	Elektriciteitsproductie	62
5.3	Dimensioneren van het systeem.....	63
5.3.1	Enersys.....	63
5.3.2	SMA Solar Technology.....	65
5.3.3	Autonomie verhogen.....	67
5.3.4	Smart grid in combinatie met de semi-autarke woning.....	68
5.3.5	Besluit dimensionering.....	70
5.4	Kostprijs van het systeem.....	71
5.4.1	Enersys.....	71
5.4.2	SMA Solar Technology.....	71
5.4.3	Verlengde autonomie.....	71
5.4.4	Smart grid in combinatie met de semi-autarke woning.....	71
5.4.5	Verbruik reduceren	72

6	Belangstelling voor de semi-autarke woning	73
6.1	Respondenten	73
6.1.1	Vragen	73
6.1.2	Resultaten.....	73
6.1.3	Besluit	77
6.2	Energiemaatschappij.....	78
6.2.1	Elegant.....	78
6.2.2	Infrax.....	80
7	Eindbesluit.....	82
8	Bibliografie.....	84
9	Figuurlijst.....	88

1 Opzet van de thesis

1.1 Inleiding

Tegenwoordig wordt er meer en meer gekozen om over te schakelen op groene energie. Eén van de meest gekende en belangrijkste technologieën voor de productie van groene energie zijn de fotovoltaïsche zonnepanelen. In 2006 waren er nog maar ongeveer 1.140 installaties, maar vanaf 2007 is er een explosieve groei ontstaan op dit gebied als gevolg van zeer lucratieve subsidies door de overheid, zodat er momenteel 238.616 installaties in België aanwezig zijn. Figuur 1 toont zowel de jaarlijkse toename als het volledig aantal PV installaties die geplaatst zijn. Naast zonnepanelen is er ook een enorme groei geweest van andere groene energiebronnen zoals windenergie en bio-energie [1]. Intussen is de groei van de zonnepanelen afgenomen door het stopzetten van subsidies door de overheid. Maar het gebruik van windenergie blijft groeien [1].



Figuur 1: Evolutie zonnepanelen, gegevens Vreg [2]

De evolutie van groene energie lijkt en is een fantastisch concept, maar heeft wel enkele consequenties. Zon en wind zijn niet constant aanwezig en zijn ook niet controleerbaar, waardoor de elektriciteitsproductie niet constant is en er een teveel aan elektriciteitsproductie is wanneer deze niet nodig is. Hierdoor kunnen zich verschillende problemen voordoen bij het onderling afstemmen van elektriciteitsproductie en -verbruik. In deel 5 probleemstelling zal verder ingegaan worden op de gevolgen die door toenemende productie van groene energie kunnen ontstaan.

1.2 Doelstellingen

Als we in de toekomst van groene stroom onze hoofdenergiebron willen maken, zal ons huidige elektriciteitsnetwerk moeten veranderen. Ons verbruik zal moeten worden afgestemd op het aanbod en er zal gezocht moeten worden naar een manier om energie op te slaan in periodes van overproductie om te worden gebruikt in periodes dat het aanbod te klein is of zelfs helemaal wegvalt.

Deze scriptie spitst zich vooral toe op het probleem op dagbasis. Meer bepaald zal ik op zoek gaan naar de mogelijkheid om een woning in geval van een black-out of een stroompanne zichzelf van elektriciteit te laten voorzien. Daarom zal ik onderzoeken of de semi-autarke woning hiervoor oplossingen kan bieden alsook of het in België mogelijk is om een semi-autarke woning te bouwen. Een semi-autarke woning is een woning die zich in tijden van elektriciteitstekorten van het elektriciteitsnetwerk kan loskoppelen en de nodige energie kan putten uit eigen elektriciteitsproductie en eigen energieopslag.

Hiervoor worden eerst de problemen van afstemming van vraag en aanbod bij elektriciteitsproductie door groene energie meer in detail besproken en wordt ook de werking van het Belgisch elektriciteitsnetwerk uitgelegd.

Verder zal ik nagaan of het mogelijk is om de semi-autarke woning te integreren in het toekomstige smart grid. Hierbij wordt dan onderzocht op welke punten ze elkaar kunnen aanvullen, alsook waar er probleempunten zouden kunnen ontstaan.

Daarna bespreek ik een casestudy die is uitgevoerd op mijn ouderlijke woning waarvan het elektriciteitsverbruik en –opbrengst van de zonnepanelen gedetailleerd zijn te meten. Als laatste ga ik na of er interesse is bij bewoners met zonnepanelen om een extra investering te doen om hun woning te veranderen in een semi-autarke woning. Tenslotte bespreek ik hoe de energiemaatschappijen tegenover het systeem staan.

1.3 Onderzoeksvraag

1.3.1 Hoofdonderzoeksvraag

Volgende onderzoeksvraag is de basis voor deze scriptie:

Kan een woning in België omgevormd worden tot een semi-autarke woning die zichzelf gedurende een voldoende lange periode autonoom kan voorzien van energie in geval van een black-out?

1.3.2 Deelonderzoeksvragen

Hoe moet een semi-autarke woning gedefinieerd worden?

Hoe moet een semi-autarke woning geconcipieerd worden?

Welke voor- en nadelen heeft een semi-autarke woning?

Hoelang moet de woning autonoom kunnen zijn?

Zal de semi-autarke woning passen in het kader van het smart grid?

Biedt deze woning oplossingen op grotere schaal?

Wat zijn de financiële kosten?

Is er interesse om te investeren in een semi-autarke woning?

Hoe staat de energieleverancier tegenover het woningconcept?

2 Probleemstelling

De productie van groene energie (wind en zon) is vooral afhankelijk van de krachten van de natuur. Hierdoor kunnen zich twee probleemsituaties voordoen: één op jaarbasis en één op dagbasis. Om de verschillende situaties te duiden, is hierna het klimaat en het elektriciteitsverbruik van België besproken. Daarna worden de probleemsituaties toegelicht.

2.1 Energie in België

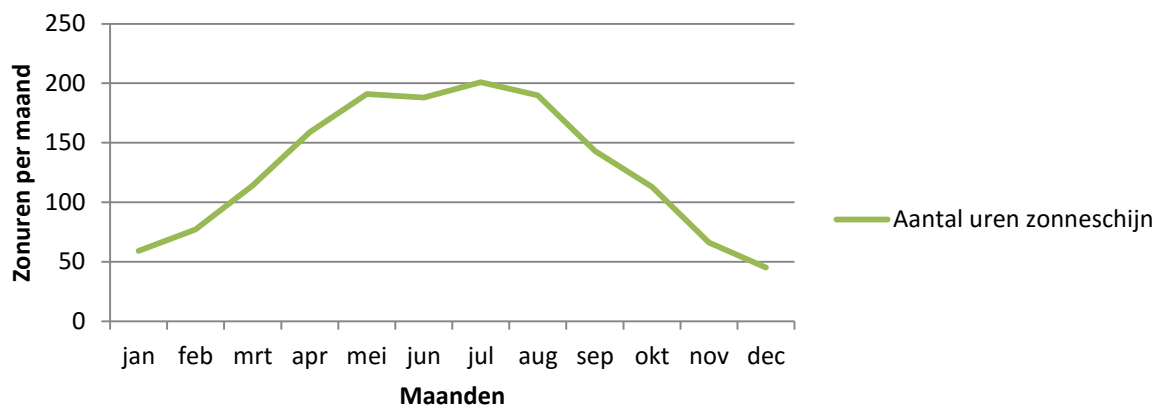
2.1.1 Klimaat in België

België heeft een gematigd klimaat met frisse zomers en relatief zachte winters. In ons klimaat krijgen we veel te maken met afwisseling van verschillende atmosferische toestanden die ons weer van dag tot dag bepalen [3].

2.1.1.1 Zon

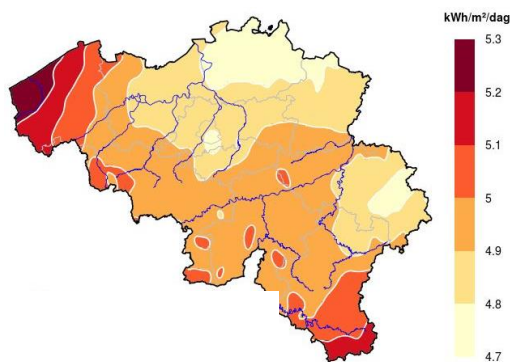
In België wordt zowel de zonnestraling als de zonneshijnduur gemeten. De zonnestraling geeft weer hoeveel energie er instraalt, uitgedrukt in Watt per vierkante meter per dag; terwijl de zonneshijnduur het aantal uren zon weergeeft wanneer deze meer dan $120\text{W}/\text{m}^2$ levert. De zonnestraling wordt bepaald door de zonneshijnduur met de intensiteit van de zonne-instraling te vermenigvuldigen. Zowel de zonnestraling als de zonneshijnduur kunnen samengevat worden per seizoen zodat deze kunnen vergeleken worden aan de hand van de energiestraling [3].

In de zomer is er een gemiddelde zonnestraling van 4,7 tot 5,3 kWh/m²/dag, terwijl deze in de winter maar 0,82 tot 0,94 kWh/m²/dag bedraagt. Het is dus duidelijk dat er in de winter minder energie door de zon geleverd wordt. Als de zonnestraling op de normalen (midden-België) bekeken wordt, varieert deze met een factor 10 tussen zomer en winter. In figuur 2 wordt duidelijk weergegeven dat ook de zonuren in de winter veel minder zijn dan in de zomer [3].

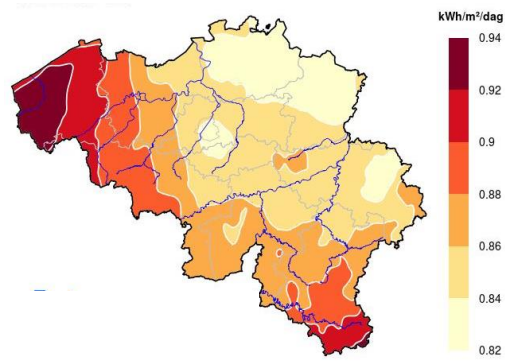


Figuur 2: Gemiddeld aantal uren zonneshijn, Cijfers KMI [4]

Figuur 3 en figuur 4 geven de zoninstraling weer in België. Hierop is duidelijk te zien dat de zon in zomermaanden meer energie straalt dan in de winter.



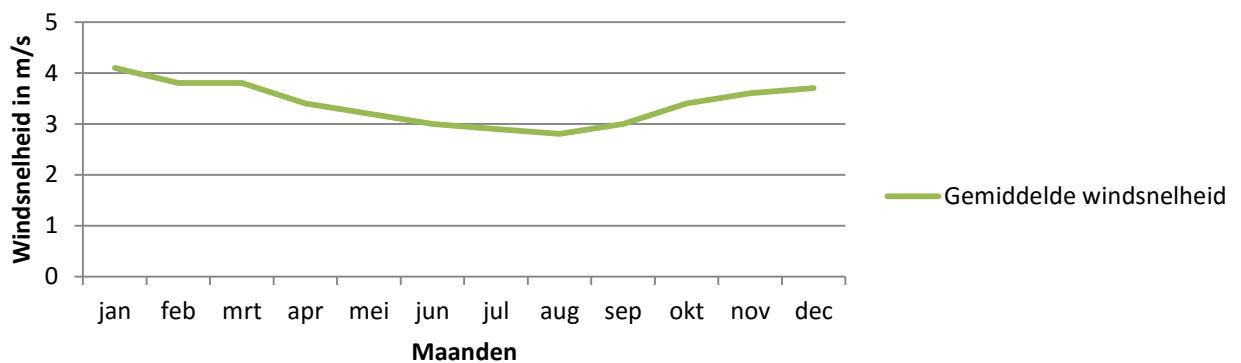
Figuur 3: Dagelijkse waarde van de gemiddelde globale zoninstraling in de zomer; KMI



Figuur 4: Dagelijkse waarde van de gemiddelde globale zoninstraling in de winter; KMI

2.1.1.2 Wind

De wind wordt weergegeven door de gemiddelde snelheid in m/s per maand. In de zomer is er een lichte daling van de windsnelheid (figuur 5). Hierdoor zal er in de zomerperiode minder energie geleverd worden door windmolens dan in de winter [5].

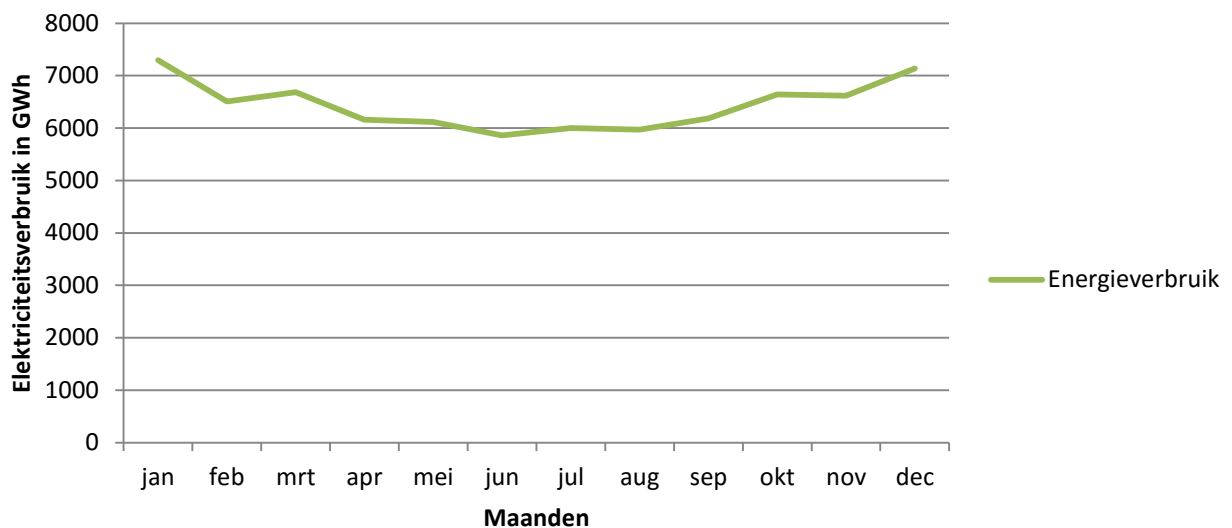


Figuur 5: Gemiddelde windsnelheid, Cijfers KMI [4]

2.1.2 Elektriciteitsverbruik België

Ook het elektriciteitsverbruik is geen constant gegeven. Dit verandert gedurende de dag en gedurende het jaar. Om de problemen van afstemming van elektriciteitsproductie en elektriciteitsverbruik op een zo correct mogelijke manier in beeld te kunnen brengen, moet er zowel naar het verbruik op grote tijdsbasis (maand) als op kleine tijdsbasis (kwartier) gekeken worden. De verbruiken op maandbasis zijn gebaseerd op gegevens uit 2014 van Elia zodat een volledige jaarcyclus kan weergegeven worden [6]. Voor de verbruiken op kwartierbasis is gebruik gemaakt van gegevens van Elia uit januari 2015 [7]. De verbruiken die hieronder getoond worden zijn deze van alle consumenten samen waardoor deze niet rechtstreeks bruikbaar zijn om een woning mee te dimensioneren.

Door de verbruiken per maand (GWh) in een grafiek te vertalen, zien we dadelijk dat er in de zomermaanden minder verbruikt wordt. Tussen het minimum en het maximum zit een verschil van 1432 GWh, wat overeen komt met de productie van een kerncentrale als Doel 2 gedurende 4 à 5 maanden of met de totale jaaropbrengst van de waterkrachtcentrales in België [6].

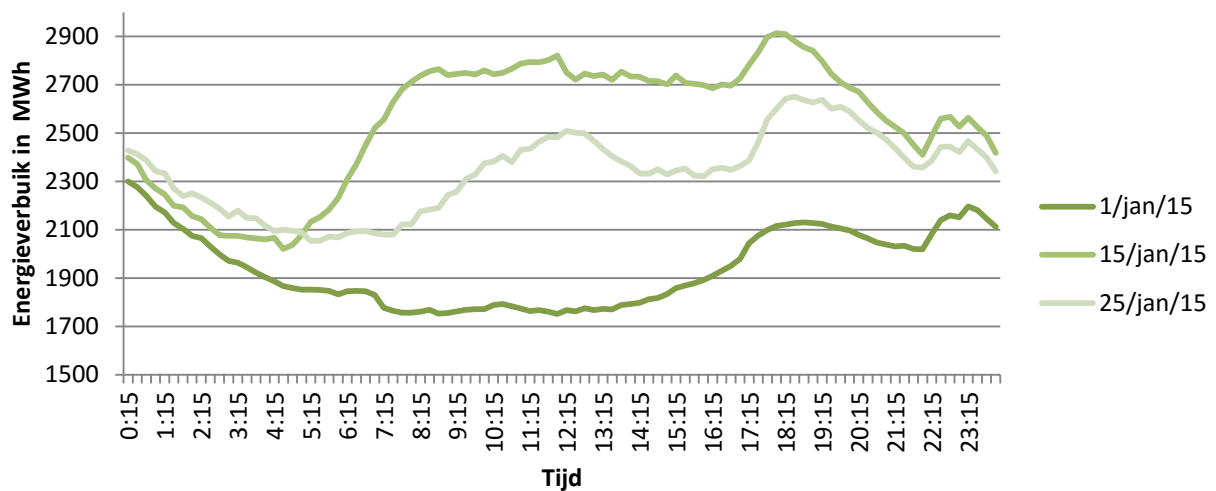


Figuur 6: Globaal energieverbruik België, Gegevens Elia [6]

Gegevens over het elektriciteitsverbruik in België op korte tijdsbasis worden steeds weergegeven per kwartier. Dit heeft te maken met het constant evenwicht tussen productie en verbruik, wat de basis is van ons elektriciteitsnetwerk. Dit evenwicht is zeer belangrijk omdat de elektriciteit die geproduceerd wordt op hetzelfde moment moet gebruikt worden, doordat elektriciteit maar in beperkte mate kan worden opgeslagen [8]. Het evenwicht wordt in stand gehouden door de productie aan te passen afhankelijk van er vraag is naar energie. Het evenwicht moet geleverd worden door de energieleveranciers, indien ze dit evenwicht niet respecteren worden ze beboet. De boetes voor de onevenwichtsenergie worden berekend op kwartierbasis, dit betekent dat het gebied van de verantwoordelijke energieleverancier elk kwartier in evenwicht moet zijn om deze boetes te vermijden. Elk kwartier dat deze niet in evenwicht is zal er een boete worden opgelegd [9].

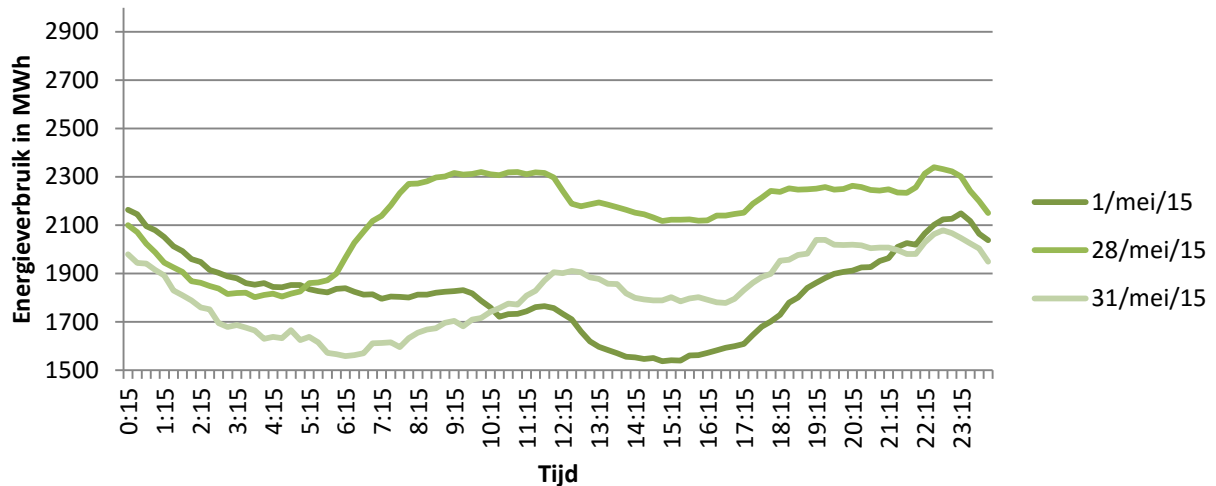
Uit het elektriciteitsverbruik van België (MWh) in figuur 7, is te zien dat het elektriciteitsverbruik begint te stijgen vanaf 's morgens. Na de middag is er een kleine daling, vanaf 17:30 uur vindt er terug een stijging plaats. Na de piek rond 18 uur, begint het elektriciteitsverbruik terug te dalen. Toch zijn er verschillen tussen verschillende dagen [7].

Deze verschillen zijn op een logische manier te verklaren. Ten eerste was 1 januari een feestdag waardoor het verbruik afweek ten opzichte van andere dagen, omdat in er in de meeste bedrijven niet gewerkt werd. De tweede datum, 15 januari 2015, was een gewone werkdag waardoor de piek vroeger begon alsook het totale verbruik hoger lag, doordat de bedrijven medeverbruiker zijn. De laatste datum was zondag 25 januari, waardoor de ochtendpiek op een later uur begon en het totale verbruik lager lag dan deze van een gewone werkdag, aangezien slechts in een beperkt deel van de bedrijven gewerkt werd.



Figuur 7: Dagverbruik januari 2015, Gegevens Elia [7]

Ook uit de gegevens van mei 2015 kunnen dezelfde pieken herkend worden. In figuur 8 is er terug gebruik gemaakt van verschillende type dagen, een feestdag op 1 mei, een normale werkdag op 28 mei en een zondag op 31 mei. Wat wel opvalt is dat het verbruik over de ganse lijn ongeveer 500 MWh lager ligt als gevolg van het feit dat deze datums in de lente vallen, wanneer het elektriciteitsverbruik lager is, zoals te zien in figuur 6.



Figuur 8: Dagverbruik mei 2015, Gegevens Elia [7]

Algemeen kan uit de verbruiken geconcludeerd worden dat het verbruik in de zomer een stuk lager ligt dan in de winter; dat er gedurende de dag vooral pieken ontstaan tijdens de ochtend/voormiddag en de avond, maar dat dit ook afhankelijk is van het type dag (werkdag, weekenddag, feestdag). Ook zien we dat het totale verbruik in de lenteperiode lager ligt. Dit zal waarschijnlijk te wijten zijn aan het feit dat er minder nood is aan verlichting en verwarming, zowel in woningen, bedrijven als in openbare infrastructuur (straatverlichting etc.).

Het is belangrijk dat het elektriciteitsverbruik gekend is, omdat de productie hierop afgestemd moet worden. Deze afstemming moet nauwkeurig gebeuren om een onbalans in het net te vermijden.

2.2 Probleemsituaties

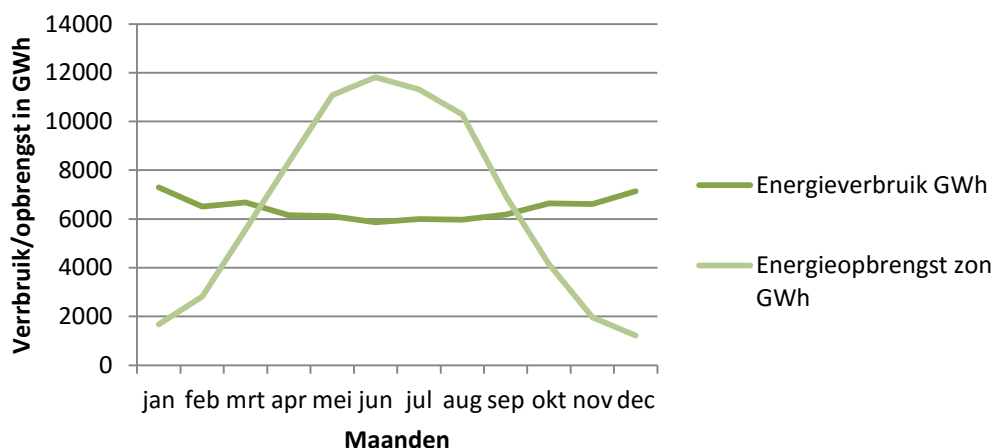
Zoals uit bovenstaande figuren blijkt, is het elektriciteitsverbruik in België geen constante. Ook de hoeveelheid elektriciteit die opgewekt kan worden met groene energie verandert voortdurend. Onderstaande situaties lichten de problemen die hierbij kunnen ontstaan toe.

2.2.1 Jaarbasis

Ten eerste zal er een probleem ontstaan op jaarbasis wanneer we onze energievraag zouden willen dekken met vooral groene energie. Om tijdens de winterperiode voldoende energie te produceren, zal er tijdens de zomer een overaanbod aan energie ontstaan, terwijl omgekeerd, als de groene energie afgesteld wordt op de zomerperiode, er een onderproductie zal ontstaan in de winter. Er kan voor gekozen worden om het energieaanbod op de energievraag van de winter af te stellen en gedurende de zomer enkele van deze groene energiebronnen uit te schakelen. Maar dit zou zowel een economisch als ecologisch verlies betekenen. De investering van de volledige installatie zal moeten betaald worden, ook al wordt deze enkel in de winter ten volle benut. Tevens zou er in de zomer gratis energie verloren gaan. Dus enkel met groene energie zal er momenteel niet kunnen voldaan worden aan de energievraag [10].

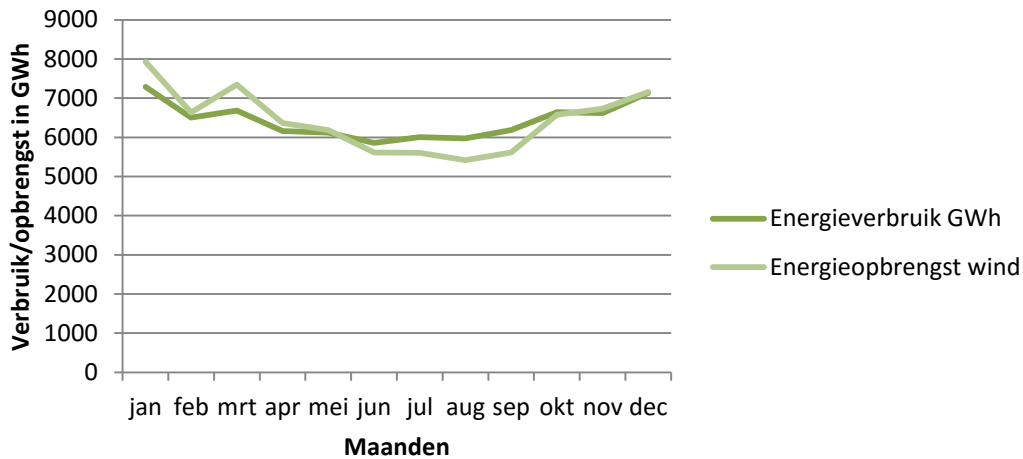
Om voorgaand probleem van afstemming van vraag en aanbod te illustreren, wordt in figuur 9 zowel het totale jaarverbruik als de totale opbrengst aan groene energie samengebracht. Als we de volledige energievraag van het jaar 2014 zouden voorzien door groene energie, zullen we een tekort aan energie krijgen in de winter en een overschot in de zomer. Met andere woorden zal het totale jaarverbruik (77TWh) gelijk worden gesteld aan de opgewekte energie, geleverd door hernieuwbare bronnen. Op jaarbasis zal er op deze manier evenveel energie verbruikt zijn als er geleverd is (namelijk 77TWh).

Als we de werkelijke vraag samenbrengen in een grafiek met de opbrengst van deze hernieuwbare energie, zal duidelijk worden dat er in de winter een energietekort ontstaat en in de zomer een energieoverschot. In figuur 9 is de situatie weergegeven wanneer de energieproductie enkel zou gebeuren door middel van zonnepanelen. In figuur 10 is er vanuit gegaan dat de energieproductie enkel bestaat uit windenergie. In Figuur 11 is er een combinatie gemaakt tussen zonne-energie en windenergie. Hierbij is de verhouding zoals deze vandaag voorkomt, namelijk 20% windenergie en 80% zonne-energie.



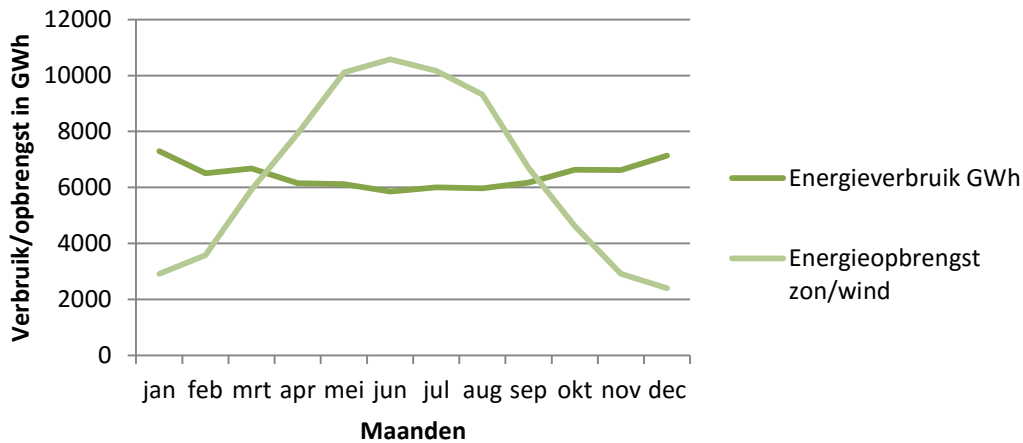
Figuur 9: Verbruik – Opbrengst zon, Gegevens KMI [4] en Elia [6]

In figuur 9 is er duidelijk te zien dat er vanaf april tot en met september een overaanbod aan elektriciteit zal ontstaan en tijdens de andere perioden een energietekort. Natuurlijk is deze grafiek enkel van toepassing als de volledige energievraag gedekt zou worden door zonne-energie.



Figuur 10: Verbruik – Opbrengst wind, Gegevens KMI [4] en Elia [6]

De opbrengst van windenergie is grotendeels afhankelijk van de windsnelheid. In figuur 10 zien we dat deze opbrengst minder sterk schommelt dan de zonintensiteit, maar toch zal deze niet altijd overeenkomen met de vraag naar energie.

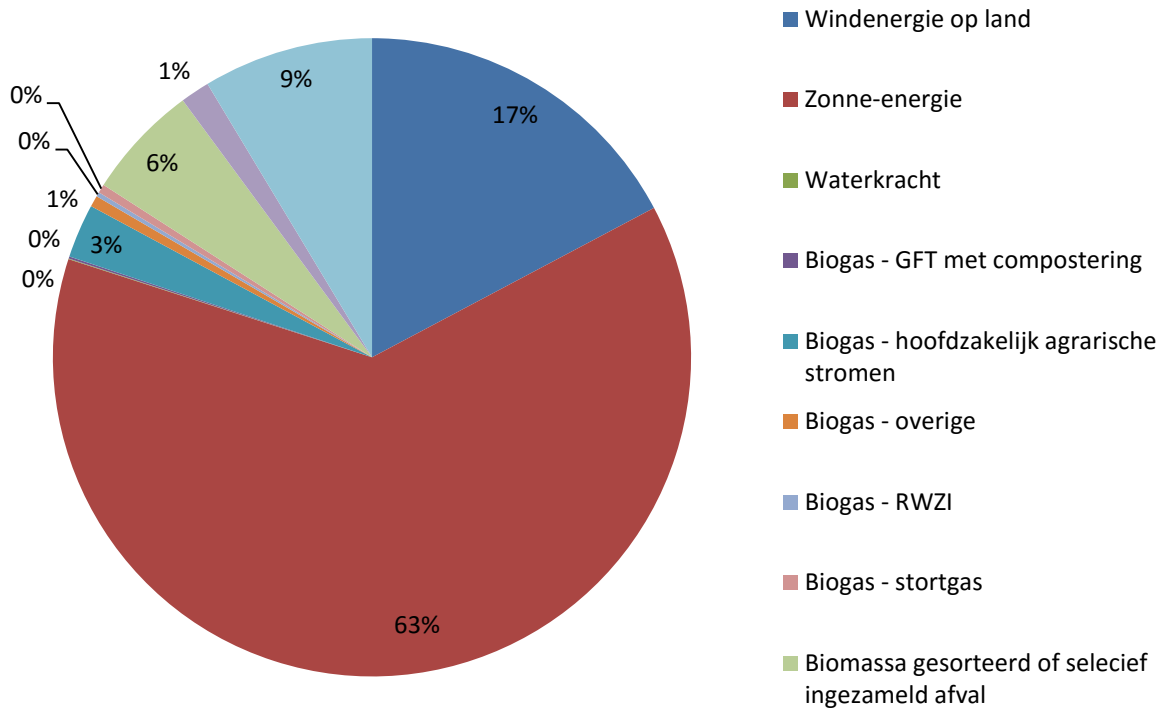


Figuur 11: Verbruik – Opbrengst combinatie zon en wind, Gegevens KMI [4] en Elia [6]

Ten slotte is in figuur 11 een combinatie gemaakt van wind en zonne-energie met de verhoudingen die er momenteel bestaan. Deze verhouding is vandaag 20% windenergie en 80% zonne-energie. Door deze combinatie zal er in de zomer een kleiner energieoverschot ontstaan en zal er in de winter een kleiner energietekort zijn.

Voorgaande grafieken gaan ervan uit dat de energievraag enkel voldaan wordt met zon- en/of windenergie. Uiteraard bestaan er nog andere alternatieve energiebronnen zoals biogas, biomassa en waterkracht. Deze installaties zijn niet afhankelijk van de weersomstandigheden en kunnen dan

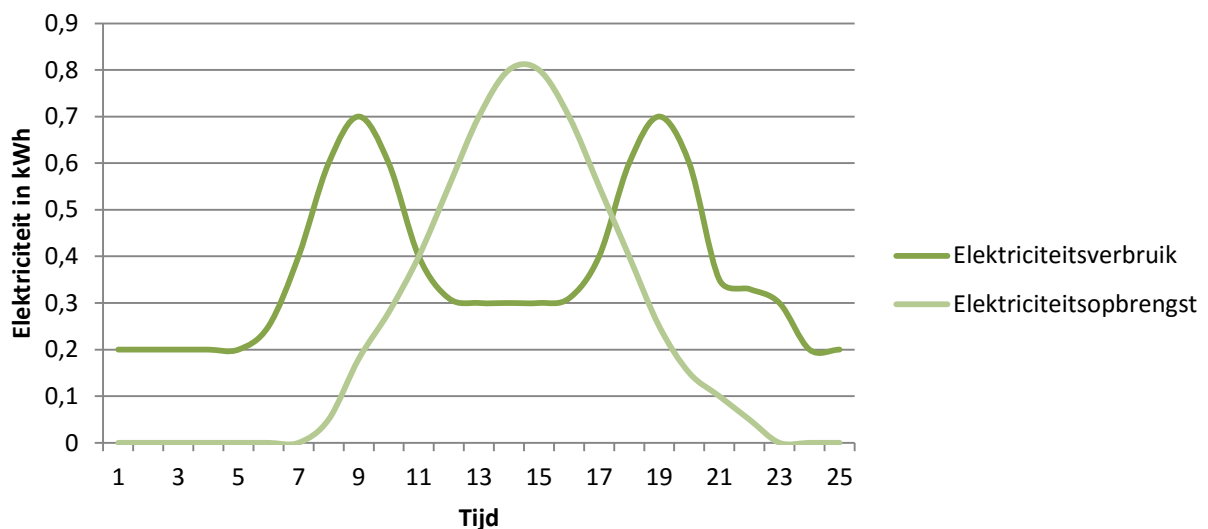
ook opgestart worden op momenten dat er een tekort aan elektriciteit is. Figuur 12 geeft weer welke productiesystemen er in Vlaanderen aanwezig zijn waarvoor groene stroomcertificaten worden toegekend.



Figuur 12: Alternatieve energie Vlaanderen, Gegevens Vreg [11]

2.2.2 Dagbasis

Voorgaande problemen zijn enkel een gevolg van de verschillen in de zomer- en winterperiode waardoor over- of onderproductie zou ontstaan. Maar zoals eerder (3.1.2) vermeld, zijn er ook pieken en dalen gedurende de dag en deze zullen elke dag anders zijn. Deze schommelingen moeten steeds gevolgd worden door de productie. Anders zal er een onbalans op het net ontstaan waardoor het net overbelast wordt en er een black-out kan ontstaan. Gedurende een black-out zou het volledige land en zelfs buurlanden zonder stroom kunnen komen te zitten. Ook de gebouwen die voorzien zijn van zonnepanelen zullen zonder stroom vallen doordat deze aan het net gekoppeld zijn en dus mee uitgeschakeld worden [10].



Figuur 13: Vraag aanbod zonne-energie [10]

Als de energievraag en het aanbod door zonne-energie vereenvoudigd naast elkaar gezet wordt (figuur 13), is te zien dat hun verloop net tegengesteld is. Zo zal de vraag naar elektriciteit tijdens de middag-periode minder zijn dan deze tijdens de ochtend- en de avondpiek, terwijl het aanbod aan energie gedurende deze middag-periode het grootst zal zijn [10].

2.2.3 Besluit

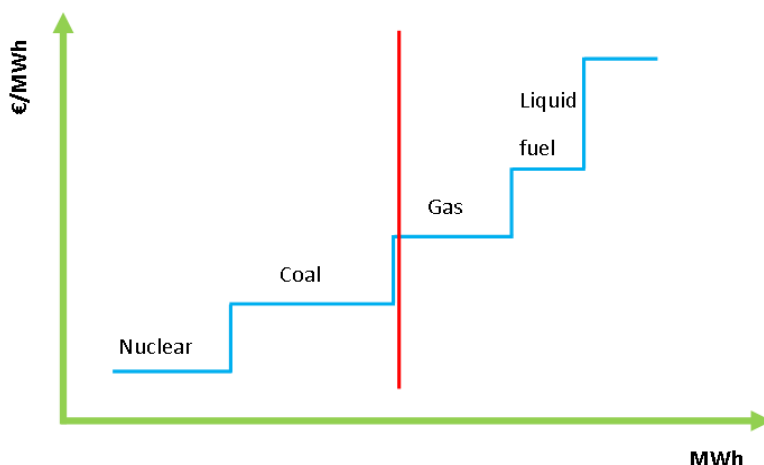
Er zal rekening gehouden moeten worden met zowel de energieopbrengst op jaarbasis als op dagbasis, doordat er energieoverschotten en –tekorten zullen ontstaan gedurende het jaar (winter- en zomerperiode), alsook gedurende de dag. Deze overschotten en tekorten zullen moeten worden opgevangen opdat het net in balans blijft. Om deze balans te begrijpen is in volgend hoofdstuk verder ingegaan op de werking van het elektriciteitsnetwerk.

3 Elektriciteitsnetwerk

3.1 Werking van het huidige net

Er is een constant evenwicht vereist om het net te laten functioneren. Dit evenwicht wordt steeds moeilijker om te bewaren door het stijgende aandeel van groene energie, dat afhankelijk is van de natuur. Het evenwicht moet op kwartierbasis geleverd worden door de energieleverancier(zie 3.1.2).

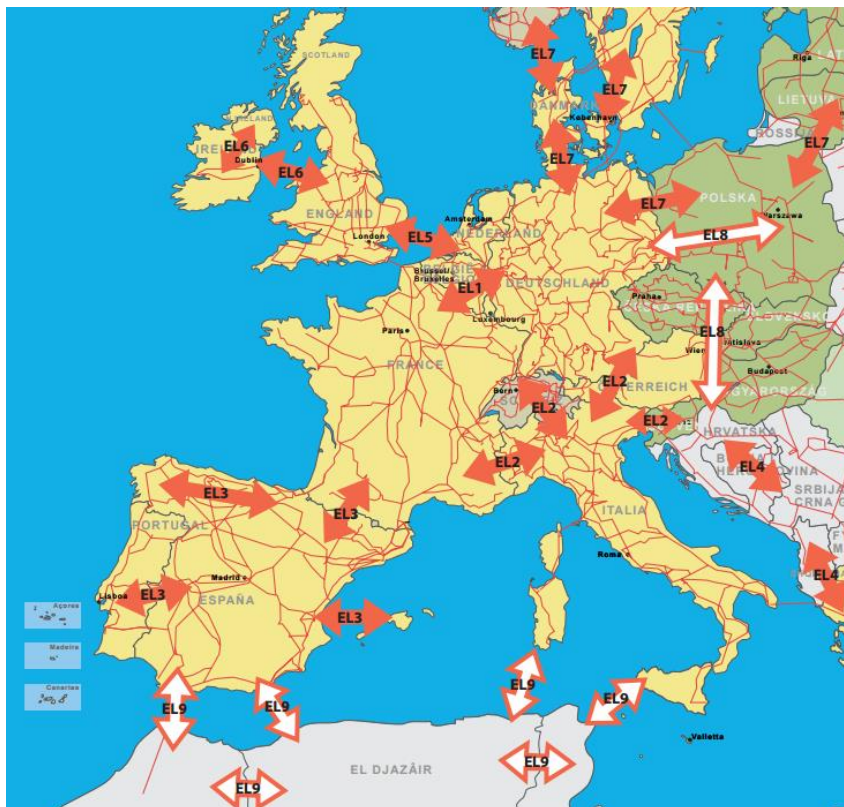
Vóór de opkomst van de groene energie werd elektriciteit volledig voorzien door enkele grote centrales die werken met kernenergie, steenkool, gas en olie. De locatie van de grote centrales werd bepaald door de grote verbruikers. De centrales leverden elektriciteit terwijl de verbruikers deze gebruikten. Er was dus een centrale productie aanwezig met eenrichtingsverkeer op het energienet. Doordat groene energie in grote aantallen aanwezig is, wordt de energie op verschillende plaatsen op het net geïnjecteerd en zijn sommige verbruikers eveneens leveranciers geworden. Zo ontstaat er een decentrale productie waarbij het net in twee richtingen gebruikt wordt. Toch moet er nog steeds voor evenwicht gezorgd worden door de energiecentrales [10]. Deze energie is afkomstig van energiecentrales die snel kunnen opstarten. De gas- en oliecentrales kunnen voldoende snel opstarten om gebruikt te worden om plotse energietekorten op te vangen. Maar door een groter aandeel aan groene energie is er minder nood aan deze klassieke centrales. De centrales zullen minder vaak moeten werken waardoor deze economisch niet meer rendabel zijn. Hierbij komt nog dat energie, geleverd door deze snelle centrales, duurder is dan deze van de nucleaire centrales. In figuur 14 zijn verschillende centrales te zien met elk hun kost per kWh. We kunnen stellen dat base load geleverd wordt door de nucleaire en kolencentrales. En elektriciteit bij een plots hogere vraag geleverd zal worden door de snel opstartbare centrales. De prijs per kWh van de elektriciteit, geproduceerd door deze centrales, is duurder en de consument zal deze uiteindelijk moeten betalen. Doordat deze centrales in de toekomst minder zullen moeten werken, zal deze elektriciteit nog duurder worden. [12]



Figuur 14: Supply & demand: Old school fuel [12].

Het net bestaat uit verschillende installaties met verschillende spanningen. Het transmissienet (380kV) is het belangrijkste net dat ook gebruikt wordt voor de internationale energiestromen. Op dit net zijn ook de belangrijkste elektriciteitscentrales aangesloten. Via het hoogspanningsnet van 220kV tot 150kV wordt elektriciteit vervoerd naar de verschillende delen in het land en hierop zijn ook de grote verbruikers aangesloten. De kleinere energiecentrales zoals de STEG-centrales ¹, waterkrachtcentrales en windmolenparken zijn op een lager spanningsnet aangesloten. Na transformatie naar middenspanning (20kV) verdelen de distributienetbeheerders de elektriciteit via laagspanning (<1000 V) naar woningen, bedrijven en andere verbruikers. Op deze distributienetten wordt ook energie geïnjecteerd door de lokale producenten zoals woningen met zonnepanelen [8].

Problemen die zich zouden voordoen in België hebben eveneens impact op de rest van Europa. Dit komt doordat het elektriciteitsnet van België verbonden is met het Europese net. De verbindingen zijn tot stand gekomen om tussen de landen onderlinge bijstand te kunnen bieden [8] In figuur 15 zijn de belangrijkste energie-uitwisselingen tussen Europese landen afgebeeld.



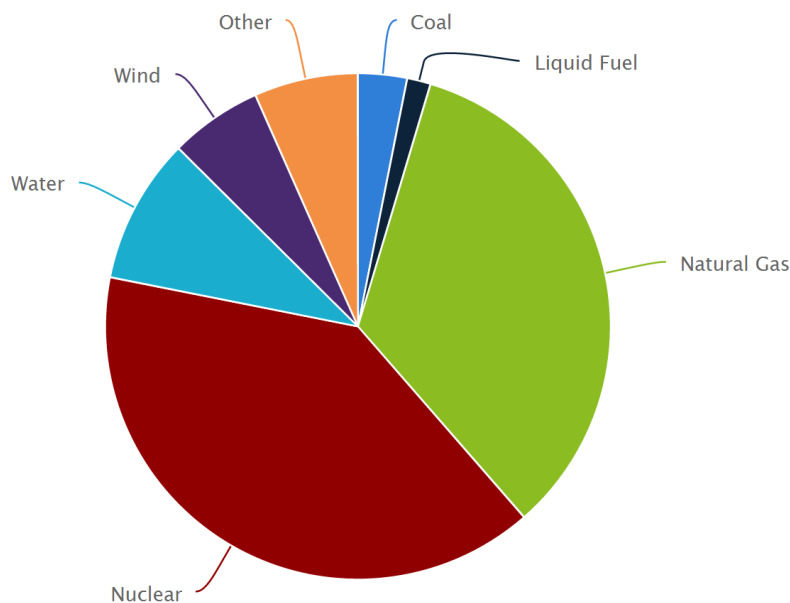
Figuur 15: Europese elektriciteitsnetwerk met belangrijke uitwisselingen. [13]

¹ STEG: Stoom- en gascentrale

3.2 Elektriciteitsproductiepark

In België zijn er 107 productie-eenheden waarin verschillende brandstoffen worden gebruikt. De belangrijkste centrales werken vandaag nog steeds met nucleaire brandstof en zij hebben een aandeel van 39,54% in de totaal productie in België. Er zijn twee belangrijke nucleaire productieparken. Hiervan bevindt zich één in Doel met vier kernreactoren die een totaal nominaal vermogen van 2910 MW kunnen leveren. Het andere park bevindt zich in Tihange en heeft drie kernreactoren. Deze kunnen een totaal nominaal vermogen leveren van 2534,8 MW.

De tweede belangrijkste brandstof die we in België gebruiken, is aardgas. Deze centrales vertegenwoordigen 33,96% van de totale energieproductie en bestaan uit 38 productie-eenheden. De twee grootste zijn "ESCH-SUR-ALZETTE STEG" en "HERDERSBRUG STEG" die elk een nominaal vermogen hebben van 465 MW. Na de kern- en gascentrales heeft waterkrachtenergie een aandeel van 9,3%. Hieronder bevinden zich zowel de waterloopcentrales als de pompcentrales zoals COO-TROIS-PONT (5.5.1.1). Zij dienen vooral als buffer voor de energieoverschotten en -tekorten. Windenergie heeft een aandeel van 5,93%. Er zijn ook nog enkele centrales die werken op steenkool en vloeibare brandstoffen, goed voor 3,14% en 1,5% van het totale vermogen. Als laatste is er ook nog een categorie "andere" die 6,64% van het vermogen kan leveren. Tot deze groep behoort de energie die opgewekt wordt door middel van afval, biomassa, hoogovengassen, zonne-energie, enz. [14].



Figuur 16: Huidige geïnstalleerde gezamenlijk vermogen per brandstof type; Bron: Elia [15]

3.3 Energiespelers

3.3.1 Energieproducent

De opdracht van de energieproducenten is om energie te vervaardigen. Onder de energieproducenten behoren zowel de grote centrales zoals kerncentrales; kleinere centrales zoals de STEG centrales, als de producenten van hernieuwbare energie. Enkele bekende producenten zijn: Electrabel, Eneco, C-power. Alle producenten, zowel voor elektriciteit als voor aardgas, kunnen geraadpleegd worden op de website van Febeg [16].

3.3.2 Invoerders van elektriciteit

Elektriciteit kan ook vanuit het buitenland worden ingevoerd naar België. Diegene die een licentie bezitten om elektriciteit of gas in te voeren zijn invoerders [16].

3.3.3 Transmissienetbeheerder

In België is Elia aangesteld als transmissienetbeheerder. De taken van Elia zijn: [16]

- Het evenwicht tussen de vraag en het aanbod van elektriciteit bewaren.
- De doorvoer van elektriciteit tussen verschillende landen van het Europese net beheren.
- Het transporteren en aanleveren van elektriciteit aan de grote verbruikers en aan de distributienetten.
- Het beheren van het nationale transmissienet met een spanning boven 30kV.

3.3.4 Distributienetbeheerder

In elk gebied is een distributienetbeheerder aangeduid. Als klant kan je je distributienet niet kiezen, maar is deze afhankelijk van het gebied waarin je woont. De distributienetbeheerder heeft als taken: [16]

- Het bouwen, onderhouden en beheren van de distributienetten voor elektriciteit en aardgas.
- Het verdelen van elektriciteit en aardgas, die afkomstig zijn van de transmissienetbeheerder of lokale producent, naar de eindafnemers.
- Het uitvoeren van openbare dienstverplichtingen zoals netuitbreidingen.

De distributienetbeheerder in een gemeente kan je vinden via de website van Synergid. Synergrid is de gegroepeerde federatie van distributienetbeheerders, de transmissienetbeheerder en de vervoerondernemingen (Fluxys) [16].

3.3.5 Leverancier

Door de vrije energiemarkt vanaf 2003 kan elke verbruiker zijn energieleverancier kiezen. Tussen de verschillende leveranciers is er vrije concurrentie. De verschillende leveranciers kopen hun energie bij de producenten of andere leveranciers die ze daarna doorverkopen aan hun klanten [16]. Enkele bekende leveranciers zijn Luminus, Elektrabel en Eni. Energieleveranciers kunnen vergeleken worden op de website "mijnenergie.be" of de via de V-test van de VREG.

3.4 Problemen in de toekomst

In hoofdstuk 3 bij het schetsen van de probleemstelling is reeds vermeld dat er problemen kunnen ontstaan door de onvoorspelbaarheid van groene energie. Het energienetwerk kan hierdoor zowel overbelast als onderbelast worden. Dit heeft als gevolg dat de netfrequentie niet meer constant is. Deze zou steeds 50 Hz moeten bedragen.

3.4.1 Elektriciteitstekort

Wanneer er meer energie gevraagd wordt dan er energie geleverd wordt, zal er een energietekort optreden. De generatoren in de energiecentrales worden zwaarder belast en hebben moeite om deze energie te leveren. Hierdoor zullen deze generatoren trager draaien. Dit heeft als gevolg dat de frequentie daalt onder de gewenste 50 Hz. De spanning van het net zal eveneens dalen onder 230 volt. De transmissienetbeheerder Elia zal deze frequentie nauwgezet moeten opvolgen en de taak geven aan productie-eenheden om meer energie te leveren. Dit zal automatisch gebeuren zodra de frequentie met 0,02 Hz daalt [17]. Wanneer het tekort niet kan worden opgevangen zal de frequentie nog verder dalen waardoor toestellen die hieraan gevoelig zijn, tilt zullen slaan. Een oude wekker zal bijvoorbeeld bij een lagere frequentie trager gaan. Als de frequentie daalt onder 48,5 zullen veiligheidstoestellen zorgen dat een gedeelte van het net uitgeschakeld wordt. Dit zal zich steeds verder zetten en uiteindelijk leiden tot een uitschakeling van het volledig Belgische net of Europese net. Dit is de zogenaamde black-out [18].

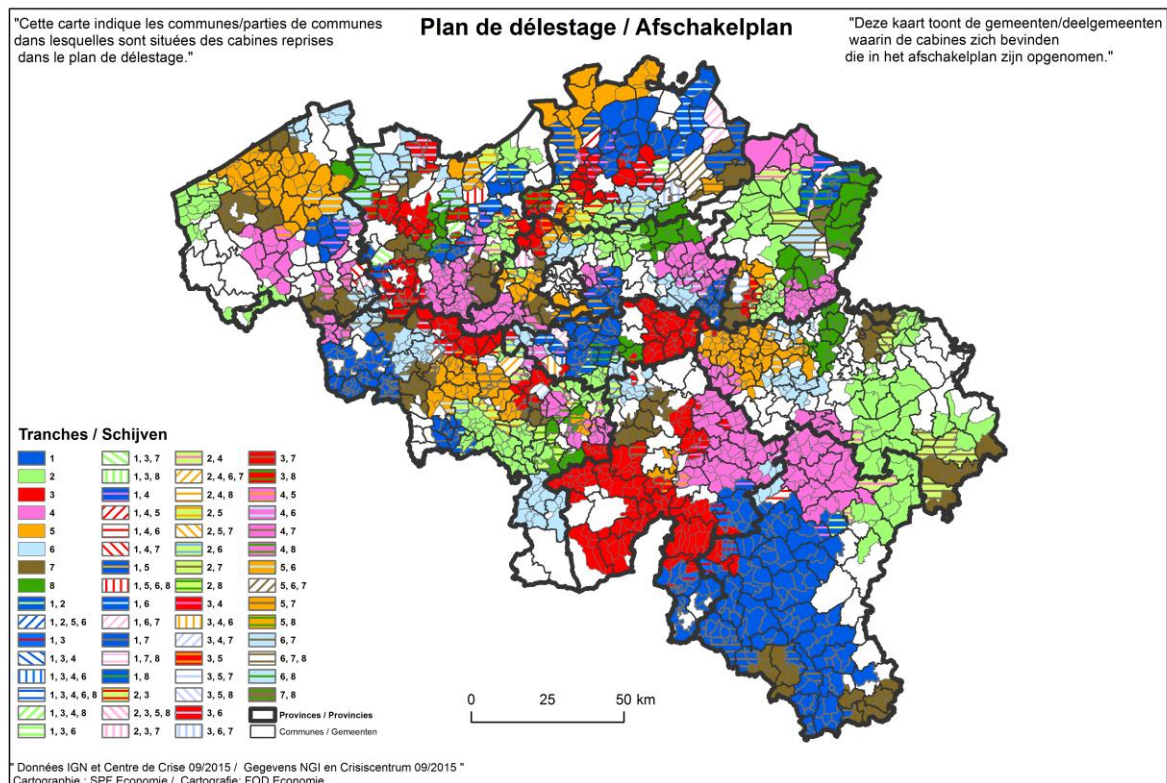
3.4.2 Elektriciteitsoverschot

Als er een energieoverschot ontstaat zal het omgekeerde gebeuren. Er wordt op dat moment meer energie geproduceerd dan er verbruikt wordt waardoor de generatoren in de energiecentrales minder belast worden. Dit heeft als gevolg dat de generatoren sneller gaan draaien. Bijgevolg zal de frequentie en de netspanning stijgen. Als de frequentie met 0,02 Hz stijgt, zal automatisch de opdracht gegeven worden om minder te produceren [17]. Als dit niet mogelijk is, zal de frequentie verder stijgen en mogelijk een black-out kunnen ontstaan [18].

3.4.3 Afschakelplan

Indien er een energieschaarste ontstaat op het Belgisch energienetwerk kan de overheid beslissen om het energieverbruik te beperken door maatregelen op te leggen. Als eerste wordt er geprobeerd via sensibilisatiemaatregelen het evenwicht tussen vraag en aanbod op het net te herstellen. Deze maatregelen worden eventueel aangevuld met verbodsbepalingen (grote verbruikers). Als voorgaande maatregelen niet voldoende blijken te zijn om het evenwicht te herstellen, zal er gekozen worden om het afschakelplan in werking te laten treden. De afschakeling is verspreid over vijf zones die telkens zijn onderverdeeld in zes schijven. Elke schijf bezit minimaal 5% van de totale belasting van de zone waarin de schijf zich bevindt. Door de eerste schijf af te schakelen, zal het verbruik drastisch verminderd worden en zal het evenwicht van het net waarschijnlijk hersteld kunnen worden. Als zou blijken dat er nog steeds een tekort heerst, zal de tweede schijf eveneens worden afgeschakeld. De schijven zullen terug worden ingeschakeld op het moment dat er opnieuw voldoende energie beschikbaar is. Een schijf zal maximaal 2 tot 3 uren afgeschakeld blijven. Hierna zullen andere schijven worden afgeschakeld, zodat niet steeds dezelfde verbruikers worden uitgeschakeld, er is dus sprake van een rotatiesysteem. De keuze van de gebieden die als eerste afgeschakeld worden, is bepaald op basis van zo beperkt mogelijke gevolgen voor de gebruikers [19].

Als er een afschakeling zou gebeuren, zal deze wellicht plaatsvinden gedurende de piekuren (18:00u - 20:00u). Gedurende deze afschakeling zal een (net-gekoppelde) zonne-installatie geen elektriciteit meer kunnen injecteren op het net en zal er in de woning dus ook geen elektriciteit aanwezig zijn [19].



Figuur 17: afschakelplan 2015-2016 [20]

3.5 Toekomstig elektriciteitsnetwerk

In de toekomst zal het aandeel van groene energie nog stijgen en zullen er grote energiecentrales gesloten worden. Het onevenwicht, veroorzaakt door de variatie van zonne- en windenergie, zal dan niet meer kunnen worden opgevangen door de elektriciteitscentrales. De energieproductie die altijd afgestemd was op het verbruik, kan niet meer worden bereikt omwille van de onvoorspelbare groene energie. Om de onevenwichten te vermijden zullen er oplossingen moeten komen vanuit de energieverbruiker. Er kan worden gekozen om het verbruik af te stemmen op het energieaanbod, zoals in het Linear project werd uitgetest, of men kan kiezen om energie op te slaan zoals vandaag al in beperkte mate wordt gedaan (5.5.1) [10].

3.5.1 Smart grid

Een smart grid is een slim energienetwerk dat via een communicatiesysteem tussen de energieproducenten en de energieverbruikers voor een betere afstemming zorgt tussen productie en verbruik. Het smart grid maakt de integratie van hernieuwbare energie makkelijker en zal het ook mogelijk maken om een hoger aandeel van deze energie te integreren [21].

Oorspronkelijk is het energienet ontwikkeld om elektriciteit vanuit centraal gelegen centrales te verdelen naar verschillende verbruikers. Zoals besproken in het hoofdstuk “ werking van het huidige net” (zie 4.1), was er sprake van éénrichtingsverkeer op het net. Tegenwoordig moet het elektriciteitsnet in twee richtingen kunnen werken doordat verbruikers ook producent kunnen zijn. Hierbij moet over het net ook informatie uitgewisseld worden tussen verbruiker en producent [21].

Er zal in de toekomst nog meer gestreefd worden naar groene energie, hierbij wordt het huidige net voor drie belangrijke uitdagingen geplaatst. Ten eerste zal door een toenemend aandeel van groene energie, een nog meer decentrale opwekking ontstaan. Voor de integratie van deze duurzame energie zal de infrastructuur moeten worden aangepast. Ten tweede zal de flexibiliteit van zowel de verbruiker als producent hoog genoeg moeten zijn. In ideale omstandigheden zou de energie gebruikt moeten worden wanneer deze wordt opgewekt. Ten derde moet er rekening gehouden worden met nieuwe technologieën die momenteel nog maar een klein aandeel bezitten. Zo zullen er in de toekomst meer elektrische auto's rijden en zal de klassieke verwarming meer en meer vervangen worden door warmtepompen. Deze technologieën zullen een toenemend elektriciteitsverbruik met zich meebrengen [21].

De ontwikkeling naar een smart grid wordt niet enkel afgeremd door technologie die zal zorgen voor een goede werking. Het smart grid zal ook sociale gevolgen hebben. Het energieverbruik kan niet altijd aangepast worden aan de beschikbaarheid; bijvoorbeeld bedrijven laten produceren in een weekend omwille van een zonnige dag. Met projecten zoals het Linear project (zie 4.5.3.1) wil men zien hoe mensen omgaan met dergelijke wijzigingen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van slimme energiemeters die de verbruiker en de distributienetbeheerder informatie geven over het energieverbruik [21].

Ten slotte zal reservecapaciteit, afschakelmogelijkheden en opslagcapaciteit een belangrijke rol innemen in het smart grid. Door de onzekere energieopbrengst van zonne- en windenergie zullen er energieoverschotten en – tekorten ontstaan. Bij een energieoverschot moet er energie kunnen worden opgeslagen, hiervoor zal er opslagcapaciteit nodig zijn. Daarentegen zal er bij een energietekort extra energie geproduceerd moeten worden of moeten verbruikers worden afgeschakeld [21].

3.5.2 Energieprojecten

Recent zijn er een aantal energieprojecten uitgevoerd die interessante inzichten geven in ons toekomstig elektriciteitsnetwerk. Hierbij is onder andere gefocust op het engageren van de verbruiker, want de energieverbruiker zal in de toekomst moeten meewerken aan een bewuster energiebeheer. Belangrijk hierbij is dat de projecten op grotere schaal een oplossing zoeken, terwijl een semi-autarke woning enkel op schaal van de woning een oplossing biedt.

3.5.2.1 Linear project

Linear is een grootschalig onderzoek over een intelligent energienetwerk in Vlaanderen dat liep tussen 2009 en 2014. Meer bepaald heeft men willen achterhalen op welke manier hernieuwbare energie zo goed mogelijk kan geïntegreerd worden in het energienetwerk. Hierbij deed men onderzoek naar manieren waarop gezinnen hun energieverbruik kunnen afstemmen op de beschikbaarheid van zonne- en windenergie. Het Linear project focust dus vooral op het engagement van de verbruiker [10].

Binnen het onderzoek maakte Linear gebruik van twee beloningsmodellen en vier business cases. Met de beloningsmodellen wou men nagaan of en hoe gezinnen kunnen overtuigd worden om bewuster om te gaan met hun energieverbruik door hun toestellen in te schakelen wanneer er energie beschikbaar is. De business cases dienen om te bepalen wanneer de toestellen best kunnen ingeschakeld worden [10].

Beloningsmodellen

Het eerste beloningsmodel gebeurde door middel van automatische vraagsturing. Hierbij worden toestellen aangestuurd door de energieleverancier wanneer er nood aan is. Toestellen zullen bijvoorbeeld ingeschakeld worden wanneer er energieoverschotten zijn of onbalans in het net ontstaat. Wanneer deze onbalans er niet is, zal het toestel ingeschakeld worden wanneer er een voordelig tarief beschikbaar is. Om automatische vraagsturing mogelijk te maken, werd er gebruik gemaakt van slimme toestellen waarmee de energieleverancier kan communiceren. Bij deze toestellen kan het gezin een tijd instellen waarop het toestel ten laatste klaar moet zijn. Het toestel zal ingeschakeld worden door de energieleverancier. Gezinnen die flexibel zijn met hun elektrische toestellen kunnen een bonus verdienen. [10].

Het tweede beloningsmodel was tariefsturing. Hierbij wordt het tarief verlaagd wanneer er veel energie beschikbaar is. Dit wordt traditioneel al vaak toegepast via het dag- en nachttarief, waarmee men de verbruiker in het verleden wou stimuleren om zijn apparaten 's nachts in te schakelen en de verbruikspieken overdag af te vlakken. Dit heeft echter bij een systeem met veel hernieuwbare energie nog weinig zin. Want energie is tegenwoordig meer beschikbaar wanneer de zon schijnt of de wind hard waait. De tariefsturing in dit beloningsmodel gebeurt op basis van de beschikbaarheid van de zon en de wind. Hierbij krijgen gezinnen 6 verschillende tariefblokken per dag waarvan de prijzen dagelijks worden bepaald, afhankelijk van de verwachte opbrengst van zonne- en windenergie alsook de verwachte vraag en aanbod van energie. Het gezin kan vanaf 16u de tariefblokken van de volgende dag raadplegen. De gebruiker zal zelf moeten beslissen wanneer hij zijn elektrische toestellen inschakelt. Hiermee kan de gebruiker zijn energierekening drukken. Maar de gebruiker zal dagelijks rekening moeten houden met de tarieven, wat het een intensief proces maakt. Volgens eerdere projecten zal de gebruiker zich door tariefsturing maar beperkt aanpassen waardoor dit maar bij een kwart van de testgezinnen gebruikt werd. De voornaamste reden hiervoor

is dat de gebruikers elke dag opnieuw de tarieven van de volgende dag moeten opzoeken en hun verbruik hierop moeten afstemmen. Om dit elke dag te moeten doen, is de besparing die hiermee verkregen wordt te klein [10].

Business cases

Ten eerste zal de energieleverancier via portfolio management de variatie van de energieprijzen doorrekenen in zijn tarieven. Dynamische tarieven zijn de populairste methode om de gebruiker zijn energievraag te laten aanpassen. Om de klant zijn energievraag te laten aanpassen, werd er gebruik gemaakt van bovenstaande beloningsmodellen. De tarieven zijn zo berekend dat wanneer de bewoner zich niet aanpast, dezelfde prijs betaald wordt als voordien. Door middel van tariefsturing of automatische sturing zal de energieleverancier het evenwicht op het net trachten te bewaren [10].

Ten tweede wou men via wind balancing het evenwicht tussen vraag en aanbod behouden. Omdat er via wind veel energie opgewekt kan worden, zijn voorspellingen zeer belangrijk om een evenwicht te bewaren. Wanneer de opbrengst hiervan te sterk afwijkt, zal het energietekort of energie-overschot moeten worden opgevangen. Hierbij onderzocht men, of het door middel van een automatische sturing van toestellen mogelijk is, om het evenwicht te bewaren. Deze automatische sturing kan slimme toestellen in woningen direct in- of uitschakelen [10].

Ten derde heeft men onderzocht of de automatische sturing een positief effect heeft op de transformatorveroudering, doordat plotse energiepieken afgevlakt kunnen worden, zowel de pieken van verbruik als van productie, die gedurende de dag kunnen ontstaan. Op deze manier ontstaat een kostenbesparing doordat de transformator niet verzaagd moet worden ofwel minder snel vervangen moet worden [10].

Ten laatste onderzocht men of het mogelijk is om met behulp van automatische sturing een stabiele lijnspanning te behouden. Doordat in het midden van een woningrij energie geleverd wordt, zal de lijnspanning lokaal verhoogd worden. Hierbij kan een hogere spanning ontstaan met schade tot gevolg. Omgekeerd zal wanneer de lokale productie plots wegvalt er een lagere spanning ontstaan waarbij de vele toestellen niet meer werken. Door bepaalde toestellen energie te laten verbruiken gedurende de spanningspieken kan een stabiele lijnspanning behouden worden [10].

De laatste 2 cases zijn vooral technisch en niet bruikbaar binnen de semi-autarke woning. Daarom zal hier niet verder op ingegaan worden. Meer informatie kan hierover gevonden worden op de website van Linear.

Besluit

Automatische vraagsturing heeft binnen het Linear project maar een beperkte invloed gehad op wind balancing omdat het vermogen van de slimme toestellen dat deelnam aan het project beperkt was ten opzichte van het totale vermogen van alle toestellen [10].

De manuele tariefsturing kreeg zoals vermoed te maken met reactie-moeheid. Dit bleek te komen doordat het dagelijks aflezen van de tariefblokken te complex bleek te zijn alsook de dagelijkse afvoetsing van het comfort te veel moeite kostte. Wel bleek dat de gezinnen die dit wel deden de grootste besparing op hun energiefactuur hebben behaald. De automatische vraagsturing zorgde daarentegen voor een meer voorspelbare en grotere verschuiving. Deze verschuivingen gebeurden ook dieper in de nacht. Algemeen slaagde men er toch in om met tariefsturing, al dan niet automatisch, de vraag te kunnen verplaatsen naar periodes waar meer energie voorhanden was [10].

Om de vraag naar energie te kunnen verplaatsen is er flexibiliteit nodig van de gebruiker. Bij de testgezinnen van Linear bleek deze flexibiliteit vooral voor te komen bij het gebruik van de wasmachine, de droogkast, de vaatwasser en de boiler. Ook zijn er enkele elektrische wagens getest die opgeladen konden worden tijdens goedkope tarieven [10].

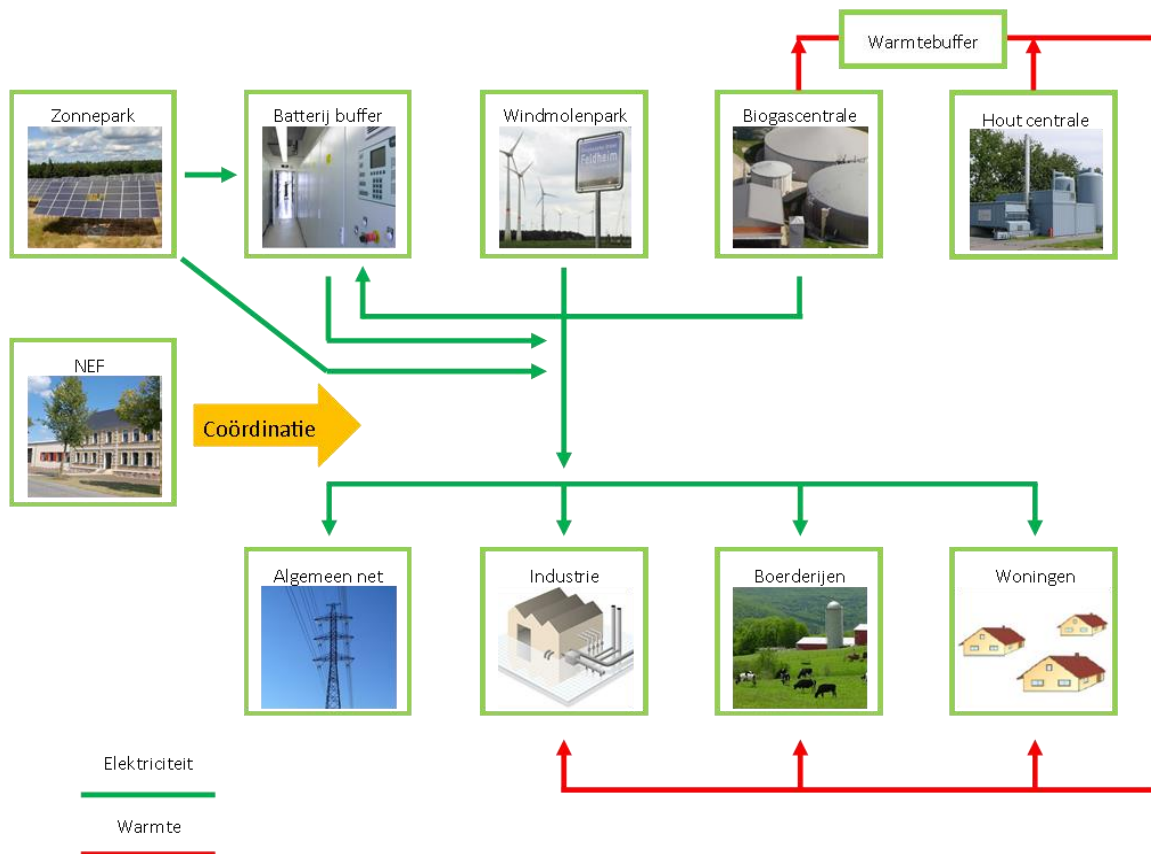
Deze flexibiliteit alsook de vraagsturing geeft een interessante input om te kijken naar de semi-autarke woning. Want door de vraag naar elektriciteit aan te passen aan periodes waarvan de zonnepanelen veel energie leveren, kan de autonomie van de woning verlengd worden. Deze verplaatsing is afhankelijk van hoe flexibel de bewoner met zijn elektrische toestellen omgaat.

3.5.2.2 *Feldheim*

Feldheim is een klein dorp in het oosten van Duitsland. Het telt ongeveer 128 inwoners (2010) en bestaat grotendeels uit residentiële woningen en landbouwgebied. Feldheim onderscheidt zich van andere dorpen doordat het volledig zelfvoorzienend is. Hiervoor heeft het dorp een eigen elektriciteitsnetwerk en haalt het al zijn energie voor elektriciteit en warmte uit hernieuwbare bronnen [22].

Het dorp is zelfvoorzienend geworden doordat het bedrijf Energiequelle in 1995 hier een windmolenpark heeft aangelegd. Feldheim heeft namelijk een goed klimaat voor windmolens. Doordat er steeds een goede communicatie is geweest tussen Energiequelle en de inwoners van Feldheim, is er weinig opstand gekomen tegen de windmolens. Het bedrijf heeft samen met de inwoners Feldheim Energie opgericht. Zij voorziet de meeste gezinnen van elektriciteit en warmte. De elektriciteit wordt aangekocht van Energiequelle en de warmte is afkomstig van een biogascentrale in het dorp zelf. Via een eigen elektriciteitsnet en warmtenet zijn alle woningen in Feldheim verbonden. Om dit elektriciteitsnet aan te leggen hebben de inwoners 3000 euro moeten betalen, maar hiervoor krijgen ze wel goedkopere stroom en warmte [23] [24].

In figuur 18 is te zien hoe het elektriciteitsnet en warmtenet van Feldheim in elkaar zit. De elektriciteit wordt voor het grootste deel geleverd door het windmolenpark van Energiequelle. Dit bestaat uit 47 windturbines met een totaal vermogen van 91,1 MW. De biogascentrale levert eveneens elektriciteit en heeft een vermogen van 500 kW. Vanaf 2008 is men ook zonnepanelen gaan plaatsen in Feldheim. Deze hebben vandaag een vermogen van 2,25 MWp. Voor de elektriciteit (base load) is er ongeveer een verhouding van 90% windenergie en 10% elektriciteit van de biogascentrale. De zonnepanelen worden vooral gebruikt als reserve die kan worden ingezet tijdens een grotere vraag naar elektriciteit [25]. Omdat het elektriciteitsnetwerk van Feldheim aan de eisen moet voldoen van het algemene net, mogen er geen stroomonderbrekingen van een paar seconden voorkomen. Daarom is er inmiddels een batterijbuffer geplaatst die als back-up kan dienen voor ongeveer 2 dagen. Deze batterij heeft een capaciteit van 10,8 MWh. De buffer dient eveneens als balanssysteem voor het net. Tijdens een periode dat er weinig wind of zon is, zal deze batterij gebruikt kunnen worden als energiebron. Gedurende een periode dat er te veel elektriciteit wordt geleverd, kan de batterij opgeladen worden. De warmte in Feldheim wordt voor het grootste deel geleverd door de biogascentrale. Deze wordt tijdens koude winters bijgestaan door een houtsnipperverbrandingscentrale [23].



Figuur 18: Elektriciteitsnet en warmtenet in Feldheim [25].

Om de biogascentrale 4 GWh aan elektriciteit en 4,3 GWh aan warmte te kunnen laten opleveren, wordt er 8.600 m³ dierlijk mest, 8.700 ton maïs en 190 ton granen verbruikt. Hiermee komt de biogascentrale rechtstreeks in conflict met de voedingsindustrie. Maar er wordt wel ongeveer 56 ton aan stookolie mee bespaard. [23]

Besluit

Feldheim is een mooi voorbeeld van een autarke woning maar dan op de schaal van een dorp. Ze hebben eveneens te maken met de problemen die er optreden wanneer er te veel of te weinig hernieuwbare energie opgewekt wordt. In Feldheim is dit opgelost door een biogascentrale te installeren die de stroompieken kan opvangen. Toch heeft men eveneens een batterij moeten installeren om elektriciteit op te vangen gedurende een energieoverschot of energie te leveren tijdens een energietekort. Hierbij is de warmte die ontstaat door de biogascentrale een extra opbrengst die wordt gebruikt. Deze warmte gaat bij klassieke centrales verloren. Feldheim is een succesvol project geworden, mede door de samenwerking met Energiequelle. De betrokkenheid van de bewoners heeft een belangrijke impact gehad doordat ze zich volledig achter het project konden zetten. Zoals eerder besproken (zie 4.5.1) moeten de mensen zich willen aanpassen aan de wijzigingen in het verbruik van energie.

3.5.3 Smart grid in combinatie met de semi-autarke woning

Eén van de belangrijkste onderdelen van de semi-autarke woning is de buffer om energie op te slaan. Als semi-autarke woning wordt deze gebruikt om energie te voorzien, wanneer het elektriciteitsnet dit niet kan voorzien omwille van een stroompanne. De buffer is in dit geval steeds opgeladen en zal pas worden aangesproken wanneer het net geen elektriciteit meer kan leveren.

In het concept van het smart grid zou de buffer gebruikt kunnen worden om geproduceerde elektriciteit niet rechtstreeks op het net te sturen; alsook de gevraagde elektriciteit niet rechtstreeks van het net te halen. Gedurende de energieproductiepieken, in dit geval geproduceerd door zonnepanelen op het dak van de woning, zullen de elektriciteitsoverschotten worden opgeslagen in de buffer. Wanneer het verbruik van de woning hoger ligt dan de opbrengst van de zonnepanelen, zal de buffer aangesproken worden om de nodige energie te leveren. Als de buffer vol of leeg is, zal er terug worden overgeschakeld naar het elektriciteitsnet. In een ideale omstandigheid zou de buffer niet vol of leeg mogen geraken, hierbij is de woning dan volledig zelfvoorzienend of autonoom [26].

Een andere manier om de batterij steeds opgeladen te houden is door deze gedurende productiepieken op te laden ('s middags). De woning is immers niet de enige die elektriciteit produceert met zonnepanelen en waardoor er dus pieken ontstaan. Als er gedurende de dag meer energie gevraagd wordt dan er geleverd wordt door de zonnepanelen, kan de batterij gedurende de productiepieken extra energie bufferen. Als er meer elektriciteit zou geproduceerd worden dan er verbruikt wordt door de woning, zal de buffer deze energie opslaan. Deze zal dan op het net geïnjecteerd worden wanneer er vraag is naar energie dit bijvoorbeeld tijdens de ochtend en de avond. In 6.3.4 is voorgaande situatie bekeken in functie van de case.

De semi-autarke woning zal immers wel een periode van black-out moeten kunnen overbruggen, waardoor de buffer niet volledig gebruikt mag worden om energie te voorzien aan de woning terwijl het net nog wel energie kan leveren. In een situatie waarbij de buffer zich gedurende de dag minimaal heeft kunnen opladen, zou het kunnen dat deze energie 's avonds opgebruikt zal worden. Op dat moment zal er moeten overgeschakeld worden naar het net. Als op dat ogenblik eveneens een stroompanne voorvalt, zal de woning zonder elektriciteit vallen. Hierbij zou een opsplitsing van de buffer een oplossing kunnen bieden. Zo kan een deel van de buffer voorbehouden worden als back-up en zal het andere deel gebruikt kunnen worden om eigen duurzame energie op te slaan en later te gebruiken [27].

Een semi-autarke woning zou dus goed passen in het concept van het smart grid, maar er moet wel rekening gehouden worden met de extra buffer om stroompannes op te vangen om de energiezekerheid te voorzien. Om de buffer te vergroten kan er eveneens gekeken worden naar het elektrisch vervoer in de toekomst [21].

In het Sol-ion project zijn er systemen beschikbaar waarbij de buffer wordt opgedeeld om als back-up systeem te werken en tevens als zelfvoorzienend optimalisatiesysteem te werken. De kostprijs van het systeem zonder batterij bedraagt tussen de 950 en 1950 euro. Hierbij komt de kost van de batterijen die ongeveer 300 euro per Kwh bedraagt. De volledige kostprijs zal hierbij dus sterk afhankelijk zijn van de nodige buffercapaciteit, die op zijn beurt afhankelijk is van het verbruik van de woning [27].

4 Autonomie van de woning

Om een constante energie voorziening te kunnen garanderen zal de woning een bepaalde autonomie moeten hebben. Deze autonomie zal de stroomonderbreking moeten kunnen overbruggen, alsook zal er een gepaste buffer moeten gevonden worden. Om een energiebuffer zo correct mogelijk te kunnen kiezen en te dimensioneren, is er eerst op zoek gegaan naar het verbruik van de woning.

4.1 Type woningen

Er bestaan verschillende systemen om een woning van groene energie te voorzien. Voor woningen wordt er meestal uitsluitend gebruik gemaakt van zonne-energie via fotovoltaïsche zonnepanelen en zonnecollectoren. Deze laatste, die warm water produceren, worden hier buiten beschouwing gelaten. Hieronder is kort de werking van de netgekoppelde, de autonome en de semi-autarke woning met zonnepanelen besproken en zijn de verschillen in de systemen aangehaald.

4.1.1 Netgekoppelde woning

De netgekoppelde woningen zijn de meest bekende en meest voorkomende. Hierbij wordt de opgewekte energie van de zonnepanelen omgevormd en rechtstreeks op het net gestuurd, zonder opgeslagen te worden. De energie die door de woning gevraagd wordt, wordt dan ook gewoon terug van het net gehaald [28]. Deze installatie is de meest eenvoudige en goedkoopste, maar ze heeft enkele nadelen. Doordat de energie rechtstreeks via een omvormer op het net gestuurd wordt, is er een veiligheid ingebouwd zodat de omvormer uitvalt vanaf het moment dat het energienet wordt afgesloten. Deze veiligheid is ingebouwd in geval men bijvoorbeeld werken aan het energienet uitvoert. Vanaf het moment dat de elektriciteit op het net wegvalt, zal de zonne-installatie ook geen energie meer kunnen leveren en zal deze verloren gaan. Gedurende deze momenten zal eveneens de volledige woning zonder elektriciteit vallen. Een bijkomende eigenschap is dat de energie rechtstreeks op het net wordt gestuurd wanneer deze opgewekt wordt. Concreet betekent dit ook dat de energie die geproduceerd wordt op een moment dat ze lokaal niet (volledig) nodig is, een extra energie-injectie geeft op het net, terwijl de energie die nodig is tijdens de piekmomenten niet kan geleverd worden.

4.1.2 Autonome woning

De autonome of autarke woning maakt gebruik van een off-grid systeem. Dit betekent dat de groene energie-installatie volledig losgekoppeld is van het energienet. De opgewekte energie die bij een netgekoppelde installatie op het net gestuurd wordt, zal nu worden opgeslagen in batterijen of alternatieve buffers. Doordat er geen koppeling met het net bestaat, zal de woning geen hinder ondervinden wanneer het energienet uitgeschakeld wordt of wanneer er sprake is van een black-out. Anderzijds zal het net gespaard blijven van energiepieken die tijdens de zonuren (middag) op het net worden gestuurd. Hierdoor kan er geen overproductie ontstaan op het energienet [28].

Op het eerste zicht lijkt dit dus een goede oplossing voor zowel de energiezekerheid van de woning als de overproductie op het energienet. Maar deze energiezekerheid kan enkel ontstaan wanneer de zonnepanelen genoeg leveren zowel in de zomer als in de winter. Als we veronderstellen dat de woning enkel gebruik maakt van zonne-energie zal er rekening moeten gehouden worden met het feit dat de zonnepanelen in de winterperiode minder kunnen leveren. Zo zal het totale vermogen moeten berekend worden op het verbruik en opbrengst in de winterperiode. Uit voorgaande gegevens zal er kunnen besloten worden dat er voor de winterperiode een installatie nodig is die ongeveer tien maal groter zou moeten zijn dan wanneer deze in de zomerperiode zou nodig zijn. Deze vergroting van de installatie brengt natuurlijk een grote kost met zich mee. Hierbij komt ook dat tijdens de zomerperiode er een economisch en ecologisch verlies zal ontstaan doordat de opslag in de buffer beperkt is en de overschot aan energie niet kan gebruikt worden en de energie dus verloren zal gaan. Bij een net gekoppeld systeem zal deze energie ter beschikking worden gesteld van andere gebruikers op het net. Om dit deels op te lossen, wordt er bij een autonome woningen meestal een combinatie gemaakt met een generator of met alternatieve energiebronnen zoals een windmolen. Deze zal de woning van elektriciteit voorzien gedurende de periode dat de zonnepanelen het verbruik niet volledig kunnen dekken en de buffer niet voldoende energie meer bezit.

De autonome woning heeft dus duidelijk te maken met heel wat negatieve punten waarvoor niet dadelijk een oplossing kan gevonden worden. Een combinatie tussen een off-grid en on-grid systeem zou eventueel wel oplossingen kunnen bieden.

4.1.3 Semi-autarke woning

Een semi-autarke woning is vergelijkbaar met een autonome woning met dit verschil dat de woning zich niet constant zal moeten kunnen voorzien van energie. Een semi-autarke woning is dus een woning die zichzelf van energie kan voorzien voor een bepaalde tijd. Deze woning zal net zoals de autonome woning over een buffer beschikken om energie op te slaan, al zal deze opmerkelijk kleiner zijn dan bij de autonome woning. Tegelijkertijd zal de woning aan het energienetwerk gekoppeld zijn. Er is dus sprake van een combinatie van een off-grid met een on-grid systeem.

Bij een stroomonderbreking of black-out zal de woning omschakelen van het energienet naar zijn eigen buffer. Op deze manier zal de woning bij uitschakeling van het net niet zonder stroom vallen. Tijdens deze stroomstoring zullen de zonnepanelen eveneens energie blijven leveren. Deze zullen dan in de buffer worden opgeslagen. Doordat de opslagcapaciteit van de buffer beperkt is, zal de woning zich maar een beperkte periode van energie kunnen voorzien. Deze tijd van autonomie zal natuurlijk afhankelijk zijn van het weer, de periode waarin de onderbreking voorvalt en het verbruik tijdens deze periode. Als bewoner kan er bewust gekozen worden om het energieverbruik te reduceren waardoor de autonomie kan vergroot worden.

Een semi-autark systeem werkt als volgt. De opgewekte energie wordt opgeslagen in de buffer. Vanaf het moment dat de buffer is opgeladen tot zijn maximumcapaciteit zal de energie die dan nog opgewerkt wordt naar het net gestuurd worden. Wanneer in de winterperiode de zonnepanelen niet genoeg energie kunnen leveren, zal er extra energie van het net gehaald worden om de woning van genoeg elektriciteit te voorzien. Hierbij wordt steeds gezorgd dat de buffer opgeladen is, zodat in geval van nood, de energie ter beschikking kan gesteld worden van de woning. In geval van een stroomonderbreking wordt er energie uit de buffer gehaald tot de stroomonderbreking opgelost is of tot de buffer leeg is.

Op deze manier zal de woning echter niets bijdragen tot het energieprobleem op grotere schaal, want wanneer de buffer is opgeladen zal de woning gewoon werken als een net gekoppelde woning. Hierbij zal er terug energie op het net worden gestuurd op momenten dat de energie niet nodig is en zal de woning energie van het net halen tijdens zijn piekmomenten. Een betere oplossing zou dus kunnen zijn dat de buffer constant gebruikt wordt en niet enkel tijdens de stroomonderbrekingen. Op deze manier zou de buffer tijdens overproductie kunnen worden opgeladen waardoor de opgewekte energie niet tijdens deze piek op het net wordt gestuurd. Ook zou de woning tijdens de piekverbruiken (ochtend- en avondpiek) energie uit de buffer kunnen gebruiken, waardoor deze niet van het net gehaald worden.

4.2 Autonomie

Om te bepalen welke autonomie de woning nodig heeft, zullen enkele reële stroomonderbrekingen uit het verleden bekeken worden. Als semi-autarke woning zou het mogelijk moeten zijn om een gemiddelde stroomonderbreking te overbruggen.

4.2.1 Stroomonderbrekingen in België

Op de website van Eandis kunnen alle geplande werken en ongeplande stroomonderbrekingen gevolgd worden. Als we deze oplistten op 3 juni 2015 dan kan er vastgesteld worden dat er die dag 10 ongeplande stroomonderbrekingen zijn, alsook 14 geplande werken. Deze onderbrekingen zijn verspreid over heel België. De tijd van deze stroomonderbrekingen schommelt van een half uur tot bijna vijf uren. Hierbij vallen dan ook vele gezinnen zonder elektriciteit, namelijk van 20 tot 1500 gezinnen. Bij de geplande werken zijn de getroffen gezinnen opmerkelijk kleiner.

Bij lokale stroomonderbrekingen zullen we dus rekening moeten houden met een stroomonderbreking van enkele uren tot maximaal een halve dag. Deze onderbrekingen zullen het meest voorkomen door storingen of werken.

4.2.2 Black-out energienet

Een speciale stroomonderbreking is de black-out. Om van een black-out te kunnen spreken moet er voldaan zijn aan drie voorwaarden:

1. De stroomuitval mag niet gepland zijn door de energiemaatschappij.
2. De stroomuitval zal minimum 1 000 mensen en minimaal 1 uur moeten duren.
3. De stroomuitval zal minimum 1 000 000 persoon-uren moeten duren. Dit zijn het aantal personen die getroffen zijn vermenigvuldigd met de tijdsduur van de stroomonderbreking.

Hieronder worden enkele van de grootste black-outs toegelicht die tot nu toe wereldwijd zijn voorgekomen. De tijd tussen de stroomuitval en de heropstart van het net is niet gelijk aan de tijd voor het heropstarten van alle systemen die hierbij uitgevallen zijn. Luchthavens, treinstations, providers van andere producten,... hebben elk hun tijd nodig om hun systeem terug op te starten en terug op volle capaciteit te draaien. Dat kan de impact van een stroomuitval veel langer laten duren dan de eigenlijke duur van de stroomuitval.

4.2.2.1 30-31 juli 2012

Op 30 juli 2012 ontstond er een black-out in India. Dit is de grootste black-out uit de geschiedenis. Bij deze black-out werden meer dan 600 000 inwoners getroffen, alsook alle sociale systemen. De oorzaak van de black-out op 30 juli was het falen van een zekering op een hoogspanningsnet. Na 15 uur was er 80% terug actief. De black-out op 31 juli ontstond door het falen van een relais. In totaal was er dus een stroomuitval van ongeveer 2 dagen.

4.2.2.2 2 januari 2001

Op 2 januari 2001 heeft een black-out in India 226 miljoen inwoners getroffen. De totale stroompanne duurde 12 uur. De oorzaak hiervan was het falen van een hulpstation in Uttar Pradesh [29].

4.2.2.3 1 november 2014

Een stroomuitval in Bangladesh zorgde ervoor dat 160 miljoen inwoners zonder elektriciteit vielen. Deze panne was zaterdagmiddag ontstaan en heeft tot zondagmiddag geduurd. In totaal was er dus 12 uur geen elektriciteit. De ziekenhuizen en luchthavens waren genoodzaakt om hun noodgeneratoren te gebruiken. In een ziekenhuis begaf de noodgenerator het na 2 uur, waardoor het ziekenhuis volledig zonder elektriciteit viel. Ook de voorzieningen, zoals water, vielen weg doordat de pompen geen energie meer kregen [30].

4.2.2.4 14 augustus 2003

Op 14 augustus ontstond een stroomuitval in Amerika en Canada. Hierbij werden 55 miljoen mensen getroffen. Enkele steden hadden na 7 uur al terug stroom, terwijl andere moesten wachten tot 2 dagen na de stroomuitval. [31] De black-out ontstond door een overstroom op het net. Enkele van de lijnen waren te zwaar belast waardoor deze in de bomen waren gezakt en uitvielen. Hierdoor moest alle stroom door de andere lijnen, waardoor deze te zwaar belast werden en bijgevolg ook uitvielen [32].

4.2.2.5 4 november 2006

Op zaterdag 4 november 2006 ontstond de grootste stroomuitval in Europa. De stroomuitval had een tijdsduur van 120 minuten en trof onder meer delen van België, Duitsland, Frankrijk, Nederland en Spanje. De stroompanne was een gecombineerd gevolg van het uitschakelen van hoogspanningsleidingen in Duitsland en een slechte communicatie tussen de netbeheerders. Door de uitschakeling moest er plots een vermogen van 10 000MW omgeleid worden. De hoogspanningsleidingen kregen te maken met een te hoge stroomsterkte, waardoor de veiligheidszekering uitviel. Door de plotse uitval moesten de andere leidingen deze stroom opvangen met als gevolg een overbelasting, met uitschakeling van het net. Deze uitschakelingen werkten als een kettingreactie op de verschillende netten. In de rest van Europa werd er te veel vermogen geproduceerd waardoor de frequentie van het net steeg en de verschillende energienetten niet meer synchronisch verliepen [33].

Bij groene elektrische energie kunnen we ook met een overbelasting te maken krijgen. Deze black-out toont ons hiervan de gevolgen.

4.2.3 Besluit

Uit voorgaande grote black-outs kan besloten worden dat de meeste binnen de dag zijn opgelost en dat deze tijd maximaal oploopt tot twee dagen. In enkele uiterst zeldzame gevallen zou dit meer dan twee dagen kunnen zijn, dit door grote schade aan apparatuur en dergelijke. De lengte van de black-out is wel sterk afhankelijk van de plaats waar deze voorvalt. Het energienetwerk in Europa wordt met veel precisie beheerd waardoor het een stabiel netwerk is en de kans op een black-out kleiner is. Als deze toch voorvalt, zal ze maar een beperkte tijd duren. Een semi-autarke woning in België zou dus zo gedimensioneerd moeten worden dat ze een halve tot een hele dag kan overbruggen. Bij het dimensioneren zal nagegaan worden wat de impact is als de woning drie dagen autonoom zou moeten zijn.

4.3 Elektriciteitsverbruik

Voor het energieverbruik van een woning kunnen we niet uitgaan van de gegevens die in figuren 6, 7 en 8 gebruikt zijn; dit omdat voor het Belgische net niet enkel de huishoudens verbruikers zijn, maar ook de industrie en infrastructuur. Tabel 1 geeft aan hoeveel elektriciteit een gemiddeld gezin in België verbruikt. Hierin zien we dat een doorsneegezin ongeveer 3500 kWh per jaar verbruikt, wat gemiddeld 9,6 kWh per dag is. Een grote verbruiker zal ongeveer 7500 kWh per jaar verbruiken, dit is ongeveer 20,5 kWh per dag. Het verbruik kan nog sterk oplopen wanneer er gebruik gemaakt wordt van elektrische verwarming, dit zowel voor warm water als verwarming [34].

Verbruiker	Jaarverbruik dagmeter in kWh	Jaarverbruik nachtmeter in kWh	Totaal verbruik
Kleine verbruiker met 1 meter	600	0	600
Relatief kleine verbruiker met 1 meter	1.200	0	1.200
Doorsnee gezin met 2 meters	1.600	1.900	3.500
Doorsnee gezin met 1 meter	3.500	0	3.500
Relatief grote verbruiker met 2 meters	3.600	3.900	7.500

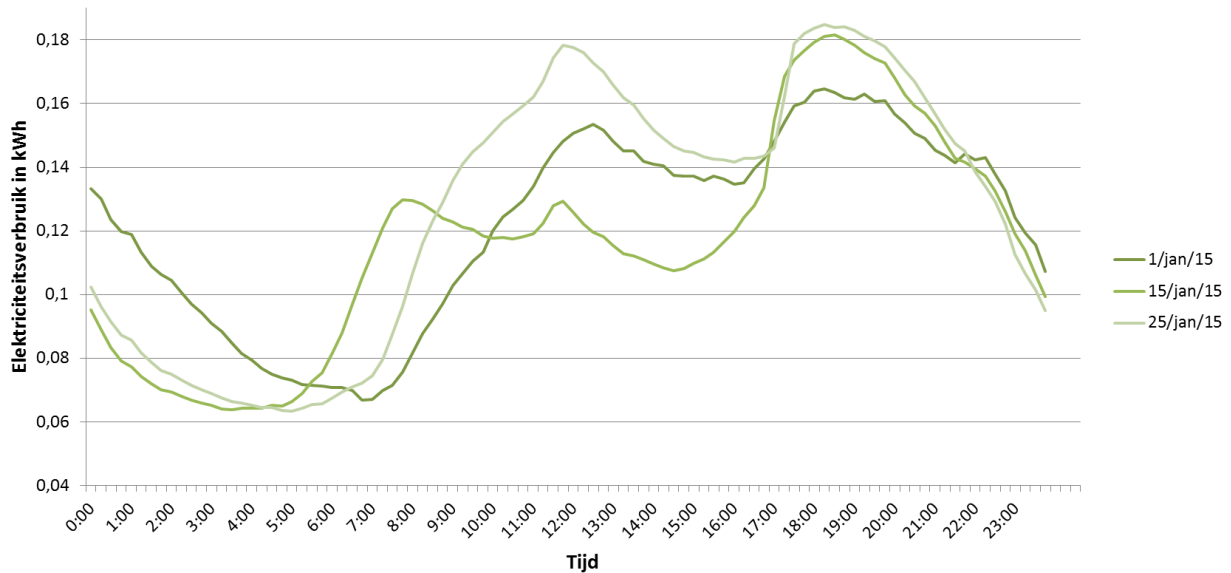
Tabel 1: Verbruik gemiddeld gezin in België; VREG

Voorgaande gegevens kunnen gebruikt worden voor het dimensioneren van een systeem voor een semi-autarke woning, al zijn dit wel gemiddelde waarden. Zoals eerder vermeld zal het elektriciteitsverbruik in de winter hoger zijn dan in de zomer. Om meer inzicht te krijgen in de over- en onderproductie van een woning die ook over zonnepanelen beschikt, hebben we gegevens nodig die meer gedetailleerd zijn, zowel voor verbruik als productie.

Een distributienetbeheerder maakt gebruik van verbruikersprofielen of SLP's² om een schatting te maken van het verbruik van een woning; indien de meter onbereikbaar is of de laatste meterstand niet betrouwbaar is. De tabel bevat een factor per kwartier van een volledig jaar, deze factor is afhankelijk van het type verbruiker. Voor elektriciteit zijn er zes verbruikerstypes: S18 en S19 zijn profielen van vlakke verbruikers en openbare verlichting; S11 en S12 zijn profielen voor niet-huishoudelijke afnemers; terwijl S21 en S22 profielen zijn voor huishoudelijke afnemers; bij S21 en S22 verschilt de verhouding tussen dag- en nachtverbruik. Bij S21 is deze verhouding kleiner dan 1,3 terwijl bij S22 de verhouding groter is dan 1,3. S22 is meestal van toepassing wanneer er gebruik gemaakt wordt van elektrische accumulatieverwarming. Voor een semi-autarke woning in deze thesis (zonder accumulatieverwarming) kan worden uitgegaan van het profiel S21 [35].

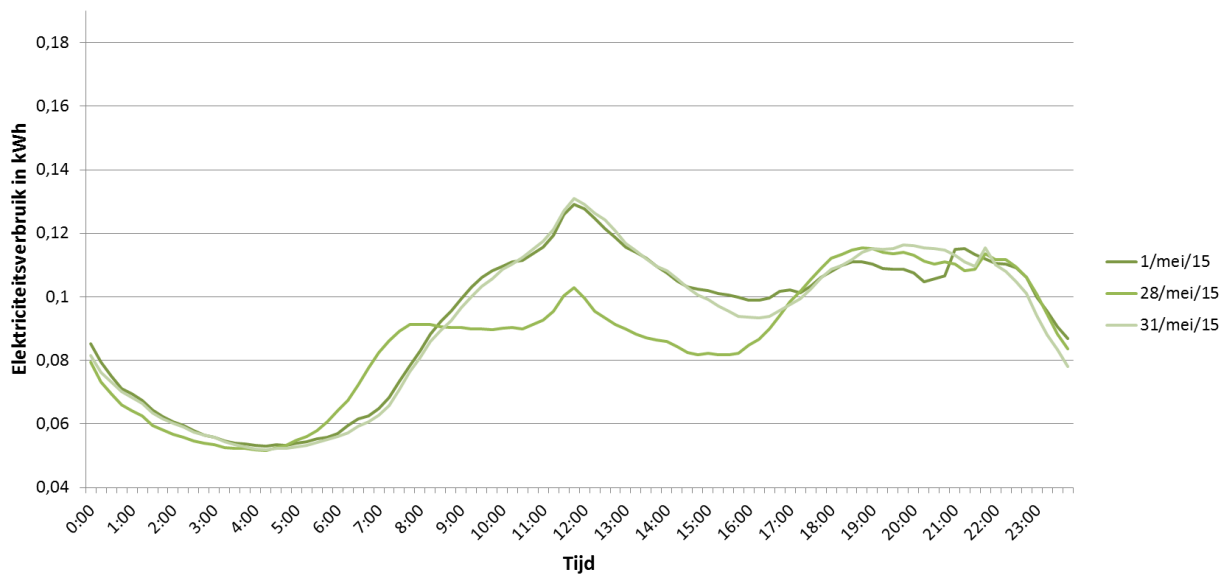
² Synthetic Load Profiles

In figuur 19 zijn de verbruiken te zien van 1, 15 en 25 januari 2015 en in figuur 20 zijn de verbruiken van 1, 28 en 31 mei te zien. Hierbij zijn 1 januari en 1 mei een feestdag, 15 januari en 28 mei een gewone werkdag en 25 januari en 31 mei een zondag. Deze data zijn dezelfde als in hoofdstuk 5.1.2 zodat er een vergelijking kan gemaakt worden tussen het totaal verbruik en het residentieel verbruik. De cijfers zijn gebaseerd op een doorsnee gezin met een verbruik van 3.500 kWh per jaar.



Figuur 19: Residentieel dagverbruik januari 2015; Gegevens VREG [35]

In figuur 19 kunnen we duidelijke profielen aflezen. Op 1 januari is het verbruik om middernacht hoger dan gewoonlijk doordat het Nieuwjaar is. Het elektriciteitsverbruik zal pas later terug stijgen en vanaf 12u min of meer stabiel blijven met een kleine verhoging tussen 17u en 20u. Op 15 januari (werkdag) zien we dat er zich een ochtendpiek voordoet tussen half 7 en 8 uur. Tijdens de middag ontstaat er nog een lichte stijging, waarna het verbruik terug afneemt en vanaf 17u plots stijgt om dan vanaf 19u30 terug af te nemen. Op 25 januari (weekenddag) zien we dat de ochtendpiek later begint, maar wel groter is, dit zal waarschijnlijk te wijten zijn aan het feit dat de mensen meer tijd hebben en meer doen gedurende de ochtend. Nadien daalt het verbruik terug tot de avondpiek die rond 17u begint. Gedurende de dag blijft het verbruik hoger dan de andere dagen.



Figuur 20: Residentieel dagverbruik mei 2015; Gegevens VREG [35]

In figuur 20 kunnen we dezelfde profielen herkennen als in figuur 19. Al zijn de ochtend- en avondpiek minder herkenbaar, dit zal waarschijnlijk te wijten zijn aan de mindere nood aan verlichting. De verbruiken van 1 mei en 31 mei zijn nagenoeg hetzelfde.

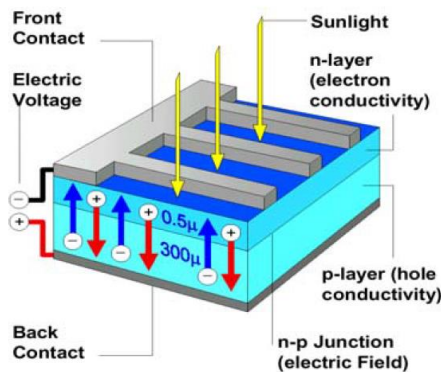
Als we deze verbruiken vergelijken met de verbruiken in hoofdstuk 3.1.2 kunnen we zien dat het in de zomer nog steeds lager ligt dan in de winter. Maar de ochtend-, avond- en middagpiek zijn hier meer herkenbaar. In hoofdstuk 6.1.3 zijn deze pieken onderzocht in functie van de case.

4.4 Elektriciteitsproductie

Zoals reeds eerder aangehaald (zie 5.1) zal er bij een semi-autarke woning uitsluitend gebruik gemaakt worden van zonnepanelen om elektriciteit op te wekken. Dit om de eenvoudige reden dat het gebruik van een windmolen of een andere hernieuwbare energiebron praktisch onmogelijk is op kleine schaal. Verder zal in het kort de werking van fotovoltaïsche zonnepanelen uitgelegd worden alsook de verschillende factoren die de energieopbrengst bepalen.

4.4.1 Werking

De basis van een zonnepaneel is de fotovoltaïsche cel; dit is een halfgeleider waarin lichtenergie omgezet wordt in elektriciteit. Deze cellen bestaan uit meerdere lagen die een tegengestelde lading bezitten. Wanneer een foton door het paneel geabsorbeerd wordt, komt er een elektron vrij, hierdoor kan een elektronenstroom tot stand komen. Door een elektrode zowel aan de boven- als onderzijde aan te brengen, kunnen de elektronen worden aangetrokken en ontstaat er een spanningsbron. Als deze spanningsbron aangesloten wordt, vloeit er een stroom die afhankelijk is van het aantal invallende fotonen [36].



Figuur 21: Dwarsdoorsnede van een fotovoltaïsche cel [36]

4.4.2 Types

Er bestaan verschillende types zonnepanelen, deze verschillen in het gebruik van materialen en het productieproces. De werking blijft steeds hetzelfde, maar ze verschillen in rendement [36].

4.4.2.1 Monokristallijne zonnecellen

De monokristallijne cellen zijn diegene met het hoogste rendement, maar dit zijn eveneens de duurste cellen. Deze zonnecellen zijn herkenbaar aan de afgeronde hoeken en het egale uitzicht. De panelen worden gemaakt met cilindrische siliciumkristallen, wat direct het egale uitzicht en de hogere kostprijs verklaart [36].

4.4.2.2 Polykristallijne zonnecellen

Deze zonnecellen hebben een lager rendement dan voorgaande, maar zijn voordeliger in prijs. Ze zijn herkenbaar aan hun gebroken structuur die ontstaat door ongelijke oriëntatie van de siliciumkristallen. Deze kristallen zijn opnieuw gesmolten en gekristalliseerd. Ondanks het lager rendement worden deze panelen veel gebruikt op plaatsen waar er ruimte genoeg is [36].

4.4.2.3 Amorfe zonnecellen

Deze zonnecellen hebben het laagste rendement, maar hebben als voordeel dat er minder materiaal nodig is. Amorfe cellen zijn veel dunner en kunnen daardoor op verschillende oppervlaktes aangebracht worden; in sommige gevallen zijn deze zelfs plooibaar. De cellen worden gemaakt door siliciumsubstraat in verschillende lagen op een oppervlakte te vernevelen. Nadien worden hier stroombanen in gelaserd. Vandaag zijn deze panelen nog zeer duur door de gebruikte techniek [36].

4.4.3 Energieopbrengst

De energieopbrengst is afhankelijk van verschillende factoren. We kunnen deze onderbrengen in vier categorieën.

4.4.3.1 Type paneel

Het rendement van het paneel verschilt sterk van het type paneel. De meest gebruikte zijn de monokristallijne zonnepanelen met een rendement van 13% à 19% en de polykristallijne zonnepanelen met een rendement van 12% à 14%. Dit rendement geeft weer hoeveel van de invallende lichtenergie wordt omgezet in elektriciteit. Ondanks het lager rendement worden in België polykristallijne zonnepanelen het meest toegepast; dit omdat ze beter presteren bij een bewolkt klimaat en lagere temperaturen. Om een goede vergelijking te maken tussen de verschillende zonnepanelen wordt het vermogen uitgedrukt in Wattpiek; dit is het vermogen in ideale omstandigheden. Om de raming te maken van de verwachte energieopbrengst wordt er gewerkt met een omrekeningsfactor; in België bedraagt deze factor 0,897 (VREG) als de oriëntatie ideaal is. Het rendement van de zonne-energie installatie is eveneens afhankelijk van de omvormer [36].

4.4.3.2 Oppervlakte

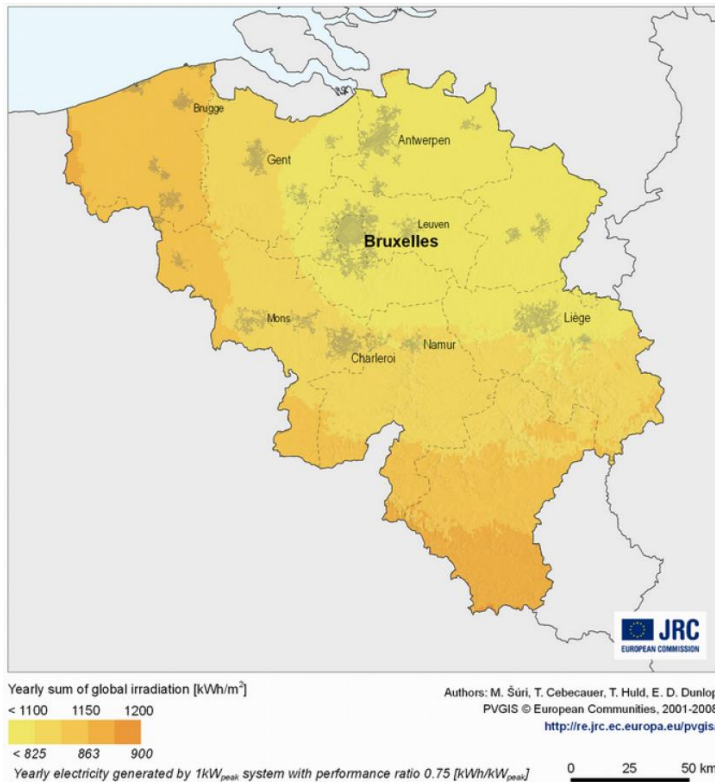
De oppervlakte is afhankelijk van het aantal panelen: hoe meer panelen er gekoppeld worden, hoe hoger de energieopbrengst. Zoals eerder gezien zijn er panelen die een verschillende opbrengst hebben. Hierbij zijn de panelen met de meeste opbrengst per vierkante meter meestal de duurste. Om zo kostefficiënt mogelijk te werken, kan er een afweging gebeuren tussen het aantal panelen en de opbrengst per paneel. Natuurlijk is hierbij de beschikbare dakoppervlakte belangrijk, alsook het benodigde vermogen [37].

4.4.3.3 Ligging

De opbrengst van een zonne-installatie is sterk afhankelijk van de instraling van de zon. Deze zonnestraling wordt beïnvloed door verschillende factoren.

4.4.3.3.1 Locatie

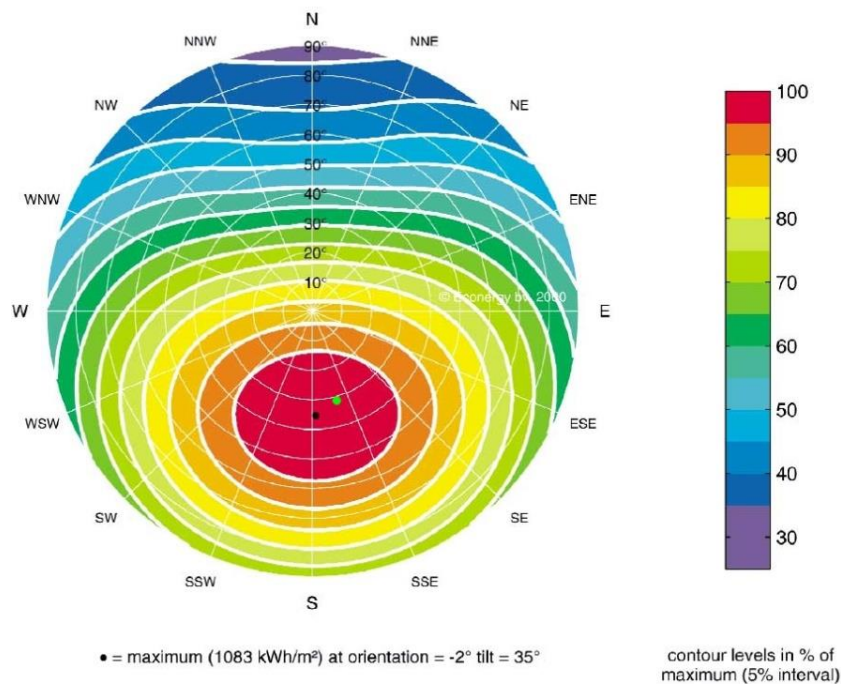
De zonnestraling is verschillend in elk land, zelfs binnen België zijn er verschillende zones. In België is de opbrengst redelijk goed doordat de temperaturen gematigd zijn. Zonnepanelen presteren immers slechter wanneer de temperatuur hoger is dan 25 graden [37].



Figuur 22: Kaart van België met de globale zonnestralingen kWh/m².jaar en de elektriciteitsproductie voor een ideaal georiënteerd systeem [37].

4.4.3.3.2 Oriëntatie en helling

De oriëntatie van de panelen is zeer belangrijk. Ideaal zijn deze geplaatst naar het zuiden met een hellingshoek van 35°. Natuurlijk is de oriëntatie gebonden aan de inplanting van het gebouw. De hellingshoek kan eventueel wel aangepast worden. Deze oplossingen zijn niet altijd architecturaal aanvaardbaar omdat de zonnepanelen afbreuk doen aan de woning. Een voorbeeld hiervan zijn zonnepanelen die dwars op een hellend dak geplaatst zijn en die daarbij nog een helling krijgen. In figuur 23 is de zonneschijf van Ukkel afgebeeld, deze geeft het jaarlijkse rendementsverlies weer. We kunnen ook afleiden dat bij een oriëntatie naar het zuidoosten of het zuidwesten met helling van 10° tot 55° het verlies minder is dan 10%. Dit heeft te maken met het grote aandeel verstrooide straling dat in België ontstaat [37].



Figuur 23: Jaarlijkse relatieve straling in Ukkel op een hellend vlak in functie van de oriëntatie en de hellingsgraad [37].

4.4.3.3.3 Schaduw

Schaduw is zeer belangrijk om rekening mee te houden, zeker bij complexe situaties. Als een zonnecel gedeeltelijk of volledig beschaduwd wordt, zal deze ervoor zorgen dat de rest van het paneel eveneens minder gaat produceren. Dit heeft te maken met het feit dat de verschillende cellen in serie geschakeld zijn. In situaties waar het onmogelijk is om schaduw te vermijden zal men eerder kiezen voor amorfe zonnecellen, omdat deze hiervan minder last ondervinden. Voor belangrijke systemen kan een volledige studie gebeuren [37].

4.4.3.3.4 Ventilatie

De manier van plaatsen is ook belangrijk, doordat het rendement van het paneel afneemt naarmate de temperatuur stijgt. Ventilatie kan ervoor zorgen dat de temperatuur minder snel oploopt. Ingebouwde zonnecellen zijn esthetisch mooier, maar zullen moeten inboeten aan opbrengst wegens de hogere temperaturen [37].

4.4.3.4 Systeemtype

Met het systeemtype wordt geduid op het achterliggend systeem van de zonnepanelen zoals besproken in 7.1. Bij een autark systeem wordt de energie opgeslagen in batterijen en is de opslagcapaciteit beperkt. Wanneer deze buffer vol is, zal het systeem geen energie meer kunnen leveren en gaat deze verloren, terwijl bij een netgekoppeld of semi-autark systeem de energie aan het net kan geleverd worden.

4.5 Opslagsystemen

Energieopslag heeft een zeer belangrijke rol in een semi-autarke woning. Op grote schaal wordt er al langer energie opgeslagen door verschillende systemen, maar deze zullen voor een woning zeker niet allemaal bruikbaar zijn.

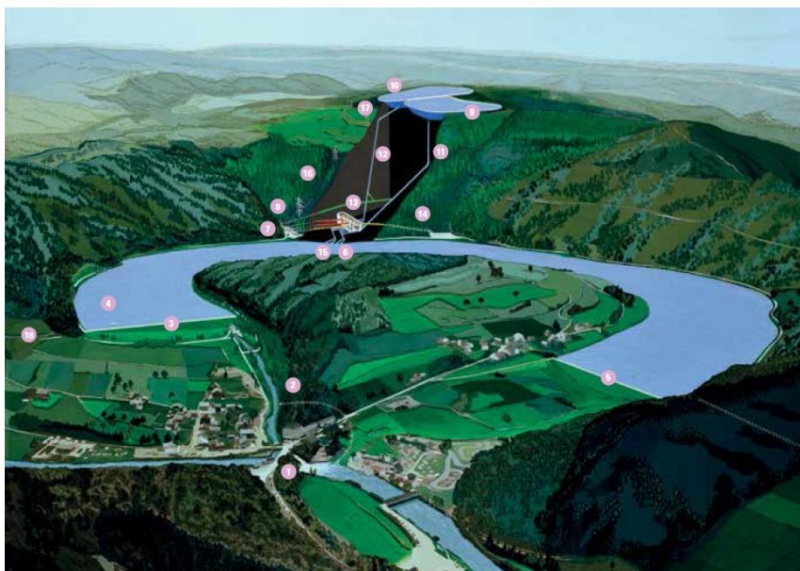
4.5.1 Bestaande systemen

Doordat nucleaire centrales plotse pieken in het energienetwerk niet kunnen opvangen, ontstaan er vaak schommelingen in het energienetwerk. Deze schommelingen moeten worden opgevangen om onbalans in het net te voorkomen. Zoals eerder aangehaald zijn er zowel pieken als dalen in het energieverbruik. Tijdens het dalverbruik is er een energieoverschot dat kan worden opgeslagen door de buffer en dat kan worden vrijgegeven als er een energietekort is tijdens piekmomenten. Hieronder worden enkele bestaande systemen kort toegelicht.

4.5.1.1 Spaarbekkencentrale

Een spaarbekkencentrale is een pompcentrale waar in de daluren water wordt opgepompt naar een bovenbekken dat tijdens de piekmomenten via een alternator terug naar de benedenbekken wordt afgevoerd. Een spaarbekkencentrale is in staat om binnen enkele minuten op te starten, wat niet mogelijk is bij klassieke thermische centrales. Hierdoor kan een spaarbekkencentrale de verbruikspieken opvangen, instaan bij uitval van een grote klassieke centrale, voor evenwicht zorgen bij de hernieuwbare energie alsook een constant evenwicht bewaren op het net doordat de centrale eenvoudig regelbaar is. Bij een spaarbekkencentrale ontstaat er ook geen vervuilende uitstoot [38].

De grootste watercentrale van België bevindt zich in Coo-Trois-Ponts en ze is gebouwd als buffer voor de kerncentrale van Tihange. Deze watercentrale heeft een bovenwaterbekken van 400 000m³ en kan een maximaal vermogen genereren van 1 164 MW. Gemiddeld wekt deze centrale 1 600 GWh per jaar op. Om het water naar het bovenbekken te pompen is er ook energie nodig, waardoor er ook een verlies optreedt. Toch heeft de centrale in Coo-Trois-Ponts een rendement van 75% [38].



Schema van de site

1 Waterval van Coo	6 Onderste watervang	11 Drukleiding 1	16 380 kV-hoogspanningslijn
2 Waterkrachtcentrale Coo-alfakking	7 Transformator 20/380 kV	12 Drukleiding 2	17 380 kV-post van Brume
3 Stroomopwaartse dijk	8 Dieselfulpgroep	13 Machinezaal	18 Toegangsweg tot de centrale
4 Benedenbekken (8 540 000 m ³)	9 Bovenbekken 1 (4 000 000 m ³)	14 Bezoekersgalerij	
5 Stroomafwaartse dijk	10 Bovenbekken 2 (4 540 000 m ³)	15 Verbinding benedenbekken	

Figuur 24: Watercentrale Coo-Trois-Ponts [38].

4.5.1.2 Gecomprimeerde lucht

Bij gecomprimeerde lucht als opslagbuffer wordt er tijdens de daluren lucht opgeslagen onder druk. Bij een piekverbruik wordt deze lucht ontspannen. Maar doordat ontspanning van een gas een endotherm proces is, zal er warmte moeten toegevoegd worden. Hiervoor wordt de lucht opgewarmd met aardgas voordat deze de turbine aansturen. Hierbij kan een rendement gehaald worden rond de 50%. Dit komt doordat bij dergelijke installaties er nog steeds gebruik gemaakt wordt van natuurlijke verbrandingsstoffen die verloren zijn na gebruik [39].

Momenteel is men in Duitsland een nieuw project aan het bouwen waarbij geen aardgas meer nodig zou zijn. Hierbij wordt de warmte die vrijkomt bij het comprimeren van de lucht niet meer vrijgelaten in de omgeving, maar wordt deze opgevangen in warmteopslagtanks. Deze warmte kan dan terug worden gebruikt bij het ontspannen van de lucht. Door deze methode toe te passen kan er een rendement van 75-85% gehaald worden. Het project zou in 2020 opgeleverd moeten worden [40].

4.5.1.3 Vloeibare lucht

Bij de techniek van de vloeibare lucht wordt lucht afgekoeld tot een temperatuur van -200°C . Op deze manier kan de lucht in een klein volume opgeslagen worden. Bij energienood zal de lucht worden opgewarmd waardoor deze uitzet en een turbine aandrijft. Een extra voordeel van deze techniek zou zijn dat de lucht gemakkelijk verplaatsbaar is naar andere locaties door het kleine volume. Met dit systeem kan een vergelijkbaar rendement gehaald worden als gecomprimeerde lucht. Het rendement is immers enkel mogelijk indien de verwarming afkomstig is van restwarmte [41].

4.5.1.4 Batterij

De batterij is de meest gekende buffer die veel toepassingen kent, vooral op kleinere schaal. Een batterij bestaat uit twee materialen die een potentiaalverschil vormen. Deze materialen zijn gescheiden door een elektrolyt. Afhankelijk van de materialen zal aan de ene zijde een negatieve pool ontstaan terwijl aan de andere kant een positieve pool ontstaat. Doordat de materialen gescheiden zijn door een vloeistof (elektrolyt), zullen er ionen van de negatieve pool oplossen, waardoor er ongebonden elektronen achterblijven. Deze elektronen kunnen via de aangesloten verbruiker naar de positieve pool stromen, welke de elektronen zal opnemen. Een batterij zet dus via een chemische reactie, de chemische energie om in elektrische energie [42].

Bij de batterijen wordt er een onderscheid gemaakt tussen oplaadbare en niet-oplaadbare batterijen. Bij een oplaadbare batterij is het mogelijk om via een aangesloten en tegengestelde stroombron de chemische reactie om te keren. Tussen de oplaadbare batterijen zijn er nog vele verschillen met elk hun eigenschappen. Volgende tabel 2 geeft de meest voorkomende oplaadbare batterijen weer. Hierbij wordt telkens de energiedichtheid en de vermogensdichtheid vermeld. De energiedichtheid geeft aan hoeveel energie (in Wh) er kan opgeslagen worden per kilogram. De vermogensdichtheid geeft weer hoeveel vermogen (in W) de batterij kan leveren per kilogram [42].

Type	Eigenschappen	Gebruik	Energiedichtheid	Vermogensdichtheid
Loodaccu	Zwaar belastbaar goedkoop Hoog gewicht	Startaccu auto	30 Wh/kg	75 W/kg
Nikkelcadmiumaccu	Zeer zwaar belastbaar Goedkoop Milieuvriendelijk Hoog gewicht Geheugeneffect	Draadloos gereedschap	50 Wh/kg	200 W/kg
Nikkelmetaalhydride-accu	Zwaar belastbaar Milieuvriendelijker Hogere energiedichtheid Minder geheugeneffect Hoge zelfontlading	(vroeger) Laptop Gsm (nu) Oplaadbare standaard batterijen	60 Wh/kg	175 W/kg
Lithium-ion accu	Zwaar belastbaar milieuvriendelijk Hoge energiedichtheid Geen geheugeneffect Kleine zelfontlading Lange levensduur Snel oplaadbaar Hoge kostprijs Verlies van capaciteit	Laptop Gsm Tesla	140 Wh/kg	180 W/kg

Tabel 2: Batterijsoorten met eigenschappen en specificaties.

Een woning heeft een grote energiedichtheid nodig, de batterij moet in staat zijn om een groot vermogen te leveren, de levensduur van de batterij zou zo lang mogelijk moeten zijn. Een goede batterij zou de lithium-ion batterij kunnen zijn, al is de kostprijs hiervan zeer hoog. In onderdeel 5.5.2.3 zal de Tesla-batterij besproken worden die eveneens een lithium-ion batterij is.

4.5.1.5 Waterstofgas

Waterstof is een soort gas dat op verschillende wijzen kan ontstaan. Een interessante methode voor het energieprobleem is waterstofgas produceren via elektrolyse. Bij elektrolyse wordt water ontleed in waterstof en zuurstof. Deze chemische reactie kan tot stand gebracht worden door middel van een stroombron. Deze stroom kan afkomstig zijn van de alternatieve energiebronnen zoals zonne-energie. Het waterstofgas dat vrij komt kan onder druk worden opgeslagen en later gebruikt worden in brandstofcellen. Als het waterstof verbrand wordt, komt er enkel terug water vrij en geen schadelijke gassen. Waterstof kan gebruikt worden als brandstof voor de auto of om de woning te verwarmen [43].

Vandaag is het productieproces en de opslag van waterstof nog relatief duur waardoor deze nog niet veel worden toegepast. Slechts enkele bedrijven gebruiken al waterstof als brandstof in voertuigen, waaronder De Lijn en enkele automerken zoals Toyota en VW. Met waterstofgas is het wel mogelijk om energie op een duurzame manier op te slaan en mobiel te maken [43].

4.5.1.6 Thermische energieopslag

Elektriciteit kan door middel van warmte worden opgeslagen. De meest bekende toepassing is het gebruik van een elektrische boiler. Het opgewarmde water wordt gebruikt als sanitair warm water. De boiler kan in werking gesteld worden wanneer er energieoverschotten zijn. Op deze manier kunnen energiepieken worden afgevlakt, maar gedurende energietekorten zal er geen energie vanuit de boiler kunnen geleverd worden. Het systeem werkt dus maar in één richting en heeft een beperkte opslagcapaciteit [10]. Bij een uitgebreider systeem zou het warm water gebruikt kunnen worden om de woning mee te verwarmen. Een voorbeeld hiervan is het energieopslagsysteem van Ecovat [44].

Er bestaan ook grotere systemen waarbij er gebruik gemaakt wordt van gesmolten zout om dit nadien terug om te zetten in elektriciteit via een stirlingmotor. Een bestaand project op basis van gesmolten zout is "Gemaspolar" in Spanje. Hier wordt zout verwarmd in een toren door middel van spiegels die de zon reflecteren naar een middelpunt. De Gemaspolar is tegelijkertijd een accu waarbij de overschot aan energie eveneens gebruikt wordt om het zout op te warmen. 's Nachts of gedurende energietekorten kan het gesmolten zout gebruikt worden om een stoomturbine aan te drijven [45].



Figuur 25: Gemaspolar [45]

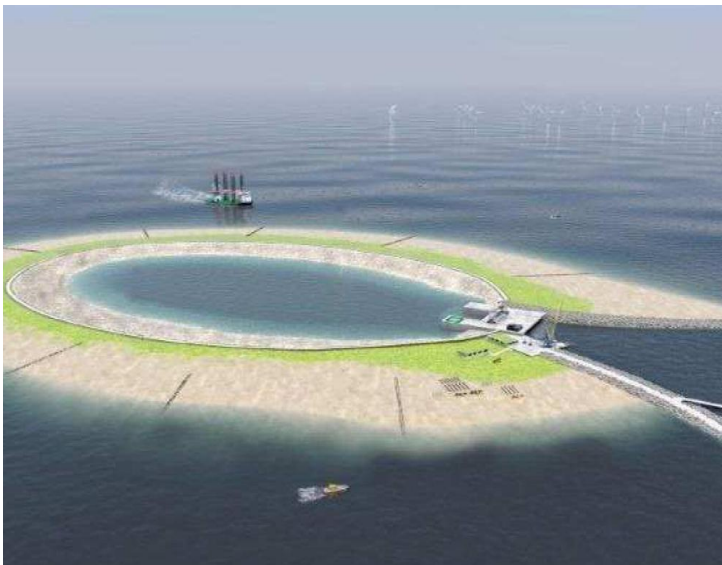
4.5.2 Nieuwe projecten

Tegenwoordig is men volop bezig met nieuwe projecten te ontwikkelen om energie te kunnen opslaan. Enkele voorbeelden worden hieronder aangehaald en toegelicht.

4.5.2.1 Energie-eiland

De voorbije jaren zijn er veel nieuwe windmolens aan de kust geplaatst. Bij windenergie is het probleem vergelijkbaar met dit van de zonnepanelen. De opgewekte energie is afhankelijk van de natuurlijke krachten waardoor deze op bepaalde momenten wordt opgewekt wanneer het niet nodig is. Deze overschot aan energie moet men dan aan zeer lage tarieven of zelfs tegen betaling uitvoeren. Het energie-eiland is een soort van gigantische buffer om de energieoverschotten in op te slaan. Het werkt volgens het principe van een pompcentrale zoals in Coo-Trois-Ponts (5.5.1.1), alleen is hier geen natuurlijk hoogteverschil aanwezig. Dit wordt gecreëerd door een grote kuip in de zee te plaatsen. Met de energieoverschotten zal het water uit de kuip gepompt worden. Gedurende de energietekorten zal men terug water in de kuip laten stromen die een generator aandrijft. Het basisprincipe is dus dat er elektrische energie wordt omgezet in potentiële energie, bij deze omzetting van energievorm zal er een verlies optreden. Toch is het mogelijk om een rendement van 75-80% te behalen [46].

Momenteel wordt het energie-eiland niet uitgevoerd omdat het dossier niet voldoet aan de concessievoorwaarden, onder andere doordat de burger niet mag opdraaien voor de kosten van het project [47].



Figuur 26: Energie-eiland Wenduine (simulatie) [46]

4.5.2.2 Elektrische auto

Een auto staat de meeste tijd van de dag geparkeerd. Er kan dus voor worden gekozen om de auto pas op te laden wanneer er een overschot aan energie aanwezig is. Met natuurlijk als voorwaarde dat de auto is opgeladen wanneer men hem wil gebruiken. Op deze manier kunnen de energiepieken worden afgevlakt. Er kan zelfs gekozen worden om nog verder te gaan; zo kan de auto ook energie leveren in periodes dat er een tekort is aan elektriciteit en vormt de auto dus een mobiele buffer die steeds op verschillende plaatsen op het net kan worden aangesloten. Hierbij is het wel belangrijk dat het aantal elektrische wagens gelijk stijgt met het aandeel aan hernieuwbare energie. Als dit niet gebeurt gaan de auto's rijden op elektriciteit die afkomstig is van fossiele oorsprong en wordt de vervuiling gewoon verplaatst van de auto naar de energiecentrale.

4.5.2.3 Tesla-powerwall

De Powerwall van Tesla is een batterij die als energiebuffer voor groene energie zorgt. De Tesla-batterij is voorzien voor een gemiddeld gezin, waarbij het verbruik rond de 10 kWh is. De batterij is een lithium-ion batterij zoals die in onderdeel 5.5.1.4 weergegeven is. Tesla haalt drie voordelen aan bij de Powerwall. Ten eerste zou het met behulp van de batterij mogelijk zijn om dag en nacht op zonne-energie te kunnen werken. Dit doordat de batterij overdag opgeladen wordt met de energieoverschotten die er ontstaan bij zonne-energie en deze energie wordt terug vrijgegeven wanneer er energietekorten zijn. Ten tweede voordeel geeft Tesla aan dat er goedkopere energie gebruikt kan worden. Hierbij zou de batterij worden opgeladen tijdens de daluren, wanneer de energie goedkoper is, en zal de energie worden gebruikt gedurende de piekuren. Op deze manier wordt het piektarief vermeden. Als laatste voordeel wordt er aangehaald dat de powerwall energie zekerheid kan bieden. Als een stroomuitval zou ontstaan, kan de batterij als back-up gebruikt worden [48]. Als bijkomend voordeel zou er kunnen gekozen worden om geen prosumentarief meer te moeten betalen. Dit is een tarief dat moet betaald worden door de consumenten die zonne-energie op het net injecteren. Hierbij moet wel een bidirectionele meter geplaatst worden [49].

De powerwall is beschikbaar in twee versies, de kleine versie heeft een capaciteit van 7 kWh en is bedoeld voor dagelijks gebruik; deze kost 2 670 euro. De grote versie heeft een capaciteit van 10 kWh en is geschikt voor back-up toepassingen; deze versie kost 3 115 euro. De batterij is dus een betaalbare optie voor een woning [48]. Bij de prijs van de batterij komen ook nog de kosten voor een bidirectionele DC/AC-wisselrichter; deze zorgt ervoor dat de wisselstroom van het net omgezet kan worden naar gelijkstroom die in de batterij kan opgeslagen worden en ook omgekeerd. De kostprijs van een wisselrichter bedraagt ongeveer 2 000 euro. Hierdoor wordt de prijs bijna verdubbeld en kan de investering niet terug verdiend worden door het daltarief te gebruiken gedurende de piekuren [49].

4.5.3 Bruikbare systemen voor de semi-autarke woning

Voorgaande besproken buffersystemen zijn niet allemaal toepasbaar in een woning. Bij een semi-autarke woning is het de bedoeling dat de energie plaatselijk, decentraal, opgeslagen wordt. Hierdoor zijn het aantal mogelijkheden beperkt. Het bufferen van energie kan zowel elektrisch als thermisch gebeuren. Het proces zal in beide gevallen in werking treden vanaf het ontstaan van energieoverschotten [10].

Bij de elektrische opslag wordt gebruik gemaakt van batterijen. Deze zijn gemakkelijk en snel toe te passen in een woning en vereisen weinig plaats. Batterijen zijn vandaag nog steeds relatief duur. Er zijn twee belangrijke factoren om de batterij winstgevend te laten zijn. Ten eerste de efficiëntie tussen laden en ontladen; het rendement van de batterij moet hoog genoeg zijn. Ten tweede het verlies van capaciteit van de batterij; de vermindering per cyclus moet zo laag mogelijk zijn [10].

Het thermisch bufferen van energie maakt gebruik van een warmtepomp die elektriciteit kan omzetten in warmte. Deze warmte kan rechtstreeks gebruikt worden voor sanitair warm water of verwarming. Als deze warmte niet nodig is, kan deze worden opgeslagen voor later gebruik. De hoeveelheid energie die kan worden opgeslagen hangt af van de inhoud van de opslagtank. Om het systeem rendabel te maken zal er een goede afstelling moeten gebeuren tussen de inhoud van de tank en het gebruik van de opgeslagen warmte. De werking is eveneens sterk afhankelijk van de seizoenen. In de zomer zal het energieoverschot het grootst zijn terwijl in deze maanden het minste nood is aan verwarming en sanitair warm water. Terwijl er in de winter minder energieoverschotten zullen zijn, maar wel meer nood is aan warmte [10].

5 Casestudie

Bij de casestudie op mijn ouderlijke woning is er getracht om een systeem te dimensioneren zodat de woning een stroompanne van een halve dag tot een hele dag zou kunnen overbruggen. Er is eveneens bekeken op welke manier de autonomie kan verlengd worden. Er is ook rekening gehouden met een eventuele combinatie met het smart grid.

5.1 Elektriciteitsverbruik

Om de casestudie zo correct mogelijk te kunnen uitvoeren moest het elektriciteitsverbruik van mijn ouderlijke woning zo correct mogelijk gemeten worden; zowel op jaar- als op dagverbruik.

5.1.1 Energiemeetsystemen

Om het elektriciteitsverbruik van de woning zo correct mogelijk te meten, zijn verschillende systemen die op de markt zijn onderzocht op hun bruikbaarheid voor deze testcase. Elk van deze systemen is kort toegelicht met de voor- en nadelen, alsook de kostprijs van het systeem. De uitgebreide systemen bezitten meerdere functies, die meestal verbonden zijn met het internet voor online toepassingen.

5.1.1.1 Smappee

Smappee is een energiemeetsysteem dat het energieverbruik meet met één toestel. Er worden één of meerdere sensoren rond de hoofdkabels geklemd in de elektriciteitskast die draadloos met het hoofdtoestel in verbinding staan. Doordat ieder toestel in een woning zijn eigen verbruikspatroon heeft, probeert het meettoestel deze patronen te herkennen en toe te wijzen aan de juiste verbruiker. Hierdoor kan op grafieken afgelezen worden welke toestellen veel verbruiken en welke een hoog sluimerverbruik hebben. Met smappee kan ook de opbrengst van de zonnepanelen afgelezen worden. Hierdoor wordt duidelijk hoeveel deze opbrengen en wat het totale verbruik is. Het systeem kan uitgebreid worden met draadloze tussenstekkers die vanop afstand kunnen onderbroken worden. Doordat de stekkers de stroom onderbreken, zal er geen sluimerverbruik optreden in de aangesloten toestellen. De gegevens die smappee detecteert, zijn tot op 5 minuutbasis beschikbaar en kunnen geëxporteerd worden naar Excel [50].

De kostprijs van een basissysteem kost 199,00 euro, voor het systeem op een 1-fasig net met zonnepanelen. Als de woning beschikt over een 3-fasige aansluiting zal de prijs met zonnepanelen 299,00 euro bedragen. Bij het basissysteem is 1 comfortplug toegevoegd. Met de comfortplug kan een toestel vanop afstand aan- en uitgeschakeld worden. Deze zijn niet noodzakelijk om metingen uit te voeren. Volgens de fabrikant kan het toestel 10 tot 30% besparen op de energiefactuur waardoor het op minder dan 2 jaar terugverdiend zou zijn. Het toestel zal zelf 2W verbruiken en kost minder dan 5 euro per jaar aan energie. De installatie van het toestel is vrij eenvoudig waardoor het zelf geïnstalleerd kan worden.

5.1.1.2 Energy box Electrabel

De energy box van Electrabel werkt op basis van plug-in stopcontacten. Per toestel dat gemeten moet worden zal dus een stopcontact geplaatst moeten worden. De verbruiksgegevens kunnen om de 3 minuten worden bekeken op het platform van Electrabel en kunnen hiervan geëxporteerd worden naar een cvs-file (die kan geïmporteerd worden in Excel). Op deze manier kan het sluimerverbruik van de toestellen zichtbaar gemaakt worden en kunnen deze vanop afstand worden uitgeschakeld. Het systeem kan worden uitgebreid met een thermostaat waarbij ingesteld kan worden wanneer de verwarming zal moeten aangaan. Er kan dus energie bespaard worden door de verwarming uit te schakelen als de bewoners later thuis komen dan gepland.

De energy box kost 139 euro maar hierbij komt nog een maandelijkse bijdrage van 3 euro. In het basispakket zijn 4 plug-in stekkers meegeleverd; er kunnen dus 4 toestellen gemeten en bediend worden. De optie "thermostaat" kost 140 of 295 euro, afhankelijk van het type. Het systeem kan zelf geïnstalleerd worden doordat de plug-in gewoon tussen de toestellen moet worden geplaatst en de hoofd-box aan het internet moet worden aangesloten. Voor de verbinding met de verwarming zal er beroep moeten gedaan worden op een installateur.

5.1.1.3 Enymate

De enymate brengt het totale verbruik van de woning in beeld; zowel water, gas als elektriciteit. Het systeem maakt gebruik van optische sensoren. Deze sensoren nemen de beweging van de draaischijf in de bestaande meters weer. De informatie wordt naar het basisstation gezonden die op zijn beurt de informatie toegankelijk maakt via het internet. Binnenkort zou de enymate eveneens in staat moeten zijn om de opbrengst van de zonnepanelen te meten. De verbruiken kunnen via de website op dag-, maand- en jaarbasis vergeleken worden. De gegevens kunnen naar andere programma's geëxporteerd worden, zoals Excel. Doordat de enymate gebruik maakt van optische sensoren, kan het toestel enkel het totale elektriciteitsverbruik meten [51].

De kostprijs van de enymate voor het meten van gas en elektriciteit is 169 euro. Voor de optie met water bedraagt deze 199 euro.

5.1.1.4 Plugwise

Plugwise heeft verschillende producten waarmee het energieverbruik gemeten kan worden. Het is eveneens mogelijk om met een uitbreiding de verwarming te aan en uit te schakelen. Ten eerste bestaat er het Smile pakket. Hierbij zijn er drie varianten, die verschillend zijn in aansluiting. Zo kan de aansluiting gebeuren via de slimme energiemeter, als die aanwezig is, of via een optische sensor die de beweging van de draaischijf detecteert of via een rechtstreekse aansluiting op de hoofdlijnen. Het Smile pakket maakt het mogelijk om het totale energieverbruik te meten. Een tweede pakket is de Home stretch; dit pakket werkt met plug-ins die tussen ieder apparaat kunnen aangebracht worden. Het maakt het eveneens mogelijk om de apparaten te schakelen vanop afstand. Een derde pakket is de Stretch solar die het mogelijk maakt om de opbrengst van de zonnepanelen te meten. Ook zijn er nog enkele pakketten met plug-in's maar hierbij zijn de gegevens niet online raadpleegbaar. Plugwise maakt het ook mogelijk om apparaten zoals een airco draadloos via infrarood te schakelen. Alle gemeten gegevens kunnen online bekeken worden met uitzondering van de home start/basic.

De Plugwise heeft zeer veel mogelijkheden, maar de kostprijs loopt dan ook snel op. Een systeem waarmee het totale energieverbruik en opwekking wordt gemeten, kost 320 euro. Als dit uitgebreid

wordt met 2 plug-in's om het energieverbruik van bepaalde toestellen te meten en te schakelen, is de totale prijs 530 euro. Voor het online platform moet ieder jaar nog eens 36 euro extra worden betaald [52].

5.1.1.5 Ecowatt 850 – chacon

De ecowatt 850 is een eenvoudiger model met minder functies. Zo zal deze niet verbonden zijn met het internet en kan deze ook geen toestellen uitschakelen of herkennen. De ecowatt wordt verbonden met de hoofdlijn in de elektriciteitskast en meet de totale energie die door deze kabel gaat. In het systeem is geen functie ingebouwd om de opgewekte energie te meten, al zou de meter wel omgekeerd kunnen toegepast worden; enkel de opgewerkte energie zal gemeten worden. Voor het verbruik zal nog een meter moeten worden toegevoegd. De gemeten data kan via software op de computer bekeken worden.

Dit systeem is opmerkelijk goedkoper. De kostprijs is ongeveer 100 euro voor het basissysteem. Het systeem lijkt me persoonlijk dan ook meer aangewezen om enkel een totaal verbruik te meten zonder zonne-energie [53].

5.1.1.6 GEO Solo II

De geosolo is een eenvoudiger toestel waarmee enkel het totale elektriciteitsverbruik gemeten kan worden. De meting gebeurt door middel van een stroomklem rond de hoofdlijn. De gegevens die gemeten worden, zijn online beschikbaar en worden naar de bijhorende interface gestuurd. Het systeem is uitbreidbaar met een plug-in stekker die het energieverbruik van een bepaald apparaat meet en de mogelijkheid geeft om sluimer verbruiken uit te schakelen. Het systeem heeft een kostprijs van 100 euro, hierbij komt nog 35 euro per plug-in [54].

5.1.1.7 SEM-3600BT- voltcraft

De energiemeter van voltcraft is een plug-in die via bluetooth verbinding kan maken met smartphone of tablet. De plug-in kan gebruikt worden als energiemeter, schakelaar of timer. De functies van het apparaat zijn dus eerder beperkt en de gegevens zijn enkel op het toestel beschikbaar. De kostprijs hiervan bedraagt iets meer dan een energiemeter zonder de mogelijkheid tot verbinden, namelijk 35 euro [54].

5.1.1.8 NETBPEM5- velleman

Het laatste meettoestel is een zeer eenvoudig plug-in toestel dat het energieverbruik weergeeft op het apparaat zelf. De gegevens kunnen dan ook enkel afgelezen worden op het moment zelf of voor een verbruik over een bepaalde tijd. Voor een dergelijk toestel zal de kostprijs 20 euro bedragen [54].

5.1.1.9 *Besluit*

Er bestaan veel verschillende energiemeetsystemen. Bovenstaande systemen zijn vrij op de markt verkrijgbaar en geschikt voor het meten van woningen. Uiteraard bestaan er ook enkele ingewikkelde systemen voor professionele toepassingen, maar deze zijn niet specifiek bedoeld voor het meten van een woning.

De systemen van smappee en plugwise beschikken over de meeste functies waarmee de data gemakkelijk kan verwerkt worden en tot besparingen overgegaan kan worden. Zowel bij Smappee als Plugwise is het mogelijk het elektriciteitsverbruik van ieder toestel apart te bepalen. Bij een semi-autarke woning kan dit een interessant gegeven zijn, omdat de bewoner op deze manier toestellen kan uitschakelen om de autonomie te vergroten. De kostprijs van de meetsystemen is redelijk hoog en ik stel me hierbij dan ook zelf de vraag of deze kostprijs het waard is om relatief kleine besparingen te realiseren.

In de casestudie is er gebruik gemaakt van een eenvoudige plug-in zoals "NETBPEM5" van Velleman om het energieverbruik van alle elektrische toestellen in beeld te kunnen brengen. Hierbij is het toestel steeds tussen het stopcontact en de gebruiker geplaatst en geeft enkel het verbruik van het te testen toestel weer. Alsook is er gebruik gemaakt van een tablet met timelapsfunctie zodat het totaal energieverbruik op bepaalde tijdstippen kan vastgelegd worden.

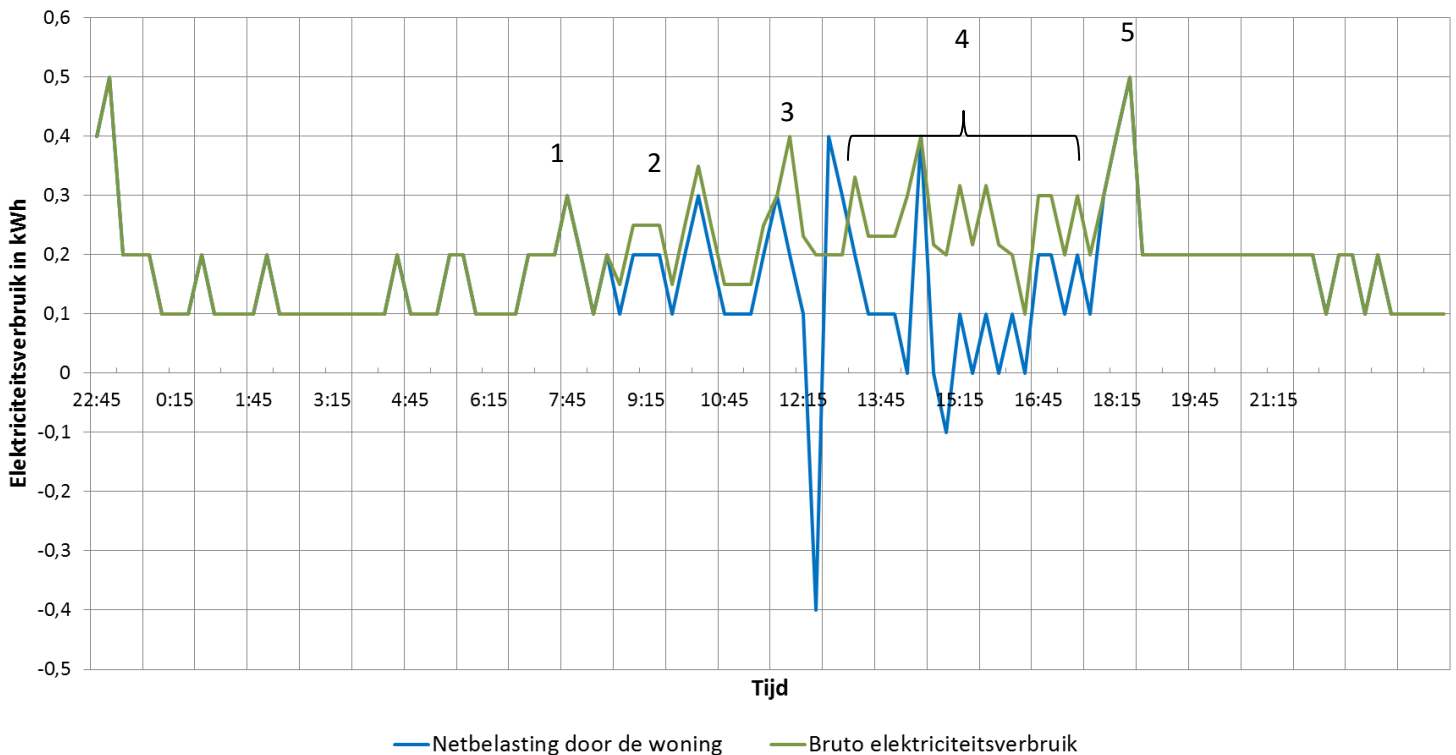
5.1.2 Eigen metingen

Om een beeld te krijgen van het energieverbruik is zowel het totaalverbruik gemeten alsook het verbruik van alle frequent gebruikte elektrische toestellen.

Het totaalverbruik is gemeten op verschillende dagen, verspreid over het jaar. Op deze manier krijgen we een zicht van het verschil in verbruik tussen de winterperiode, zomerperiode en tussenseizoen. Gedurende de meting van het elektriciteitsverbruik is er eveneens een meting gebeurd van elektriciteitsopwekking door de zonnepanelen.

5.1.2.1 Meting1: Maandag 2 februari 2015

Situatie: Op deze dag gaan beide ouders werken en zijn er twee kinderen thuis. De vader staat om 5u40 op en gaat daarna naar het werk. Vanaf 7 uur staat de moeder op en maakt zich klaar om te gaan werken. De kinderen staan rond half 9 op en schakelen om 9u45 de afwasmachine in. Om 12 uur wordt er eten gemaakt op het kookvuur. In de namiddag wordt het huis opgeruimd en gepoetst en wordt eveneens de wasmachine opgezet. Vanaf 18 uur maakt men eten voor 's avonds. Hierbij is het kookvuur gebruikt. Daarna wordt naar de televisie gekeken.



Figuur 27: Elektriciteitsverbruik ouderlijke woning op 2 februari 2015.

In figuur 27 (groene lijn) kunnen we duidelijk de verschillende pieken van de toestellen herkennen. Omdat er gedurende de dag veel elektrische toestellen gebruikt zijn, ontstaan er ook veel pieken in de grafiek. Ten eerste zien we duidelijk wanneer de moeder is opgestaan (1). Nadien zien we ook dat de kinderen zijn opgestaan en dat de afwasmachine is ingeschakeld (2). Daarna zien we de piek die ontstaan is door gebruik te maken van het kookvuur(3). In de namiddag is te zien hoe er enkele pieken ontstaan door onder andere het gebruik van de stofzuiger en de wasmachine. Om even te duiden: 0,4 kWh in de grafiek zal overeenkomen met een apparaat met een vermogen van 1600W. Als laatste zien we een piek rond 18 uur tijdens het koken(5). In de vooravond blijft het verbruik stabiel en wordt er ongeveer 0,2 kWh per kwartier verbruikt (800W).

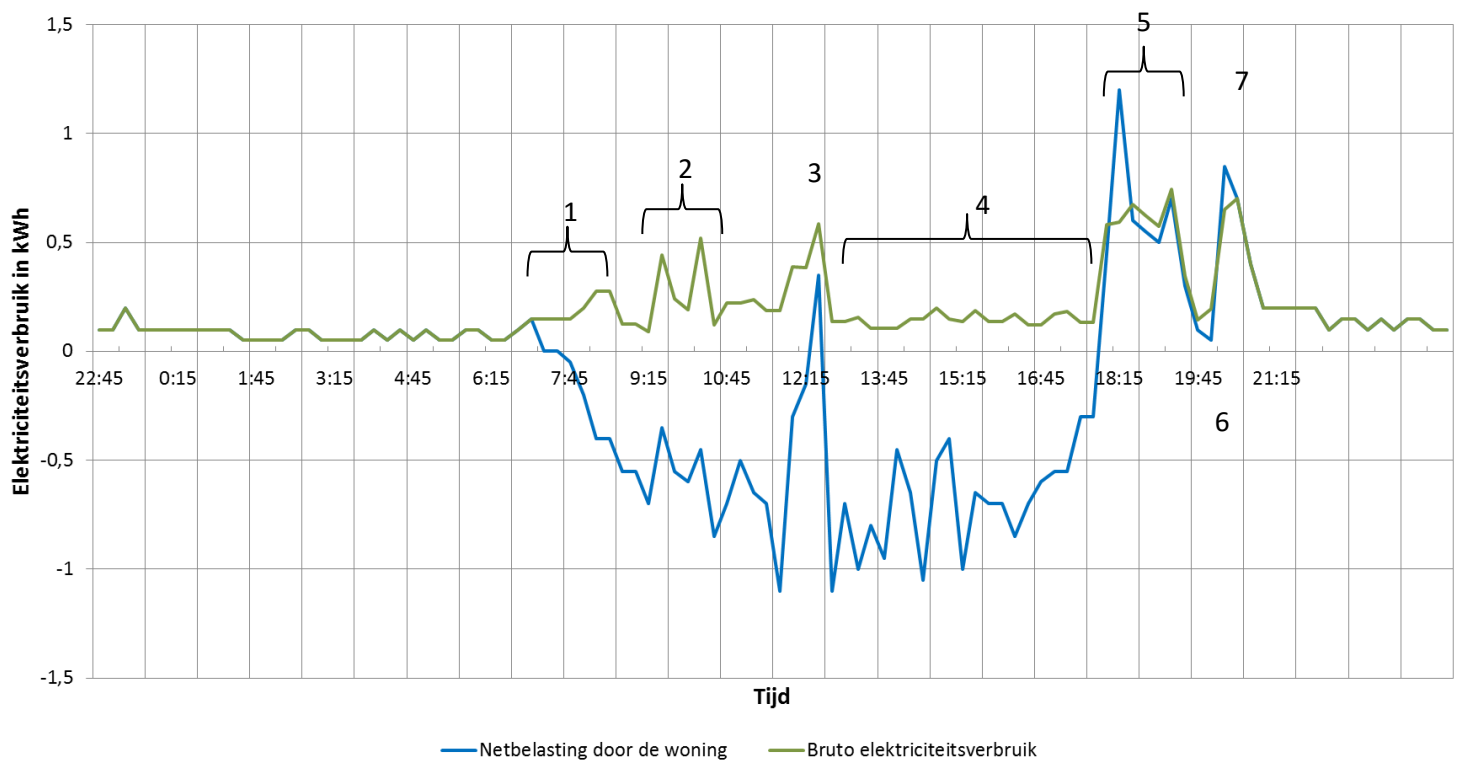
Die dag is er ongeveer 20,5 kWh elektriciteit verbruikt, waarvan 4,1 kWh door de zonnepanelen geleverd is. Er is dus 16,4 kWh elektriciteit van het net verbruikt.

In bovenstaande figuur 27 is de blauwe lijn ontstaan door de meetresultaten van de elektriciteitsmeter rechtstreeks in een grafiek te verwerken. Op deze manier is duidelijk te zien wanneer energie gebruikt wordt en wanneer deze geleverd wordt. Telkens wanneer de grafieklijn onder de as komt, wordt er meer energie geleverd dan verbruikt. Als de grafieklijn boven de as komt, dan zal er meer energie verbruikt worden dan er geleverd wordt. Deze lijn geeft de belasting weer die de woning op het net uitgeoefend heeft. In een ideaal geval zou deze gelijk moeten zijn met de nul-as.

We zien dat de grafieklijn steeds boven de nul-as blijft, wat betekent dat er nooit elektriciteit geleverd is aan het net. De elektriciteit afkomstig van de zonnepanelen werd direct verbruikt.

5.1.2.2 Meting 2: Woensdag 29 juli 2015

Situatie: Op deze dag gaan beide ouders werken en is er één kind thuis. Vanaf 7 uur staan de ouders op en maken zich klaar om te gaan werken. Rond kwart na 9 staat het kind op, waarna er gebruik gemaakt wordt van een elektrische heggenschaar in de tuin. Tussen 12 uur en kwart voor 1 wordt er gekookt. In de namiddag werkt men verder in de tuin, maar gebruikt men beperkt elektrische gereedschappen. Vanaf 18 uur komen beide ouders thuis en wordt er gebruik gemaakt van het kookvuur; tijdens het koken wordt ook een wasmachine opgezet. Tussen half 8 en half 9 is het volledige gezin weg. Vanaf half 9 kijkt men tv en eveneens gebruikt men het strijkijzer. Vanaf half 10 wordt er enkel nog televisie gekeken.



Figuur 28: Elektriciteitsverbruik ouderlijke woning op 29 juli 2015.

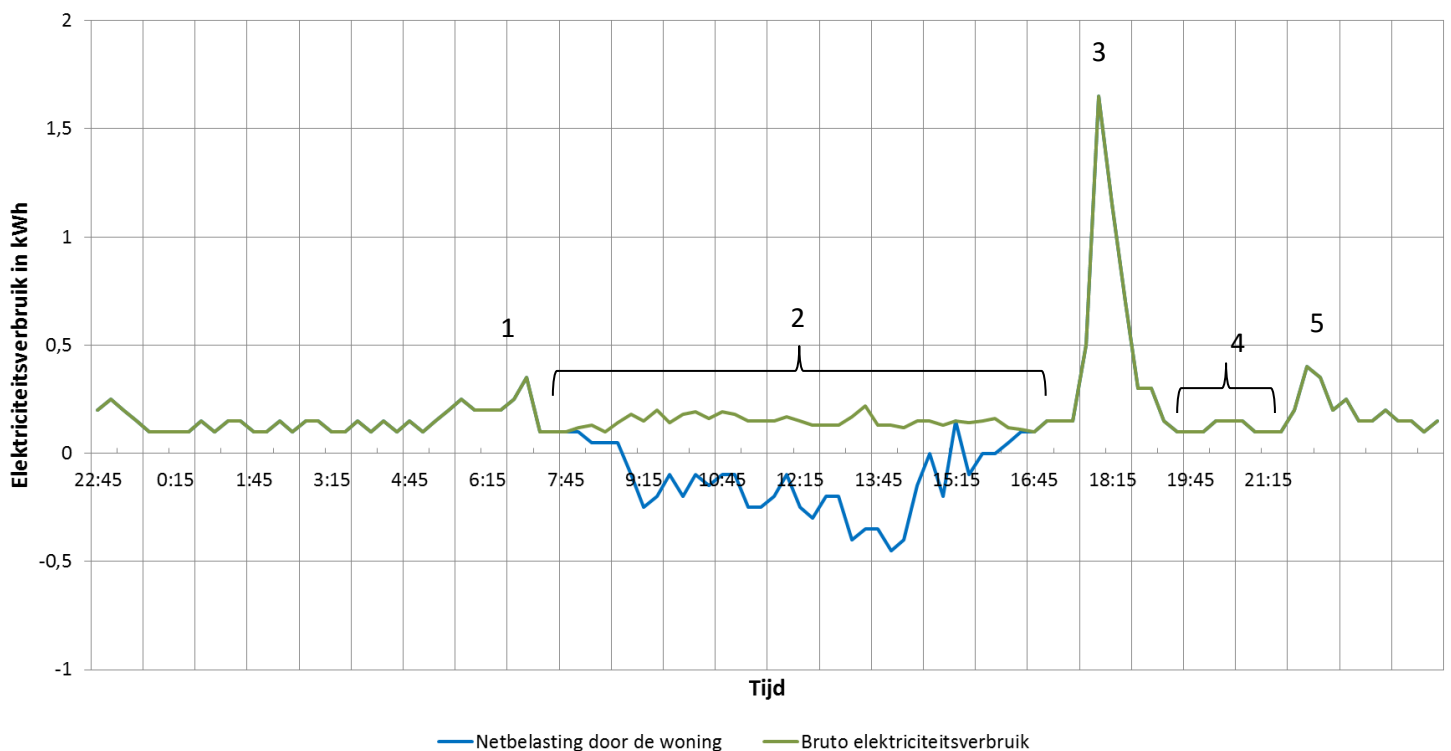
In figuur 28 (groene lijn) kunnen de activiteiten gedurende de dag worden waargenomen door te kijken naar de verbruiken. De ochtendpiek ontstaat wanneer de ouders opstaan (1). Kort daarna staat het kind op, waarna we twee pieken zien door het gebruik van een heggenschaar (2). Tijdens de middag ontstaat er terug een piek omdat er eten bereid wordt (3); gedurende de namiddag blijft het verbruik redelijk constant. Toch zien we dat er meer energie wordt verbruikt dan tijdens de nacht. Dit heeft te maken met kleine elektrische apparatuur zoals radio etc. (4). Rond 18 uur zien we opnieuw een piek ontstaan door het bereiden van eten op het kookvuur (5). Nadien zien we een plots dal in het verbruik (6), doordat het gezin op dat moment de woning heeft verlaten. Later zien we terug een hoge piek doordat er gebruik gemaakt wordt van het strijkijzer (7). Nadien daalt het verbruik terug.

Gedurende de dag is er een totaal verbruik van 18 kWh. De opbrengst van de zonnepanelen was die dag 30,4 kWh. Er is dus 12,4 kWh geleverd aan het net.

In figuur 28 zien we dat er elektriciteit aan het net geleverd wordt vanaf 7u45 uur. Gedurende de middag is er een piekverbruik waardoor er elektriciteit van het net nodig is; daarna wordt er terug geleverd aan het net tot 18 uur.

5.1.2.3 Meting 3: Dinsdag 3 november 2015

Situatie: Op deze dag gaan beide ouders werken en zijn er twee kinderen thuis. De vader staat om 5u40 op en maakt zich klaar om te gaan werken. De moeder staat op als de vader vertrekt en maakt zich klaar. Het eerste kind staat rond 8 uur op en begint te werken op een laptop. Het tweede kind staat op om 9 uur en begint tv te kijken tot 12 uur. Om 13u30 wordt er eten bereid op het kookvuur. Daarna werken beide kinderen verder op de laptop. Om 17u45 zijn beide ouders thuis en wordt het eten bereid door middel van het kookvuur, de stoomoven en de microgolfoven. Tussen 19 uur en 21u45 is het gezin niet thuis.



Figuur 29: Elektriciteitsverbruik ouderlijke woning op 3 november 2015.

In figuur 29 (groene lijn) valt meteen de ochtend- en avondpiek op. Wanneer beide ouders opstaan, is er nood aan verlichting en kleine toestellen, zoals een koffiezetapparaat. De piek is in twee delen opgesplitst omdat beide ouders niet gelijktijdig naar het werk moeten (1). De avondpiek is zeer hoog in vergelijking met de andere metingen (3). Op het piekmoment wordt er ongeveer 6600W vermogen gevraagd, dit is te wijten aan het gebruik van de stoomoven die een vermogen heeft van 1900W, het gebruik van verschillende kookplaten met een maximum vermogen van 3500W en dan ook nog de microgolfoven die gebruikt wordt op 1000W. Wanneer deze toestellen tegelijkertijd werken, veroorzaken ze een zeer hoog verbruik. Gedurende de dag blijft het verbruik min of meer gelijk omdat er weinig vraag is naar verlichting en bijna geen gebruik gemaakt wordt van elektrische toestellen (2). Na de avondpiek valt ook op dat het verbruik plots daalt (4), omdat het gezin op dat moment niet thuis is. Nadat ze thuis komen, is er terug een piek omdat er gebruik gemaakt wordt van het televisietoestel, alsook van veel verlichting (5).

Gedurende de dag is er 18,9 kWh aan elektriciteit verbruikt waarvan de zonnepanelen 8,7 kWh geleverd hebben. Om de woning volledig te voorzien, is er dus gebruikt gemaakt van 10,2 kWh van het net.

In figuur 29 (blauwe lijn) zien we dat er vanaf 9 uur tot ongeveer 14 uur elektriciteit aan het net geleverd wordt. Gedurende deze uren wordt er constant energie geleverd, doordat het verbruik gedurende de dag constant blijft. De hoeveelheid geleverde energie is opmerkelijk lager dan deze in de zomer.

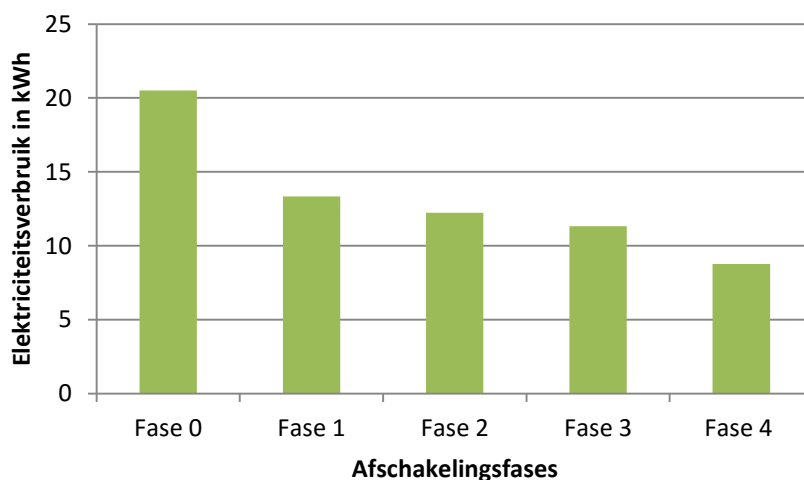
5.1.2.4 Besluit

Uit voorgaande grafieken kunnen we besluiten dat het verbruik sterk afhankelijk is van de periode waarin de meting gebeurd is. Ook de activiteiten die er gebeuren en het aantal personen dat thuis zijn, hebben een grote impact op het verbruik. De eerder genoemde pieken en dalen zijn meestal gemakkelijk te herkennen in de metingen. Deze zijn dan ook makkelijk te koppelen aan de gebruikte toestellen. Doordat kan afgelezen worden wanneer en hoeveel het net belast werd, kan het effect van een batterij hieraan gemakkelijk getoetst worden. In 6.1.3 is er gekeken naar manieren waarmee het verbruik kan gereduceerd worden.

5.1.3 Verbruik reduceren

Om een langere periode te overbruggen, kan er gekozen worden om het verbruik te reduceren. Dit kan gebeuren door een lijst van toestellen op te stellen die volgens prioriteit worden uitgeschakeld. Zo kan er gekozen worden om de wasmachine gedurende de stroomonderbreking uit te stellen. Toestellen zoals de verwarming en watervoorziening zullen de hoogste prioriteit krijgen. Afhankelijk van het type verwarmingssysteem heeft dit ook een zekere autonomie. Bijvoorbeeld een warmwaterboiler zal warm water kunnen blijven leveren zolang deze niet is opgebruikt. Voor de casestudie is de lijst gemaakt met het verbruik van elk toestel zodat er kan worden nagegaan hoeveel van het verbruik gereduceerd wordt en hoelang de autonomie hiermee kan verlengd worden. Bijlage 1 bevat de lijst met de verschillende toestellen. Hierbij heeft elk toestel een prioriteitsnummer van 1 tot 5 gekregen. De prioriteit is steeds bepaald zodat deze een zo min mogelijke impact heeft op het comfort. Nadien hebben beide ouders hun bemerkingen hierover gegeven, want comfort is niet voor iedereen hetzelfde. Nummer 1 betekent dat het toestel de hoogste prioriteit heeft en nummer 5 betekent dat het de laagste prioriteit heeft. Zo kan in verschillende fases afgeschakeld worden; het is vergelijkbaar met het afschakelplan op het elektriciteitsnetwerk (4.4.3).

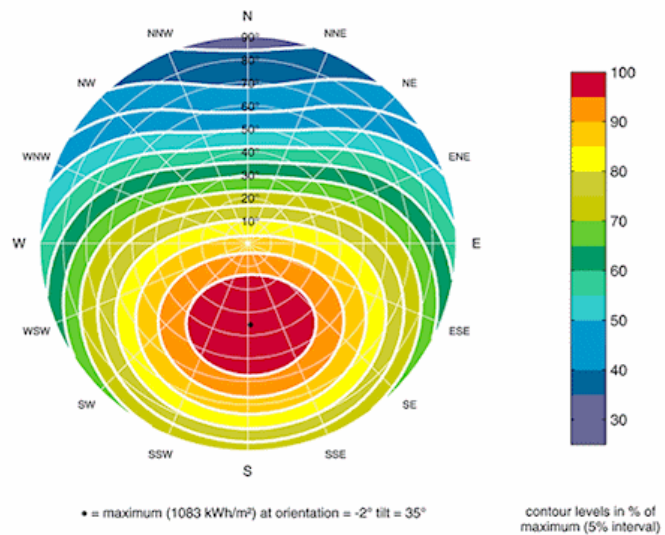
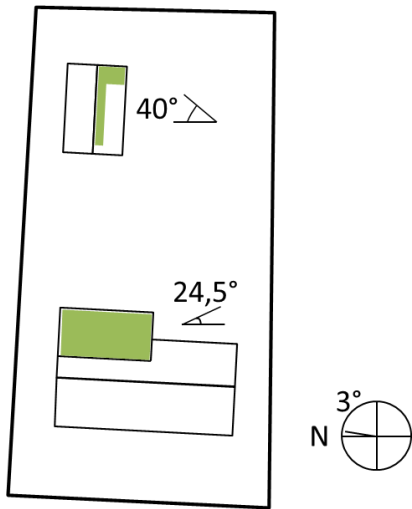
Als de eerste fase zou worden uitgeschakeld, kan het verbruik gereduceerd worden van 20,5 kWh tot 13,3 kWh. Toestellen zoals de wasmachine en de afwasmachine en de buitenverlichting worden hierbij uitgeschakeld tot er terug voldoende elektriciteit voor handen is. Het comfort wordt hier minimaal mee aangetast. In een tweede fase zou het verbruik verder gereduceerd kunnen worden tot 12,2 kWh. Hierbij worden toestellen zoals de pomp van het zwembad, de microgolfoven en de koffiemachine uitgeschakeld. Dit zijn toestellen die niet noodzakelijk zijn, maar toch enige impact hebben op het comfort. In een derde fase kan er een verbruik van 11,3 kWh behaald worden door toestellen zoals de Tv en digicorder uit te schakelen. In een laatste fase worden het kookvuur, internet en telefonie uitgeschakeld. Hierdoor wordt het verbruik verder verlaagd tot 8,8 kWh. De toestellen die nu nog aan staan, zijn toestellen die niet lang zonder elektriciteit kunnen zoals de koelkast en diepvriezer of toestellen die de bruikbaarheid van de woning verminderen zoals een elektrische poort, de verwarming, de watervoorziening en enkele verlichtingspunten. Figuur 30 toont de verschillende fases waarin het verbruik steeds verminderd wordt. In 6.3.3.1 is bekeken hoeveel langer men kan overbruggen door voorgaande energiebesparingen.



Figuur 30: Afschakelingsfases

5.2 Elektriciteitsproductie

Op de ouderlijke woning zijn in het verleden al zonnepanelen geplaatst. In totaal is er 7580 Wp zonnevermogen aanwezig. Deze zijn geplaatst in drie verschillende groepen. Doordat de opbrengst van de zonnepanelen afhankelijk is van de oriëntatie en de hellingshoek, is onderstaande situatieschets toegevoegd. Deze toont de inplanting van de woning en de garage waarop zonnepanelen geplaatst zijn.



Figuur 31: Inplanting van de woning

Figuur 32: Instralingsdiagram van Ukkel [37]

Op de woning zijn twee groepen geplaatst. Eén ervan heeft een vermogen van 2 170 Wp en de andere heeft een vermogen van 2 880 Wp. Deze zijn op 3° na, gericht op het oosten en liggen op een helling van 24,5°. Op de garage liggen zonnepanelen met een totaal vermogen van 2 530 Wp. Deze zijn gericht op het zuiden en liggen op een helling van 40°. Als we deze waardes bekijken op het instralingsdiagram van Ukkel, zien we dat voor de zonnepanelen op de woning een percentage tussen 85 en 90 % gehaald wordt. Voor de garage wordt een percentage van 100% behaald. Theoretisch kan de totale jaaropbrengst berekend worden door het vermogen van de panelen te vermenigvuldigen met een omrekeningsfactor 0,9 en het percentage dat behaald wordt door de oriëntatie en helling [55].

De zonnepanelen op de woning met een totaal vermogen van 5 050 Wp zouden 4 090,5 kWh per jaar moeten produceren. De zonnepanelen op de garage met een totaal vermogen van 2 530 Wp zouden 2 277 kWh moeten produceren. In totaal zou er voor een gemiddeld jaar een jaaropbrengst van 6 367,5 kWh behaald moeten worden. Als we de reële opbrengst berekenen uit de certificaten van VREG tussen 2013 en 2015, bekommen we een opbrengst van 6508,5 kWh per jaar. De zonnepanelen hebben dus in deze periode iets meer opgeleverd dan de berekende waarde. Dit kan te wijten zijn aan een hogere efficiëntie van de zonnepanelen of indien de uren zonneshijn tussen 2013 en 2015 hoger waren dan gewoonlijk. Als we de cijfers van het KMI van de voorbije jaren vergelijken kan er vastgesteld worden dat het aantal zonuren in 2014 en 2015 hoger is dan van de jaren voordien [56].

5.3 Dimensioneren van het systeem

Er zijn verschillende bedrijven die autarke systemen berekenen en verkopen. In deze thesis heb ik gebruik gemaakt van een rekentool van Enersys, alsook van een handleiding van SMA solar technology. Als eerste is de berekening gebeurd met hulp van Enersys [57] (zie 6.3.1). De tweede berekening is gedaan met een handleiding van SMA Solar Technology [58] (zie 6.3.2).

In de berekeningen zijn er drie scenario's gebruikt. Het eerste scenario gaat uit van de gemeten verbruiken van dinsdag 3 november 2015 (6.1.2.3). Er is voor deze dag gekozen omdat er gedurende de dag zowel elektriciteit geleverd, als verbruikt is van het elektriciteitsnet. Deze gegevens geven hierdoor een goed beeld van een gemiddelde dag. In het tweede scenario is er getracht om de autonomie te verlengen. Dit door het verbruik te reduceren, alsook door de buffer te vergroten. In het laatste scenario is de batterij berekend om een integratie met het smart grid mogelijk te maken.

Meetresultaten 3 november 2015	
Netto elektriciteitsverbruik	18,9 kWh
Opbrengst zonnepanelen	9,5 kWh
Verbruik van het elektriciteitsnet	10,1 kWh
Aanwezig PV-vermogen	7580 Wp
omrekeningsfactor	900 kWh/jaar/kWp

Tabel 3: Meetresultaten 3 november 2015

5.3.1 Enersys

Om meer inzicht te krijgen hoe een semi-autark systeem gedimensioneerd kan worden, heb ik een gesprek gehad met Marc Van Goidsenhoven, sales manager van Enersys. Enersys is een bedrijf dat gespecialiseerd is in energieopslag door middel van batterijen. Zij hebben vele autonome projecten gerealiseerd [59].

Om de nodige batterijcapaciteit te berekenen gebruikt Enersys een rekentool. In de rekentool moet het elektriciteitsverbruik per uur worden ingevuld. Hiervoor zijn bovenstaande gegevens (tabel3) gebruikt. De uren van zonsopgang en zonsondergang moeten ook worden ingevuld zodat de tool de opbrengst van de zonnepanelen kan berekenen. De zonsopgang en -ondergang kan opgezocht worden op de website van de koninklijke sterrenwacht van België. Op 3 november scheen de zon van 7u37 tot 17u15 [60].

In stap 1 wordt het maximale vermogen berekend dat in de woning verbruikt wordt. Dit is belangrijk omdat de batterij dit vermogen zal moeten kunnen leveren. Het maximale vermogen bedraagt hierbij 2500W en die dag is er een totaal verbruik van 18,9 kWh. Hiervan is 7,4 kWh verbruikt tijdens de periode dat de zon scheen en 11,5 kWh verbruikt wanneer de niet zon scheen. Dit is belangrijk omdat tijdens zonschijn de elektriciteit rechtstreeks van de zonnepanelen kan worden afgenomen.

In stap 2 wordt er berekend hoeveel elektriciteit er moet geleverd worden door de batterij. Hierbij wordt de cos PHI en het rendement van de inverter in rekening gebracht. Ook zal, zoals in stap één, berekend worden hoeveel elektriciteit wel en niet gedurende zonschijn verbruikt wordt. De elektriciteit die niet verbruikt wordt gedurende de zonschijn zal geleverd moeten worden door de batterij, dit bedraagt 9,6 kWh. Deze waarde zal in stap 3 gebruikt worden.

In stap 3 wordt het aantal batterijen bepaald. Hier is gekozen voor litium-ion batterijen omdat deze beter geschikt zijn. De batterijspanning kan ook ingesteld worden, maar standaard is deze 48V. Het voorgaande verbruik van 9,6 kWh wordt vermeerderd met de batterijverliezen. Het rendement dat hiervoor gebruikt is, bedraagt 98%. Hierdoor is het nieuwe verbruik 9,8 kWh. Dit is nog eens verdubbeld omdat er rekening gehouden wordt met een maximale ontlading van 50%. Het resultaat is dus een capaciteit van 19,6 kWh.

In stap 4 wordt berekend hoeveel de zonnepanelen zouden moeten leveren. Hierbij is rekening gehouden met de batterijverliezen en de kabelverliezen. De batterijverliezen zijn berekend zoals vermeld in stap 3. De kabelverliezen worden per lopende meter berekend. De zonnepanelen zouden 16,6 kWh moeten kunnen leveren.

In stap 5 wordt het rendement van de omvormer in rekening gebracht. Voor het rendement wordt uitgegaan van 96 %. Dit betekent dat de nieuwe hoeveelheid elektriciteit dat opgewerkt moet worden 17,3 kWh bedraagt.

In stap 6 wordt deze hoeveelheid omgerekend naar het vermogen aan zonnepanelen dat aanwezig moet zijn. Deze worden zowel in het gemiddelde jaar als in worst case berekend. Dit wordt berekend door de benodigde elektriciteit te vermenigvuldigen met 365 dagen en met de omrekeningsfactor, deze bedraagt 994 kWh/jaar/kWp in een gemiddeld en 0,94 kWh/jaar/kWp in worst case. Om voldoende te hebben voor een gemiddeld jaar is er een vermogen van 9,6 kWp nodig. Om te voldoen tijdens een worst case scenario is er een vermogen van 18,4kWp nodig. Het vermogen dat nu aanwezig is op de woning bedraagt 7,6kWp, dit is minder dan het berekend vermogen. Maar de berekening is in dit geval gedaan voor een volledig autonome installatie en de gebruikte gegevens, zijn van november, waardoor de uren zonneshijn minder zijn.

5.3.2 SMA Solar Technology

SMA Solar Technology heeft een stappenplan gemaakt bestaande uit 5 stappen voor het berekenen van een autark of back-up systeem [58].

In de eerste stap is bepaald of het systeem als back-up zal dienen of volledig autark moet zijn. De maximale vermogensvraag (P_{max}) en het totaal energieverbruik (kWh) moeten berekend worden [58]. Dit kan uit een tabel afgeleid worden, maar voor de case is er een eigen gedetailleerde tabel opgesteld en zijn er metingen per kwartier gebeurd. Om het resultaat te kunnen vergelijken met voorgaande berekening van Enersys, is 3 november als referentie genomen. Het maximaal vermogen bedroeg toen 2500W en het totaal energieverbruik was 18,9 kWh.

In stap twee is de capaciteit van de batterijen berekend. Deze zijn afhankelijk van de overbruggingsperiode die men wil halen. Voor een autark systeem wordt uitgegaan van vier dagen. Van belang is of het zich in een goed of slecht ontwikkeld gebied bevindt. In de handleiding wordt gesteld dat Europa een goed ontwikkeld elektriciteitsnet heeft, daarom wordt er een overbruggingsperiode van een halve dag in rekening gebracht; in het andere geval zal dit een volledige dag zijn. Deze overbruggingsperiode komt overeen met die bepaald is in 5.2.3. Het batterijtype dat hierbij gekozen is, is een FLA of loodaccu [58].

De capaciteit is berekend volgens volgende formule (1):

$$\text{Batterijcapaciteit (kWh)} = \frac{\text{Overbruggingsperiode} * E(a)}{\eta(\text{batterij})} \quad (1)$$

In formule 1 is $E(a)$ het energieverbruik per dag en $\eta(\text{batterij})$ de gemiddelde batterij laadverliezen. Voor de verliezen is een factor 0,9 gebruikt [58]. Voor deze case is een batterijcapaciteit van 10,5 kWh gekomen.

Bovenstaande berekening is theoretisch. Hierbij is uitgegaan van het feit dat de loodaccu volledig ontladen kan worden. In praktijk zal deze batterij max tot 50% ontladen worden waardoor de capaciteit verdubbeld wordt. Hierbij is een nieuwe capaciteit gekomen van 21 kWh. Ook is er een minimumcapaciteit in rekening gebracht. De vuistregel is dat er per kWp aan PV-vermogen minimaal 4,8 kWh batterijcapaciteit aanwezig moet zijn [58]. Er zo wordt een minimumcapaciteit gekomen van 36,4 kWh, deze is gebruikt in de verdere berekening.

In stap 3 is de grootte van de zonnepaneleninstallatie berekend. Omdat in de case al zonnepanelen aanwezig zijn, is dit vergeleken met het aanwezige vermogen.

De grootte is berekend met behulp van volgende formule (2):

$$P(pv) = E(a) * \frac{1}{\eta(sys)} * \frac{SF}{E(pv)} \quad (2)$$

$E(pv)$ en SF zijn afhankelijk van de locatie waar de installatie zich bevindt. $E(pv)$ is de omrekeningsfactor en deze heeft een waarde van 900 kWh/jaar/kWp. SF staat voor solar friction en deze heeft een waarde tussen 50 en 70%. Voor de systeemefficiëntie is een waarde aangenomen van 0,7 [58]. Met deze waardes is er een vermogen bekomen van 7650 Wp. Op de woning bevindt zich vandaag een vermogen van 7580 Wp, wat ongeveer overeenkomt met het berekend vermogen.

Om de zonne-energie te gebruiken is er een omvormer nodig. Hierbij is het maximaal AC vermogen beperkt door het nominaal vermogen van de PV-omvormer [58]. Om het vermogen uit tabel 3 te behalen (2500W), is als omvormer de AS-Box S voorgesteld, deze heeft een nominaal vermogen van 4,6 kW bij 25°C.

In stap 4 kan een dieselgenerator gedimensioneerd worden, maar dit is niet van toepassing op een back-up systeem.

Stap 5 is de kostprijs van het systeem, dat besproken is in 6.4.2.

5.3.3 Autonomie verhogen

Er zijn twee opties om de autonomie te verhogen. De eerste manier is door het verbruik te reduceren; een tweede manier is door de opslagbuffer te vergroten.

5.3.3.1 Verbruik reduceren

Zoals eerder besproken (in 6.1.3) kan het verbruik gereduceerd worden in verschillende fases. Voor deze case is een tabel opgesteld waarbij telkens toestellen afgeschakeld worden in functie van de nood aan een langere autonomie. Voor elke fase is berekend hoeveel de autonomie verlengd wordt. Als basis nemen we de berekening van SMA solar en een gemiddeld verbruik van 20,5 kWh gedurende het hele jaar. Voor het back-up systeem is een halve dag of 12 uur gerekend dat overbrugd moet worden. Met een ontlading van maximaal 50 % is een batterijcapaciteit bekomen van 22,8 kWh.

In fase 1 is het verbruik verminderd tot 13,3 kWh. De overbruggingsperiode die behaald wordt met een batterij van 22,8 kWh is 18,5 uur. In fase 2 is het verbruik 12,2 kWh; dit vertaalt zich in een autonomie van 20,1 uur. Fase 3 reduceert het verbruik tot 11,3 kWh; dit betekent een overbruggingsperiode van 21,7 uur. Als laatste is in fase 4 het verbruik gereduceerd tot 8,8 kWh; hiermee kan een autonomie van 28,1 uur behaald worden.

Er kan besloten worden dat zonder een extra investering te doen, de autonomie maximaal 2,3 keer verlengd kan worden. Of men kan er ook voor kiezen om de kostprijs van de batterij te drukken door het verbruik te reduceren. Hierop is verder ingegaan in 6.4.2.

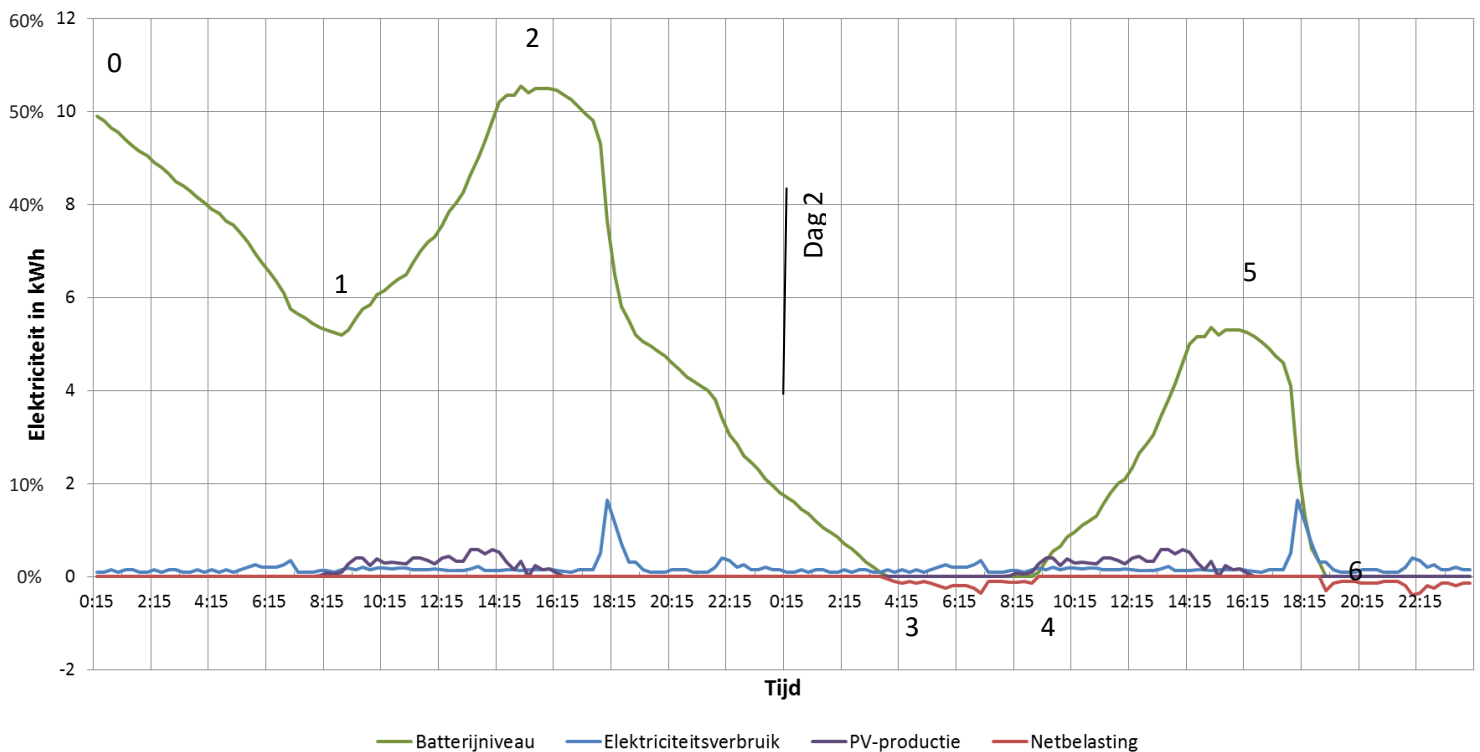
5.3.3.2 Buffer vergroten

Om een langere autonomie te bereiken dan hierboven of niet aan enige vorm van besparing te moeten doen, zal een grotere buffer geïnstalleerd moeten worden. Om de buffer te berekenen is in stap 2 van SMA solar (zie 6.3.2) de overbruggingsperiode (formule 1) aangepast. Als de autonomie verlengd wordt tot 2 dagen zal de batterijcapaciteit 42 kWh bedragen. Deze is weer verdubbeld door de beperkte ontladbaarheid. De capaciteit zal hierdoor 84 kWh bedragen. De minimum capaciteit is nog steeds 36,4 kWh omdat deze afhankelijk is van het geïnstalleerd zonnevermogen. De andere elementen blijven hetzelfde omdat ze niet afhankelijk zijn van de overbruggingsperiode.

5.3.4 Smart grid in combinatie met de semi-autarke woning

Zoals eerder besproken in 4.5.3 is een combinatie van een semi-autarke woning met een smart grid zeker mogelijk. Bij de integratie in het smart grid zal er voor gezorgd worden dat er geen elektriciteit rechtstreeks in het elektriciteitsnet geïmporteerd wordt, maar enkel indien er vraag is naar elektriciteit op het net. Alsook zal geen elektriciteit rechtstreeks van het net verbruikt worden. Concreter betekent dit dat elektriciteit van het net gehaald wordt als er een overschot is, nl. gedurende de middagperiode. Er zal elektriciteit in het net geïmporteerd worden als er een externe vraag is naar elektriciteit, nl. gedurende de ochtend en de avond.

Voorgaande is gevisualiseerd in figuur 33. Hierbij is uitgegaan van de metingen die gebeurd zijn op dinsdag 3 november (6.1.2). In figuur 33 wordt enerzijds het batterijniveau weergegeven door de groene lijn en anderzijds wordt de netbelasting weergegeven door de rode lijn. Zolang de groene lijn zich boven de nul-as bevindt, is er energie in de buffer aanwezig. Wanneer de rode lijn onder de nul-as daalt, wordt er energie vanuit het net onttrokken. Wanneer de rode lijn boven de nul-as komt, wordt er energie aan het net geleverd. Dit laatste zal nu niet voorkomen doordat de buffer voldoende groot gedimensioneerd is en er minder wordt geproduceerd dan verbruikt.



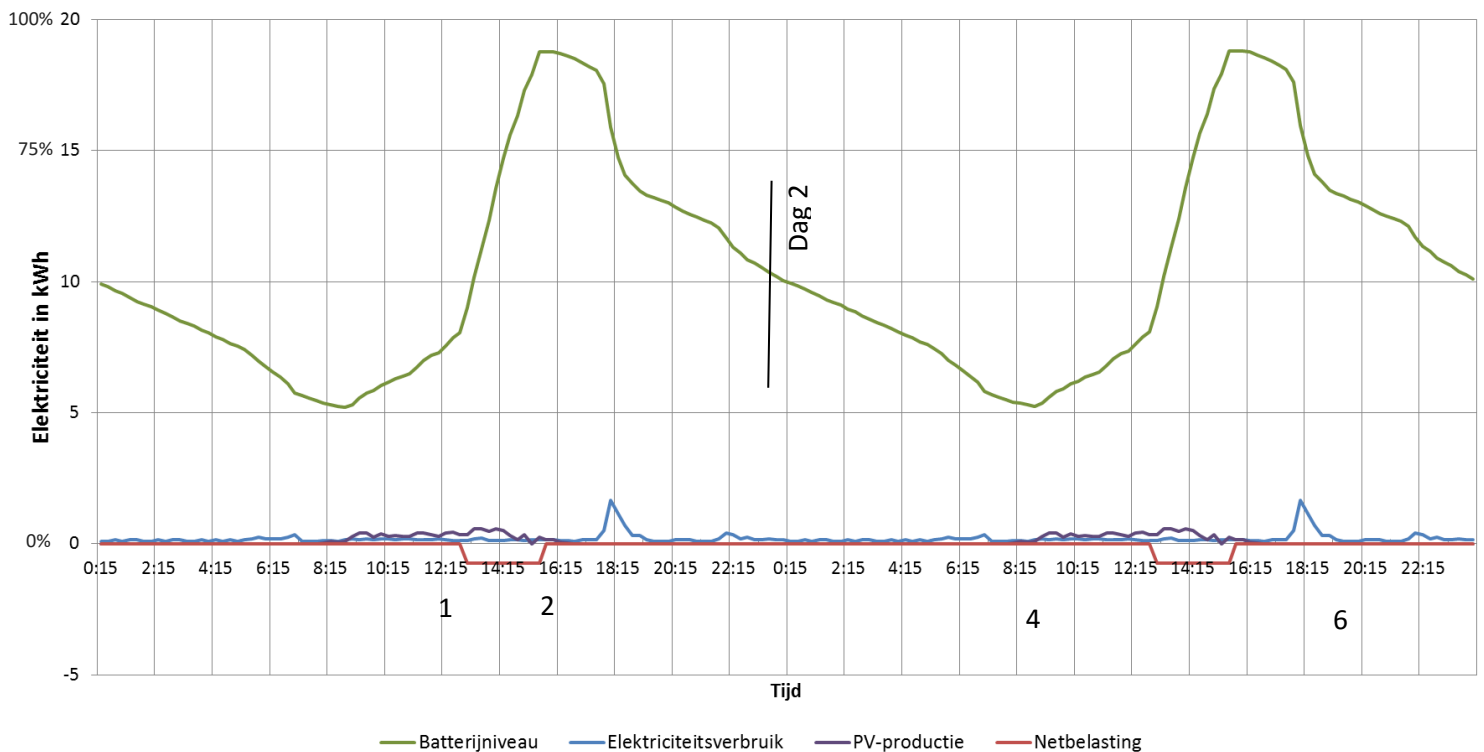
Figuur 33: Woning op 2 en 3 november 2015 met batterijbuffer.

In figuur 33 is een batterijbuffer aangenomen van 20kWh; hierbij is de maximale ontlading even buiten beschouwing gelaten. Er wordt aangenomen dat op tijdstip 0 de buffer 50% is opgeladen. Op 2 november (6.1.2) werd er meer verbruikt dan geproduceerd door de zonnepanelen. Hierdoor zal de batterij op een bepaald ogenblik volledig ontladen zijn en zal een belasting op het net uitgeoefend worden. Als we de grafiek bekijken, is te zien dat de batterij van tijdstip 0 tot tijdstip 1 ontladen wordt. Vanaf tijdstip 1 wordt de batterij opgeladen doordat er meer productie ontstaat dan er vraag is. Na tijdstip 2 daalt de productie en stijgt de vraag, waardoor de batterij op tijdstip 3 volledig leeg zal zijn en de woning op het net zal overschakelen. Op tijdstip 4 zullen de zonnepanelen terug meer leveren dan er vraag is naar elektriciteit in de woning en zal de buffer terug opgeladen

worden. Op tijdstip 5 zal de productie weer dalen en de vraag weer stijgen, waardoor de energie in de batterij afneemt tot ze weer leeg is (6).

We merken dat het net twee keer belast wordt. De eerste keer gebeurt dit tijdens de vroege ochtend. Op dat moment zal er op het net geen piekvraag zijn naar energie, waardoor de plotse overschakeling een minder groot probleem vormt. Maar deze vraag blijft duren tot 9u, waardoor er elektriciteit van het net wordt afgenomen tijdens de algemene ochtendpiek. De tweede maal zal de woning op het net overschakelen gedurende de algemene avondpiek die op het net bestaat. Hierdoor zal deze piek alleen maar vergroot worden. Door de opslagcapaciteit van de buffer te vergroten, zal de woning langer autonoom zijn, maar eens de batterij volledig leeg is geweest zal hetzelfde bekomen worden als in figuur 33, waarbij de woning steeds tijdens de piekuren en de nacht elektriciteit van het net zal afnemen. Dit komt doordat de batterij niet volledig wordt opgeladen. De kostprijs zal stijgen wanneer er gekozen wordt voor een grotere capaciteit.

In figuur 34 zal de buffer gedurende de piekproductie ('s middags) opgeladen worden door het net. In deze figuur zijn deze uren vastgelegd tussen 13u00 en 15u30. Gedurende deze uren wordt de buffer met een vermogen van 3000W opgeladen.



Figuur 34: Woning op 2 en 3 november 2015 met batterijbuffer en oplaadmoment gedurende de piekproductie.

In figuur 34 is van dezelfde voorwaarden vertrokken als in figuur 33. Daarom zal de grafiek tot 13u00 volledig hetzelfde zijn. Maar vanaf 13u00 (1) zien we dat er elektriciteit vanuit het net onttrokken wordt om de buffer op te laden. Dit gebeurt met een constant vermogen van 3000W of 0,75 kWh per kwartier tot 15u30 (2). Door op te laden heeft de batterij 7,5 kWh energie extra ten opzichte van figuur 33. Deze energie is voldoende om het verbruik te dekken tot de batterij de volgende dag weer kan opgeladen worden met de zonnepanelen, alsook met extra energie uit het net. Op deze manier kan er gekozen worden wanneer er energie uit het net onttrokken wordt en zal dit niet gebeuren gedurende de piekverbruiken op het net. Ook zal de netbelasting geregeld kunnen worden in functie van het energieaanbod.

Indien er meer energie geleverd wordt door de zonnepanelen dan er verbruikt wordt door de woning, zou deze manier eveneens kunnen werken. De buffer zal gedurende de middag opgeladen worden door de zonnepanelen en het te veel aan elektriciteit zal gedurende de avond op het net geïnjecteerd kunnen worden, zodat de capaciteit van de buffer nooit overschreden wordt.

In voorgaande figuren is een batterijcapaciteit aangenomen van 20 kWh. Deze was in beide gevallen voldoende. De capaciteit is afhankelijk van het verbruik gedurende de dag, alsook van het vermogen van de zonnepanelen. In het eerste geval stellen we dat er geen zonnewinsten zijn en het gemiddeld verbruik van 20,5 kWh aanwezig is. In dit geval zal de batterij genoeg energie moeten kunnen bufferen om gedurende de hele dag voldoende te hebben. Anderzijds zou er ook voor gekozen kunnen worden om de woning gedurende de dag elektriciteit van het net te laten gebruiken en gedurende de ochtend- en avondpiek de batterij aan te spreken om het net minder te belasten. Op deze manier kan er zelfs voor gezorgd worden dat het net constant belast wordt. In het tweede geval stellen we dat er maximale zonnewinsten zijn zoals op woensdag 29 juli (zie 6.1.2.2) en een zeer laag tot geen verbruik van de woning is. In deze situatie zullen alle zonnewinsten opgeslagen moeten worden en kunnen deze gedurende de avondpiek op het net geplaatst worden. De hoeveelheid van deze winsten zijn dan weer afhankelijk van het geïnstalleerd vermogen van de zonnepanelen.

Om de precieze capaciteit van de benodigde batterij te berekenen, zal er dus rekening gehouden moeten worden met beide gevallen. Hier zal het tweede geval meestal de bepalende factor zijn. Er zal echter nog steeds een extra capaciteit aanwezig moeten zijn om de woning te voorzien wanneer er geen elektriciteit op het net beschikbaar is. Beide capaciteiten staan los van elkaar, de kostprijs zal hierdoor flink de hoogte in gaan.

5.3.5 Besluit dimensionering

De capaciteit van de buffer is afhankelijk van de toepassing waarvoor deze gebruikt zal worden. Bij een back-up systeem zal vooral het verbruik alsook de overbruggingsperiode een belangrijke rol spelen. Tijdens het gesprek met Meneer Vangoidsenhoven van Enersys bleek dat indien de buffer enkel gebruikt wordt als back-up systeem, de capaciteit niet verdubbeld moet worden omwille van de maximale ontlading, doordat deze maximale ontlading ontstaan is door het aantal laadcycli te vergelijken met de maximale ontlading. Hieruit bleek dat 50% ontlading, de meest gunstige verhouding tussen beide gaf. Als deze buffer dan maar een enkele keer per jaar aangesproken zou moeten worden om als back-up te dienen, worden de maximale laadcycli niet overschreden.

Bij een systeem waarbij de buffer dagelijks gebruikt wordt, zoals de combinatie met het smart grid (4.5.3 & 6.3.4), zal de maximale ontlading van 50% wel in rekening gebracht moeten worden.

5.4 Kostprijs van het systeem

	Enersys	SMA solar	Autonomie verlengen	Integratie smart grid
Netto elektriciteitsverbruik (dag)	18,9 kWh	18,9 kWh	18,9 kWh	18,9 kWh
Aanwezig PV-vermogen	9600 Wp	7650 Wp	7580 Wp	7580 Wp
Overbruggingsperiode	Off-grid	12 uren	48 uren	Semi off-grid
Batterijvermogen	19,6 kWh	36,4 kWh	84 kWh	40 kWh
Batterijtype	Lithium-ion	Loodaccu		
Kostprijs batterij	800 €/kWh	200-300 €/kWh		
Totale kostprijs	€ 21 500	€ 15 920	€ 30 200	€ 17 000

Tabel 4: Gebruikte data in berekeningen.

5.4.1 Enersys

Voor de kostprijs van het systeem moeten de verschillende elementen in rekening gebracht worden. De batterij is het duurste onderdeel, een lithium-ion batterij van 19,6 kWh kost ongeveer 15 680 euro. De voorgestelde inverter-lader heeft een kostprijs van ongeveer 5600 euro tot 6000 euro. De totaalprijs bedraagt dus ongeveer 21 500 euro. Hierbij komen ook nog de installatiekosten.

5.4.2 SMA Solar Technology

Bij SMA solar is de batterij eveneens het duurste element. Als kost wordt hier 200-300 euro per kWh aangerekend; de batterij zal tussen 7 280 euro en 10 920 euro kosten. Deze batterij is goedkoper dan een Lithium-ion batterij maar is minder goed. De AS-box (omvormer-invertor) is afhankelijk van het model dat gekozen wordt. In de berekening is AS-box S voorgesteld. Hierbij moet men er rekening mee houden worden dat het maximaal af te nemen vermogen hiervan afhankelijk is. De sturing kost 4580 tot 5000 euro. Er wordt vanuit gegaan dat de zonnepanelen reeds geïnstalleerd zijn, want anders zouden deze nog een kost van 200 euro per Wp extra vertegenwoordigen. De installatiekosten zijn ongeveer 15% van de materiaalkosten. De totale kosten (excl. installatie) bedragen tussen 11 860 euro en 15 920 euro.

5.4.3 Verlengde autonomie

De kostprijs van een systeem voor verlengde autonomie zal veel hoger zijn, omdat de batterij een dure kost is. De batterij is nog steeds een loodaccu waardoor deze goedkoper is dan de lithium-ion batterij en zal tussen 16 800 euro en 25 200 euro kosten. Hierdoor zal het totale systeem tussen 21 380 euro en 30 200 euro zal kosten.

5.4.4 Smart grid in combinatie met de semi-autarke woning

Als de semi-autarke woning wordt geïntegreerd zoals in 6.3.4 heeft de batterij een minimumcapaciteit nodig. Deze is sterk afhankelijk van het verbruik en de geleverde elektriciteit door de zonnepanelen. In de situatie zoals in 6.3.4 voorgesteld, is een batterij met een capaciteit van 20 kWh nodig. Deze wordt verdubbeld omwille van de maximale ontlading, hierbij is de capaciteit 40 kWh. De kostprijs hiervan bedraagt tussen de 8000 euro en 12 000 euro. Als de systeemkosten hierbij worden gerekend, bedraagt de totaalprijs tussen 12 580 euro en 17 000 euro.

5.4.5 Verbruik reduceren

Als laatste kan er gekozen worden om het verbruik te reduceren gedurende de periode van de black-out. Hierdoor kan de batterij verkleind worden, wat de kosten zal kan drukken. Het verbruik werd eerder in 6.1.3 gereduceerd in 4 fases. Onderstaande tabel geeft deze fases nog een weer.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Netto elektriciteitsverbruik (dag)	13,3 kWh	12,2 kWh	11,3 kWh	8,8 kWh
Overbruggingsperiode	12 uren			
Batterijvermogen	kWh			
Batterijtype	Loodaccu			
Kostprijs batterij	200 – 300 €/kWh			
Totale kostprijs	€ 8 990	€ 8 660	€ 8 390	€ 7 640

Tabel 5: Fases bij het reduceren van het verbruik.

Om de kostprijs te berekenen van de verschillende fases, is eerst de nodige capaciteit per fase berekend volgens formule 1 in 6.3.2.

Voor fase 1 geldt een verbruik van 13,3 kWh, dit resulteert in een buffercapaciteit van 7,4 kWh. Deze capaciteit wordt weer verdubbeld omwille van de beperkte ontladbaarheid. Er is dus een capaciteit van 14,8 kWh nodig. Voor fase 2 is er een verbruik van 12.2 kWh, dit leidt tot een capaciteit van 13,6 kWh. In fase 3 wordt het verbruik beperkt tot 11,3 kWh, hierbij is een capaciteit nodig van 12,6 kWh. Ten slotte zal in fase 4 het verbruik gereduceerd worden tot 8,8 kWh, hierbij hoort een batterijcapaciteit van 9,8 kWh.

Om de kostprijs te berekenen moet steeds de kost van de batterij vermeerderd worden met de vaste installatiekosten, zoals de omvormer/invertor. Deze bedraagt tussen de 4 580 euro en 5000 euro. Voor fase 1 bekomen we dan een totale kost tussen 7 240 euro en 8 990 euro. In fase 2 is de kostprijs tussen 7 020 euro en 8 660 euro. Fase 3 heeft een kostprijs tussen 6 840 euro en 8 390 euro. Tenslotte is de kostprijs van fase 4 tussen 6 340 euro en 7 640 euro.

De kostprijs van de installatie kan dus sterk verminderd worden. Maar hierbij moet in gedachten gehouden worden dat er steeds toestellen worden afgeschakeld. Dit heeft als gevolg dat het comfortniveau verminderd.

6 Belangstelling voor de semi-autarke woning

In dit hoofdstuk werd een onderzoek gedaan naar de belangstelling voor een semi-autarke woning. Een semi-autarke woning is technisch gezien zeker mogelijk, maar er zal ook interesse voor dit type woningen moeten zijn. In deel 1 is een enquête opgesteld voor gezinnen die mogelijk in dit soort woning zouden kunnen investeren. In het tweede deel is het woningconcept besproken met Maarten De Cuyper, general manager van Elegant. Als laatste is nagegaan hoe de netbeheerder Infrac tegenover het concept staat.

6.1 Respondenten

Een semi-autarke woning vraagt een aanzienlijke investering, daarom is het in de eerste plaats belangrijk dat de bewoner overtuigd is van het systeem en bereid is om hierin te investeren. Om deze interesse te onderzoeken heb ik een enquête afgenomen bij verschillende gezinnen. Hiervoor ben ik op zoek gegaan naar gezinnen met en zonder zonnepanelen. Dit verschil werd gemaakt omdat gezinnen met zonnepanelen mogelijks een andere visie op het woningconcept hebben. De enquête is eveneens geplaatst op het forum van ecobouwers.be omdat hier zowel milieubewuste (ver)bouwers als professionals te vinden zijn.

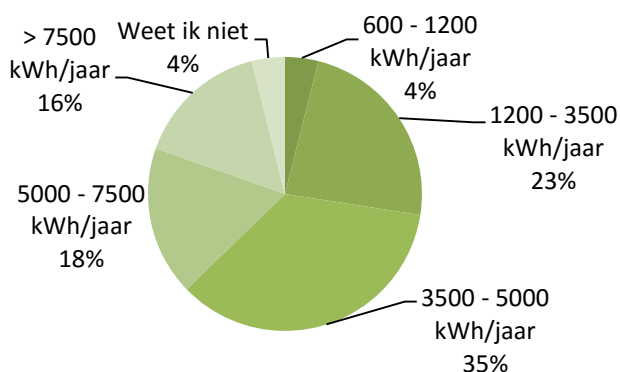
6.1.1 Vragen

De essentie van de enquête peilt of de gezinnen al dan niet vrezen voor een black-out in de toekomst, alsook of ze zouden willen investeren om energiezekerheid te bekomen. De enquête bestond uit een aantal algemene vragen waaruit moet blijken of er een verband bestaat tussen de interesse voor dergelijk systeem en de aanwezigheid van zonnepanelen. De meeste vragen waren meerkeuzevragen en waren soms voorzien van ruimte voor een eigen mening. De enquête is afgenomen tussen 5 januari 2016 en 20 januari 2016 door middel van een online enquête, omdat dit de eenvoudigste manier is om veel mensen op korte tijd te bereiken.

6.1.2 Resultaten

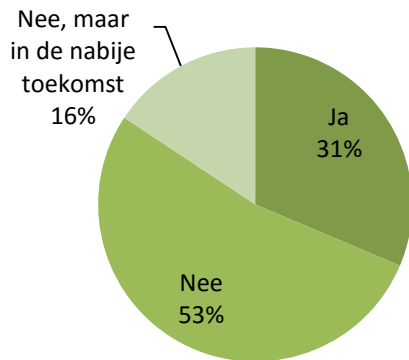
De enquête werd beantwoord door 51 personen waarvan 82% van het mannelijk geslacht. De gemiddelde leeftijd van de respondenten is 42 jaar. Van deze respondenten heeft één iemand een elektrische wagen.

Allereerst werd er gepeild naar het werkelijk elektriciteitsverbruik, Figuur 35 toont dit. De opgewekte elektriciteit door aanwezige zonnepanelen is hierbij gerekend. Er kan worden afgelezen dat de meerderheid een elektriciteitsverbruik heeft tussen 1200 en 5000 kWh/jaar. Dit komt overeen met het verbruik van een doorsnee gezin zoals besproken in 5.3.



Figuur 35: Werkelijk elektriciteitsverbruik

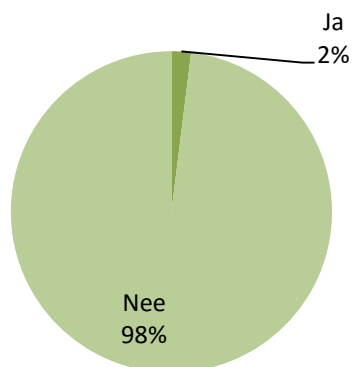
De aanwezigheid van zonnepanelen is verdeeld. Uit de enquête is gebleken dat 31% van de respondenten reeds zonnepanelen heeft en 16% deze in de nabije toekomst gaat plaatsen. De overige 53% heeft geen zonnepanelen.



Figuur 36: Aanwezigheid van zonnepanelen

Uit onderstaand figuur 37 kunnen we aflezen dat er vrijwel niemand vreest voor een black-out. De voornaamste redenen die hiervoor worden aangehaald zijn:

- Dat hun gemeente niet binnen het afschakelplan valt.
- Er genoeg elektriciteit aanwezig is, zeker nu de kerncentrales terug werken.
- Er voldoende elektriciteit in onze buurlanden is.
- Dat black-outs een middel zijn dat gebruikt wordt om de prijzen op te drijven of de kerncentrales langer open te houden.
- Eén van de respondenten verwacht dat dit in de toekomst wel zal gebeuren als er geen ingrijpende veranderingen plaats vinden.

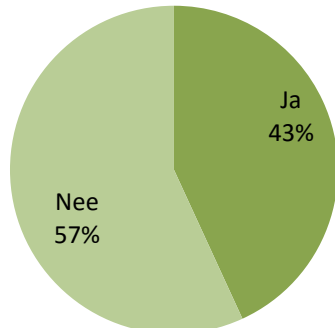


Figuur 37: Hoeveelheid respondenten die vrezen voor een black-out.

Figuur 38 toont aan dat maar liefst 43% bereid is om te investeren in een installatie die hen voorziet van elektriciteit gedurende een black-out. Dit is toch een behoorlijk aantal, aangezien uit voorgaande vraag blijkt dat bijna niemand vreest voor een black-out. De respondenten die bereid zijn om te investeren, halen als belangrijkste redenen aan:

- Op deze manier kunnen ze naar netonafhankelijkheid streven;
- Het systeem kan ook voor andere stroompannes gebruikt kan worden;
- Om energiezekerheid te hebben en verschillende pompen te kunnen laten werken;
- om de PV-stroom te optimaliseren en net-injectie te voorkomen.
- Eén van de respondenten zou wel investeren indien subsidies worden voorzien of indien wanneer dit wordt gecompenseerd door de afschaffing van de PV-taks.

De meerderheid zou niet investeren in een dergelijke installatie. De belangrijkste reden die men aanhaalt, is dat deze installaties te duur zijn voor de beperkte tijd van een black-out. Ook menen een aantal respondenten dat er toch geen black-out komt, dus dat een investering overbodig is. Eén respondent wil voorlopig niet investeren, maar hij zegt dat zijn mening misschien wel kan veranderen wanneer de black-outs realiteit worden.



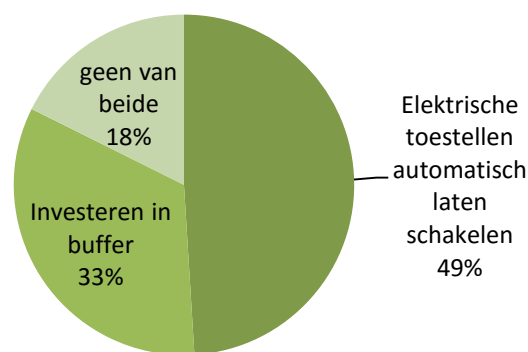
Figuur 38: Hoeveelheid respondenten die bereid zijn om te investeren in een installatie om zichzelf te voorzien van elektriciteit gedurende een black-out.

Figuur 39 toont wat respondenten zouden kiezen om een black-out te vermijden. Bijna de helft van de personen zou het automatisch laten sturen van hun elektrische toestellen verkiezen boven het investeren in een bufferinstallatie. De voornaamste reden hiervoor is dat zij geloven dat het net op deze manier sterk ontlast kan worden en dit de meest efficiënte methode is. Een andere reden waarom er deze keuze, is dat er geen kosten aan verbonden zijn en dit geen inspanning vraagt.

Eén derde kiest ervoor om wel te investeren in de bufferinstallatie. De redenen voor deze keuze zijn:

- De installatie kan ook gebruikt worden gedurende andere pannes
- De automatische sturing kan ook manueel gebeuren
- Met de bufferinstallatie kan er meer gestreefd worden naar netonafhankelijkheid.

De overige 18% verkiest geen van beide. Vooral omdat ze er niet in geloven dat batterijen vandaag op punt staan, alsook omdat er nog maar weinig toestellen bestaan die automatisch gestuurd kunnen worden.



Figuur 39: Wat zou u verkiezen om een black-out te vermijden?

Als we de resultaten koppelen aan de respondenten, merken we dat er meer gekozen wordt om te investeren in een bufferinstallatie wanneer de respondent zonnepanelen heeft of er in de nabije toekomst wil plaatsen, men spreekt hier over 54%. Toch zal 37% van de personen die geen zonnepanelen heeft mogelijks ook wel willen investeren.

Eén van de respondenten is in het bezit van een elektrische wagen, deze persoon zal willen streven naar een onafhankelijkheid en zal met de buffer het eigen verbruik van de zonnestroom optimaliseren.

6.1.3 Besluit

We merken dat de meningen over de semi-autarke woning sterk verdeeld zijn. Uit deze bevraging kunnen we besluiten dat bijna niemand vreest voor een black-out maar dat hun mening wel zou kunnen veranderen vanaf het moment dat er daadwerkelijk een black-out voorkomt. Toch is er een behoorlijk aantal dat zou willen investeren in een bufferinstallatie. Dit doordat ze op deze manier energiezekerheid hebben voor hun belangrijkste toestellen. Enkelen willen op deze manier hun verbruik en opwekking van zonnestroom optimaliseren. Toch zorgt de hoge kostprijs ervoor dat velen niet willen of kunnen investeren in een bufferinstallatie. Vooral omdat deze investering niet duurzaam zou zijn indien ze enkel gebruikt wordt bij een stroompanne of black-out. Tot slot zijn de meeste mensen meer geneigd om een automatische sturing te verkiezen boven een bufferinstallatie.

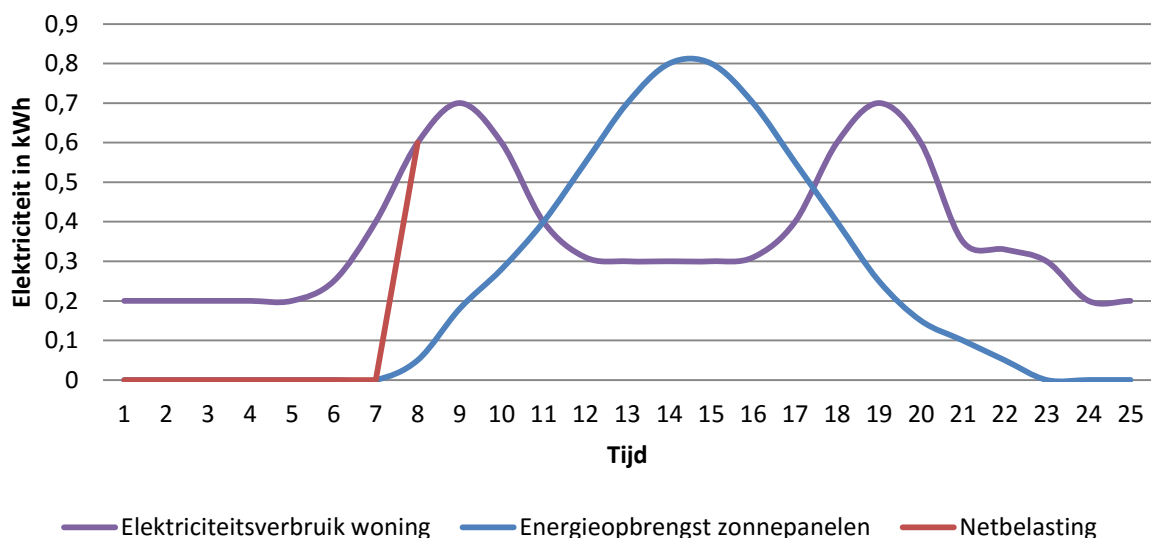
6.2 Energiemaatschappij

Om een semi-autarke woning te realiseren zal er ook rekening gehouden moeten worden met de energieleverancier, vooral wanneer we met de buffer aan netbalancing willen doen. Om meer informatie te krijgen omtrent de werking van de energiemarkt, heb ik een gesprek gehad met de general manager van Elegant, alsook om te weten te komen of zij als energieleverancier hier een probleem mee zouden hebben. Hierbij is ook gevraagd hoe zij de integratie in het elektriciteitsnet zien. Naast een gesprek met een energieleverancier heb ik ook een gesprek gehad met Joris Lemmens, ingenieur innovatie en strategische projecten bij netbeheerder Infrac. Hierbij heb ik eveneens gevraagd hoe zij tegenover het systeem staan en ook hoe zij de integratie van batterijbuffers in het elektriciteitsnet zien.

6.2.1 Elegant

Volgend verslag is opgemaakt na een interview met Maarten De Cuyper, general manager van Elegant.

De semi-autarke woning als individualistische oplossing is technisch mogelijk, maar zal meestal geen positieve bijdrage aan het net leveren. Integendeel, een semi-autarke woning kan zelfs zorgen voor een negatief effect op het net. In figuur 35 kan het typische verbruikersprofiel (rood) herkend worden, alsook het profiel van de opgewekte energie door zonnepanelen (groen); de belasting van het net bij het gebruik van een batterij wordt weergegeven door de blauwe lijn. We stellen dat de batterij volledig is opgeladen in het begin van de dag 0u00, het volledige energieverbruik wordt dan verzorgd door de batterij. Als de batterij leeg is om 9u00, zal de woning omschakelen op het net. Deze omschakeling zorgt voor een plots vermogen dat afgenomen wordt van het net en zal dan ook een plotse piek in het net veroorzaken.



Figuur 40: Effect van een semi-autarke woning als individualistische oplossing.

Figuur 40 toont een schets van wat er kan gebeuren. Maar eerder in figuur 33 (zie 6.4.4) is deze plotse overschakeling naar het elektriciteitsnet te zien op een figuur met het gemeten verbruik van de case.

De semi-autarke woning zou anderzijds wel kunnen bijdragen aan het net als de batterij niet meer individualistisch gebruikt wordt, maar ter beschikking van het net gesteld wordt. Technisch gezien is dit zeker mogelijk (voorbeelden kunnen gevonden worden in het Linear project), maar economisch is dit niet aanvaardbaar. Ten eerste moet men ervan bewust zijn dat elektriciteit elk uur een ander tarief heeft, want de tarieven zijn afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare energie. Gedurende zonnige periodes is de elektriciteit goedkoper dan tijdens donkere dagen. Deze tarieven kunnen gevolgd worden op de website van Belpex. De energieleverancier betaalt elk uur een andere prijs per kWh voor de elektriciteit die hij aankoopt, terwijl hij ze verkoopt tegen een vaste prijs per kWh. De energieleverancier neemt hierbij een risico dat hij de energie duurder aankoopt dan dat hij deze kan verkopen.

Een voorbeeld hierbij is een woning met zonnepanelen. Het gezin gebruikt tijdens zonnige dagen de elektriciteit van de zonnepanelen en laat zijn teller op dat moment ook nog eens terugdraaien. Op deze momenten zal de energieprijzen op de energiemarkt (Belpex) zeer goedkoop zijn of zelfs een negatieve kost hebben. Tijdens donkere dagen gebruikt het gezin elektriciteit van het net omdat de zonnepanelen op deze momenten niets opleveren. Op deze momenten is de energieprijzen op de markt veel hoger en soms zelfs hoger dan de prijs die aan de klant wordt aangerekend. Omdat de teller tijdens zonnige periodes echter is teruggedraaid, zal de jaarafrekening een lager verbruik laten uitschijnen. Dit is het verbruik dat betaald wordt door de klant. Kort samengevat betekent dit dat het gezin energie opwekt wanneer deze weinig of niets waard is en de energieleverancier energie moet leveren wanneer de kostprijs hoog is. Op dit probleem zou de semi-autarke woning kunnen inspelen. De elektriciteit kan tijdens zonnige dagen gebufferd worden en op het net geïnjecteerd worden tijdens de piekuren. Gedurende donkere dagen kan de buffer energie bufferen wanneer er voldoende of zelfs een overschot aanwezig is, en deze kan door de woning gebruikt worden tijdens de periode van energietekort.

Voor de energieleverancier zou een semi-autarke woning pas economisch zeer interessant zijn wanneer er in iedere woning een slimme meter geïnstalleerd wordt die elk kwartier het verbruik doorgeeft. Op deze manier is de energieleverancier in staat de klant elk kwartier aan te rekenen aan de actuele energieprijzen. Als de klant energie op het net injecteert gedurende een periode dat de energieprijzen negatief is, zal de klant zelfs moeten betalen. Want als er plots elektriciteit in het net wordt geïnjecteerd zal de energieleverancier dit moeten kunnen opvangen, omdat hij anders niet in evenwicht is en beboet wordt. Anderzijds zal de klant kunnen besparen wanneer de elektriciteit tijdens een hoog tarief op het net wordt gestuurd. Met de buffer die in de woning geïnstalleerd is, kan de klant zijn elektriciteit opslaan wanneer de prijs laag of negatief is en kan hij de elektriciteit terug op het net sturen wanneer de energieprijzen hoog is. De semi-autarke woning wordt hierdoor veel interessanter voor zowel de klant als de energieleverancier. Doordat de klant geld kan besparen door zijn elektriciteit in de tijd te verplaatsen, zal de drempel om te investeren in een energiebuffer minder groot zijn.

6.2.2 Infrax

Volgend verslag is de weergave van een gesprek met Joris Lemmens, ingenieur innovatie en strategische projecten bij netbeheerder Infrax.

De mogelijkheid om een semi-autarke woning als individualistische oplossing te realiseren is mogelijk, maar is economisch niet rendabel. Dit wil niet zeggen dat een batterijbuffer geen toekomst heeft in het elektriciteitsnet, in tegendeel zelfs, de energieopslag zal geleidelijk aan een deel worden van het elektriciteitsnet. Deze buffers kunnen op verschillende plaatsen in het net geïntegreerd worden, dit kan op zowel residentieel, industrieel, wijk als op distributienetniveau gebeuren. Een semi-autarke woning is een voorbeeld van residentieel niveau. Bij een energiebuffer kunnen verschillende partijen hier voordeel uit halen door verschillende use cases toe te passen. Tabel 6 geeft de verschillende belanghebbende, aan met de verschillende cases.

Netbeheerder	Aggregator	Consument/Prosumant
Congestion management	Load time shifting (Time-of-use tariff)	Load shifting (Time-of-use tariff)
Voltage support	Electricity trading (Day-ahead & Balancing)	Self-consumption of PV
Frequency support	Ancillary services for DSO/TSO	Power Quality
Power Quality		Reactive power compensation
Reactive power management		Peak-shaving (Capacity tariff)
		Security of supply

Tabel 6: Overview of possible use cases and stakeholders for distributed battery storage [61]

Doordat een investering in een buffer zeer duur is en bij een back-up voorziening deze buffer enkel gebruikt wordt in nood, waarbij niets kan verdiend of bespaard worden, zal deze economisch niet rendabel zijn. Daarom moet er voor gekozen worden om verschillende (zo veel mogelijk) cases te combineren. Zoals tabel 6 weergeeft, zijn er binnen het gebied van de consument en prosumant verschillende cases mogelijk. Ten eerste wordt peak-schaving aangehaald, hiermee wordt bedoeld dat men zowel de gebruikspieken als de injectiepieken die ontstaan, zal proberen af te vlakken. Dit zal gebeuren door een deel van de opgewekte elektriciteit van de zonnepanelen op te slaan in een buffer. Deze buffer wordt opgeladen en kan weer ontladen worden gedurende de gebruikspieken die vooral gedurende de ochtend en avond ontstaan. Het tweede punt van self-consumption sluit hierbij aan, er zal getracht worden om het eigen verbruik te dekken door middel van groene energie en een buffer. Dit gebeurt door zoveel mogelijk van de opgewekte elektriciteit bij te houden en zelf te verbruiken. Als derde zou de buffer gebruikt kunnen worden om stroom in het net te injecteren wanneer de vraag plots groter is dan het aanbod. Hierdoor kan de spanning en frequentie makkelijker contant gehouden worden. De compensatie voor het reactief vermogen en piekafvlakking door capaciteitsverlies zijn eerder van toepassing op KMO's of grotere ondernemingen. Zij worden immers ook belast op hun reactief vermogen, alsook op het vermogen dat ze afnemen van het net. De buffer zou er kunnen voor zorgen dat ze hun pieken in het vermogen afvlakken en daardoor in een andere verbruiksschaal terecht komen. Tenslotte kan de batterijbuffer gebruikt worden als noodvoorziening, dit is het oorspronkelijke idee achter de semi-autarke woning.

Door deze verschillende cases te combineren kan er bespaard worden op het energiefactuur, waardoor de buffer wel economische voordelen kan opleveren. Momenteel bestaat in België het systeem van de terugdraaiende teller. Dit betekent dat de elektriciteitsmeter terug zal draaien wanneer er elektriciteit op het net geïnjecteerd wordt, dit zal gebeuren aan hetzelfde tarief als dat er elektriciteit van het net gehaald wordt. Momenteel is dit dan ook de enige case die een economisch voordeel biedt. In Duitsland is een bi-directionele teller aanwezig, waardoor het verbruik gescheiden wordt van de productie. Voor de elektriciteit die verbruikt wordt, zal daardoor een andere (hogere) prijs betaald worden dan dat men krijgt voor de opgewekte stroom. Daarom is het in Duitsland interessanter om voor een buffer te kiezen. Wellicht zal ons economisch systeem in de toekomst ook wijzigen, waardoor er geen terugdraaiende teller meer zal bestaan.

Voorgaande ging in op de manier waarop een semi-autarke woning rendabel gemaakt kan worden. Maar natuurlijk is het ook belangrijk om te kijken hoe dit type woning een ondersteuning of tegenwerking kan zijn ten opzichte van de netbeheerder. Hierover zegt meneer Lemmens dat de semi-autarke woning kan helpen aan de stabiliteit van het net wanneer er aan self-consumption of time-shifting wordt gedaan. Want hiermee kunnen de verbruiks- en productiepieken worden afgevlakt. Het gevaar bij het installeren van een buffer is dat er congestie kan optreden, dit is de gelijktijdigheid die ontstaat. Een voorbeeld hiervan is het moment waarop de elektriciteitsprijzen dalen of zelfs negatief kunnen zijn en de verschillende woningen met buffer plots allemaal tegelijkertijd elektriciteit willen opslaan. Hierbij wordt er plots veel elektriciteit van het net gevraagd waardoor het net overbelast wordt. Het elektriciteitsnet heeft net zoals andere netwerken zijn grenzen, als we het elektriciteitsnet vergelijken met bijvoorbeeld het rioleringsnet kunnen we vaststellen dat bij hevige regenval het rioleringsnet het water niet kan slikken, waardoor dit niet meer functioneert. Hetzelfde ontstaat wanneer er teveel stroom door het elektriciteitsnet moet getransporteerd worden. Hierbij zal het net overbelast worden en uitgeschakeld worden.

Als besluit nemen we hieruit mee dat de semi-autarke woning meerdere functies zou moeten hebben in plaats van louter als back-up. Hierdoor zou de buffer economisch rendabel kunnen worden. Voor de netbeheerder kan een buffer een positieve bijdrage betekenen door aan peak-shaving en self-consumption te doen, maar hierbij moet men opletten dat er geen congestie optreedt.

7 Eindbesluit

Door het stijgende aandeel aan groene energie zal het in de toekomst moeilijker worden om het evenwicht tussen vraag en aanbod van elektriciteit te bewaren. Dit doordat groene energie afhankelijk is van de natuurlijke krachten en het aanbod moeilijker kan afgestemd worden op de vraag. Als vraag en aanbod niet meer in evenwicht zijn, zal het net door veiligheidsmaatregelen worden uitgeschakeld met een black-out als gevolg. Gedurende deze black-out heeft niemand nog elektriciteit ook al zijn er zonnepanelen aanwezig, aangezien deze mee worden uitgeschakeld. Hierbij werd in het begin van deze scriptie de vraag gesteld of een woning in België omgevormd zou kunnen worden tot een semi-autarke woning die zichzelf gedurende een voldoende lange periode autonoom kan voorzien van elektriciteit om een black-out te overbruggen.

Als antwoord op deze onderzoeksvraag kan gesteld worden dat een semi-autarke woning gebruikt kan worden als individualistische oplossing om een periode van stroompanne of black-out te overbruggen. Het belangrijkste element voor de semi-autarke woning is de buffer, meestal een batterij, in combinatie met zonnepanelen. Op plaatsen waar een betrouwbaar netwerk aanwezig is, lijkt een overbruggingsperiode van een halve dag een goede aanname. Indien nodig kan deze periode verlengd worden door het elektriciteitsverbruik te reduceren of de buffercapaciteit te vergroten.

Door de buffer als back-up systeem te gebruiken zal de buffer enkel aangesproken worden gedurende een stroompanne. Doordat er momenteel in Europa een betrouwbare energievoorziening aanwezig is, zullen er voorlopig weinig stroompannes voorkomen. Daarom vormt het systeem een dure oplossing om enkel als back-up systeem te fungeren. Wellicht zal in de toekomst het energienet minder betrouwbaar worden door het steeds stijgend aandeel aan hernieuwbare energie die niet regelbaar is, maar dan nog blijft de investering in een semi-autarke woning via een zuiver back-up systeem een dure investering.

Daarom is het interessanter om de semi-autarke woning in een grotere context te plaatsen en deze mee te laten werken aan de stabiliteit van het elektriciteitsnetwerk. Op het elektriciteitsnet ontstaan dagelijks gebruikspieken en –dalen. Deze ontstaan doordat er 's morgens en 's avonds meer elektriciteit verbruikt wordt dan 's middags. Door de opkomst van groene energie ontstaat er eveneens een productiepiek, deze ontstaat gedurende de middagperiode, omdat zonnepanelen dan het meeste elektriciteit produceren. Deze productie is tegengesteld aan het verbruik. De semi-autarke woning kan bijdragen om deze pieken af te vlakken en om het evenwicht op het elektriciteitsnet te bewaren.

Door de woning geen elektriciteit op het net te laten plaatsen op momenten dat er globaal meer elektriciteit wordt geproduceerd dan gevraagd, maar deze lokaal te laten opslaan, zal de productiepiek afgevlakt worden. De woning kan deze opgeslagen energie dan weer wel aan het elektriciteitsnet leveren op het moment dat er meer vraag is naar energie dan geproduceerd (kan) worden. Op deze manier zal de woning ertoe bijdragen dat zowel de productiepieken als de verbruikspieken afgevlakt kunnen worden.

De systemen die louter als back-up moeten dienen, zijn vandaag al verkrijgbaar. Als men deze wil integreren in het net, zal dit aanpassingen vragen van zowel de gebruiker als de energieleverancier. Uit het interview met Elegant kan het besluit getrokken worden dat deze aanpassingen kunnen gebeuren door een slimme meter te installeren. De energieleverancier kan op deze manier de klant aanmoedigen om zijn energie gedurende productiepieken niet op het elektriciteitsnet te plaatsen, maar om wel energie te leveren gedurende de verbruikspieken.

Met een enquête is er nagegaan of gezinnen in de toekomst vrezen voor een black-out en ze in een back-up installatie willen investeren om energie te voorzien bij een stroomuitval. Uit deze bevraging is gebleken dat er vandaag weinig mensen vrezen dat er een black-out zal voorkomen. In tegenstelling tot de vrees hiervoor, is een aanzienlijk percentage van de respondenten toch geïnteresseerd om te investeren in een back-up installatie. Deze zou enerzijds moeten dienen voor de energiezekerheid voor bepaalde toestellen en anderzijds bij anderen als buffer om de zonnestroom te optimaliseren. De kostprijs van een back-up installatie vormt veelal een drempel om hierin te investeren. Daarom zou de kostprijs gedrukt kunnen worden door maar enkele toestellen van deze back-up te voorzien of door de batterij eveneens te gebruiken in combinatie met een slimme meter waardoor er bespaard kan worden.

Algemeen kunnen we dus stellen dat de semi-autarke woning gebruikt kan worden als back-up gedurende een black-out. Maar dat dit type woning interessanter wordt wanneer deze meehelpt aan het evenwicht van het elektriciteitsnet.

8 Bibliografie

- [1] Vreg, „Evolutie vna het aantal zonnepanelen en hun vermogen,” 2015.
- [2] Vreg, „Evolutie van het aantal zonnepanelen en hun vermogen,” 31/11/2015.
- [3] Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, „Klimaatatlas,” 1/06/2015.
- [4] KMI, „Algemeen klimaat België: De maandnormalen te Ukkel,” 22/11/2015.
- [5] Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, „Maandnormalen te Ukkel,” 1/06/2015.
- [6] Elia, „Historical values for load of ELIA tuning area,” 2014.
- [7] Elia, „Historical values for load of Elia tuning area,” 2015.
- [8] Synergrid, „Energienetten ten dienste van de samenleving,” Ferdinand de Lichtervelde, Brussel, 2006.
- [9] Elia, „Het evenwicht in de regelzone van Elia bewaren dankzij het balancingmechanisme”.
- [10] Linear consortium, „Linear, the report,” Energyville, Genk, 2014.
- [11] VREG, „Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaen en/of garanties van oorsprong worden toegekend.,” 02/10/2015.
- [12] M. De Cuyper, „Guestlecture Elegant,” Leuven, 24 November 2015.
- [13] G. e. n. institute, „Electricity priority projects,” 2004.
- [14] Elia, „Productie,” 3/09/2015.
- [15] Elia, „Huidig geïnstalleerde gezamenlijk vermogen per brandstof type,” 3/09/2015.
- [16] Synergrid, „Marktspelers”.
- [17] Zonnepaneelkiezen, „De fragiele balans tussen energieproductie en energieverbruik in het elektriciteitsnetwerk,” 11/12/2015.
- [18] M. De Cuyper, „Interview Elegant,” Elegant, Vilvoorde, [10 december 2015].
- [19] Elia, „Vragen in verband met het risico op elektriciteitsschaarste in België,” 5/09/2015.
- [20] „<http://economie.fgov.be/nl/elektriciteitsschaarste/afschakelplan/kaarten/#.VnGwAPnhCUI>,” 16/12/2015.

- [21] Smart grids Flanders, „Eerste hulp bij onduidelijkheid over smart grids: Wat je moet weten over het elektriciteitsnet van morgen,” Brussel, 2014.
- [22] Neue Energien Forum Feldheim, „Energy self-sufficient village Feldheim, district of the town of Treuenbrietzen in Potsdam-Mittelmark,” NEF, Feldheim, 2014.
- [23] L. Kang, „Energy self-sufficient eco-village,” Mikkeli, Finland, 2014.
- [24] Energieplus, „Het wonder van Feldheim Energie,” 2013.
- [25] Energiequelle, „Village of Feldheim: Energy self-sufficient district of the town of Treuenbrietzen in Germany's country Potsdam-Mittelmark,” Kallinchen, Germany, 02_2014.
- [26] A. Schmiegel en H. Mohring, „The sol-ion system: prototype deployment in fresh overseas and southern german field trail locaions and logged parameters for pv storage system at home locations,” 2011.
- [27] M. Braun en D. Magnor, „Photovoltaic self-consumption in Germany - Using lithium-ion storage to increase self-consumed photovoltaic energy,” 2009.
- [28] A. M. T. & C. Celik, „A review of installed solar photovoltaic and thermal collector capacities in relation to solar potential for the EU-15,” *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 849-856, 2009.
- [29] S. Kumara, „India's entire northern electricity grid collapses for 12 hours,” 2001.
- [30] W. Sunil, „Massive power outage in Bangladesh,” 5 november 2014.
- [31] J. BARRON, „The blackout of 2003,” 15 augustus 2003.
- [32] J. Minkel, „The 2003 Northeast Blackout--Five Years Later,” 13 augustus 2008.
- [33] UCTE, „Final Report: System Disturbance on 4 November 2006,” Brussel, 2006.
- [34] VREG, „Gemiddeld energieverbruik van een gezin,” Geraadpleegd op 2/11/2015.
- [35] VREG, „Verbruiksprofielen,” Graadpleegd op 2/11/2015.
- [36] Leefmilieu Brussel, „Fotovoltaïsche zonne-energie, Werking en technologieën,” BIM, Brussel, 2010.
- [37] Leefmilieu Brussel, „Fotovoltaïse zonne-energie, Factoren die de productie beïnvloeden,” BIM, 2010.
- [38] Departement Communicatie Electrabel, „De spaarbekken centrale coö – Tro is-ponts,” Antilope Printing nv, Lier, 2012.

- [39] A. H. Alami, „Experimental assessment of compressed air energy storage (CAES) systems and buoyancy work energy storage (BWES) as cellular wind energy storage options,” *Journal of energy storage*, vol. Volume 1, pp. 38-43, 2015.
- [40] RWE Power AG, „ADELE – ADIABATIC COMPRESSED-AIR ENERGY,” Essen/Köln, Januari 2010.
- [41] S. Harris, „The 2011 Energy & Environment Winner - CES,” *The engineer*, 2 December 2011.
- [42] i. Segers, „Batterijen,” *Chemische Feitelikheden*, 2004.
- [43] H. Reijers, A. de Groot en P. Lako, „Evaluatie van waterstof-gebaseerde concepten en systemen,” 2001.
- [44] Renewable Energy Technologies BV, „Energy storage system,” 31/08/2015.
- [45] J. I. Burgaleta, S. Arias en D. Ramirez, „Gemasolar, The first tower thermosolar,” Spanje, 2012.
- [46] J. Seys en N. Fockedey, „Een energie-eiland voor onze kust: fictie of realiteit?,” *De Grote Rede*, vol. 37, pp. 2-10, 2013.
- [47] Kusteilanden, „Energie-eiland kan de burgers meer dan 1 miljard euro kosten. Tommelein liegt,” 2015.
- [48] Teslamotors, „Powerwall,” 31/08/2015.
- [49] Electrabel, „3 toepassingen van de Tesla Powerwall in België,” 31/08/2015.
- [50] smappee.com.
- [51] D. Schurr, „EnyMate: Meten is weten, Optimaliseren van bewustwording energieverbruik,” Rotterdam, maar 2010.
- [52] „Plugwise.nl”.
- [53] Chacon, „gebruikershandleiding”.
- [54] conrad, „Gebruikershandleiding”.
- [55] Provincie Antwerpen, „Groepsaankoop zonnepanelen: Rendement,” 21/01/2016.
- [56] KMI, „Huidig klimaat België: Voorbije jaren,” 21/01/2016.
- [57] Enersys, „Enersys datasheet,” Mortsel, 10/12/2015.
- [58] SMA Solar Technology, „De 5 stappen voor een berekening,” 2012.
- [59] Enersys, „www.enersys.com”.

[60] Koninklijke sterrenwacht van België, „De zon,” 24/01/2016.

[61] J. Lemmens, Test results for industrial scale battery,” Infrax, 2015.

[63] S.-H. G., New tools for the development of sustainable energy systems for cities & regions,” 2015.

9 Figuurlijst

- Figuur 1: Evolutie zonnepanelen, gegevens Vreg [2]
- Figuur 2: Gemiddeld aantal uren zonneshijn, Cijfers KMI [4]
- Figuur 3: Dagelijkse waarde van de gemiddelde globale zoninstraling in de zomer; KMI
- Figuur 4: Dagelijkse waarde van de gemiddelde globale zoninstraling in de winter; KMI
- Figuur 5: Gemiddelde windsnelheid, Cijfers KMI [4]
- Figuur 6: Globaal energieverbruik België, Gegevens Elia [6]
- Figuur 7: Dagverbruik januari 2015, Gegevens Elia [7]
- Figuur 8: Dagverbruik mei 2015, Gegevens Elia [7]
- Figuur 9: Verbruik – Opbrengst zon, Gegevens KMI [4] en Elia [6]
- Figuur 10: Verbruik – Opbrengst wind, Gegevens KMI [4] en Elia [6]
- Figuur 11: Verbruik – Opbrengst combinatie zon en wind, Gegevens KMI [4] en Elia [6]
- Figuur 12: Alternatieve energie Vlaanderen, Gegevens Vreg [11]
- Figuur 13: Vraag aanbod zonne-energie [10]
- Figuur 14: Supply & demand: Old school fuel [12]
- Figuur 15: Europese elektriciteitsnetwerk met belangrijke uitwisselingen [13]
- Figuur 16: Huidige geïnstalleerde gezamenlijk vermogen per brandstof type; Bron: Elia [15]
- Figuur 27: afschakelplan 2015-2016 [20]
- Figuur 18: Elektriciteitsnet en warmtenet in Feldheim [25]
- Figuur 19: Residentieel dagverbruik januari 2015; Gegevens VREG [35]
- Figuur 20: Residentieel dagverbruik mei 2015; Gegevens VREG [35]
- Figuur 21: Dwarsdoorsnede van een fotovoltaïsche cel [36]
- Figuur 22: Kaart van België met de globale zonnestralingen kWh/m².jaar en de elektriciteitsproductie voor een ideaal georiënteerd systeem [37]
- Figuur 23: Jaarlijkse relatieve straling in Ukkel op een hellend vlak in functie van de oriëntatie en de hellingsgraad [37]
- Figuur 24: Watercentrale Coe-Trois-Ponts [38]
- Figuur 25: Gemasolar [45]
- Figuur 26: Energie-eiland Wenduine (simulatie) [46]
- Figuur 27: Elektriciteitsverbruik ouderlijke woning op 2 februari 2015
- Figuur 28: Elektriciteitsverbruik ouderlijke woning op 29 juli 2015
- Figuur 29: Elektriciteitsverbruik ouderlijke woning op 3 november 2015
- Figuur 30: Afschakelingsfases
- Figuur 31: Inplanting van de woning
- Figuur 32: Instralingsdiagram van Ukkel [37]
- Figuur 33: Woning op 2 en 3 november 2015 met batterijbuffer
- Figuur 34: Woning op 2 en 3 november 2015 met batterijbuffer en oplaadmoment gedurende de piekproductie
- Figuur 35: Werkelijk elektriciteitsverbruik
- Figuur 36: Aanwezigheid van zonnepanelen
- Figuur 37: Hoeveelheid respondenten die vrezen voor een black-out
- Figuur 38: Hoeveelheid respondenten die bereid zijn om te investeren in een installatie om zichzelf te voorzien van elektriciteit gedurende een black-out
- Figuur 39: Wat zou u verkiezen om een black-out te vermijden?
- Figuur 40: Effect van een semi-autarke woning als individualistische oplossing

Tabel 1: Verbruik gemiddeld gezin in België; VREG

Tabel 2: Batterijsoorten met eigenschappen en specificaties

Tabel 3: Meetresultaten 3 november 2015

Tabel 4: Gebruikte data in berekeningen

Tabel 5: Fases bij het reduceren van het verbruik

Tabel 6: Overview of possible use cases and stakeholders for distributed battery storage [61]