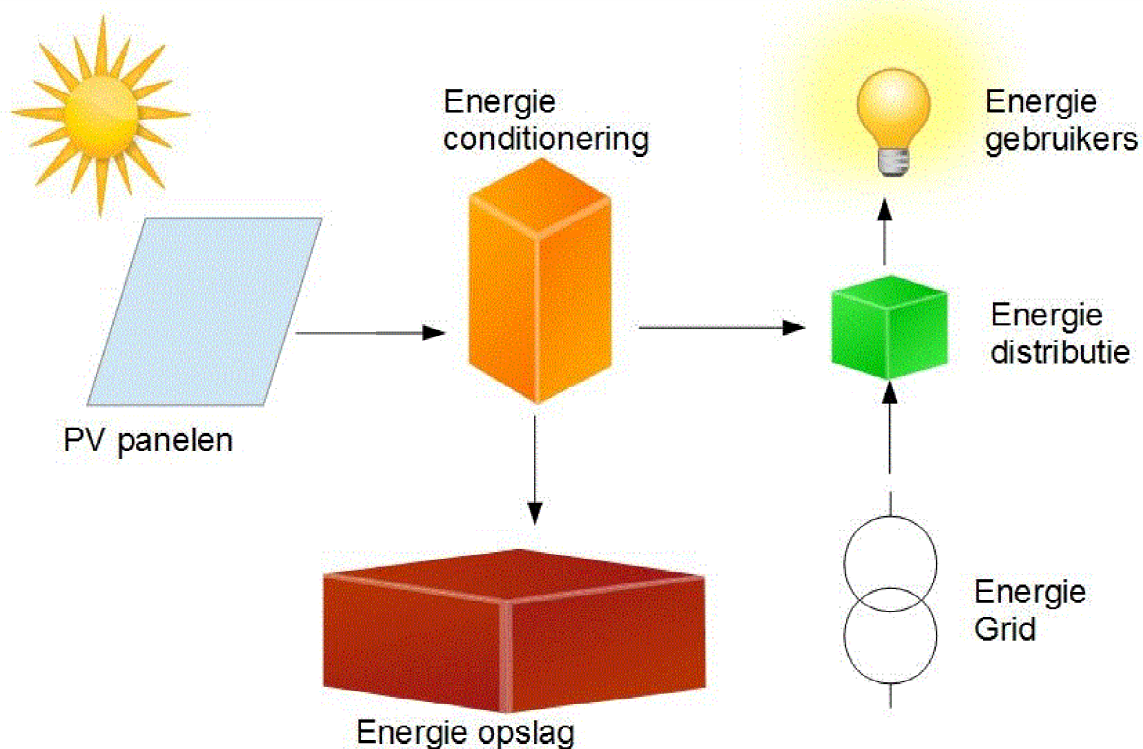




Onderzoek naar een efficiënte opslag systeem voor PV energie

Auteur:	Chris de Vette
Studentnummer:	12076562
Hogeschool:	De Haagse Hogeschool
Opleiding:	Elektrotechniek
Afstudeerbegeleiders:	D. Holt J.B. Woudstra
Afstudeerbedrijf:	Movares B.V.
Bedrijfsbegeleider:	K.W. van de Bunt
Datum:	2 juni 2016
Versie:	1.0
Lezer:	Digitaal exemplaar

Colofon

Titel

Efficiënte opslag van PV energie

Auteur

Naam C.M. (Chris) de Vette
Studentnummer 12076562
Email Chrisdevette@gmail.com / 12076562@student.hhs.nl
Telefoonnummer +31 634478514
Opleiding HBO elektrotechniek
Instelling De Haagse Hogeschool
Adres Rotterdamseweg 137
2628 AL Delft

Opdrachtgever

Bedrijf Movares B.V.
Bezoekadres Daalseplein 100
3511SX Utrecht
Postadres postbus 2855
3500GW Utrecht
Telefoonnummer 030 265 55 55
Bedrijfsbegeleider K.W. van de Bunt
Email Kees.vd.Bunt@movares.nl
Telefoonnummer +31 651139028

Studiebegeleiders

Begeleider (coach 1) D. Holt
Email D.Holt@hhs.nl
Assessor (coach 2) J.B Woudstra
Email J.B.Woudstra@hhs.nl

Voorwoord

Geachte lezer,

Voor U ligt mijn afstudeerscriptie 'Efficiënt opslag systeem voor PV energie.' Deze afstudeerscriptie is geschreven naar aanleiding van mijn afstudeerstage voor de opleiding elektrotechniek aan de Haagse Hogeschool te Delft. De afstudeer stage is uitgevoerd bij Movares Nederland B.V. te Utrecht.

Door mijn persoonlijke interesse in hernieuwbare energie en technologische ontwikkeling, was deze keuze voor dit onderzoeksonderwerp snel gemaakt. Met bedrijfsbegeleider Kees van de Bunt zijn de hoofdvraag en deelvragen opgesteld. Met veel plezier heb ik onderzocht welke efficiënte energie opslagsystemen er beschikbaar zijn voor een utilitair gebouw. Tijdens mijn onderzoek heb ik ondervonden dat het onderwerp aan populariteit begint te winnen. Een uitgever is zelfs van plan een smart storage magazine te gaan uitgeven. Ik hoop dat U naar aanleiding van mijn verslag net zo geïnteresseerd raakt als ik tijdens het uitvoeren van dit onderzoek.

Als laatste wil ik de collega's van Movares bedanken voor hun input tijdens onderzoek. Ik wil mijn bedrijfsbegeleider Kees van de Bunt speciaal bedanken voor zijn kritische feedback op het onderzoek en het verslag.

Ik wens U veel leesplezier.

Chris de Vette

Utrecht, 2 juni 2016

Samenvatting

Het zal U vast niet ontgaan zijn dat de aarde langzaam aan het opwarmen is door de uitstoot van fossiele brandstoffen. Om deze reden worden er verschillende alternatieve energie bronnen ontwikkeld. Een van die technologieën is energie opwekken uit zonne-energie doormiddel van het fotovoltaïsch principe waarbij zonlicht wordt omgezet in elektrische energie doormiddel van halfgeleiders. Echter zorgt deze toename van hernieuwbare energie voor een grote piek belasting op het elektriciteitsnet. In de huidige situatie bestaan verschillende subsidie regelingen voor het terugleveren van opgewekte energie aan het net. Er zal ook steeds meer eigen energie opgewekt worden daardoor moet voor het terugleveren van deze hoeveelheid energie het net sterk worden uitgebreid. Om de kosten te beheersen voor het terugleveren, zullen de overheid en de netbeheerders het eigen gebruik meer gaan bevorderen. Men verwacht dat de huidige subsidie regelingen worden versoberd of geheel afgeschaft worden.

Op welke wijze kan de opgewekte PV energie nu al efficiënt opgeslagen worden en welke nieuwe ontwikkelingen zijn er die de opslag nog efficiënter maken?

Vanuit deze hoofdvraag zijn de volgende twee deelvragen opgesteld om het gebruik van PV energie zo optimaal mogelijk te benutten.

Welk type opslag medium is geschikt voor de opslag van de energie opgewekt door de PV installaties en wat zijn de voor en nadelen?

Er zijn verschillende manieren om energie op te slaan elk met zijn eigen toepassingsgebied. Er is onderzocht hoe overtollig opgewekte PV energie voor utilitaire gebouwen kan worden opgeslagen. En welke methode in de nabije toekomst effectief kunnen zijn. Waarbij in de huidige situatie het beste gekozen kan worden voor een lithium systeem. In de nabije toekomst kan de flow accu een gedegen concurrent vormen.

Is het verstandig om de opgewekte gelijkspanning om te zetten naar 230/400V wisselspanning of gebruik te maken van de geleverde DC spanning?

Mogelijk kan er energie bespaard worden door de verbruiken de toestellen en verlichtingsarmaturen direct aan te sluiten op de opgewekte DC spanning. Als opgewekte DC spanning afwijkt van de benodigde DC bedrijfsspanning moet er een DC/DC omvormer moet worden geplaatst. In dit geval zal de efficiëntie ongeveer gelijk uit komen afhankelijk van het rendement van het omzet systeem als de traditionele DC/230V AC omzetter. Dan kan er alleen winst worden behaald uit de verminderde verliezen bij distributie en bij de eind omvormer zoals een LED driver waarbij bij DC spanning geen arbeidsfactor compensatie circuit meer nodig is.

In de huidige marktsituatie is een opslag systeem nog niet rendabel. Omdat de met huidige subsidie regelingen een ruime vergoeding wordt gegeven voor de terug geleverde energie. Verwacht wordt dat in de toekomst deze regelingen komen te vervallen en dat de prijs van opslagsystemen aanzienlijk zal gaan dalen. Waarbij het relevant wordt om deze overtollige energie op te slaan. De beste keus voor een utilitair gebouw lijkt de lithium technologie. Maar door de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van flow accu's zal dit type accu mogelijk in de toekomst een effectiever opslag systeem kunnen zijn. Om optimaal gebruik te maken van een gelijkspanningsnetwerk moeten echter de opgewekte spanning en de bedrijfsspanning op elkaar worden afgestemd. Daarnaast kan door middel van een speciale DC LED driver een kleine besparing worden behaald.

Inhoudsopgave

Colofon	1
Voorwoord	2
Samenvatting	3
1 Inleiding	8
1.1 Maatschappelijke reden	8
1.2 Belang van het onderzoek	9
1.3 Opbouw van het onderzoek	10
2 Zelfstandig gebruiken van opgewekte PV energie	11
2.1 Onderzoekvraag	11
2.2 Deelvragen	11
2.3 Aanpak van het onderzoek	13
3 Eisen aan en het gebruik van het opslag systeem	14
3.1 Eigenschappen van het opslag systeem	15
4 Soorten opslagsystemen	16
5 Beschikbare opslagsystemen	18
5.1 Kosten analyse	19
5.2 Wanneer is een opslag methode kosten efficiënt?	20
5.3 Conclusie van het beste beschikbare opslag systeem	20
5.4 Opslagsystemen op de langere termijn.	22
5.4.1. <i>Verwachte prijs verloop</i>	23
6 Effectief gebruik maken van het opslag systeem	24
6.1 Concept enkel gelijkspanningsgebruik	25
6.2 Concept combinatie van wisselspanning en gelijkspanning	25
6.3 DC netwerk	26
6.3.1. <i>Wat is het beste spanningsniveau?</i>	27
6.3.2. <i>Gelijkspanningsverlichting</i>	28
6.3.3. <i>Gelijkspanningsapparatuur</i>	29
6.3.4. <i>Installatie van een DC en AC netwerk</i>	29
6.3.5. <i>Praktische toepassing gelijkspanningsnet</i>	31
6.4 Het meest efficiënte gebruik in de energie keten	32
7 Praktische toepassing van het opslag systeem	33
7.1 Steunpunten Houten	35
7.1.1. <i>Benodigde opslag capaciteit</i>	35
7.1.2. <i>Overzicht van de installatie</i>	36
7.1.3. <i>Bouwkundige eisen opslag systeem steunpunt Houten</i>	37
7.1.4. <i>Laden van het opslag systeem</i>	37
7.1.5. <i>Kosten berekening opslag systeem</i>	37
7.1.6. <i>Conclusiesteunpunt Houten</i>	37
7.1.7. <i>Schaalvergroting</i>	38

7.2 Station Helmond	39
7.2.1. Benodigde opslag capaciteit	39
7.2.2. Overzicht van de installatie DC verlichting	40
7.2.3. Overzicht van de installatie met algemeen opslag systeem	40
7.2.4. Bouwkundige eisen opslag systeem station Helmond	41
7.2.5. Conclusie station Helmond	42
8 Conclusie en aanbevelingen	43
8.1 Vervolgonderzoek	43
8.2 Aanbevelingen	44
9 Referenties	45
Bijlage 1: Omschrijving van verschillende opslag technologieën	i
Lood zuur accu	i
Nikkel accu	ii
Nikkel cadmium	ii
Nikkel metaalhydride	ii
Zout accu's	iii
Natrium sulfide (NAS) accu	iii
Natrium nikkel chloride accu	iv
Gesmolten zout accu's	iv
Zout water accu	iv
Lithium accu	v
Lithium NMC accu	v
Lithium ijzer fosfaat accu	v
Overige lithium accu's	v
Flow accu	vi
Vanadium redox flow accu	vi
Waterstof bromide accu	vii
Bijlage 2: Berekening terugverdientijd aanschafkosten	viii
Bijlage 3: Kabelberekeningen	x
Bijlage 4: Berekening hoofdkabel steunpunt houten	xv
Bijlage 5: Aderdikte bij 7 LED armaturen bij 12V/12W per stuk	xvi
Bijlage 6: Installatie schema steunpunten Houten	xvii
Bijlage 7: Daktekening Station Helmond	xviii
Bijlage 8: Installatie schema totale installatie Station Helmond	xix
Bijlage 9: Opslag systeem voor verlichtingsinstallatie Station Helmond	xx
Bijlage 10: Overige informatie bronnen	xxi

Figuren en tabellenlijst

<i>Figuur 1: AC netwerk ten opzichten van een DC netwerk [Chris de Vette 2016]</i>	12
<i>Figuur 2: Schema PV installatie [Chris de Vette 2016]</i>	14
<i>Figuur 3: Eenvoudig PV schema met opslag[Chris de Vette 2016]</i>	15
<i>Figuur 4: Trias Energetica[16]</i>	24
<i>Figuur 5: PV systeem met opslag medium[Chris de Vette 2016]</i>	25
<i>Figuur 6: Gelijkspanning concept[Chris de Vette 2016]</i>	25
<i>Figuur 7: Combinatie tussen gelijkspanning en wisselspanning[Chris de Vette 2016]</i>	26
<i>Figuur 8: Een eenvoudige led driver[Chris de Vette 2016]</i>	28
<i>Figuur 9: Schematisch overzicht van Power over Ethernet verlichting[19]</i>	29
<i>Figuur 10: Gebruik van een aardlekschakelaar in een PV systeem. [23]</i>	31
<i>Figuur 11: Bovenaanzicht station Helmond [Movares2013]</i>	33
<i>Figuur 12: 3D model station Helmond [Movares2013]</i>	33
<i>Figuur 13: Steunpunten Houten [Movares2015]</i>	34
<i>Figuur 14: Steunpunten Houten zijaanzicht met de strooiploeg [Movares2015]</i>	34
<i>Figuur 15: Totaal overzicht DC installatie steunpunt[Chris de Vette 2016]</i>	36
<i>Figuur 16: Schematisch overzicht PV en verlichtingsinstallatie station Helmond[Chris de Vette 2016]</i>	39
<i>Figuur 17: Overzicht met algemeen opslag systeem station Helmond[Chris de Vette 2016]</i>	41
<i>Figuur 18: Schematische weergaven van een loodzuur accu[Chris de Vette 2016]</i>	i
<i>Figuur 19: Schematisch werking NiCd accu[Chris de Vette 2016]</i>	ii
<i>Figuur 20: Schematisch overzicht van een NiMH accu[Chris de Vette 2016]</i>	iii
<i>Figuur 21: Opbouw van een Gesmolten zout accu[31]</i>	iii
<i>Figuur 22: Simpel overzicht van een zout water accu[Chris de Vette 2016]</i>	iv
<i>Figuur 23: Schematisch overzicht van een lithium accu[Chris de Vette 2016]</i>	v
<i>Figuur 24: Werking van een flow accu [39]</i>	vi
<i>Tabel 1: Kostenvergelijking met of zonder salderen voor huishoudens.</i>	8
<i>Tabel 2: Overzicht van de accu eigenschappen.</i>	17
<i>Tabel 3: Technische eigenschappen per opslag systeem.</i>	18
<i>Tabel 4: Financiële eigenschappen per opslag systeem.</i>	19
<i>Tabel 5: Kosten voor een opslag systeem van 50 KW en 100 kWh.</i>	21
<i>Tabel 6: Overzicht opwekking en verbruik van energie Steunpunten.</i>	35
<i>Tabel 7: Keuze tabel voor spanningsniveau en installatie methode steunpunten.</i>	36
<i>Tabel 8: Voorbeeld aanschafkosten opslag systeem met gebruik van wisselspanning steunpunt Houten.</i>	37
<i>Tabel 9: Overzicht van opwekking en verbruik van energie station Helmond.</i>	39
<i>Tabel 10: Keuze tabel voor spanningsniveau en installatie methode station Helmond.</i>	40
<i>Tabel 11: Voorbeeld aanschafkosten algemeen opslag systeem station Helmond.</i>	41

Begrippen en afkortingen

Accu	Een oplaadbare galvanische cel.
Arbeidsfactor	De verhouding tussen werkelijk vermogen en schijnbaar vermogen in een wisselspanningsinstallatie.
Bedrijfsspanning	De benodigde ingangsspanning voor een apparaat.
Distributie net	Het stelsel van leidingen waarover energie wordt vervoerd.
Gelijkspanning	Een elektrisch potentiaalverschil tussen twee punten welk stabiel blijft in tijd.
Inverter	Elektronisch apparaat die gelijkspanning omzet in wisselspanning.
Omvormer	Elektronisch apparaat die een ingangsspanning naar een bepaalde spanning kan omvormen.
Patchkast	Een behuizing waarin verschillende aansluitbussen samenkomen.
PV paneel	Een groot aantal fotonvoltaïsche cellen die samengevoegd zijn op een paneel.
Rendement	Verhouding afgegeven vermogen ten opzichten van verbruikte vermogen.
Watt piek	Uitgangsvermogen van een PV paneel gemeten onder de standaard test condities.
Wisselspanning	Een elektrisch potentiaalverschil tussen twee punten die periodiek wisselt als functie van tijd.
Effectieve spanning	Deze gemiddelde spanning is bij een sinusvormige wisselspanning gelijk aan $\frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{maximale amplitude}$.

AC	Wisselspanning
BMS	Batterij management systeem
CO2	Koolstofdioxide
Cosphi	de cosinus van phi ook wel de fasehoek tussen de stroom en spanning (arbeidsfactor)
DC	Gelijkspanning
Hz	Hertz
ICT	informatie en communicatietechnologie
kW	Kilo Watt = 1.000 Watt
kWh	Kilo watt per uur
kWp	kilo watt piek = 1000 watt piek
LED	Light Emitting Diode
mm ²	oppervlakte van een geleider in vierkantenmillimeter
MPPT	Maximal power point tracker
MW	Mega Watt = 1.000.000 Watt
PV	Fotovoltaïsche (methode om zonne-energie om te zetten in elektrische energie)
UPS	Uninterruptible power supply (noodstroomvoeding)
V	Volt
VA	Elektrisch vermogen in Volt-Ampere
W	Elektrisch vermogen in Watt (VA* Cosphi)
Wh	Het aantal Watt wat een opslag systeem voor een uur kan leveren
Wh/L	Aantal Watt/uur per liter opslag medium
Wp	Watt piek

1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de aanleiding van het onderzoek. Wat het doel is van het onderzoek? Waarom dit onderzoek belangrijk is voor Movares en wat zij kunnen doen met de resultaten.

1.1 Maatschappelijke redenen

Momenteel gebruikt men veel fossiele brandstoffen om energie op te wekken maar de voorraden zijn niet onbeperkt. Ook is het gebruik van deze brandstoffen niet zonder gevolgen voor het milieu door de uitstoot van CO₂ en andere schadelijke stoffen. Hierdoor is er een steeds groter wordende vraag naar hernieuwbare energie voorzieningen op basis van wind, zon en water.

Sinds enkele jaren gebruiken particulieren en bedrijven PV installaties om energie op te wekken. Waardoor de energie consumenten, ook energie producenten zijn geworden door het terugleveren van overtollig opgewekte PV energie. Momenteel geldt er in Nederland de zogenaamde salderingsregeling¹. Bij deze regeling levert de gebruiker energie aan het net. Doormiddel van subsidie wordt de teruggeleverde energie voor de totaal prijs vergoed. Een gemiddeld huishouden betaald ongeveer 21 cent per kWh. Bij het terugleveren zonder salderen krijgt een gemiddeld huishouden een vergoeding van ongeveer 6 cent. Door de salderingsvergoeding wordt dit bedrag aangevuld tot 21 cent per kWh. Zonder deze regeling hebben huishoudens drie keer zo lang nodig hebben om zijn PV systeem terug te verdienen. In onderstaand voorbeeld (Tabel 1) uitkomt op een terugverdientijd van 24 in plaats van 7 jaar. Is de terugverdientijd met en zonder salderen aangegeven, waarbij het eventuele vervangen van de omvormer nog niet is genomen.

Tabel 1: Kostenvergelijking met of zonder salderen voor huishoudens.

	Met salderen	Zonder salderen
Kosten installatie	€5000	€5000
Jaarlijkse opbrengst	3400 kWh	3400 kWh
Teruglever vergoeding	€0,21	€0,06
Opbrengst per jaar	€714, -	€204, -
terugverdientijd	7 jaar	24 jaar

Voor groot gebruikers geldt een andere regeling, de zogenaamde SDE+ (stimulering duurzame energieproductie) Deze vergoeding is afhankelijk van de inschrijvingsperiode, de kostprijs van de PV installatie en de huidige kostprijs van energie. Om dat de energie prijs voor groot verbruiker afhankelijk is van de grootte van de aansluiting is er als kostprijs 10 eurocent aangenomen. Voor de berekening is uitgegaan dat de vergoeding even groot is als kostprijs van energie. In dit geval is de terugverdientijd ruim 1.5 keer zo groot.

¹ De salderingsregeling geldt alleen voor klein gebruikers met een aansluiting tot 3 x 80 Ampère.

Tabel : Kostenvergelijking met of zonder salderen voor grootverbruikers.

	Met subsidie	Zonder subsidie
Kosten installatie	€5000	€5000
Jaarlijkse opbrengst	3400 kWh	3400 kWh
Teruglever vergoeding	€0,10	€0,06
Opbrengst per jaar	€340, -	€204, -
terugverdientijd	14,7 jaar	24 jaar

Door het toenemende aantal PV installaties en het daardoor toegenomen hoeveelheid opgewekt vermogen wordt het elektriciteitsnet steeds zwaarder belast. Zeker op zonnige dagen zal er veel energie aan het net worden teruggeleverd. Mede door de groei in het aantal PV installaties zal het elektriciteitsnet moeten worden verzwakt om deze vermogens te kunnen verwerken. Er wordt verwacht dat net als in de buurlanden de salderingsregeling zal komen te vervallen om lokale energie opslag te bevorderen. Om zo kosten voor het uitbreiden en verzwaken van het net te financieren. Daarnaast kan er een maximum aan de terug te leveren energie worden gesteld. Door te investeren in de lokale opslag methodes kan PV energie alsnog rendabel worden. Ook verwacht men dat de variabele energie prijs wordt uitgebreid. In Nederland kennen we momenteel het verschil in prijs tijdens daluren waarbij de kWh prijs gemiddeld 2 á 3 eurocent lager ligt als tijdens piek uren. Verwacht wordt dat deze verschillen evenals in overige landen groter zullen worden doordat de energie voorziening afhankelijker wordt van de weersomstandigheden als zon en wind.

Hieruit kan worden opgemaakt dat na het vervallen van deze regelingen en/of de beperking tot terugleveren van energie aan het net het rendabeler wordt om de opgewekte energie zelf te gebruiken. Dit omdat de terugverdientijd met teruggeven tegen een lage vergoeding wel drie keer zo groot voor consumenten en anderhalf keer zo groot voor grootverbruikers. Door deze energie op te slaan en het in een later stadium te gebruiken kan de capaciteit van de PV installatie volledig worden benut. Hierdoor kan zo veel mogelijk energie zelf worden opgewekt wat resulteert in een snellere terugverdientijd van de PV installatie en minder gebruik van energie van het net. Om deze reden worden de huidige mogelijkheden met betrekking tot een geschikt opslag systeem in kaart gebracht en wordt er vooruit gekeken naar ontwikkelingen in de nabije toekomst.

1.2 Belang van het onderzoek

Naast een maatschappelijk belang voor opslagsystemen is er natuurlijk ook een belang voor Movares. Het adviesbureau Movares geeft momenteel veel advies op het gebied van PV installaties. Door het mogelijk afschaffen van de salderingsregeling en de groter wordende belasting op het net is interessant welke mogelijkheid er zijn op het gebied van de opslagmogelijkheden voor de overtollig PV energie. In dit rapport is het resultaat beschreven van het onderzoek naar de huidige en de toekomstige opslagsystemen voor utilitaire gebouwen. Ook zijn deze systemen onderzocht in combinatie met energie zuinige systemen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van LED verlichting op gelijkspanning. Dit onderzoek wordt gedaan voor de adviseurs en ontwerpers van Movares. Movares kan door de resultaten van dit onderzoek haar klanten beter advies geven op het gebied van opslagsystemen in combinatie met PV installatie. Daarnaast is onderzocht op basis van uitgevoerde projecten welke opslagsystemen het best in de praktijk toepasbaar zijn. Dit type onderzoek is waardevol

voor Movares omdat de medewerkers vooral bezig zijn met het ontwerpen en realiseren van projecten. Doormiddel van het onderzoeksverslag kunnen de adviseurs en ontwerpers inzicht krijgen in de mogelijkheden van een opslag systeem. Zonder dat het ten kosten gaat van de tijd voor projecten.

1.3 Opbouw van het onderzoek

Om een onderzoek te kunnen beginnen is een onderzoeksvraag nodig en een duidelijk doel. Aan de hand van deze vraag zijn er deelvragen opgesteld om het onderzoek te verbreden en te komen tot een goed overwogen conclusie. Vervolgens is er gekeken naar hoe het opslag systeem in elkaar zit en hoe plaats dit systeem binnen de energie distributie van een gebouw geplaatst kan worden. Vervolgens is er onderzocht welk type opslag technologieën er nu beschikbaar zijn in combinatie met de specificaties. Na dit onderzoek zijn verschillende leveranciers van opslagsystemen benaderd die de verschillende technologieën aanbieden met elk met hun eigen voor en nadelen. Op basis van de geleverde informatie door deze leveranciers is het beste systeem geselecteerd zowel op kosten/prestaties als op milieu resultaten gericht. Als vervolg stap is het gebruik PV energie in kaart gebracht, en hoe het verbruik van deze energie geoptimaliseerd kan worden in relatie met het distributie net binnen een gebouw. Hierbij is onderzocht of het gebruik van gelijkspanning vanaf het opslag medium naar het verbruikend toestel een besparing oplevert. Na het theoretische deel van het onderzoek zijn de uitkomsten worden toegepast in twee gerealiseerde projecten om een indruk te krijgen van de werking in de praktijk.

2 Zelfstandig gebruiken van opgewekte PV energie

Door het mogelijk verdwijnen/versoberen van de teruglever regelingen en de nieuwe ontwikkelingen zoals de thuisaccu van de autofabrikant Tesla. Is het nuttig te onderzoeken hoe kan de extra opgewekte PV energie efficiënt kan worden opgeslagen voor utilitaire gebouwen. Belangrijke parameters zijn het technisch rendement evenals een aanvaardbare kostprijs ten opzicht energie uit het net zijn.

2.1 Onderzoekvraag

In de toekomst zal het terugleveren aan het net van de energie opgewekt door PV cellen door het sterk toegenomen aanbod niet meer mogelijk zijn. Op welke wijze kan de opgewekte PV energie nu al efficiënt opgeslagen worden en welke nieuwe ontwikkelingen zijn er die de opslag nog efficiënter maken?

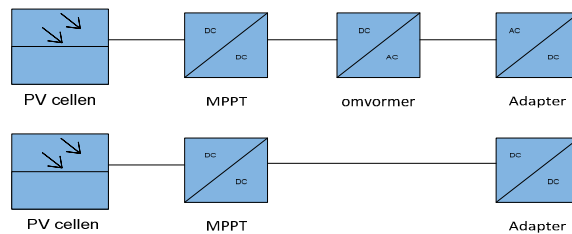
Het rendement is op te delen in verschillende categorieën. Zo is er een elektrisch rendement oftewel de verliezen die optreden in het opslag systeem tijdens het laden/ontladen. Het verlies aan energie door de zogenaamde zelfontlading van het opslag systeem. Daarnaast is er een economisch rendement, de kosten van opslag. De kosten word bepaald door de aanschafprijs, de installatie prijs, het benodigde onderhoud en het aantal laad en ontlad cycli (levensduur) van het opslag medium. Naast deze onderdelen is ook het ecologisch rendement onderzocht. Het ecologisch rendement is afhankelijk van de gebruikte materialen in het opslag medium en de CO₂ uitstoot tijdens de productie, het gebruik en het recyclen.

2.2 Deelvragen

Is het verstandig om de opgewekte gelijkspanning om te zetten naar 230/400V wisselspanning of gebruik te maken van de geleverde DC spanning? Wat zijn hier de verschillen in kosten en rendement?

In Nederland wordt er gebruik gemaakt van 230/400 volt wisselspanning. Deze spanning voedt de verlichting, computers, machines, liften, roltrappen en overige apparatuur. Bij bewerken of transporteren van energie gaat er altijd energie verloren. Zo ook bij het omzetten van energie van de gelijkstroom geleverd door de zonnepanelen naar de gevraagde 230/400 volt wisselspanning. De meeste energie wordt gedissipeerd in de omvormers. Door gebruik te maken van de gelijkspanning geleverd door de PV cellen en het opslag medium om de verbruikers te voeden wordt dit energie verlies voorkomen. Is het mogelijk om de LED verlichting direct aan te sluiten op deze gelijkspanning.

De LED verlichting werkt op gelijkspanning maar ook computers en ander ICT apparatuur werken op gelijkspanning. In de huidige praktijk wordt de opgewekte gelijkspanning van de PV panelen omgezet naar wisselspanning die vervolgens door de adapters of de voorschakelapparatuur wordt terug getransformeerd naar gelijkspanning. Zou het niet efficiënter zijn om direct gebruik te maken van deze gelijkspanning om de omzettingsverliezen te verminderen?



Figuur 1: AC netwerk ten opzichten van een DC netwerk [Chris de Vette 2016]

Welk type opslag medium is geschikt voor de opslag van de energie opgewekt door de PV installaties en wat zijn de voor en nadelen?

Op de markt zijn een aantal verschillende opslagsystemen verkrijgbaar. Hieronder wordt een korte analyse gemaakt van de beschikbare systemen en of ze kunnen worden toegepast als opslag systeem voor PV energie in een utilitair gebouw. Hier wordt gekeken is het mogelijk om de opgewekte energie voor enkele uren op te slaan. Waarna deze afhankelijk van de het verbruik weer kan worden ontladen.

Mechanisch (vliegwielen of hoge druk opslag):

Bij mechanische opslag wordt er gebruik gemaakt van een vliegwiel en een motor/generator. Het vliegwiel wordt aangedreven door de motor en tijdens het ontladen het vliegwiel langzaam afgeremd door de motor die dan werkt als generator. Een andere manier van mechanische opslag is een systeem waarbij lucht of water onder hoge druk opgepompt en tijdens het ontladen word met deze druk een turbine aangedreven die gekoppeld is met een generator die elektrische energie opwekt. [1]

Thermische opslag

Hierbij wordt de elektriciteit omgezet in warmte deze warmte kan worden opgeslagen in verschillende mediums zoals vloeistoffen of zouten. In dit onderzoek wordt gekeken naar het opslag van elektrische energie om deze vervolgens als elektrische energie te gebruiken. Om deze reden zal thermische energie niet worden behandeld.

Elektrochemische opslag (herlaadbare accu, flow accu, super condensators).

Een van de bekendste en meest toegepaste vorm van energie opslag is elektrochemische opslag. Er bestaan verschillende soorten elektrochemische opslagsystemen waarvan de bekendste de accu is. Naast de verschillende soorten accu's zijn er ook zogenaamde super condensators. Die net als de normale condensator de energie voor een korte tijd kunnen opslaan. Deze condensators worden gekenmerkt door hun snelle responsietijd en lange levensduur. Echter is de opslagcapaciteit beperkt in tegenstelling tot de accu. [2]

Chemische opslag (waterstof of gas opslag).

Het chemische opslaan van energie kan op verschillende manieren. Vaak wordt door elektrolyse waterstof gemaakt. De waterstof kan onder druk worden opgeslagen om deze later als brandstof te gebruiken. Omdat vloeistoffen gemakkelijker zijn op te slaan worden deze opslag methode verder verbeterd. Een voorbeeld hiervan is door ammonia te vormen uit waterstof en de in de lucht aanwezig stikstof. Een nadeel is dat deze systemen erg groot zijn.[3]

Om elektrische energie voor enkele uren of meer te kunnen opslaan kan zowel elektrochemische opslag als chemische opslag worden toegepast of enkele vormen van mechanische opslag worden toegepast. Echter de beschikbare mechanische en chemische systemen zijn nu nog te groot om in te zetten als opslagsysteem bij of in een utilitair gebouw. Daarom zal dit onderzoek zich vooral richten op de verschillende soorten elektrodechemische opslag. Deze systemen hebben elk hun eigen rendement, levensduur en prijskaartje. Welke systemen zijn technisch het meest geschikt en hoe rendabel zijn ze om te gebruiken voor deze toepassing? Welke technologieën zijn er in de nabije toekomst beschikbaar?

Wat zijn de voordelen van schaalvergroting voor de aanleg- en onderhoudskosten in relatie van het gekozen opslagmedium?

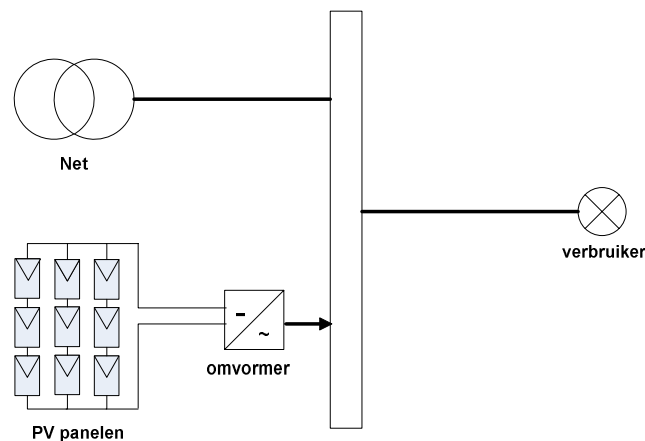
Het energie verbruik bij utilitaire gebouwen is anders dan bij woningen. Bij een woning wordt vooral in de avonduren energie gebruikt omdat mensen overdag op hun werk of op school zijn. De meeste energie in Woning zal in de avonduren worden verbruikt met uitzondering van het weekend. Bij utilitaire gebouwen is dit omgekeerd doordat mensen vooral overdag aan het werk zijn in deze gebouwen. In een kantoor zal de meeste energie worden verbruikt voor verlichting, klimaat regeling en ICT. Als er zuinig wordt omgegaan en de onnodige verbruikers worden uitgeschakeld tijdens afwezigheid, verbruiken alleen de laatste twee energie tijdens de avond en nachturen. Doordat de servers en minimale klimaat regeling actief blijft. Hierdoor wordt er samen maar een kleine hoeveelheid energie verbruikt. Als er overdag veel overproductie plaats vindt zal het een lagere tijd duren voordat deze energie tijdens de avonduren wordt verbruikt. De overproductie kan mogelijk worden aan de omliggende gebouwen. Het kantoorpand zou gekoppeld kunnen worden met een aantal woningen via één opslag systeem. Het onderzoek richt zich daarom ook op de opslag methoden met een voldoende schaalgrootte. Een ander aspect bij deze onderzoeksvraag is de verhouding tussen aanschaf en onderhoud kosten. Sommige opslag methodes zijn relatief duur in aanschaf maar vergen vervolgens geen onderhoud. Waardoor de totale levensduurkosten gelijk of lager kunnen uitkomen. Ook is het mogelijk om meerdere gebouwen gezamenlijk te voorzien van één opslag systeem. Hierdoor kunnen de totale levensduurkosten voor het opslag systeem nog lager uit vallen.

2.3 Aanpak van het onderzoek

Om de bovengenoemde vragen te kunnen beantwoorden is het volgende onderzoek verricht. Als eerste is onderzocht hoe een opslag systeem in elkaar zit welke eisen hieraan zijn gesteld. Door het lezen van verschillende rapporten heb ik een overzicht kunnen maken van welke systemen geschikt worden geacht om te gebruiken in een Utilitair gebouw. Deze systemen zijn verder onderzocht naar hun technische werking en hun specificaties zoals beschreven staat in hoofdstuk 4 en bijlage 1. Daarna is er onderzoek gedaan naar welke leveranciers deze opslag systemen aanbieden en welke specificaties geleverd kunnen worden. Door gesprekken via de mail, telefoon en demonstraties zijn de gegevens in hoofdstuk 5 verzameld om een overwogen keuze te kunnen maken gezamenlijk met de input en feedback van collega's binnen Movares. Een overzicht van de verkregen informatie is weergegeven in bijlage 10. De gemaakte keuzen wordt vervolgens gebruikt voor de voorbeeld projecten. Deze voorbeeld projecten hebben als doel om het gekozen opslag systeem in de praktijk te plaatsen. En een indruk te geven hoe het er uit zal zien.

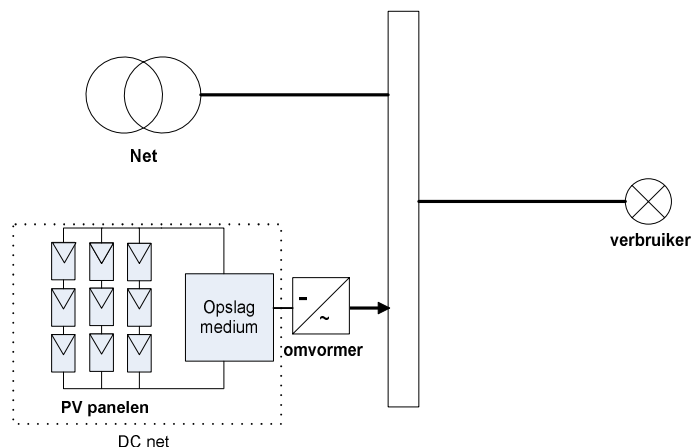
3 Eisen aan en het gebruik van het opslag systeem

Hoe plaats je een opslag systeem in je PV installatie? In Figuur 2 is een schema van een traditionele PV installatie weergegeven. De geleverde energie vanaf de PV installatie wordt aan de schakel- en verdeel inrichting van het gebouw aangeboden. Omdat de PV cellen een gelijkstroom produceren wordt deze eerst omgezet in wisselstroom doormiddel van een omvormer. De overtollig geproduceerde energie wordt teruggeleverd aan het net van de energieleverancier. Als er geen of te weinig PV energie wordt opgewekt wordt de energie vanaf het net geleverd.



Figuur 2: Schema PV installatie [Chris de Vette 2016]

Zoals aangegeven in de onderzoeksvraag zal door de toegenomen PV capaciteit het terugleveren niet meer mogelijk zijn of niet meer rendabel zijn. Met als gevolg dat er minder PV panelen moeten worden geïnstalleerd of dat deze energie zal moeten worden opgeslagen. In het onderzoek is er gekeken naar welke opslag methode een mogelijke oplossing kan bieden. Waarbij in het DC gedeelte een opslag medium wordt toegepast. Het plaatsen van het opslag systeem in het DC gedeelte is gedaan omdat de meeste opslag systeem wordt geladen met gelijkspanning. Een bijkomend voordeel is dat omzet verliezen bij deze keus worden voorkomen. Door de het aantal PV panelen in serie aan te sluiten kunnen omzet verliezen worden voorkomen omdat er dan geen DC omvormer nodig is. In onderstaand Figuur 3 is deze PV installatie met opslag medium weergegeven. Het boven beschreven DC netwerk is omstippelt weergegeven.



Figuur 3: Eenvoudig PV schema met opslag[Chris de Vette 2016]

3.1 Eigenschappen van het opslag systeem

Om een PV installatie met opslag systeem te kunnen selecteren zijn het vaststellen van een aantal uitgangspunten noodzakelijk. Een belangrijke eigenschap is de spanning. Een gemiddelde PV cel bijvoorbeeld de Canadian Solar CS6P-250P levert een spanning van rond de 30 Volt. Om het vermogen over een dunner kabel te vervoeren worden de stromen beperkt door meerdere panelen in serie te schakelen. De opgewekte spanning kan door het in serie schakelen van de panelen worden afgestemd op de benodigde laadspanning voor het opslag medium.

In de meeste gevallen zal het systeem overdag worden geladen en 's nachts worden ontladen zodat een laad/ontlaad cycli van een dag ontstaat. Het aantal cycli zal dan uitkomen op 365 per jaar. Naarmate de opslag capaciteit groter wordt kan het aantal laadcycli verminderen. Daarnaast wordt er gerekend met een operationele levensduur van 20 jaar. De keuze voor dit type zonnepaneel is tot stand gekomen doordat dit type al is gekozen voor de steunpunten in Houten daarnaast is Canadian Solar een betrouwbare leverancier met een groot productie capaciteit. De keuze voor het PV paneel is vooral van belang voor praktijk voorbeelden in hoofdstuk 7. Waarbij het gekozen opslag systeem wordt toegepast in een bestaande installatie, om zo een voorbeeld in de praktijk te weergeven.

4 Soorten opslagsystemen

Er zijn vele soorten opslagsystemen beschikbaar elk hun specifieke eigenschappen, voor en nadelen. In dit hoofdstuk worden deze opslag methodes verder toegelicht. Op basis van de korte analyse in hoofdstuk 2 wordt van de geschikte oplossingen de werkingen en eigenschappen beschreven. Naast de technische eigenschappen en kosten van de accu is de milieu belasting ook van belang. De gebouweigenaar kan specifieke milieu eisen stellen aan het opslag systeem. In bijlage 1 zijn alle mogelijk opslagsystemen beschreven. Hierin wordt van elke opslag medium de belangrijkste eigenschappen beschreven waaronder:

- **Het te behalen aantal laad en ontlad cycli**
Hiermee wordt aangegeven hoe vaak een opslag systeem kan worden geladen en ontladen. De levensduur van het systeem in jaren wordt bepaald op basis van hoe vaak een opslag medium geladen en ontladen kan worden.
- **Het rendement**
Het rendement van een opslag medium wordt bepaald door de verhouding van het laadvermogen ten op zichte van afgegeven vermogen. Hoe hoger het rendement hoe minder energie verloren gaat. De energie gaat verloren in het laad systeem en door zelfontlading van het opslag systeem.
- **De energie dichtheid**
De energie dichtheid van een opslag systeem geeft aan hoeveel energie er kan worden opgeslagen in één liter van het opslag medium. Hoe groter de dichtheid hoe meer energie er op een bepaalde inhoud kan worden opgeslagen.

Aan de hand van bovenstaande eigenschappen kan er één keus worden gemaakt welk opslag type het meest geschikt is voor het opslaan voor energie in een utilitair gebouw. In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de in bijlage 1 beschreven opslag technologieën.

Daarnaast moet er rekening gehouden worden met de netto opslag capaciteit van het opslag systeem. Deze netto opslag capaciteit wordt bepaald door de maximale ontladingsdiepte van het opslag medium. Omdat met een lagere ontladingsdiepte meer cycli kunnen worden behaald. Als een opslag systeem tot maximaal 50% mag worden ontladen zal de effectieve capaciteit de helft van de opgegeven capaciteit zijn. Vanwege marketing overwegingen kiest de leverancier om de capaciteit tot 100% aan te geven. Bij een opslag systeem met een capaciteit van 120kWh bij een ontlading van 100% zal de nuttige capaciteit bij een ontlading tot 50% uitkomen op 60kWh. Mocht er een capaciteit van 120kWh benodigd zijn om een gebruiker te laten functioneren voor een bepaalde tijdseenheid. Zal er dus een systeem van 240kWh bruto moeten worden geïnstalleerd. Dit zelfde principe geldt ook voor een maximale ontlading tot 80% waarbij de effectieve capaciteit dan uitkomt op 96 kWh. Waarbij de flow accu als enige 100 procent ontladen kan worden. Mits er een extern vermogen beschikbaar is voor het voeden van de pompen.

Tabel 2: Overzicht van de accu eigenschappen.

Accu technologie	Aantal cycli	Rendement	dichtheid	Ontlaaddiepte
Loodzuur	500 – 1000	70 - 90%	80 Wh/L	80%
Nikkel cadmium	1500 - 2000	70%	50 - 150 Wh/L	80%
Nikkel metaal hydride	1500 - 2000	70%	140 - 300 Wh/L	80%
Natrium sulfide	2500 – 4000	90%	300 Wh/L	80%
Natrium nikkel chloride	>3000	90%	300 Wh/L	80%
Lithium NMC	1000 – 2000	90 - 98 %	150 - 220 Wh/L	80%
Lithium ijzer fosfaat	1000 – 6000	90 - 98 %	150 - 220 Wh/L	80%
Vanadium flow accu	>10000	70 - 80%	15 - 25 Wh/L	100%
Waterstof bromide flow accu	>10000	70 - 80%	15 - 20 Wh/L	100%

Zoals In Tabel 2 is af te lezen is er een groot verschil in eigenschappen tussen de verschillende opslagsystemen. De grootste verschillen betreffende de capaciteit per liter en het aantal te behalen laad/ontlaad cycli. De enige overeenkomst tussen de accu soorten is de ontladingsdiepte welk over het algemeen tot maximaal 80% mag worden ontladen. Met uitzondering van de flow batterij welk volledig kan worden ontladen er is hier echter een externe spanning voor de pomp benodigd. Daarnaast kan er worden gekozen voor een lagere ontladingsdiepte tot bijvoorbeeld 50%. Het voordeel hierbij is dat het opslag systeem dan langere meegaat. Door het opslag systeem telkens tot 50% te ontladen is het aantal totale ontlad cycli over deze periode kleiner. Bij twee ontladingen tot 50% zal het opslag systeem dus één keer totaal ontladen zijn.

5 Beschikbare opslagsystemen

Nadat opslag soorten zijn onderzocht is aan verschillende leveranciers gevraagd of zij informatie konden leveren van de opslag types. In onderstaande Tabel 3 en Tabel 4 zijn de kosten en specificaties van de verschillende systemen opgenomen. Om een objectieve vergelijking tussen de verschillende leveranciers te kunnen maken is er gekozen voor een opslag systeem die een vermogen kan leveren van 50kW en beschikt over een opslag capaciteit van 100 kWh. Voor het theoretische levensduur van het opslag systeem wordt 20 jaar aangenomen.

Hieruit zijn twee vergelijkingen gemaakt voor het beste systeem op basis levensduur/kosten en op basis van de milieu belasting. Omdat naast de economische en technische redenen voor de aanschaf van een opslag systeem, kan het ook een wens van de klant zijn om een zo duurzaam mogelijk gebouw te creëren. Waarbij naast zowel de technische eigenschappen en kosten ook de duurzaamheid van het opslag systeem een rol speelt. Hierbij horen de vragen hoe schadelijk zijn de gebruikte stoffen. En hoe groot is de milieu belasting tijdens de productie en het recyclen van het opslag systeem?

Tabel 3: Technische eigenschappen per opslag systeem.

Verkrijgbaarheid	producent	opslag type	aantal kW	aantal kWh	energie dichtheid Wh/l
verkrijgbaar	Allcell[4]	Litium NMC	30 - 100 -250 - 500	20 – 81 – 181 - 321	-
verkrijgbaar	Aquion[5]	Zout water	8	20	20
goed verkrijgbaar	Byd[6]	Litium	50 - 250	60 - 250	-
nog in de ontwikkel fase	Elestor ²	Waterstof bromide flow battery	50	-	40W/kg
goed verkrijgbaar	Fiamm[7]	NaNiCl ₂	25	90	83
verre ontwikkelfase	Gildemeister[8]	Vanadium redox flow	30	130	-
verre ontwikkelfase	Imergy[9]	Vanadium redox flow	5 - 30 - 250	120 - 200	-
goed verkrijgbaar	Nilar[10]	Nikkel metaal hydride	1.2 tm 100	1.2 - 86.4	-
goed verkrijgbaar	Saft[11]	Lithium ijzer fosfaat	50	50	135
goed verkrijgbaar	Secomec pcs[12]	Lithium	33 - 66 - 100	30 - 38	135

² Specificaties op basis van het 1kw prototype de uiteindelijke specificaties kunnen nog afwijken.

Tabel 4: Financiële eigenschappen per opslag systeem.

producen ten	kosten per kwh	aantal laad/ontlaad cycli	efficiëntie	verwachten levensduur (jaren)	Milieu
Allcell[4]	€ 720,00	3000	90,00%	10	redelijk veilig
Aquion[5]	€ 500,00	3000	90,00%	12	veilig
Byd[6]	€ 900,00	3000	90,00%	12	redelijk veilig
Elestor ³	€ 1.000,00	>10000	80,00%	15 jaar (cell module)	onbekend
Fiamm[7]	550-900	4000	90,00%	16	redelijk veilig
Gildemeis ter[8]	€ 1.538,00	>10000	80,00%	>20	onbekend
Imergy[9]	€ 1.000,00	>10000	70,00%	>20	onbekend
Nilar[10]	€ 800,00	2000	NB	8	redelijk veilig
Saft[11]	€ 600,00	6000	90,00%	20	redelijk veilig
Secomec pcs[12]	550-900	6000	90,00%	20	redelijk veilig

legenda

	goed		richtprijs
	gemiddeld		prijsschatting
	matig		opgegeven prijs

In bovenstaande tabellen 3 en 4 zijn de specificaties van een aantal beschikbare opslagsystemen weergegeven. Waarbij de beste specificaties met groen zijn weergegeven, de gemiddelde specificaties met geel en de matige specificaties met rood. Bij een levensduur van 20 jaar wordt het systeem ongeveer 6000 geladen en ontladen. Een opslag systeem van fabrikant Aquion zal dus na 10 jaar moeten worden vervangen voor een nieuw exemplaar. De flow accu's bezitten de langste levensduur maar zijn nog niet breed beschikbaar. Een lithium ion systeem van fabrikant Saft kan zowel 6000 laad/ontlaad cycli behalen en is goed verkrijgbaar op de markt.

5.1 Kosten analyse

De aanschafprijs van een systeem is een van het belangrijkste onderdeel om de rendabiliteit van een systeem te kunnen bepalen. De opdrachtgever wil een reële return on investment (R.O.I) of te wel een reël rendement op de investering. De opslagsystemen verschillen onderling nogal op het gebied van het vermogen en de opslag capaciteit. Het te leveren vermogen van een lithium accu wordt door de fabrikant vastgesteld en kan enkel worden verhoogd door het parallel schakelen van meerdere accu's. Om de systemen goed met elkaar te vergelijken is ervoor gekozen om de kostprijs per kilo Watt uur te berekenen. Deze is berekend aan de hand van de onderstaande formule.

$$\text{kosten per kWh opslag capaciteit} = \frac{\text{aanschafkosten} + \text{installatiekosten} + \text{exploitatiekosten}}{\text{aantal kWh}}$$

³ Specificaties op basis van het 1kw prototype de uiteindelijke specificaties kunnen nog afwijken.

Nadat met de bovenstaande berekening is de kostprijs per beschikbare capaciteit (kWh) is bepaald kan de kostprijs per KWh worden berekend. Met de onderstaande formule is kostprijs per opgeslagen kWh te berekenen.

$$\text{kostprijs per kWh opgeslagen energie} = \frac{\text{kostprijs per kWh opslag capaciteit}}{\text{aantal laad/ontlaad cycli}}$$

5.2 Wanneer is een opslag methode kosten efficiënt?

De kostprijs van energie voor grootverbruikers is minder eenvoudig te bepalen dan voor huishoudens. Deze kostprijs is zowel afhankelijk van de afnamehoeveelheid als de locatie. Daarnaast kunnen groten bedrijven zoals de NS afspraken maken over de te betalen prijs. De kostprijs voor stroom inclusief de overheidsheffingen en exclusief de leveringskosten van de netbeheerder zijn voor dit voorbeeld geschat op 12 eurocent per kWh. De kosten per kWh voor de PV installatie hangt af van de grootte en het vermogen/rendement van de gekozen panelen. De kWh prijs voor een PV installatie van 50kWp was in 2013 10 eurocent[13]. Door de prijsdaling van afgelopen twee jaar zal de huidige prijs echter lager uitkomen geschat op ongeveer 8 eurocent. Om de opslag van energie zo rendabel mogelijk te maken moet de opbrengsten voor het opslaan op het zelfde niveau of lager liggen als het terugleveren aan het net om de investeringskosten terug te verdienen. Dit wil zeggen dat als het 8 eurocent kost om PV energie op te wekken er 4 cent overblijft voor het opslaan van energie. Als het opslaan van energie over de levensduur van het medium 4 eurocent kost zal het aan het eind van de levensduur zijn afbetaald. Als het opslaan echter maar 3 cent kost zal voor elke opgeslagen kWh 1 cent worden verdiend. Hierdoor is de geïnvesteerde koste eerder terug verdiend waarna een winst zal worden geboekt.

In gebouwen waarin installaties zijn opgesteld die een UPS nodig hebben kunnen de extra kosten voor het UPS worden bespaard. Ook de prijsontwikkeling in de markt van de opslagsystemen is van belang, evenals de prijs van een PV installatie. De aanschafkosten van een PV installatie zijn in de afgelopen jaren flink is gedaald. De verwachting is dat ook de aanschafprijs van lithium accu's verder zal dalen. Sommige systemen zijn nog in ontwikkeling waardoor de prijs nog geen stabiel punt heeft bereikt. Bij nieuwe systemen is de aanschafprijs aan het begin hoog zal als het systeem succesvol is, later sterk dalen door de massaproductie. Een eventuele hogere prijs hoeft niet direct te betekenen dat het systeem niet haalbaar of verkoopbaar is. Voor duurzame energie is men bereid meer te betalen. Veel gebouw eigenaren vinden een bepaalde doelstelling of uitstraling op het gebied van duurzaamheid belangrijk en zijn daarom bereid extra te investeren.

5.3 Conclusie van het beste beschikbare opslag systeem

Voor een installatie met een vermogen van 50 kW en een capaciteit van 100 kWh kunnen de volgende kosten worden toegekend. De kosten zijn gebaseerd op de aanschaf van het opslag systeem hierin zijn geen installatie kosten of kosten voor de inverters meegenomen. Uitgaat wordt dat de installatie kosten en kosten voor de inverters voor alle opslagsystemen op een gelijk niveau liggen. Mits er geen specifieke brandveiligheid of ondergrondse installaties hoeven worden aangelegd.

Tabel 5: Kosten voor een opslag systeem van 50 KW en 100 kWh.

producent opslag medium	prijs	opmerking
Allcell	€ 72.500,00	725 genomen
Aquion	€ 50.000,00	
Byd	€ 90.000,00	
Elestor	€ 100.000,00	
Fiamm	€ 72.500,00	
Gildemeister	€ 400.000,00	260 kWh capaciteit
Imergy	€ 100.000,00	
Nilar	€ 80.000,00	
Saft	€ 60.000,00	
Secomec pcs	€ 72.500,00	725 genomen
		richtprijs
		prijsschatting
		opgegeven prijs

Uit de bovenstaande tabel 5 valt op te maken dat het systeem van fabrikant Gildemeister aanzienlijk duurder is dan de systemen van de overige leveranciers. Dit is te verklaren doordat zij alleen een 30 KW/130 kWh systeem produceren. Waarbij voor een vermogen van 50 KW twee van deze systemen nodig zullen zijn.

Voor projecten die op de korte termijn worden gerealiseerd kan het beste worden gekozen voor een lithium opslag systeem. Omdat deze technologie ver is door ontwikkeld en deze direct kan worden toegepast. Hierdoor is het duidelijk welke life cycle kosten er aan het systeem verbonden zijn.

Een reden om te kiezen voor de fabrikant Saft is dat het aantal laad/ontlaad cycli van de lithium accu's hoog is vergeleken bij de overige fabrikanten. Hierdoor gaat de accu langer mee waardoor de eindelijk kosten lager zijn. De accu's van de diverse fabrikanten zijn onafhankelijk getest door het *Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe van de RWTH universiteit Aken, Duitsland*. Het hoge aantal laad/ontlaad cycli wordt behaald voor het gebruik van koolstof als contact materiaal.

Daarnaast kan vanuit een duurzame bril gekeken worden naar het opslag systeem. Hierbij zijn niet alleen de kosten en levensduur van belang maar ook de milieu belasting over de levensduur van het opslag systeem. Deze levensduur kan worden opgedeeld in drie stappen:

- Milieu belasting tijdens productie en transport.
- Milieu belasting tijdens de productieve levensduur van het opslag systeem.
- Milieu belasting na de levensduur (hoe goed is het systeem recyclebaar)

De belasting tijdens productie ontstaat door het fabriceren van de het opslag systeem en het winnen en vervoeren van de stoffen zoals lithium of vanadium. Waarvan de voorraad op aarde beperkt is. Daarom is het terugwinnen van deze stoffen tijdens het recyclen van deze systemen van groot belang is. Zo kunnen deze stoffen worden hergebruikt in nieuwe opslagsystemen.

Een van de meeste duurzame opslagsystemen is de Zout water accu. De variant van de fabrikant Aquion die zelfs het Cradle to Cradle certificaat heeft ontvangen als enige batterij soort in de wereld. Cradle to Cradle is een non-profit instituut die zich inzet voor duurzame ontwikkeling. De reden dat het certificaat is ontvangen is dat er geen schadelijke materialen worden toegepast. Zo Wordt de accu opgebouwd uit zout

water, een membraan van katoen en een collector van roestvrij staal. Waarbij deze accu soort schikt maakt als meest duurzame oplossing. Dit gaat echter ten kosten van de efficiëntie en energie dichtheid van het opslag systeem. Waardoor hiervoor meer opslag ruimte voor het opslag system benodigd is.

Uit onderzoek is gebleken dat de overige zout accu's goed scoren op hun milieu vriendelijkheid gevolgd door de lithium accu's. De lood en nikkel accu's scoren hiertegen beduidend slechter mede door hun lage efficiënte en kortere levensduur.[14] Vooral het gebruik van metaal en het bewerken hiervan zorgt voor een milieu impact. Dit kan worden verminderd door het recyclen en duurzamer verwerken van het gebruikte metaal.

5.4 Opslagsystemen op de langere termijn.

Op de langere termijn is het gebruik van flow accu's een goede keus. De kostprijs wordt nu voor 30 procent bepaald door de elektrolyt en de opslag en voor 60 procent door de cel stapel en de pompen. De overige 10 procent bestaat uit de behuizing, aansluitmateriaal en zo voort. Het elektrolyt en de opslag tanks hebben een levensduur onafhankelijk van het aantal cycli. De totale levensduur van het systeem wordt bepaald door de kwaliteit van de opslag tanks van het elektrolyt. Het zelfde geldt voor de gebruikte vloeistofpompen waarbij de levensduur afhankelijk is van de kwaliteit van de pomp. Hiernaast is de levensduur ook afhankelijk van het membraan waarin tevens ook de grootste ontwikkel mogelijkheid zit. Door bijvoorbeeld de fabrikant Elestor wordt onderzocht hoe deze levensduur kan worden verlengd, en hoe het membraan zo effectief mogelijk gebruikt kan worden. Door het analyseren en verbeteren van de stromingsprofielen moet het membraan effectiever worden. Zoals aangegeven wordt 30 procent van de prijs bepaald door het elektrolyt. Voor zeldzame materialen als vanadium is deze prijs over de lange termijn onzeker. Om die reden hebben sommige fabrikanten gekozen voor goedkopere materialen bijvoorbeeld waterstof en bromide. Waarbij vanadium ongeveer 10 keer duurder is van bromide. Bij de huidige systemen is dit verschil nauwelijks merkbaar en zijn beide systemen even duur omdat het merendeel van de prijs wordt bepaald door het membraan en de overige systeem elementen.

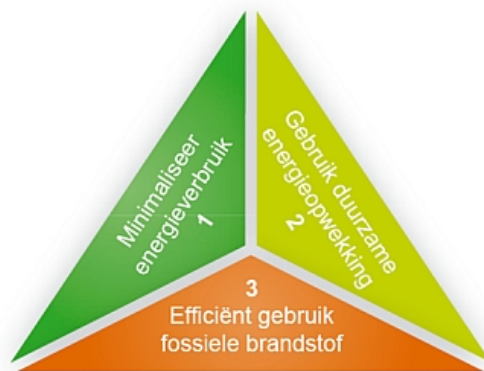
Men verwacht dat de prijs van flow accu's verder zal dalen. Om de pomp of het membraan te kunnen vervangen moet rekening worden gehouden met de schadelijkheid van de stoffen. De broomtoevoer moet doormiddel van een klep worden afgesloten. Waarna de pomp en het membraan moeten worden doorgespoeld met demiwater. Vervolgens kunnen deze onderdelen worden vervangen. Mocht het onverwachts toch mis gaan vormt het broom geen dampen omdat een 'complexing agent' is toegepast. Het broom reageert met deze stof waarna het een veilige verbinding aan gaat. Afgezien daarvan zal de monteur de nodigde veiligheidsvoorziening moeten treffen zoals een veiligheidsbril en labkleding.

5.4.1. Verwachte prijs verloop

De prijs van PV panelen is de laatste jaren flink gedaald. Dit wordt ook verwacht voor de prijs van opslagsystemen. Investeringsbank Lazard verwacht dat de prijs van lithium accu's binnen 5 jaar met ongeveer 47 procent zal gaan dalen. Deze daling zo verwacht de Investeringsbank zal worden veroorzaakt door de grootschalige productie, gebruik van goedkopere materialen en verbeteringen in de chemische samenstelling en ontwerp van de lithium accu's. Ook deze investeringsbank verwacht dat prijs van flow accu's met ongeveer 38 procent zal gaan dalen. Dit door het verbeteren van de productie en het ontwerp en het reduceren van de materiaal kosten[15]. Momenteel is het gebruik van lithium goedkoper door de grootte productiecapaciteit en grotere concurrentie. Echter is er een grootte kans dat over 10 tot 15 jaar flow accu's goedkoper zijn geworden dan Lithium accu's omdat deze technologie zich nog in een vroeg stadium van ontwikkeling bevindt. Hierdoor kan deze technologie nog verder worden door ontwikkeld om de kosten en prestaties te verbeteren.

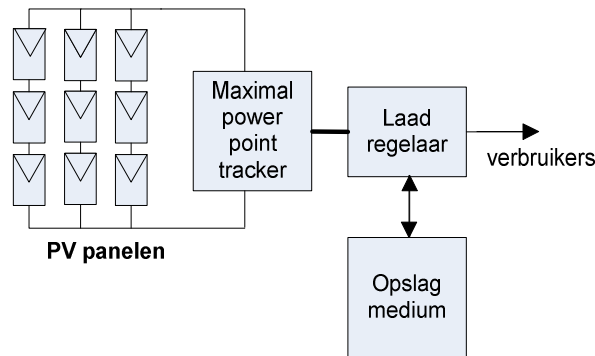
6 Effectief gebruik maken van het opslag systeem

Om het gehele systeem te optimaliseren door het rendement te verhogen worden er twee concepten uitgewerkt. Echter er ontstaan altijd verliezen in de vorm van omzet verliezen of transport verliezen. Hierbij is het doel deze verliezen zo veel mogelijk te verminderen. Uitgangspunten daarbij zijn dat de concepten praktisch zijn, om zo het toepassen van een PV installatie verder te bevorderen. Het systeem bestaat als basis uit de PV panelen het opslag medium die het vermogen levert aan de verbruikers (Figuur 5). Daarbij is ook rekening gehouden met de trias energetica (Figuur 4). In de concepten is met alle drie de punten rekening gehouden. Door het opslaan van de duurzaam opgewekte energie is er minder energie uit het net benodigd. Door het opslag systeem wordt het mogelijk om de energie te gebruiken op een tijdstip waarop de PV cellen geen energie leveren. Door het gebruik van de opgewekte gelijkspanning voor het voeden van de LED verlichting worden de omzetverliezen die ontstaan bij het omvormen van de spanning voorkomen. In de huidige situatie wordt de opgewekte gelijkspanning door de PV installatie omgezet naar wisselspanning die in de LED armaturen weer wordt omgezet naar gelijkspanning.



Figuur 4: Trias Energetica[16]

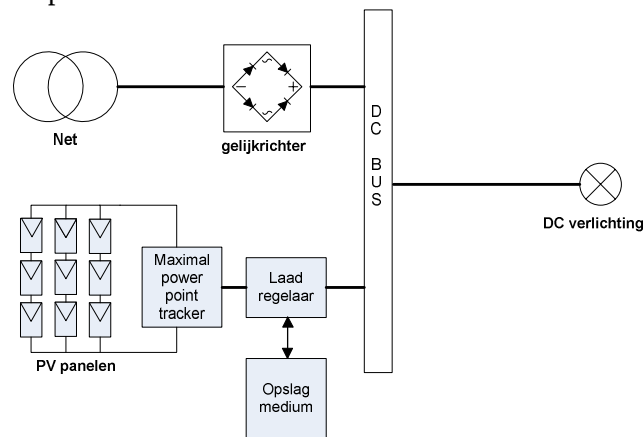
Zoals afgebeeld in Figuur 5 zijn de PV panelen voorzien van een Maximal PowerPoint Tracker (MPPT) die continu het maximale uitgangsvermogen probeert te bereiken. Dit gebeurt bijvoorbeeld door de spanning constant te houden en de stroom te variëren. Dit vermogen wordt door de laadregelaar verdeeld voor de gebruikers en voor het laden van het opslag medium. Als er te weinig vermogen wordt geleverd door de PV panelen zal de laadregelaar het opslag medium ontladen. Doordat het vermogen en de spanning van de PV panelen kan variëren zal de laadregelaar ook de functie van spanningsstabilisator moeten vervullen of zal deze extern moeten worden geplaatst om te zorgen voor een stabiel spanningsniveau voor de eindgebruikers.



Figuur 5: PV systeem met opslag medium[Chris de Vette 2016]

6.1 Concept enkel gelijkspanningsgebruik

De PV panelen wekken een gelijkspanning op. Het opslag systeem wordt geladen met gelijkspanning en levert gelijkspanning. De LED verlichting en ICT apparatuur wordt aangesloten op het gelijkspanningsnet. Het onderstaande schema is gebaseerd op dit concept.

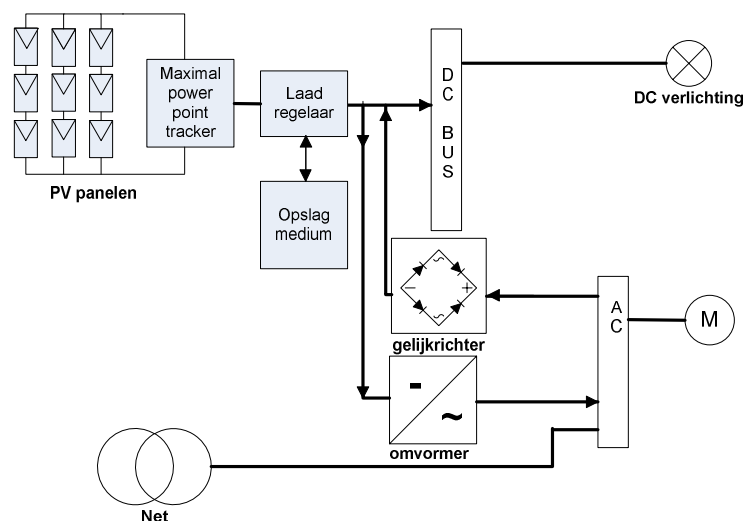


Figuur 6: Gelijkspanning concept[Chris de Vette 2016]

Om dit systeem te realiseren is meer nodig dan alleen het opslag systeem en de PV installatie. Het opslag medium moet worden voorzien van een lader regelaar om te bepalen of het systeem wordt geladen, niet geladen of moet worden ontladen. In het ideale geval worden zowel de opgewekte spanning door de PV panelen als de laad/ontlaadspanning van het opslag medium met elkaar afgestemd door de aanpassen van het aantal serie/parallel geschakelde panelen. Hierdoor ontstaan geen verliezen ten gevolgen van het omzetten van spanningsniveaus.

6.2 Concept combinatie van wisselspanning en gelijkspanning

Het laatste concept is een combinatie van de eerder genoemde systemen waarbij de gelijkstroom vanaf de PV cellen direct wordt gebruikt voor DC gebruikers in dit voorbeeld de verlichtingsarmaturen. Voor de gebruikers die niet op gelijkspanning werken wordt de spanning omgezet in wisselspanning doormiddel van de omvormer. Het voordeel is dat hier minder omvormers noodzakelijk zijn dan bij een standaard PV installatie. Waarbij de gelijkstroom wordt omgezet in wisselstroom zodat verbruikende apparaten en machines als vanouds kunnen blijven werken. Maar er wel op een efficiënter manier gebruik gemaakt kan worden van de PV panelen en het opslag systeem.



Figuur 7: Combinatie tussen gelijkspanning en wisselspanning[Chris de Vette 2016]

Om het opslag systeem te kunnen laden is een laad regelaar nodig. Onafhankelijk van het opslag systeem regelt hij de laad en ontlad spanning en stroom. Sommige opslag types zijn niet geschikt om volledig te ontladen. Hierbij heeft de laad regelaar de functie om het opslag systeem hier tegen te beschermen. Bij het ideale systeem worden zowel de opgewekt DC spanning, de DC bedrijfsspanning en de DC ingangsspanning van de inverter op elkaar af gestemd. Hierdoor worden de overzet verliezen voorkomen.

6.3 DC netwerk

In twee beschreven concepten wordt er gebruik gemaakt van een gelijkstroomnet (DC net). Veel apparaten werken tegenwoordig op gelijkspanning. In de huidige situatie worden deze apparaten gevoed door 230 volt wisselspanning waardoor er een omvormer nodig is. Dit is ook het geval bij LED verlichting. Het voordeel van LED verlichting is dat het langer meegaat en minder vermogen verbruikt bij de zelfde verlichtingssterkte. Omdat LED verlichting werkt op een gelijkspanning kan deze eenvoudig worden aangesloten op een DC netwerk. Hiernaast heeft het gebruik van een DC netwerk nog meer voordelen. Twee van de voordelen zijn dat bij het gebruik van een DC netwerk er geen rekening hoeft gehouden te worden met een arbeidsfactor en effectieve spanning. Deze effectieve spanning wordt veroorzaakt doordat bij wisselspanning het spanningsniveau continu varieert. De effectieve spanning is het kwadratisch gemiddelde van de maximale amplitude. Uit onderzoek is gebleken dat je met het gebruik van gelijkspanning een besparing van 5% kan behalen of zelfs 7% met gebruik van een PV installatie[17]. Zoals al eerder is aangegeven moet er het behalen van een optimaal rendement de opgewekte gelijkspanning en de te gebruiken gelijkspanning op elkaar zijn afgestemd. Echter is de te behalen besparing in de praktijk ook afhankelijk van de gekozen systemen. Fabrikanten zullen zowel AC als DC systemen ontwikkelen met een verbeterd rendement om te kunnen concurreren met hun concurrenten.

6.3.1. Wat is het beste spanningsniveau?

De aderdiameter van een kabel is afhankelijk van de stroom en lengte van de kabel. In het algemeen geldt bij een hogere spanning wordt de stroom lager en daardoor kan de aderdiameter van de kabel kleiner zijn. Een dunnere kabel is goedkoper omdat hier minder koper benodigd is. Daarom is in het verleden gekozen om gebruik te maken van 220V wisselspanning. Sinds het bestaan van de Europese unie en de toegenomen internationale samenwerking is er afgesproken om een gezamenlijk spanningsniveau te hanteren. Omdat er in Engeland al gebruik werd gemaakt van 240V en in de overige landen gebruik werd gemaakt van 220V is er als middenweg voor 230V gekozen. Omdat in de eisen is opgenomen dat er een spanningsafwijking van +6% en -10% mag zijn kan ieder land nog zijn oude spanningsniveau hanteren. [18]

Het zelfde geldt voor gelijkspanning 12V of 24V die in de auto industrie wordt gehanteerd voor de elektrische apparatuur. En voor het energie transport over lange afstanden wordt juist gebruik gemaakt van hoge gelijkspanning (HVDC) zoals 380 kV. Een reden voor het kiezen van een hogere spanning is het verlagen van de benodigde stroom om zo het vermogensverlies te voorkomen.

$$P_{loss} = I^2 \times R$$

Met P_{loss} = vermogensverlies in Watt; I = stroom in Ampère; R = geleiderweerstand in Ohm

Hoe kleiner de stroom is hoe groter de weerstand van de kabel mag zijn om hetzelfde vermogensverlies te behalen. Het voordeel van de ruimere weerstandsmarge is dat de kabel zowel langer en of dunner kan worden uitgevoerd. Dit door dat de weerstand berekend wordt doormiddel van onderstaande formule.

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

Met R = geleiderweerstand in Ohm; l = kabellengte in Meter; ρ = specifieke weerstand geleidermateriaal in Ohm x Meter; A = diameter van de kabel in vierkante millimeter

Om een keuze te maken welke spanning het meest efficiënt is om te gebruiken in een gelijkspanningsnet moet er worden gekeken naar de benodigde kabeldiktes. Het liefste worden dunne kabels gebruikt, deze zijn goedkoper omdat er minder koper nodig is. In de NEN 1010 wordt een spanningsverlies van maximaal 5 procent aangegeven. Bij een 12 volt systeem betekenen dit dat het spanningsniveau 0.6 Volt mag zakken. In tegenstelling tot een systeem van 400 Volt waarbij de spanning 20 Volt mag zakken om binnen de 5 procent te blijven. Hierdoor is het rendabel om bij langere afstanden te kiezen voor een hogere spanning. Voor gelijkspanning is er niet zoals bij wisselspanning een vast waarde zoals het huidige lichtnet van 230 Volt.

Als er wordt uitgegaan van 12 Volt led verlichting moet er rekening worden gehouden met de stromen. Om niet overal een dikke kabel aan te leggen kan er voor worden gekozen gebruik te maken van lokale verdelers die dicht bij de armaturen worden aangebracht. Zodat met een dikke kabel het vermogen wordt aangevoerd waarna de armaturen gevoed worden met een dunne kabel. Uitgaande van een LED armatuur met een opgenomen vermogen van 12 Watt bij een spanning van 12 Volt. Kan op een 2.5mm² kabel zeven armaturen worden aangesloten met een maximale lengte van

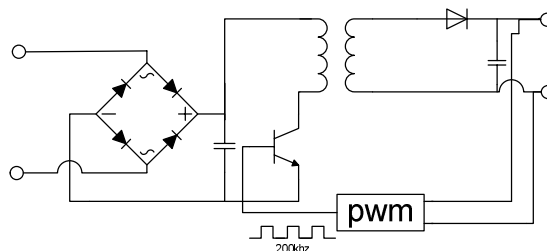
ongeveer 11.5 meter (zie bijlage 5). En mocht er worden gekozen voor een dikte van 4mm^2 kan deze worden verlengd tot 18.5 meter.

Zowel nationaal als internationaal lopen een aantal test projecten. Waarbij spanning tussen de 300 en 400 Volt worden gebruikt. Een voorbeeld hiervan is de Stichting gelijkspanning. In de test projecten wordt gebruik gemaakt van een spanning van 350 Volt ten opzichten van 0 Volt. Waarbij ze uitgaan van de spanningen van -350 en +350 Volt waarbij het verschil uitkomt op 700 Volt. Dit zelfde principe gebruiken ze voor langere distributie echter maken ze hier gebruik 1400 Volt bestaande uit de spanningen $-700 / +700 = 1400\text{V}$.⁴

Bij het internationale project *DC Components and Grids (DCC-G)* wordt er uitgegaan van een spanning van $-380 / +380$ Volt. Deze keuze is tot stand gekomen doordat deze spanning als standaard wordt gebruikt in data centra. Bij dit onderzoeksproject zijn verschillende nationale als internationale bedrijven en instituten aangesloten waaronder Siemens, Philips en de TU Eindhoven en wordt er onderzoek gedaan naar gelijkstroom componenten.⁵

6.3.2. Gelijkspanningsverlichting

Binnen een kantoorgebouw is de verlichting één van de grootste verbruikers. Om dit verbruik te verminderen wordt tegenwoordig veel LED verlichting toegepast. LED verlichting gaat langer mee en is zuiniger dan de fluorescentielamp waaronder de tl-buis of de spaarlamp. Een led lamp werkt op gelijkspanning. Om een led lamp aan te sluiten op het gebruikte 230 volt wisselspanningnetwerk moet er gebruik worden gemaakt van een zogenaamde LED driver. Een LED driver is elektronica die de 230V AC omzet in de 12 V gelijkspanning. Een LED kan ook worden gedimd hierbij wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van pulse with modulation (PWM). Bij deze technologie wordt de LED snel aan een uitgeschakeld waarbij de interval hiertussen de felheid van de LED bepaald. Een led driver heeft het zelfde principe als een geschakelde voeding. In Figuur 8 is een eenvoudig schema van een LED driver weergegeven. Normaal wordt er op de ingangszijde (links) een 230 Volt wisselspanning aangeboden die wordt gericht en vervolgens wordt er doormiddel van een transistor pulsjes word aangeboden aan de transformator die deze naar het gewenste niveau transformeert. Wanneer er gelijkspanning wordt aangeboden gebeurt het zelfde echter heeft de gelijkrichter hier geen functie. Bij een kwalitatief goede led driver worden ook een arbeidsfactor compensatie en filters toegepast. In theorie kunnen deze circuits worden weggelaten en blijft enkel de geschakelde voeding zonder gelijkrichter over.



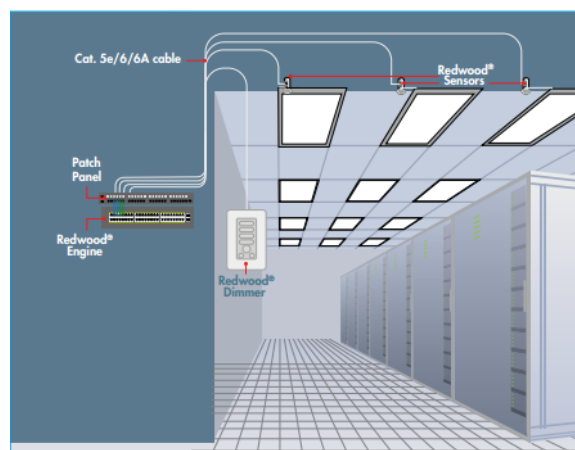
Figuur 8: Een eenvoudige led driver[Chris de Vette 2016]

⁴ <http://www.gelijkspanning.org/nl/>

⁵ <http://www.dcc-g.eu/>

Alle LED drivers van Philips kunnen worden gevoed zoals hierboven beschreven met een spanning van 165 tot 275 Volt.

Een andere manier voor gelijkspanningsverlichting is via Power over Ethernet (PoE). Zoals afgebeeld in Figuur 9 wordt lokaal een patchkast geplaatst uit deze patchkast loopt een ethernet kabel naar de verlichting. De ethernet kabel voedt het armatuur en levert de data aansluiting. De spanning op de kabels bedraagt ongeveer 50 Volt waardoor de stromen zoveel mogelijk worden beperkt. Doordat de verlichtingsarmaturen zijn aangesloten op het ICT netwerk kan deze worden uitgerust met verschillende slimme technieken. Zo kunnen de armaturen worden voorzien van verschillende sensoren zoals temperatuur, luchtvochtigheid en aanwezigheid sensoren. Daarnaast zijn er verschillende systemen ontwikkeld om het licht verbruik te regelen om zo het comfort te verbeteren en energie kosten te besparen. Een van de functies stelt de gebruiker instaat om het licht op zijn of haar werkplek individueel te regelen met behulp van een Smartphone. Zo kan de lichtsterkte worden aangepast aan de werkzaamheden en behoeftes van de gebruiker.



Figuur 9: Schematisch overzicht van Power over Ethernet verlichting[19]

6.3.3. Gelijkspanningsapparatuur

Overige apparatuur die op gelijkspanning werken zijn onder andere apparaten als computer, televisies, telefoons/tablets. Veel van deze apparaten worden geladen of aangesloten met een USB kabel. Standaard werkt een USB bus op een spanning van vijf Volt. Na de invoering van de USB 3.1 standaard kan het geleverde vermogen oplopen tot 100 Watt bij een spanning van 20 Volt en een stroom van vijf ampère.[20] Met de USB 3.1 standaard is het mogelijk om een monitor of laptop te voeden. Dit wordt momenteel gebruikt om de laptop met een externe monitor te verbinden om zowel de beeldinformatie te versturen als de laptop op te laden als de monitor op het lichtnet is aangesloten[21]. Het zelfde is mogelijk met Power over Ethernet het voordeel van deze methode is dat het huidige ethernet netwerk kan worden gebruikt. Hierdoor kan de stroom voorziening en ethernet voorziening voor een werkplek worden gecombineerd.

6.3.4. Installatie van een DC en AC netwerk

Bij het aanleggen van een DC netwerk moet met een aantal punten rekening worden gehouden. In de NEN 1010 staan geen specifieke kabeleisen genoemd, de gekozen kabelkleur mag zelf worden bepaald echter moet duidelijk staan aangegeven dat het om een DC kabel gaat. Dit zelfde geldt voor de te gebruiken wandcontactdozen waarbij

duidelijk moet aangegeven dat het om een DC variant gaat en kan eventueel in een aparte uitvoering worden gebruikt.

Voor het DC netwerk zijn speciale aardlekschakelaars en zekeringen beschikbaar die ook worden toegepast in de PV systemen. De PV installatie moet worden voorzien van een lastscheider. Doormiddel van de lastscheider kan de installatie worden ontkoppeld van de omvormer of het DC netwerk. In de NEN wordt gezegd dat de PV lastscheider aan de hand van de volgende gegevens moet worden gedefinieerd. Om de grootte van de scheider te dimensioneren moet worden uitgegaan van de volgende formule:

$$1,1I_{sc \max \text{ array}} \leq I_n \leq I_z$$

Met I_n = de nominale stroom en I_z = de continue hoogste toelaatbare stroom

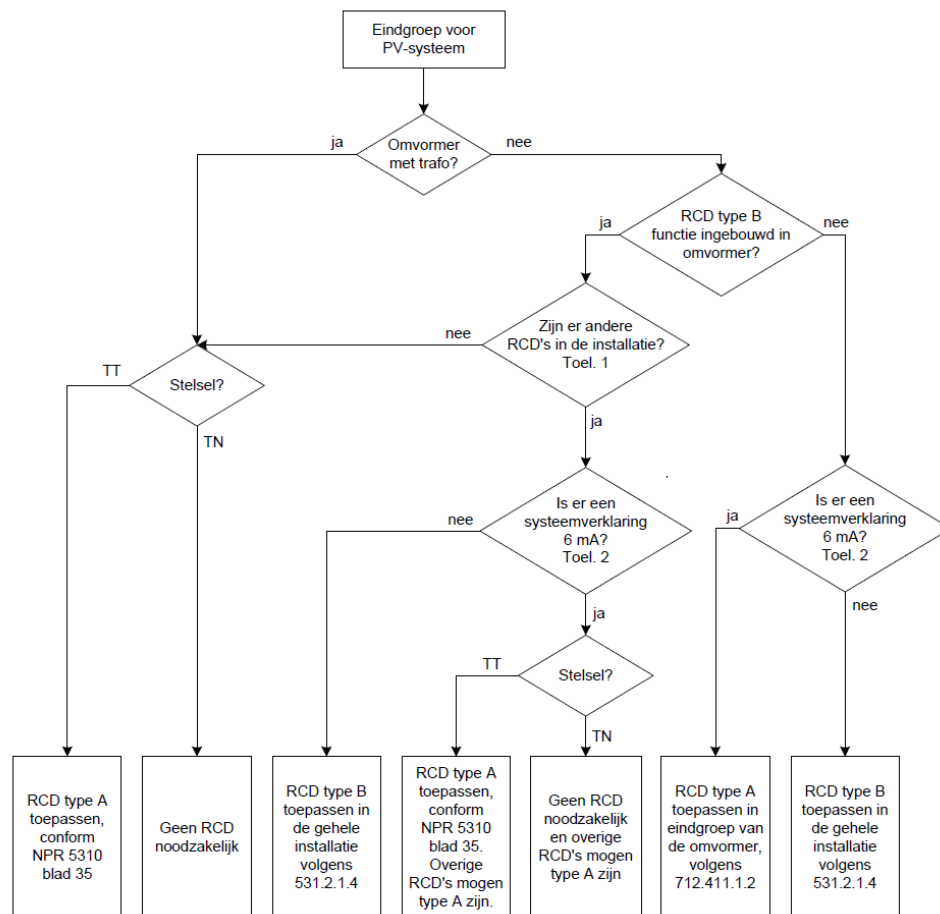
Voor het aansluiten van de PV panelen zijn er speciale kabels ontwikkeld. De mantel van deze kabels zijn goed bestand tegen de weersinvloeden als UV, straling, vocht en ozon. Deze DC kabels hebben over het algemeen de standaard kleuren waarbij voor de plus pool een rode kabel wordt gebruikt en voor de min pool een blauw of zwarte kabel wordt gebruikt. Als de PV installatie meer dan twee parallel aangesloten strengen bevat moet er een beveiligingstoestel worden geplaatst. Hierdoor kan er een retourstroom ontstaat van

$$(N_s - 1)I_{SC \text{ MAX}}$$

Met N_s = parallel aangesloten strengen en $I_{SC \text{ MAX}}$ = maximale kortsluitstroom

Als deze retourstroom groter is dan 1.35x zekeringwaarde van de PV serie. Dan moet een beveiligingstoestel worden geplaatst.[22]

Het wisselspanning net wordt ontworpen afhankelijk van de gekozen omvormer. Naar aanleiding van zijn karakteristieken kan de benodigde aardlekschakelaar worden bepaald. Dit kan worden gedaan aan de hand van Figuur 10



Figuur 10: Gebruik van een aardlekschakelaar in een PV systeem. [23]

Als de bovenstaande Figuur 10 doorloopt kan men bepalen welke beveiliging moet worden gekozen. De keuze is afhankelijk van de omvormer en de aardlekschakelaar of in het Engels ‘Residual Current Device’ (RCD). Veelal wordt gebruik gemaakt van een trafo loze omvormer omdat deze omvormers over het algemeen een hoger rendement hebben.

6.3.5. Praktische toepassing gelijkspanningsnet

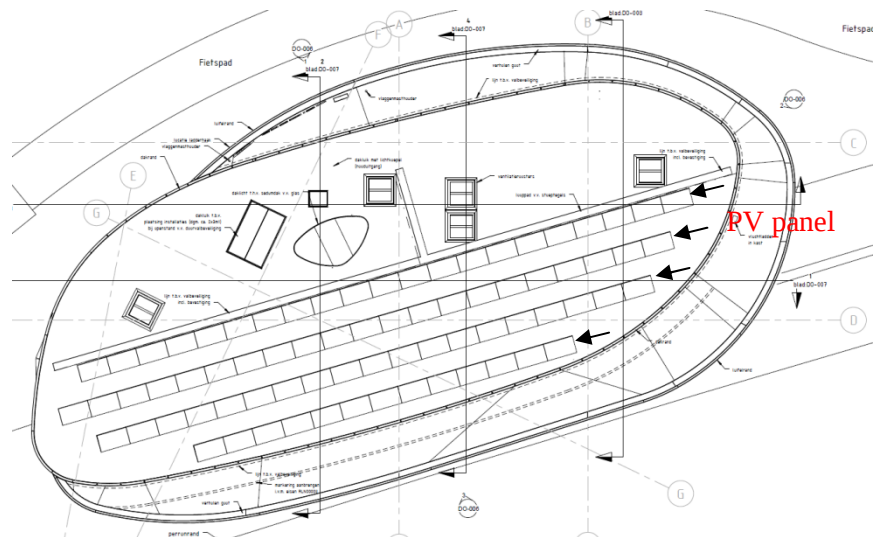
Net als in het huidige wisselspanningsnet moet een gelijkspanningsnet worden voorzien van een overspanning en lekstroom beveiliging. In theorie is een gelijkspanningsnet zeer eenvoudig te beveiligen en is de lengte van de te beveiligen kabel bijna oneindig. Dit komt omdat de inductiviteit van de kabel nauwelijks een rol speelt. Als er gebruik wordt gemaakt van een 12 Volt net is er alleen bescherming nodig tegen overbelasting en kortsluiting. Volgens de NEN1010 wordt 12 Volt gezien als extra lage laagspanning en hoeft hier geen rekening mee te worden gehouden lekstromen. Voor hogere spanning (groter dan 120V DC of 50V AC) kan gekozen worden voor een smeltzekering of installatie automaat zoals bij een wisselspanningsnetwerk. Doordat bij een gelijkspanningsnet de stroom altijd aanwezig is, moet er bij het selecteren van de juiste installatie automaat moet in dit geval rekening worden gehouden met de stroom en dat deze geschikt is voor gelijkspanning.

6.4 Het meest efficiënte gebruik in de energie keten

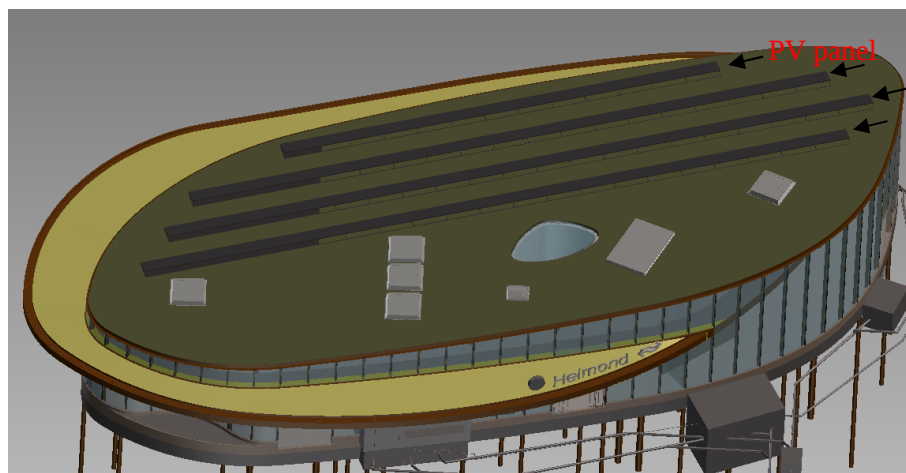
In het meest ideale geval zijn de opwekspanning van de PV panelen, de spanning van het opslag systeem en de spanning voor de gebruikers op elkaar afgestemd. Hierdoor is het transformeren naar verschillende spanningsniveaus niet nodig en kan de energie in de gebouwen het eenvoudigst worden getransporteerd. Omdat veel systemen nog op wisselspanning werken, zal er voorlopig nog een wisselspanningnet nodig zijn. De te kiezen gelijkspanning is afhankelijk van de eindgebruikers, de lengte van het distributie net en het benodigde vermogen. Bij grootte vermogens en/of lange afstanden gaat de voorkeur uit naar een hoger spanningsniveau met als resultaat dunnere kabels. Bij kleine afstanden kan juist een lagere spanning effectiever zijn omdat er dan geen omvorm apparatuur bij de eindverbruikers nodig zijn. In het geval van LED verlichting kan de LED driver komen te vervallen.

7 Praktische toepassing van het opslag systeem

Voor de praktische uitwerking zijn twee gebouwen gekozen om het opslag systeem in toe te passen. Deze gebouwen zijn gekozen omdat in het ontwerp gemaakt door Movares al PV cellen zijn toegepast. Er is gekozen om het uitgevoerde project station Helmond verder uit te werken zie Figuur 11 en Figuur 12.

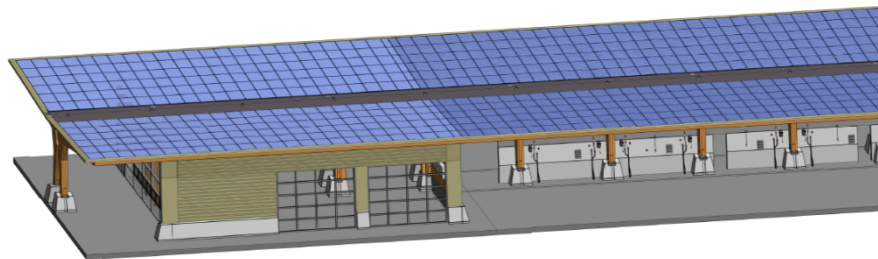


Figuur 11: Bovenaanzicht station Helmond [Movares2013]

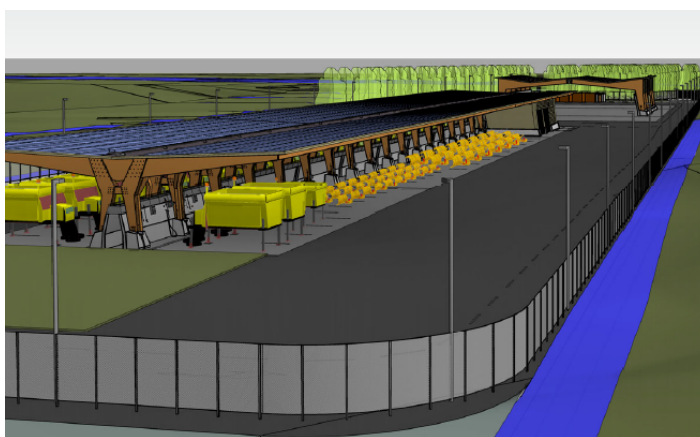


Figuur 12: 3D model station Helmond [Movares2013]

Daarnaast is er gekozen voor een project steunpunt Houten voor Rijkswaterstaat dat door de aannemer wordt gebouwd zie Figuur 13 en Figuur 14.



Figuur 13: Steunpunten Houten [Movares2015]



Figuur 14: Steunpunten Houten zij aanzicht met de strooiploeg [Movares2015]

Het steunpunt bestaat voor het grootste deel uit een overkapping waaronder de strooiers en de sneeuwplougen van Rijkswaterstaat staan opgesteld. Het hele dak van deze overkapping is voorzien van PV panelen die ook als dakbedekking dienen. Het zonnedak is ontwikkeld door Eon die een energie coöperatie gaat oprichten. De panelen worden verkocht aan de omwonende doormiddel van een zogenaamde postcoderoos constructie. Waarbij omvormende binnen het zelfde postcode gebied een deel van de PV panelen kunnen aanschaffen. Het steunpunt wordt alleen gebruikt tijdens het strooiseizoen daardoor is het energie verbruik beperkt. Er wordt hoofdzakelijk energie gebruikt als er gestrooid wordt. In tegenstelling tot station Helmond dat bijna 24 uur per dag wordt gebruikt en er zowel verlichting, winkels en automaten aanwezig zijn. Bij het steunpunt Houten is vooral gekeken naar de opslag in relatie tot het terugleveren van energie aan het net. Bij het station Helmond is gekeken naar het continue verbruik in relatie tot de opslag. In het stationsgebouw zijn een aantal winkels als een kiosk, een bloemenzaak, een döner-zaak en een openbaar toilet.

Omdat Movares de ontwerpen heeft gemaakt zijn de technische gegevens van deze gebouwen beschikbaar. In afwijking tot de gekozen PV panelen in de projecten station Helmond wordt voor dit onderzoek als PV paneel de CS6p-250P van Canadian Solar aangehouden.

Deze twee gebouwen zijn ook gekozen omdat er een groot verschil is in het verbruik en omvang van de PV installatie. Hierdoor kan worden onderzocht of het opslag

systeem rendabel is voor kleine vermogens en of juist grootte vermogens. Het verbruik bij station Helmond is groter dan het opgewekte vermogen dus zal er nooit teruggeleverd worden aan het net en zullen er dus extra panelen moeten worden geplaatst. Bij de steunpunten zal het gebouw slechts enkele keren in het jaar worden gebruikt waardoor de rest van de tijd het opslag systeem buiten werking is. Het steunpunt is een goed voorbeeld van een groot vermogen PV systeem.

Zoals afgebeeld in Figuur 11 en Figuur 13 is te zien dat op het dak van het stationsgebouw Helmond een aantal rijen met PV panelen zijn aangebracht. In tegenstelling tot de steunpunten Houten waar het dak bestaat uit PV panelen. Om een schatting te maken van de opbrengsten van de PV panelen is gebruik gemaakt van een standaard omreken verhouding. De omreken verhouding is afhankelijk van de geografische ligging en de oriëntatie van de PV panelen. In Nederland wordt over het algemeen de omrekenfactor 0.85 gebruikt. Waarbij het opgewekte vermogen in kW uitkomt op $0.85 \times \text{kW}_{\text{pv-installatie}}$.

7.1 Steunpunten Houten

Het steunpunt Houten wordt alleen gebruikt als er kans is op gladheid door het bevroren van natte weggedelen, ijzel- of sneeuwval. De PV cellen op het grote dakoppervlak wekken een groot vermogen op dat alleen wordt gebruikt als er gestrooid wordt. In de overige periode levert de PV installatie de opgewekte energie aan het net. De huidige energie voorziening bestaat uit PV installatie en een 400kVA transformator met de mogelijkheid in geval van stroom uitval een mobiele noodstroom aggregaat aan te sluiten.

Tabel 6: Overzicht opwekking en verbruik van energie Steunpunten.

PV installatie	Opbrengst in Watt ⁶
PV = 250 Wp x 1584	$0.85 \times 396 \text{ kWp} = 336,6 \text{ kW}$
verbruiker	verbruik in Volt/ampère
Verlichting	29,4 kVA
Overig	313,4 kVA

Zoals aangegeven werkt de installatie als een postcode roos. Als er geen energie wordt afgenomen zal deze energie worden geleverd aan het net.

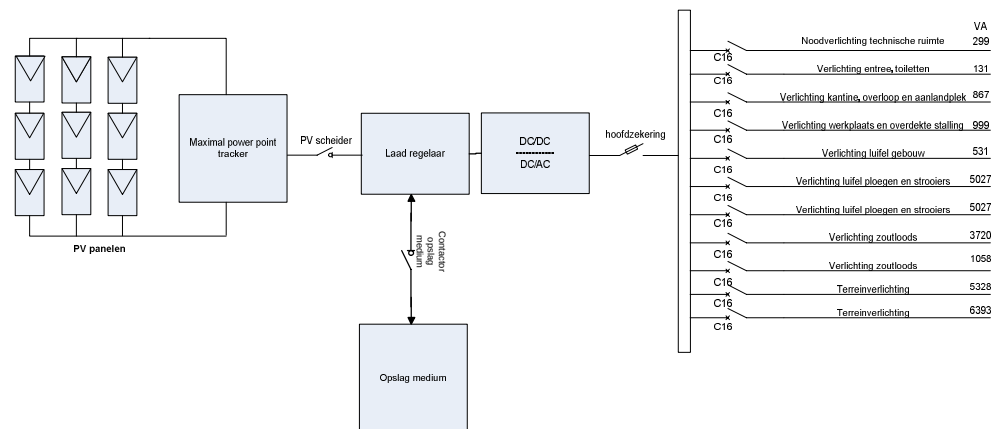
7.1.1. Benodigde opslag capaciteit

De steunpunten worden alleen gebruikt als er gestrooid moet worden. Jaarlijks wordt er ongeveer 40 keer gestrooid. Dit strooien gebeurt meestal 's nachts omdat de temperaturen dan lager zijn en de meeste kans op bevrozing van weggedeelte bestaat. Gemiddeld is een strooiploeg 2 uur onderweg is om de toegewezen weggedeelte te strooien. Op basis hiervan is de inschatting gemaakt dat het steunpunt per strooibeurt ongeveer 4 uur wordt gebruikt. Behalve tijdens sneeuwval in dit geval zullen de ploegen continu sneeuwschuiven en zoutstrooien. Uitgaande van 1 uur om het materieel gereed te maken en 1 uur om het materieel op te bergen. [24]

Om de verlichting 4 uur autonoom te kunnen laten werken is een capaciteit van $29,4 \text{ kVA} \times 4 \text{ uur} = 117,6 \text{ kWh}$ ($\cos \phi = 1$) nodig. De opslag capaciteit van het opslag systeem moet dus een netto capaciteit hebben van ongeveer 125 kWh. Deze netto capaciteit wordt bepaald door de maximale ontlaad diepte van het opslag type.

⁶ bij de opgewekte energie aan de DC zijde is de $\cos \phi = 1$ dus $W=VA$)

7.1.2. Overzicht van de installatie



Figuur 15: Totaal overzicht DC installatie steunpunt[Chris de Vette 2016]

In bovenstaand Figuur 15 is een totaal overzicht van de installatie voor het steunpunt weergegeven. In het rechterdeel van de figuur is de schakel en verdeelinrichting met de verlichtingsinstallatie weergegeven zoals ontworpen door Movares. De huidige installatie kan niet worden uitgevoerd als een 12V systeem. Als een 12V systeem op huidige wijze zal worden uitgevoerd zal de stroom vanuit het opslag medium $29,4\text{kVA}/12\text{V}=2450$ Ampère bedragen. Wat neerkomt op 8 kabels van 240 mm^2 . In tegenstelling tot een 230 Volt systeem waarbij de stroom op $29,4\text{kVA}/230\text{V}=128$ Ampère zal uitkomen. Waarbij één hoofdkabel van 70 mm^2 voldoende zal zijn⁷. Voor de berekening zie bijlage 4. Vanuit het rechter deel zijn er drie keuzes te maken:

- Gebruik van een AC netwerk
- Gebruik van een DC netwerk op ca 200 Volt
- Gebruik van een DC netwerk op ca 350 Volt

Bij zowel optie 1 als optie 2 kan de huidige verlichtingsinstallatie blijven bestaan. Voor optie drie is een aparte LED driver noodzakelijk maar heeft als voordeel dan er langere afstanden kunnen worden afgelegd of dunnere kabels worden gebruikt.

Tabel 7: Keuze tabel voor spanningsniveau en installatie methode steunpunten.

Installatie	Rendement omvormer/inverter ⁸	Benodigde kabels 100M bij een belasting van 5 kVA
AC 230 Volt	97,8% (SMA 15000TL)	4 mm^2
DC ca 200 Volt	98 % (Siemens DCP 30 kW)	4 mm^2
DC ca 350 Volt	98 % (Siemens DCP 30 kW)	$2,5\text{ mm}^2$

Voor de berekening zie bijlage 3.

De voedingskabel vanaf de omvormer of inverter kent een nog groter verschil. Hier moet er gekozen worden voor een 25 mm^2 bij 250 Volt of een 50 mm^2 bij 200/230 Volt. Zoals af te lezen in Tabel 7 zijn is de efficiëntie van zowel een DC naar AC als een DC naar DC converter nagenoeg gelijk. Dit is te verklaren omdat beide systemen met het zelfde principe werken. Waarbij de gelijkspanning wordt omgezet in een hoog

⁷ Uitgaande van een grondkabel met lichtvochtige grond.

⁸ Uitgegaan van opgegeven Europees rendement

frequente spanning die wordt getransformeerd. Waarna het gelijk wordt gericht of wordt omgezet naar 230 Volt wisselspanning.

7.1.3. *Bouwkundige eisen opslag systeem steunpunt Houten*

Naast de elektrische eisen en de milieu eisen zijn er ook bouwkundige eisen om het opslag systeem te kunnen plaatsen. Afhankelijk van de grootte van het systeem moet er een ruimte worden gereserveerd. Het gekozen systeem voor steunpunt Houten van 180 kWh bestaat uit twee modules van 120kWh. De afmeting en gewicht van één module zijn 2450 x 1580 x 1950 mm met een gewicht 1950 kg. De gebruikte kasten kunnen zowel binnen als buiten worden geplaatst.[11] De kasten zijn zowel voorzien van een verwarming als een air conditioner voor het regelen van de temperatuur.

7.1.4. *Laden van het opslag systeem*

Uitgaande van dat het systeem 40 keer per jaar zal worden gebruikt moet het hiervoor ook worden opgeladen. In een gemiddelde december maand zijn er over drie dagen 4,5 zonuren.[25] Berekend is dat er ongeveer 117,6 kWh uur aan energie benodigd zal zijn. Om als voorbeeld te nemen dat er om de drie dagen gestrooid zal worden zal er dus een PV vermogen nodig zijn van 26,1 kW. Dit vermogen is nodig om in de aanwezige 4,5 productie-uren 117,6 kWh aan energie op te wekken.

7.1.5. *Kosten berekening opslag systeem*

Zoals eerder beschreven is de capaciteit van een accu systeem meestal bepaald met een gehele ontlading. Uitgaande van een ontlading tot 50% zal er een opslag systeem met een capaciteit van 180kWh moeten worden geïnstalleerd. Het voordeel van het ontladen tot 50% in plaats van 80% is dat de accu's hierdoor een langere mee gaan. Hiervoor kan men het volgende systeem inzetten:

Tabel 8: Voorbeeld aanschafkosten opslag systeem met gebruik van wisselspanning steunpunt Houten.

systeem	Merk en type	Prijs (ex installatie, levering, etc.)
Opslag systeem	Saft Intensium® Mini (energy variant) 2 x 120kWh	€145.000
Inverter	SMA tripower 20000TL	€3.195 ps.[26]
Inverter totale levensduur 20jr	SMA tripower 20000TL (2 keer voor een vermogen van 40kW inclusief vervangen na 10 jaar	€12.780
Totaal:	(excl. levering, installatie en onderhoud)	€157.780

Hierdoor zullen de totale kosten voor de aanschaf van het opslag systeem uitkomen op €157.780. Waarbij de transport, installatie en onderhoudskosten nog niet zijn meegenomen. Wat neerkomt op een terug verdien tijd van 335 jaar bijlage 2.

7.1.6. *Conclusiesteunpunt Houten*

Omdat de installatie maar enkele keren per jaar wordt gebruikt. Is het installeren van een opslag systeem voor het voeden van de verlichtingsinstallatie kosten technisch niet haalbaar. Om een opslag systeem rendabel te maken zal voor de zomermaanden een alternatieve functie moeten worden gevonden. Een voorbeeld van zo'n functie is het laden van elektrische voertuigen. Of het opslaan van energie voor omliggende gebouwen. De mogelijkheden worden in onderstaande paragraaf beschreven.

7.1.7. Schaalvergroting

Een van de deelvragen was wat zijn de mogelijkheden met betrekking tot Schaalvergroting. Doordat het opslag systeem voor de steunpunten slechts enkele malen per jaar gebruikt wordt. Is het voorbeeld geschikt om de mogelijkheid tot schaalvergroting te onderzoeken. In het algemeen kan het opslag systeem de volgende functie hebben:

- Net ondersteuning
- Opslaan van energie voor omwonende
- Opslaan van energie voor andere toepassingen (elektrische voertuigen, chemische industrie etc.)
- Energie handel

Het spanningsnet in Nederland erg stabiel en gemiddeld per jaar is de netspanning slechts enkele minuten niet beschikbaar door storingen. Om deze reden is het ondersteunen van het Net niet nodig. Blindstroom compensatie is vooral relevant bij grootte industrieën waar veel inductie machines worden gebruikt. Hierdoor is het niet relevant voor de steunpunten.

Doordat de steunpunten vaak aan een snelweg gelegen zijn is er een mogelijkheid om het opslag systeem te gebruiken voor het laden van (semi)elektrische auto's. Dit concept wordt nu al toegepast door het bedrijf FASTNED waarbij op verschillende punten een elektrische auto snel kan worden opgeladen. In houten zou dit als eventuele carpoolplek kunnen worden ingericht.

Daarnaast is het opslaan van energie voor omwonende een mogelijke optie. In de huidige situatie wordt de opgewekte van de postcode roos niet geheel lokaal gebruikt. Bij de postcode roos regeling wordt de opgewekte energie teruggeleverd aan het net. De participanten van de regeling nemen zoals normaal energie af van het net. De participanten ontvangen een korting op hun energie rekening afhankelijk van de opbrengsten van hun deel van de PV installatie. Als de groep participanten de energie direct zouden gebruiken. Dit kan als iedereen deelnemer een eigen meter heeft en deze energie afrekent met de coöperatie. Waarbij de niet gebruikte energie wordt opgeslagen.

Daarnaast is er internationaal een groot vraag en aanbod van energie. De prijs op korte termijn is vooral afhankelijk van de vraag en aanbod van energie. Tijdens zonnige dagen met veel wind kan er een groot overschot aan energie ontstaan door de opwekking van PV installaties en windturbines. Hierdoor stijgt het aanbod t.o.v. de vraag en zal het overschot moeten worden afgevoerd. Waarbij de prijs voor deze energie zelfs negatief kan worden. In dit geval ontvangt de afnemer geld voor het afnemen van deze energie. Bij een grootte vraag naar energie is deze prijs juist hoog. Net als op de aandelenmarkt zijn er op deze markt ook spelers die handelen met deze energie. Door het gebruik van een opslag systeem kan energie bij weinig vraag goedkoop worden opgeslagen en bij veel vraag en weinig aanbod duur worden verkocht. De opbrengsten hangen af van de kostprijs van het opslaan en de inkoop prijs van de energie.

7.2 Station Helmond

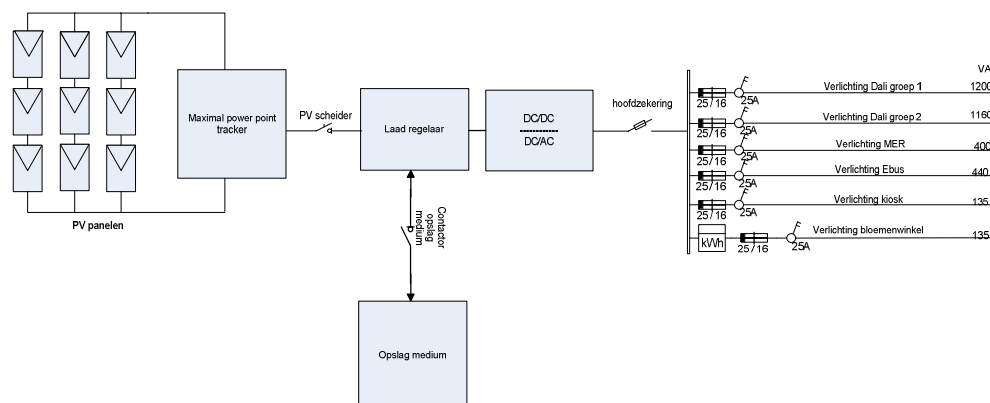
In tegenstelling tot het steunpunt Houten heeft het station Helmond een heel ander opwek en verbruikspatroon. De hoeveelheid opgewekte energie is kleiner en het station is bijna 24 uur per dag in gebruik. Aan de hand van de principe schema's van de elektrotechnische installatie is de onderstaande tabel opgesteld.

Tabel 9: Overzicht van opwekking en verbruik van energie station Helmond.

PV installatie	Opbrengst in Watt ⁹
Huidig PV = 250 Wp x 74	18.5 kWp x 0.85 = 15.725 kW
Nieuw PV = 250 Wp x 121	30,25kWp x 0.85 = 25712,5 kW
verbruiker	verbruik in Volt/ampère
Verlichting	3475 VA
Verlichting 80% belast	2780 VA
Overig	19320 VA
Overig belasting 80%	15456 VA
Totaal	18236 VA

7.2.1. Benodigde opslag capaciteit

Uitgaande dat de verlichting in het stationsgebouw 24 uur per dag brandt is er op jaarbasis een energie behoefte van 24.353 kWh. De buitenverlichting zal alleen branden als na zonsondergang tot zonopgang. Om deze gebruikers te voeden met een PV installatie zal er een vermogen van ongeveer 27.000 kWp moeten worden geïnstalleerd uitgaande van een kWp -> kWh verhouding van 10/9 (bijlage 2). Dit komt neer op 108 panelen van 250 Wp. In de huidige situatie zijn er maar 74 panelen op het dak aangebracht en zal een deel van de energie moeten worden geleverd door het net. Zoals afgebeeld in Figuur 11 is niet het gehele dakoppervlak gebruikt voor een PV installatie en kunnen het aantal panelen worden uitgebreid. Als het totaal dakoppervlak wordt gebruikt voor het installeren van de PV installatie. Kunnen 121 panelen worden geplaatst wat neerkomt op een Wp vermogen van 30,25 kWp zie bijlage 7. Wat overeenkomt met een effectief vermogen van ongeveer 25,7 kW. Een schematisch overzicht van de PV en verlichtingsinstallatie is weergegeven in Figuur 16



Figuur 16: Schematisch overzicht PV en verlichtingsinstallatie station Helmond[Chris de Vette 2016]

⁹ bij de opgewekte energie aan de DC zijde is de cos phi 1 dus W=VA

7.2.2. Overzicht van de installatie DC verlichting

Zowel bij de keuze voor een wisselspanning als gelijkspanningsnet kan de opbouw van de installatie vanaf de PV panelen tot de laadregelaar gehandhaafd blijven. Waarbij de vermogen van de componenten afhangen van het aantal geplaatste PV panelen. Het vervolg van de installatie zal afhangen van de volgende keuzes. In vergelijking met het eerder beschreven steunpunt. Zijn de afstanden en vermogens kleiner. Hierdoor kan ook een extra laagspanning systeem worden toegepast waarbij meerdere kleine verdelers worden toegepast. Hoewel de kabels in sommige gevallen kleiner kunnen worden uitgevoerd stelt de NEN1010 als eis dat de kernddoorsnede van minimaal 1.5mm^2 wordt toegepast.

Tabel 10: Keuze tabel voor spanningsniveau en installatie methode station Helmond.

Installatie	Rendement omvormer/inverter ¹⁰	Benodigde kabels 30M bij een belasting van 1,5 kVA
AC 230 Volt	97,8% (SMA 3000TL)	1.5 mm^2
DC ca 12 Volt	95% Prodrive Technologies 400/12V DC/DC	300 mm^2
DC ca 110 Volt	98 % (Siemens DCP 30 kW)	6 mm^2
DC ca 200 Volt	98 % (Siemens DCP 30 kW)	1.5 mm^2
DC ca 350 Volt	98 % (Siemens DCP 30 kW)	$1,5\text{ mm}^2$

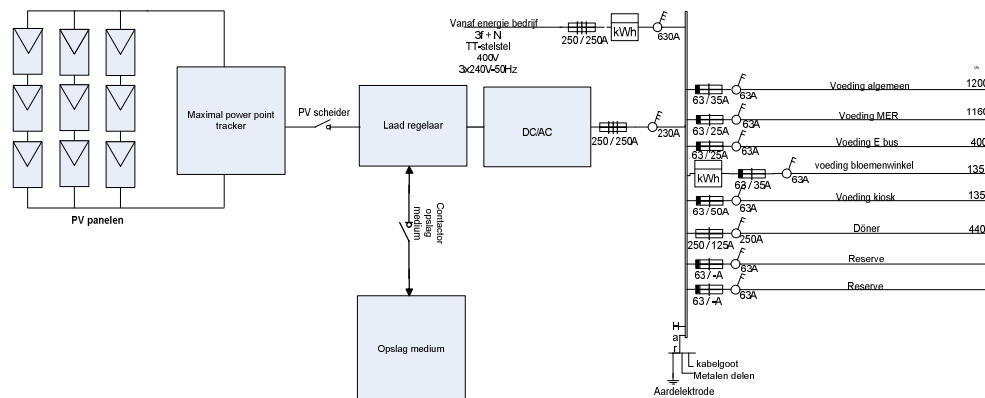
Voor de berekening zie bijlage 3.

De verschil in de efficiëntie tussen een DC/DC of DC/AC omvormer zijn klein. Daarnaast zijn de kabellengtes zo kort dat het verschil tussen wisselspanning en gelijkspanning kan worden verwaarloosd. Hierdoor kan men kiezen voor een 12 Volt systeem waarbij de led drivers kunnen vervallen of een wisselspanningsysteem welk los gekoppeld zit van het overige systeem. Waarbij de keuze gemaakt kan worden tussen het installeren van een opslag systeem voor alleen de verlichting. Eventueel kan het systeem ook worden vereenvoudigd door het huidige distributie net te handhaven en het opslag systeem voor de totale installatie te gebruiken.

7.2.3. Overzicht van de installatie met algemeen opslag systeem

Doordat het verschil tussen opwekking en verbruik in station Helmond slechts 7476,5 kW groter is zal er tijdens een zomerdag met acht zonuren een overcapaciteit zijn van 60 kWh. Dit overschot aan energie kan relatief eenvoudig worden opgeslagen. Bij een verbruik van 18,2 kVA kan het station ongeveer drie uur functioneren op de overdag opgeslagen energie. De periode duur zonder daglicht echter langer dan de drie uur. Aangezien de zon ongeveer 11 uur onder zal zijn. Zal er dus 11 uur lang verlichting uit het opslagsystemen moeten worden geleverd. Aangezien tussen kwart over 12 's avonds en kwart voor 6 's morgens geen treinen vertrekken vanaf station Helmond zal het aantal benodigde uren gemiddeld op 5,5 uitkomen. Hiervoor zal er dus energie uit het net moeten worden gebruikt.

¹⁰ Uitgegaan van opgegeven europees rendement



Figuur 17: Overzicht met algemeen opslag systeem station Helmond[Chris de Vette 2016]

Zoals eerder beschreven is de capaciteit van een accu systeem meestal bepaald aan de hand een gehele ontlading. Echter mag de lithium accu niet geheel worden ontladen. Daarom wordt er uitgegaan van een ontlading tot 50%. Om dit te realiseren zal er een opslag systeem met een capaciteit van 120 kWh moeten worden geïnstalleerd. Het voordeel van het ontladen tot 50% in plaats van 80% is dat de accu hierdoor een langere levensduur zal hebben. Hiervoor kan het volgende systeem worden gerealiseerd.

Tabel 11: Voorbeeld aanschafkosten algemeen opslag systeem station Helmond.

systeem	Merk en type	Prijs (ex installatie, levering, etc.)
Opslag systeem	Saft Intensium® Mini (energy variant)	€72500
Inverter	SMA tripower 15000TL	€2855 ps.[26]
Inverter totale levensduur 20jr	SMA tripower 15000TL (2 keer voor een vermogen van 30kW inclusief vervangen na 10 jaar	€11420
Totaal:	(excl. levering, installatie en onderhoud)	€83920

Als er geen vergoeding wordt gegeven voor de terug geleverde energie, bij een energie prijs van 10 eurocent per kWh. Zal het systeem zoals beschreven in Tabel 11 een terugverdien tijd van 38,2 jaar hebben bij een dagelijkse opslag van 60 kWh. Waarbij de opgewekte energie in de zomer hoger zal uitvallen in de winter bieden de opslagsystemen van de fabrikant Saft de mogelijkheid tot het ontladen tot 80% om extra pieken in de zomer op te kunnen slaan. Daarin tegen kan er in de winter voor worden gekozen het opslag systeem minder ver te ontladen zodat de levensduur van het opslag systeem kan worden verlengd.

7.2.4. Bouwkundige eisen opslag systeem station Helmond

Naast de elektrische eisen en de milieu eisen zijn er ook bouwkundige eisen om het opslag systeem te kunnen plaatsen. Afhankelijk van de grootte van het systeem moet er een ruimte worden gereserveerd. Het gekozen systeem voor Station Helmond één modules van 120kWh. De afmeting en gewicht van de module is 2450 x 1580 x 1950 mm met een gewicht 1950 kg. De gebruikte kast kan zowel binnen als buiten worden geplaatst.[11] Dit omdat de kast is voorzien van een verwarming en een airconditioning om de binnen temperatuur te regelen.

7.2.5. Conclusie station Helmond

Momenteel is er nog geen winst te behalen met een opslag systeem. Hiervoor zal de prijs verder moeten dalen. Aangezien de levensduur van het opslagsysteem 20 jaar bedraagt en de terug verdien tijd minimaal 38 jaar exclusief onderhoud en installatie. Zal de uiteindelijke kosten bijna twee hoog uitvallen als een net aansluiting zonder PV installatie. Als de prijs van opslagsystemen zal dalen met de verwachte 47% zal de terugverdien tijd teruglopen tot 17,5 jaar. Uitgaande van een gelijkblijvende prijs voor de inverter. Hierdoor wordt het installeren van een opslag systeem een stuk aantrekkelijker. Voor de berekeningen zie bijlage 2.

8 Conclusie en aanbevelingen

Door de huidige subsidie regelingen zoals de salderingsregeling of de SDE+ regeling kan PV energie nog niet effectief worden opgeslagen. Door de subsidie ontvangt een PV eigenaar zijn complete netvergoeding of een groot deel hiervan. Als deze regelingen op korte termijn komen te vervallen kan PV energie in een utilitair gebouw het beste worden opgeslagen in Lithium accu systemen. Deze systemen zijn compact en hebben een hoog aantal laad/ontlaad cycli. Het hoge aantal laad cycli zorgt vooral bij het gebruik als een opslag systeem voor PV energie met een laad/ontlaad cycli van één keer per dag voor een lange levensduur die kan oplopen tot meer dan 20 jaar. Voor het realiseren van een opslag systeem in de nabije toekomst zijn flow accu's een goede optie. Aan deze nieuwe techniek zal nog veel worden ontwikkeld waardoor ze op de zodat ze steeds effectiever worden. Een groot voordeel van deze systemen is dat het vermogen en de capaciteit los van elkaar ontworpen kan worden en de stoffen in het opslag systeem niet degraderen in de loop van de tijd.

De opgewekte gelijkspanning kan effectief worden gebruikt als alle spanningniveaus op elkaar worden afgestemd. Dus zowel de opgewekte spanning, de laadspanning van het opslag systeem en de bedrijfsspanning. Hiermee kunnen omzet verliezen in de keten door de omvormers worden voorkomen. Voor grote vermogens of lange afstanden in het niet effectief om een lage gelijkspanning te kiezen. Bij kleine afstanden en lage vermogen is het juist effectief een lage spanning te kiezen doordat het systeem eenvoudig kan worden uitgevoerd omdat er geen lekstroombevuilding hoeft te worden geïnstalleerd en adapters benodigd zijn, mits een veilige aanraakspanning wordt gehanteerd (DC tot 110 Volt)[23].

De zoutwater accu's is een nieuwe duurzame ontwikkeling waarbij geen giftige materialen zijn toegevoegd. De energie dichtheid en efficiëntie zijn echter lager in vergelijking met de overige accu soorten. De flow accu is nog in ontwikkeling, verwacht wordt dat dit type accu over enkele jaren voor een rendabel opslag systeem kan zijn.

Schaal vergroting van het opslag systeem kan op verschillende manieren worden gerealiseerd. Veel opslagsystemen zijn beschikbaar in container opstellingen die eenvoudig buiten kunnen worden opgesteld. De huidige terug geleverde energie niet lokaal gebruikt door de deelnemers van de coöperatie. Om dit te realiseren kan de gebruiker bijvoorbeeld de energie afnemen van de coöperatie. Onderling kan deze afnamen worden verrekend naar de aangeschafte hoeveelheid PV panelen. Wat al wel mogelijk is het gebruik van een opslag systeem voor het laden van elektrische voertuigen. Als voorbeeld zou een elektrische strooiwagen gedurende de nacht worden geladen doormiddel van een opslag systeem van het steunpunt.

8.1 Vervolgonderzoek

Zoals al eerder beschreven kan er worden onderzocht worden wat de mogelijkheden zijn voor het laden van elektrische voertuigen doormiddel van het opslag systeem. Dit kan onderzocht worden voor bedrijven waarbij overdag elektrische voertuigen worden gebruikt en deze 's nacht worden opgeladen.

Ook kan het gebruik van gelijkspanning verder worden uitgewerkt in relatie tot Led verlichting. Kunnen er DC led drivers worden ontwikkeld die op verschillende

spanningen kunnen werken zodat het afstemmen van de spanningen eenvoudiger kan worden gerealiseerd.

Door de klimaat veranderingen is er een noodzaak om de uitstoot van schadelijke stoffen terug te dringen. Ik dit kader kan een onderzoek worden ingesteld om de milieu effecten van verschillende opslag systeem uitgebreid in kaart te brengen.

Er is nog weinig ervaring met de onderhoudskosten van de opslagsystemen. Dit is vooral bij flow accu's nog onduidelijk. Wanneer moet welk onderdeel worden vervangen en hoe vaak moet het systeem geïnspecteerd worden. Om deze reden zijn de onderhoudskosten nog niet mee berekend. Om dit in beeld te brengen kan hier onderzoek naar gedaan worden.

8.2 Aanbevelingen

De markt voor opslagsystemen is een erg nieuwe markt. De meeste systeem zijn nog niet uit ontwikkeld waardoor het aan te bevelen is om deze markt op de voet te volgen. Zeker als de subsidie regelingen worden afgeschaft of versoerd kan het toepassen van opslag systeem belangrijker worden. Hierdoor kan worden gesteld dat de markt voor energie opslagsystemen nog veel potentieel heeft. Ook is het belangrijk om de ontwikkelingen van de subsidieregelingen te volgen. Hoe lager deze vergoeding wordt, hoe interessanter het wordt om deze energie op te slaan.

Nu kan het beste worden gekozen voor een lithium ijzer fosfaat opslag systeem. Door de goede energie dichtheid en het hoge aantal laad en ontlad cycli. Aanbevolen wordt om de voortgang op het gebied van flow accu's te volgen. Deze technologie is volop in ontwikkeling, waarbij als grootste voordeel dient dat het vermogen en de capaciteit los van elkaar geregeld kunnen worden. Waarbij vooral in de zomer maanden deze capaciteit van pas kan komen.

Het gebruik van DC spanning is momenteel nog niet efficiënt. Het kan efficiënt worden als er meerdere partijen producten ontwikkelen welk werken op een gelijkspanning en deze producten op elkaar afgestemd zijn wat betreft het spanningsniveau. De reeds aanwezige producten zijn nog niet wijdte verkrijgbaar. Als deze producten beter beschikbaar worden kan het efficiënt zijn om gebruik te maken van een DC net vooral in combinatie met een PV installatie.

Een aanbeveling aan de overheid is de huidige subsidie regeling vervangen voor een regeling waarbij het zelf opwekken en opslaan van energie wordt bevorderd. Hierdoor kan een deel van de aanschafkosten voor een opslagsystemen worden gesubsidieerd. Door deze regel wordt het zelf opslaan van energie bevorderd. Wat zorgt voor een toename in het eigengebruik van PV energie.

9 Referenties

- [1] CAES, „Compressed Air Energy Storage (CAES),” 2009. [Online]. Available: <https://www.pge.com/en/about/environment/pge/cleanenergy/caes/index.page>. [Geopend 2 Maart 2016].
- [2] H. Chen, T. N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li en Y. Ding, „Progress in electrical energy storage system: A critical review,” in *Progress in Natural Science*, Elsevier, maar 2009, pp. 291-312.
- [3] C. Naish, I. McCubbin, O. Edberg en M. Harfoot, „Outlook of energy storage technologies,” European Parliament - Policy Department Economy and Science, Brussels, Februari 2008.
- [4] AllCell Technologies, „AllCell Technologies Energy Storage Systems,” AllCell Technologies LLC, Chicago.
- [5] Aquion energy, „M110-LS83 Battery Module,” Energy storage, clean and simple., Energy storage, clean and simple..
- [6] BYD, „BYD Energy Storage Solutions,” 2013. [Online]. Available: <http://www.byd.com/energy/ess.html>. [Geopend 18 Mei 2016].
- [7] Fiamm, „Sodium Nickel Technology for Energy Storage Application,” [Online]. Available: http://www.fiamm.com/media/223005/20150209_cabinet_datasheet-a4.pdf. [Geopend 18 Mei 2016].
- [8] Gildemeister, „Use your own power grid.,” [Online]. Available: <http://energy.gildemeister.com/blob/260408/75b561f2922f864bf42cc372612c93b9/brochure-cellcube-download-data.pdf>. [Geopend 18 Mei 2016].
- [9] imergy power systems, „Energy Storage Platforms (ESP),” [Online]. Available: <http://www.imergy.com/products>. [Geopend 18 Mei 2016].
- [10] Nilar, „Nilar — High voltage energy storage solutions,” [Online]. Available: <http://www.nilar.com/wp-content/uploads/2015/12/Nilar-High-voltage-energy-storage-solutions-Specifications-NIL15-0040.pdf>. [Geopend 18 Mei 2016].
- [11] Saft , „Intensium® Mini,” Saft, Bagnolet - France, 2015.

- [12] Secomec, „SUNSYS PCS2 Power Conversion System and Storage,” 2014. [Online]. Available: http://www.socomec.be/range-power-conversion-systeem-stockage_nl.html?product=/power-conversion-systeem-sunsys-pcs2_nl.html&view=documentation. [Geopend 18 Meui 2016].
- [13] W. van Sark, P. Muizebelt, G. Rutten en J. Cace, „Inventarisatie PV markt Nederland Status oktober 2013,” Stichting Monitoring Zonnestroom, utrecht, 2013.
- [14] P. van den Bossche, F. Vergels, J. Van Mierlo, J. Matheys en W. Van Autenboer, „SUBAT: An assessment of sustainable battery technology,” Elsevier, Brussel, 2015.
- [15] Lazard, „L A Z A R D ' S L E V E L I Z E D C O S T O F S T O R A G E A N A L Y S I S — V E R S I O N 1 . 0,” Lazard, 2015.
- [16] P. van Oppen, „Is de Trias Energetica nog wel van deze tijd?,” 6 April 2011. [Online]. Available: <http://bouwprofsnederland.nl/forum/topics/is-de-trias-energetica-nog-wel>. [Geopend 14 April 2016].
- [17] R. Weiss, L. Ott en U. Boeke, „Energy Efficient Low-Voltage DC-Grids for,” in *Proceedings of the IEEE ICDCM conference 2015*, Atlanta USA, 2015.
- [18] Wikipedia, „Lichtnet,” [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtnet>. [Geopend 14 April 2016].
- [19] A. Kaszuba, „Technology - Lighting Buildings with Data Cables,” 7 July 2014. [Online]. Available: <http://www.fancomni.com/blog/topic/led-lighting>. [Geopend 14 April 2016].
- [20] USB.org, „Universal Serial Bus Power Delivery Specification Revision 2.0, Version 1.2,” 25 Maart 2016. [Online]. Available: http://www.usb.org/developers/docs/usb_31_042116.zip. [Geopend 10 Mei 2016].
- [21] „USB Power Delivery,” USB Implementers Forum, Inc, [Online]. Available: <http://www.usb.org/developers/powerdelivery/>. [Geopend 14 April 2016].
- [22] Nederlands Elektrotechnisch Comité, NEN1010 Elektrische installaties voor laagspanning, Delft: Nederlands Normalisatie-instituut, 2015.

- [23] Nederlands Elektrotechnisch Comité, „NPR 5310 - Nederlandse praktijkrichtlijn bij NEN 1010,” Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2015.
- [24] rijkswaterstaat, „Strooien en zout,” Rijkswaterstaat, [Online]. Available: <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/winter-op-de-weg/strooien-en-zout.aspx?vraag1>. [Geopend 2 Mei 2016].
- [25] KNMI, „Weerstatistieken De Bilt,” [Online]. Available: <https://weerstatistieken.nl/>. [Geopend 2 Mei 2016].
- [26] Sunflow Solar Systems BV, „Webshop|Omvormers|SMA,” Sunflow Solar Systems BV, 2016. [Online]. Available: <http://www.sunflower-solarsystems.nl/webshop/omvormers/sma/>. [Geopend 30 Mei 2016].
- [27] T. Mahlia, T. Saktisahdan, A. Jannifar, M. Hasan en H. Matseelar, „A review of available methods and development on energy storage; technology update,” in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2014, pp. 532-545.
- [28] Zbattery, „Memory Effect - What it is and what you can do about it,” Zbattery, [Online]. Available: <http://www.zbattery.com/Battery-Memory-Effect>. [Geopend 2 maart 2016].
- [29] wikipedia, „Zouten,” [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zouten>. [Geopend 8 3 2016].
- [30] G. Li, X. Lu, C. A. Coyle, J. Y. Kim, J. P. Lemmon, V. L. Sprenkle en Z. Yang, „Novel ternary molten salt electrolytes for intermediate-temperature sodium/nickel chloride batteries,” in *Journal of Power Sources*, Elsevier, 2012, pp. 193-198.
- [31] *Cut-away schematic of Sodium-sulfur battery*. [Art]. NASA John Glenn Research Center, 2011.
- [32] Eurobat, „battery Technologies,” Eurobat, [Online]. Available: <http://www.eurobat.org/battery-technologies>. [Geopend 09 Mei 2016].
- [33] D. H. Doughty, A. A. Akhil, N. h. Clark, J. D. boyes en P. C. Butler, „Batteries for Large-Scale,” 2010. [Online]. Available: http://electrochem.org/dl/interface/fal/fal10/fal10_p049-053.pdf. [Geopend 2010 Maart 2016].

- [34] J. Whitacre, T. Wley, S. Shanbhag, S. Chun, W. Yang, D. Blackwood, A. Mohamed, E. Weber en D. Humphreys, „Large Format Aqueous Electrolyte Polyionic Devices for Low Cost, Multi-Hour Stationary Energy Storage,” [Online]. Available: http://cdn2.hubspot.net/hub/147472/file-1383456194-pdf/02_Collateral/Aquion_Technical_Presentation.pdf. [Geopend 25 April 2016].
- [35] Battery university, „BU-205: Types of Lithium-ion,” 21 Februari 2016. [Online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion. [Geopend 2 Maart 2016].
- [36] battery university, „BU-205: Types of Lithium-ion,” battery university, [Online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion. [Geopend 19 April 2016].
- [37] „Potential Environmental and Human Health Impacts of Rechargeable Lithium Batteries in Electronic Waste,” *Environmental Science & Technology*, nr. 47, p. 5495–5503, 2013.
- [38] X. Xie, „Vanadium Redox-Flow Battery,” Stanford university, 25 November 2011. [Online]. Available: <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/xie2/>. [Geopend 20 April 2016].
- [39] Tentaline, „Flow batteries,” [Online]. Available: <http://www.tantalline.com/Flow-Batteries-568.aspx>. [Geopend 2 Maart 2016].
- [40] Y. Hugo, W. Kout en G. Dalessi, „The hydrogen bromine flow battery for a large-scale integration of variable renewable electricity: state-of-the-art review,” Elestro, Arnhem.
- [41] IEA-ETSAP en IRENA, „Thermal Energy Storage technology brief,” IEA-ETSAP en IRENA, Januari 2013.
- [42] A. Oberhofer, „Energy Storage Technologies & Their Role in Renewable Integration,” Global Energy Network Institute (GENI), Juli 2012.
- [43] BBC, „Pumped storage hydroelectric power station,” [Online]. Available: http://www.bbc.co.uk/bitesize/standard/physics/energy_matters/generation_of_electricity/revision/3/. [Geopend 8 3 2016].

- [44] A. A. Akhil, P. Butler en T. C. Bickel, „Battery Energy Storage and Superconducting Magnetic Energy Storage for Utility Applications: A Qualitative Analysis,” Sandia national laboratories, Albuquerque, New Mexico en Livermore California, November 1993.
- [45] X. Zhao, B. M. Sanchez, P. J. Dobson en P. S. Grant, „The role of nanomaterials in redox-based supercapacitors for next generation,” Department of Materials, University of Oxford, 2010.
- [46] B. Bolund, H. Bernhoff en M. Leijon, „Flywheel energy and power storage systems. Renew Sustain Energy Rev 11,” in *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, Mei 2015, pp. 532-545.
- [47] G. Molina, Dynamic Modelling and Control Design of Advanced Energy Storage for Power System Applications Dynamic Modelling,, 2010.
- [48] P. Lehman, C. Chamberlin, G. Pauletto en M. Rocheleau, „Operating experience with a photovoltaic-hydrogen energy system,” in *International Journal of Hydrogen Energy*, Elsevier Science, 1997, pp. 465-470.
- [49] J. Bos, „Wikipedia,” 2008. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektrolyt>. [Geopend 2 Maart 2016].
- [50] G. Estrada, „Energy project slated for county,” 2014. [Online]. Available: <http://www.elynews.com/2014/01/03/energy-project-slated-county/>. [Geopend 2 Maart 2016].
- [51] „Cerium,” [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Cerium>. [Geopend 3 Maart 2016].
- [52] KNMI, „Klimaatatlas,” [Online]. Available: <http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php?wel=temperatuur&ws=kaart&wom=Gemiddeld+aantal+vorstdagen>. [Geopend 2 Mei 2016].
- [53] weerstatistieken.nl, „Weerstatistieken De Bilt - 2016,” KNMI, [Online]. Available: <https://weerstatistieken.nl/>. [Geopend 19 Mei 2016].

Bijlage 1: Omschrijving van verschillende opslag technologieën

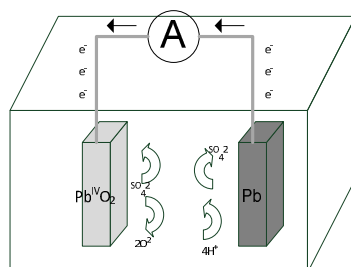
Er zijn vele soorten accu's waarvan enkele geschikt zijn voor het opslaan van PV energie. Een groot aantal van deze accu soorten is hier onder beschreven. Beschreven is wat de eigenschappen zijn van elk van deze opslag systemen en hoe deze accu's werken.

Lood zuur accu

Lood zuur accu's zijn de oudste en meest ontwikkelde accu's. Zoals afgebeeld in Figuur 18 wordt er gebruik gemaakt van een lood anode (Pb) en een lood dioxide (Pb^{4}O_2) kathode en een zwavelzuur oplossing als elektrolyt. Door het gebruik van zware metalen is deze accu giftig en slecht voor het milieu. Een ander nadeel van deze accu is de korte levensduur.[27] Een gemiddelde loodzuur accu heeft een levensduur van 500 – 1000 cycli en een energie dichtheid van 80 Wh/l. De efficiënte van de accu is redelijk tot goed (70 – 90%).[2] Door deze korte levensduur moeten de accu's relatief snel worden vervangen waardoor de totale kosten uiteindelijk hoger zullen uitkomen dan accu's met een langere levens cycli.

Onder de naam loodaccu vallen een aantal soorten accu's waarbij lood wordt gebruikt als kathode en anode. Er zijn zowel natte lood accu's als VRLA accu's (Valve Regulated Lead Acid). Bij een natte accu wordt een zwavelzuur oplossing gebruikt. Het nadeel van deze accu's is dat het water langzaam ontsnapt uit de accu door de druk van de reactie. Het gevolg hiervan is dat deze accu om de zoveel tijd moet worden bijgevuld. Bij een VRLA is dit niet het geval en is deze accu zo ontworpen om de gasopbouw te kunnen reguleren. Waarbij alleen bij te hoge druk wat gas ontsnapt via het luchtventiel. Naast deze accu's zijn er ook nog zogenaamde gel accu's waarbij het zwavelzuur is vermengd met siliconenoplossingen waarbij een gelachtige structuur ontstaat. Deze structuur is in staat om het ontsnapte gas op te kunnen nemen zodat deze accu's beter inzetbaar zijn en onder elke hoek opgesteld kunnen worden.

Bij het gebruik van lood accu's moet rekening worden gehouden met het ontsnappen van gassen. Hierdoor moet er behalve bij de gel accu worden gezorgd voor een goede ventilatie in de accu ruimte. Dit om gevaarlijke situaties met het brandbare zwavelgas te voorkomen. Om deze accu's te kunnen laden is een simpel laad systeem voldoende en is geen uitgebreid management systeem noodzakelijk.



Figuur 18: Schematische weergaven van een loodzuur accu[Chris de Vette 2016]

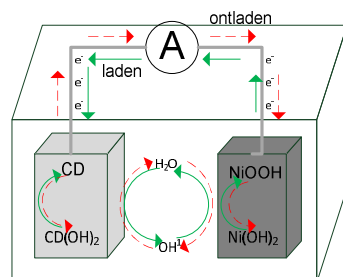
In gesloten behuizing zijn lood accu's niet schadelijk voor het milieu. Als deze accu's goed worden gerecycled kan 97 procent worden hergebruikt. Bij verkeerd gebruik kunnen loodhoudende dampen ontsnappen die milieuschade aanrichting en deze dampen zijn ook schadelijk voor mensen.

Nikkel accu

Een andere accu soort zijn de nikkel accu's, er zijn een aantal soorten nikkel accu's op de markt beschikbaar. Waarvan de meeste doorontwikkelde soorten de nikkelcadmium (Ni-Cd) en de nikkelmetaalhydride (Ni-MH) zijn. Met een efficiëntie van rond de 70% zijn ze eens een stuk minder efficiënt in vergelijking met overige accu technologieën. [3] De accu's hebben een levensduur van 1500 – 2000 cycli. [2][28]

Nikkel cadmium

Zoals in Figuur 19 aangegeven zijn Nikkel cadmium accu's (NiCd) opgebouwd uit twee materialen. Zoals de naam al aangeeft wordt als kathode materiaal nikkel(III)oxide gebruikt en wordt cadmium als anode gebruikt. Daartussen vind men een poreuze afscheiding met water en hydroxide. Vroeger hadden nikkel cadmium accu's last van een geheugeneffect. Waarbij de capaciteit langzaam de waarde aannam tot waar de accu werd ontladen. Dat wil zeggen dat als de accu telkens tot 50 procent wordt ontladen de capaciteit in de loop van de tijd ook 50 procent kleiner wordt. Tegenwoordig is dit probleem opgelost en gaat de capaciteit alleen omlaag door veroudering, te hoge temperatuur of te ver ontladen (wordt ook gebruikt als oplossing tegen het geheugenverlies)¹¹. De dichtheid van de accu is ongeveer 50-150 Wh/l. [2][28]



Figuur 19: Schematisch werking NiCd accu[Chris de Vette 2016]

Een nadeel van cadmium is dat het erg schadelijk is voor het milieu. Dit komt doordat cadmium oplosbaar is in water. Als cadmium in de grond terecht komt lost het gemakkelijk op in het grondwater. Waarna het zich gemakkelijk kan verspreiden.

Nikkel metaalhydride

Net als nikkel cadmium hebben Nikkel-metaalhydride-accu's (NiMH) een kathode van nikkel(III)oxide en een anode bestaande uit een mix van metalen in plaats van cadmium. Het voordeel ten opzichten van NiCd is dat de energie dichtheid tot wel 3 keer zo groot kan worden met een energie dichtheid tussen de 140 en 300 Wh/L. Waarbij het vermogen gelijk of iets lager uitkomt. Daarnaast hebben NiMH accu's geen last van het eerdergenoemde geheugen effect. In tegenstelling tot de Cadmium accu's bevat de NiMH accu weinig schadelijke materialen en is alleen het elektrolyt schadelijk voor bomen en planten. Hierdoor is de

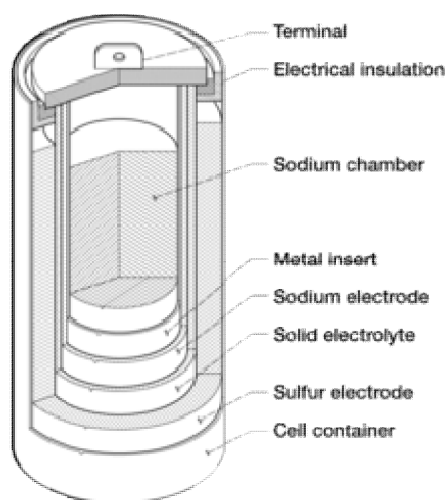
¹¹ Met geheel ontladen wordt bedoeld ontladen tot 1 volt per cel

NiMH accu zowel milieu technisch als prestatie technische beter voor het gebruik als opslag methode in tegenstelling tot NiCD.

Figuur 20: Schematisch overzicht van een NiMH accu[Chris de Vette 2016]

Zout accu's

Op de markt zijn een aantal varianten van zout accu's verkrijgbaar. Zouten zijn verbindingen die bestaande uit positieve ionen en negatieve ionen. Waarbij in het dagelijks leven met zout vooral keukenzout wordt bedoeld of te wel natriumchloride (NaCl)[29]. Het verschil in deze accu's zit in het gebruikte zout en de geleidende materialen zoals koper of koolstoffen. Om de deze accu's te laten werken moet het zout zich in een gesmolten of opgeloste toestand bevinden. Hiervoor zijn hoge temperatuur in de accu noodzakelijk. De benodigde temperatuur is afhankelijk van het smeltpunt van het zout. Deze hoge temperatuur wordt bereikt door een hoge interne weerstand die zich gedraagt als een verwarmingselement. Daarnaast zijn er ook varianten die een opgelost zout bevatten.[30]



Figuur 21: Opbouw van een Gesmolten zout accu[31]

Natrium sulfide (NAS) accu

Natrium sulfide accu's (NAS) is een vorm van hoge temperatuur accu's. Voor een juiste werking van deze accu's is een hoge temperatuur nodig van ongeveer 300 graden Celsius. Deze temperatuur wordt bereikt door de interne weerstand van de accu welk werkt als een verwarmingselement en de chemische reactie bij het laden en ontladen waarbij warmte vrijkomt. De accu heeft een cycle Life van tussen de 2500 en 4000 cycli met een rendement van ongeveer 90% met een dichtheid van rond de 300 Wh/L.[32]. Het nadeel van deze accu is de zelfontlading ten gevolgen van de interne weerstand. Ook is het risico van deze accu's groter door de hoge benodigde

temperaturen. Om de efficiëntie te bevorderen worden de accu's in grootte opstellingen geplaatst. Door de accu's samen te plaatsen houden ze elkaar letterlijk warm. Deze opstellingen worden in een vacuüm container geplaatst om de temperatuur zo optimaal te houden. Om deze reden beginnen de meeste systemen bij een vermogen van één mega watt [33].

Natrium nikkel chloride accu

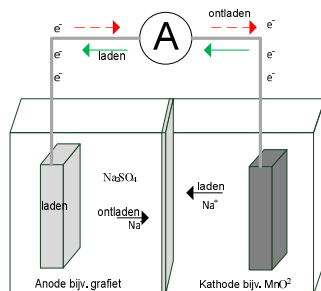
De nikkelnatriumchloride accu is een vorm van zout accu waarbij als kathode gekozen is voor nikkel natrium chloride en een gesmolten zout als anode.[29] De werkt temperatuur van deze accu is iets lager dan de NaS accu ongeveer 250 graden Celsius[30]. Het voordeel van deze temperatuur verlaging in opzichten van NaS is dat het aantal cycli wordt verlengd doordat de accu minder snel achteruit gaat. Daarnaast kan deze accu goedkoper worden uitgevoerd doordat er minder speciale materialen nodig zijn om de accu te produceren. Ook het rendement is vergelijkbaar met de NaS accu. Met een dichtheid van rond de 300 Wh/L.[32]

Gesmolten zout accu's

De NaS en de Nikkel chloride accu's zijn maar licht schadelijk voor het milieu. Het risico van deze accu's bevindt zich in de hoge temperaturen van de accu. Door deze temperaturen kan er snel brandgevaar ontstaan en worden deze accu's veelal in losse containers in een buitenopstelling geplaatst.

Zout water accu

Een andere vorm van een zout accu is de hybride zout accu. In tegenstelling tot het gesmolten zout accu's werken deze accu's op een lage temperatuur. Bij deze accu type wordt de kathode van de anode gescheiden door een membraan. Deze accu lijkt erg op een lithium accu. Waarbij de anode is opgebouwd uit grafiet en de kathode uit managenseoxide. Het elektrolyt in deze accu is een oplossing van natrium-zwaveloxide. De energie dichtheid van deze accu soort is met 20 Wh/l erg laag. Waardoor er veel meer opslag ruimte benodigd zal zijn in vergelijking met de overige accu soorten.

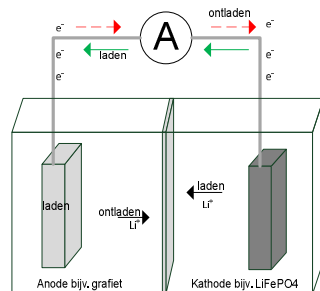


Figuur 22: Simpel overzicht van een zout water accu[Chris de Vette 2016]

Deze zoutwater accu's zijn een van de minst schadelijke accu's. In deze accu's bevinden zich geen schadelijke of explosieve stoffen en voor het membraan kan katoen worden gebruikt.[34] Hierdoor kan de accu eenvoudig worden gerecycled en ontstaat er geen gevaar tijdens het gebruik van de accu's. Er moet alleen wel rekening gehouden worden met een groot oppervlak opstel ruimte.

Lithium accu

Er bestaan verschillende soorten lithium accu's waarbij lithium-Ion (Li-ion) en Lithium-polymeer (Li-pol). Het enige verschil tussen deze twee soorten is het gebruikte scheidingsmateriaal tussen de anode en kathode. Door het gebruik van een polymeer kan de accu dunner worden uitgevoerd wat vooral een voordeel heeft voor het gebruik in een mobile applicaties zoals een laptop of telefoon. Een nadeel van lithium accu's is dat deze accu's moeten worden voorzien van een battery management systeem (BMS). Deze BMS controleert de temperatuur, spanning en stroom van de accu's en zorgt dat de cellen gelijk worden ontladen en geladen zodat er geen niveau verschillen ontstaat tussen de cellen. Wat nadelig gevolgen heeft voor de aanschaffkosten van deze accu's. Het rendement van de lithium accu's is zeer goed waarbij rendementen kunnen worden behaald tot 98%[35]



Figuur 23: Schematisch overzicht van een lithium accu[Chris de Vette 2016]

Lithium NMC accu

Lithium Nikkel mangaan kobalt (NMC) is een lithium accu waarbij gebruik wordt gemaakt van een nikkel mangaan kobalt oxide kathode en een anode van grafiet. Hierdoor ontstaat hele dichte accu met een energie dichtheid van tussen de 150 – 220 Wh/L en levensduur van 1000-2000 cycli afhankelijk van laaddiepte en temperatuur. Met een Thermal runaway¹² van 210 graden is dit een relatief veilige accu soort. Het aantal laad/ontlaad cycli van deze accu kunnen oplopen tot [36]

Lithium ijzer fosfaat accu

Lithium ijzer fosfaat (LiFePO4) is een accu waarbij lithium ijzerfosfaat wordt gebruikt als kathode materiaal. De goede eigenschappen en de lage weerstand zijn te danken aan het gebruik van nano-technologie in de kathode. Vooral het hoge aantal laad en ontlad cycli maakt deze accu geschikt. Hiernaast is deze accu erg stabiel met een thermal runaway van rond de 270 graden Celsius. Waardoor deze accu veiliger is dan NMC en gerekend kan worden tot een van de veiligste lithium accu's Het aantal laad en ontlad cycli kan oplopen tot 6000 cycli met een dichtheid tussen 150 – 220 Wh. [36]

Overige lithium accu's

Naast bovengenoemde twee soorten zijn er nog meer samenstellingen. Deze kunnen gebruikt worden voor opslagsystemen echter zijn deze minder geschikt om toe te passen doordat de laad/ontlaad cycli stukken lager liggen dan bij LiFePO4 of NMC. Voorbeelden hiervan zijn lithium Kobaltoxide of lithium nikkel kobalt aluminium oxide.

Lithium accu's zijn in beperkte mate schadelijk voor het milieu. Waarbij het niet lithium maar overige materialen de boosdoener zijn. Enkele schadelijke materialen zijn Lood, chroom, thallium en kobalt.[37] Een Lithium accu moet altijd voorzien zijn van een batterij management systeem (BMS) dit systeem controleert de spanning, stroom en temperatuur van de accu. Lithium accu's zijn onder normaal gebruik niet gevaarlijk.

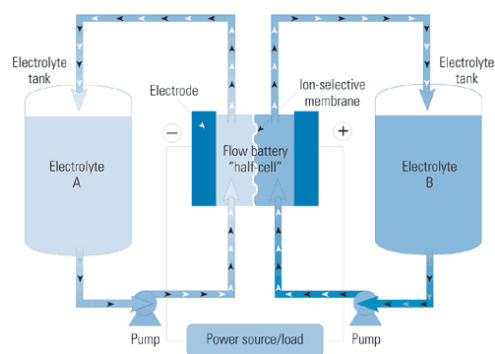
¹² Proces waar door te hoge temperatuur het ontlad proces van de accu wordt versnelt, waardoor de temperatuur alsmat toe neemt tot het brandpunt van de accu.

Echter kunnen deze bij onzorgvuldig gebruik een gevaar vormen. Lithium branden zijn gevaarlijke branden omdat er veel giftige stoffen vrij komen en deze lastig te blussen zijn. Lithium ijzer fosfaat dat gebruikt wordt voor de meeste opslag system is de meest veilige variant. Een bijkomend voordeel is dat deze accu zowel binnen als buiten gebruikt kan worden door een ruim temperatuur bereik van ongeveer -20 t/m +50 graden Celsius.[3]

Flow accu

In vergelijking met de normale accu's slaan flow accu's hun energie op doormiddel van een chemische reactie. Waarbij het chemische materiaal wordt opgeslagen in twee aparte tanks in plaats van één gezamenlijke ruimte. Doormiddel van elektrolyse¹³ worden de stoffen van elkaar gescheiden en worden de geladen ionen opgeslagen. En genereren elektrische energie doormiddel van de omgekeerde chemische reactie van de twee elektrolyten¹⁴. [27] In onderstaand figuur is een schematische weergave van het proces weergegeven. Er zijn verschillende soorten flow accu's op de markt gebruik maken van het zelfde principe.

Voordelen van flow accu's ten opzichten van normale accu's zijn de lange levensduur en de onafhankelijke capaciteit. Het aantal laad/ontlaad cycli bij flow accu's is onafhankelijk van de chemische samenstelling. De levensduur van een flow battery wordt bepaald door het membraan en de benodigde pompen. Als deze onderdelen tijdig worden vervangen gaat het systeem even lang mee als de levensduur van de opslag tanks en behuizingen. Daarnaast is de verhouding tussen het vermogen (kW) en de capaciteit (kWh) vast zoals bij een normale accu. Het vermogen wordt bepaald door de celmembranen hoe meer membranen er worden toegepast hoe groter het vermogen. De capaciteit is afhankelijk van de grootte van de opslag tanks. Hierbij kan in theorie een oneindig grootte capaciteit worden gerealiseerd. De Kostprijs van een flow accu is voor 40% afhankelijk van het membraan en 30% afhankelijk van het elektrolyt. Door het verbeteren en het grootschalig produceren van deze membranen is de verwachting dat de prijs van een flow accu aanzienlijk gaat zakken[38]



Figuur 24: Werking van een flow accu [39]

Vanadium redox flow accu

De meest voorkomende flow accu is de vanadium reductie accu. Het voordeel van Vanadium is dat het zich gemakkelijk in meerdere toestanden kan bevinden. Zo is er een positieve tank met vanadiumoxide die wordt gevormd door een reactie van vanadium en water naar waterstof en vanadiumoxide en een negatieve tank met Vanadium^{III} die tijdens het ontladen een elektron afstaat en vanadium^{II} vormt. De

¹³ Chemische reactie waarbij stoffen worden ontleed doormiddel van elektrische stroom.

¹⁴ Elektrolyten zijn chemische verbindingen die in een oplossing of in gesmolten toestand geheel of gedeeltelijk in ionen gesplitst zijn en dan de elektrische stroom geleiden.[49]

energie dichtheid van deze accu is aan de lage kant tussen de 15 en 25 Wh/l. Ook het rendement is relatief laag tussen de 70 en 90 %[38]

Waterstof bromide accu

Een alternatief op de Vanadium flow accu is de waterstof bromide flow accu. De techniek werkt op de zelfde wijzen waarbij tijdens het laden het waterstofbromide zich splitst in waterstof en bromide doormiddel van elektrolyse. Tijdens het ontladen van de actie worden deze vloeistoffen samen door het membraan gepompt en zullen de stoffen reageren met elkaar en ontstaat er waterstofbromide en elektronen die worden afgevoerd doormiddel van het membraan. De keuze voor bromide is gebaseerd op de kostprijs van deze grondstof ten opzichten van vanadium. Waarbij de prijs van bromide tot een factor 10 goedkoper is dan Vanadium. Hierdoor moet er beter geconcentreerd kunnen worden met de verwachte prijsdaling van lithium opslagsystemen. De dichtheid van deze flow accu is vergelijkbaar met die van een Vanadium accu. En zal iets lager uitkomen met een dichtheid van 15-20 Wh/l met een rendement van tussen de 70 en 90%[40]

Milieutechnisch zijn voor het opslaan van waterstof verschillende regels en normen opgesteld. Echter voor het opslaan van de overige stoffen zijn nog geen regels. Broom is een giftige stof en moet daarom voorzichtig worden behandeld. Als broom vrijkomt, verdampt het zeer snel en gaat het verbinden aan met andere stoffen. Hierdoor is het vooral schadelijk voor mens en dier. Voor de veiligheid is het verstandig om een dubbellaags opslagtank te gebruiken waartussen een bindende stof wordt geplaatst zodat bij schade aan de tank het broom reageert tot een veilige stof. Dit wordt ook wel een complexing agent genoemd. Vanadium is een erg giftige stof is en kan bij inhalatie zelf kanker veroorzaken. Bij de juiste opslag zijn beide stoffen niet schadelijk en doormiddel van een bindende stof kan schade aan het milieu bij defecten worden voorkomen.

Bijlage 2: Berekening terugverdientijd aanschafkosten

Steunpunten:

systeem	Merk en type	Prijs (ex installatie, levering, etc.)
Opslag systeem	Saft Intensium® Mini (energy variant) 2 x 120kWh	€145.000
<i>Inverter</i>	<i>SMA tripower 20000TL</i>	<i>€3.195 ps.[26]</i>
Inverter totale levensduur 20jr	SMA tripower 20000TL (2 keer voor een vermogen van 40kW inclusief vervangen na 10 jaar	€12.780
Totaal:	(excl. levering, installatie en onderhoud)	€157.780

Kostprijs aanschaf kosten: €157.780

Rekenwaarde energie prijs: €0,10 per kWh

Verbruik per dag: 117,6 kWh uitgaande van 4 uur verlichting met en vermogen van 29,4 kW

Verbruik per jaar: 117,6 kWh * 40 strooibeurten per jaar = 4.704 kWh

Besparing per dag: 120 kWh x €0,21 = €25,2

Besparing per jaar is: 4.704 kWh x €0,10 = €470,4

Terugverdientijd: €157.780 / €470,4 = 335 jaar

Station Helmond:

systeem	Merk en type	Prijs (ex installatie, levering, etc.)
Opslag systeem	Saft Intensium® Mini (energy variant)	€72.500
<i>Inverter</i>	<i>SMA tripower 15000TL</i>	<i>€2.855 ps.[26]</i>
Inverter totale levensduur 20jr	SMA tripower 15000TL (2 keer voor een vermogen van 30kW inclusief vervangen na 10 jaar	€11.420
Totaal:	(excl. levering, installatie en onderhoud)	€83.920

Kostprijs aanschaf kosten: €83.920

Rekenwaarde energie prijs: €0,10 per kWh

Verbruik per dag: 60 kWh uitgaande van 20 branduren per dag.

Verbruik per jaar: 60kWh * 365 = 21.900 kWh

Besparing per dag: 60 kWh x €0,10 = €6

Besparing per jaar is: 21.900 kWh x €0,10 = €2.190

Terugverdientijd: €83.920 / €2.190 = 38,2 jaar

Station Helmond met een prijsdaling van 47%:

Kostprijs aanschaf kosten: €38.425

Rekenwaarde energie prijs: €0,10 per kWh

Verbruik per dag: 60 kWh

Verbruik per jaar: 21.900 kWh

Besparing per dag: 60 kWh x €0,10 = €6

Besparing per jaar is: 21.900 kWh x €0,10 = €2.190

Terugverdientijd: €38.425 / €2.190 = 17,5 jaar

Benodigd PV vermogen Station Helmond

Jaarlijkse energie behoefte: 24.353 kWh

Kwp -> kWh : 10/9

Wp vermogen PV panelen : 250 Wp

Om jaarlijks ongeveer 24.500 kWh op te wekken is een PV capaciteit van $1,1 * 24.000 \text{ kWh} = 26950 \text{ kWh}$ aan PV vermogen nodig.

Uitgaande van 250 Wp PV panelen zullen er dus $26.950/250 = 108$ panelen benodigd zijn.

Bijlage 3: Kabelberekeningen

Steunpunten 100 Meter bij 5kVA 200V DC (5000VA/230V=25A)

Bepaling geleiderdoorsnede Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 27.6A$

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos ϕ

Aantal kabels per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

Extra correctiefactor

Product correctiefactoren

Toepassingen



	Geleider- doorsnede	I_z	Spannings- verlies	Maximale lengte
Fout	2.5mm ²	32 A	8.13 %	80m
Goed	4mm ²	42 A	4.82 %	137m
Goed+ 6mm ²	54 A	3.15 %	209m	

110987 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4G...		
117317 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4x...		
110925 - VULT 0,6/1kV mb gy# 5G...		

Draka

<http://www.draka.nl/Kabulator-nl>

Schermpname gemaakt op: 18-05-2016; 10:39

230V AC (5000VA/230V=21,8A)

Bepaling geleiderdoorsnede Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 27.6A$

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos ϕ

Aantal kabels per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

Extra correctiefactor

Product correctiefactoren

Toepassingen



	Geleider- doorsnede	I_z	Spannings- verlies	Maximale lengte
Fout	2.5mm ²	32 A	6.96 %	80m
Goed	4mm ²	42 A	4.17 %	137m
Goed+ 6mm ²	54 A	2.74 %	209m	

110987 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4G...		
117317 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4x...		
110925 - VULT 0,6/1kV mb gy# 5G...		

Draka

<http://www.draka.nl/Kabulator-nl>

Schermpname gemaakt op: 18-05-2016; 10:40

350V DC (5000 VA/350V=14,3A)

Bepaling geleiderdoorsnede Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 17.7A$

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos ϕ

Aantal kabels per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

Extra correctiefactor

Product correctiefactoren 1.00

Toepassingen

Halogeenvrij ☐

Extra flexibel ☐

⇒

	Geleider- doorsnede	I_z	Spannings- verlies	Maximale lengte
Fout	1.5mm ²	23 A	7.06 %	76m
Goed	2.5mm²	32 A	4.18 %	134m
Goed+ 4mm ²	42 A	2.56 %	220m	

↓

111141 - VULT 0,6/1kV mb gy# 3x...		
125889 - VULT 0,6/1kV mb gy# 3x...		
110923 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4G...		
125895 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4G...		

Draka

<http://www.draka.nl/Kabulator-nl>

Schermafbeelding gemaakt op: 18-05-2016; 10:42

Hoofdkabel bij 30 KVA ($30.000VA/350V= 85,7 A$)

Bepaling geleiderdoorsnede Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 110A$

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos ϕ

Aantal kabels per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

Extra correctiefactor

Product correctiefactoren 1.00

Toepassingen

Halogeenvrij ☐

Extra flexibel ☐

⇒

	Geleider- doorsnede	I_z	Spannings- verlies	Maximale lengte
Fout	16mm ²	100 A	0.46 %	101m
Goed	25mm²	127 A	0.28 %	167m
Goed+ 35mm ²	158 A	0.2 %	234m	

↓

111046 - VULT 0,6/1kV mb gy# 3x...		
111154 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4G...		
124176 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4x...		

Draka

<http://www.draka.nl/Kabulator-nl>

Schermafbeelding gemaakt op: 18-05-2016; 10:50

Hoofdkabel bij 30 KVA ($30.000VA/200V= 150 A$)

Bepaling geleiderdoorsnede Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 177A$

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos ϕ

Aantal kabels per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

Extra correctiefactor

Product correctiefactoren

Toepassingen

	Geleider- doorsnede	I_z	Spannings- verlies	Maximale lengte
Fout	35mm ²	158 A	0.39 %	140m
Goed	50mm ²	192 A	0.28 %	193m
Goed+ 70mm ²	70mm ²	246 A	0.19 %	281m

124630 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

124641 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

124654 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

Draka

<http://www.draka.nl/Kabulator-nl>

Schermpname gemaakt op: 18-05-2016; 10:51

Station Helmond 30 meter bij 1,5kVA 110V DC bij 1.5 kVA @30 meter kabellengte

Acceptable Loss

Vdc - System Voltage

Amps (Watts/Voltage)

Length of Cable Run (m)

Matched mm Cable Size Required

Matched AWG Cable Size Required

DC Cable Sizing Tool - Wire Size Calculator - MM2 & AWG - solar-wind.co.uk

<http://www.solar-wind.co.uk/cable-sizing-DC-cables.html>

Schermpname gemaakt op: 19-05-2016; 11:27

12V DC bij 1.5 kVA @30 meter kabellengte

3%
4%
5% Acceptable Loss

12 Vdc - System Voltage

125 Amps (Watts/Voltage)

30 Length of Cable Run (m)

Calculate

300mm Matched mm Cable Size Required

Too large Matched AWG Cable Size Required

DC Cable Sizing Tool - Wire Size Calculator - MM2 & AWG - solar-wind.co.uk
<http://www.solar-wind.co.uk/cable-sizing-DC-cables.html>

Schermpname gemaakt op: 19-05-2016; 11:29

200V DC bij 1.5kVA @30 meter kabbellengte

3%
4%
5% Acceptable Loss

200 Vdc - System Voltage

7.5 Amps (Watts/Voltage)

30 Length of Cable Run (m)

Calculate

1.5mm Matched mm Cable Size Required

17 AWG Matched AWG Cable Size Required

DC Cable Sizing Tool - Wire Size Calculator - MM2 & AWG - solar-wind.co.uk
<http://www.solar-wind.co.uk/cable-sizing-DC-cables.html>

Schermpname gemaakt op: 19-05-2016; 11:37

230V AC bij 1.5kVA @30 meter kabbellengte

Bepaling geleiderdoorsnede

Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 17.7$ A

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos ϕ

Aantal kabels per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

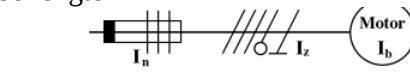
Extra correctiefactor

Product correctiefactoren

Toepassingen

Halogeenvrij ☐

Extra flexibel ☐



	Geleider- doorsnede	I_z	Spannings- verlies	Maximale lengte
Fout	-	-	-	-
Goed	1.5mm ²	23 A	1 %	53m
Goed+	2.5mm ²	32 A	0.61 %	88m

110993 - VULT 0,6/1kV mb gy# 3x...		
110467 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4G...		
125890 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4G...		
110994 - VULT 0,6/1kV mb gy# 4x...		

Draka

<http://draka.nl/Kabulator-nl>

Schermpname gemaakt op: 19-05-2016; 11:55

Bijlage 4: Berekening hoofdkabel steunpunt houten

Bepaling geleiderdoorsnede Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 1379$ A

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos φ

Aantal kabels parallel per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

Kabel in een koker gelegd ☒

Afstand tussen kokers

Grondtype (Warmteweerstandcoëfficiënt)

Extra correctiefactor

Product correctiefactoren

Geleiderdoorsnede I_z **Spanningsverlies** **Maximale lengte**

Fout	185mm ²	1224 A	0.2 %	107m
Goed	240mm²	1413 A	0.16 %	151m
Goed+300mm ²	1594 A	0.13 %	194m	

124652 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

De uitkomst van deze berekening is tot stand gekomen door het standaard toepassen van de NEN 1010. Gezien de hoge stroom, en de zwaarte van de kabel, kunnen wij hier ook een maatwerk oplossing bieden. Hiervoor kunt u contact opnemen met onze helpdesk: **088-808 4 808**

Er moeten 2 keer 4 kabels parallel worden genomen om een vermogen van 2450 Ampère te vervoeren.

Draka

<http://draka.nl/Kabulator-nl>

Schermpname gemaakt op: 25-05-2016; 13:03

Bepaling geleiderdoorsnede Clausule

Ontwerpstroom (I_b) A

Beveiligingsmiddel

Stroom beveiligingsmiddel nom. (I_n) A $I_z \geq 177$ A

Kortsluittijd

Toelaatbare spanningsverlies %

Kabellengte m

Cos φ

Aantal kabels parallel per stroomketen

Installatiemethode

Temperatuur

Kabel in een koker gelegd ☒

Grondtype (Warmteweerstandcoëfficiënt)

Extra correctiefactor

Product correctiefactoren

Geleiderdoorsnede I_z **Spanningsverlies** **Maximale lengte**

Fout	50mm ²	177 A	0.23 %	193m
Goed	70mm²	218 A	0.16 %	281m
Goed+95mm ²	259 A	0.12 %	392m	

124635 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

124642 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

123739 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

124655 - VULTFLEX mb 0,6/1kV g...

Als u achter de berekende kabel

Draka

<http://draka.nl/Kabulator-nl>

Schermpname gemaakt op: 25-05-2016; 13:05

Bijlage 5: Aderdikte bij 7 LED armaturen bij 12V/12W per stuk

Bereken de max. kabellengte	
Max. stroom I(MPP) [A]	7
Max. spanning U(MPP) [V]	12
Doorsnede ader A [mm ²]	2.5
Kabelverlies [%]	5
Soortelijke weerstand kabel ρ [Ω m/mm ²]	0.0184
Bereken	
Max lengte van de kabel l [m] bij dit kabelverliespercentage	11.65

Kabelberekening - Zonnepaneel-info

<http://www.zonnepaneel-info.nl/nl/leidingdiameter.html>

Schermpname gemaakt op: 25-05-2016; 8:46

Bereken de max. kabellengte	
Max. stroom I(MPP) [A]	7
Max. spanning U(MPP) [V]	12
Doorsnede ader A [mm ²]	4
Kabelverlies [%]	5
Soortelijke weerstand kabel ρ [Ω m/mm ²]	0.0184
Bereken	
Max lengte van de kabel l [m] bij dit kabelverliespercentage	18.63

Kabelberekening - Zonnepaneel-info

<http://www.zonnepaneel-info.nl/nl/leidingdiameter.html>

Schermpname gemaakt op: 25-05-2016; 8:48

Bijlage 6: Installatie schema steunpunten Houten

PV panelen

Maximal power point tracker

PV scheider

Laad regelaar

DC/DC

DC/AC

hoofdzekering

Contactor opslag medium

Opslag medium

	VA
Noodverlichting technische ruimte	299
Verlichting entree, toiletten	131
Verlichting kantine, overloop en aanlandplek	867
Verlichting werkplaats en overdekte stalling	999
Verlichting luifel gebouw	531
Verlichting luifel ploegen en strooiers	5027
Verlichting luifel ploegen en strooiers	5027
Verlichting zoutloods	3720
Verlichting zoutloods	1058
Terreinverlichting	5328
Terreinverlichting	6393

Schematisch overzicht PV en verlichtingsinstallatie Steunpunten Houten

FORMAAT

A3

PRODUCTCODE

TEKENINGNR.

REV

1

SCHAAL

NVT

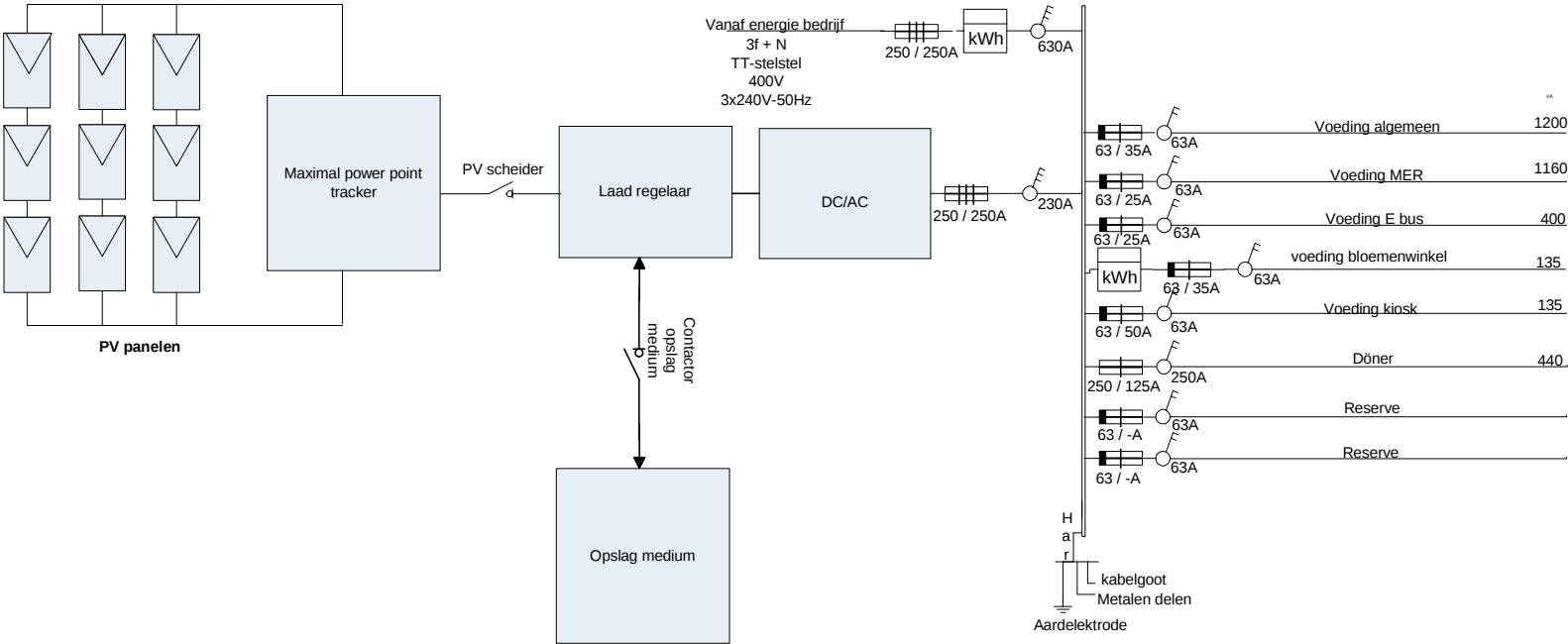
BLAD

1 VAN 1

[illegible]

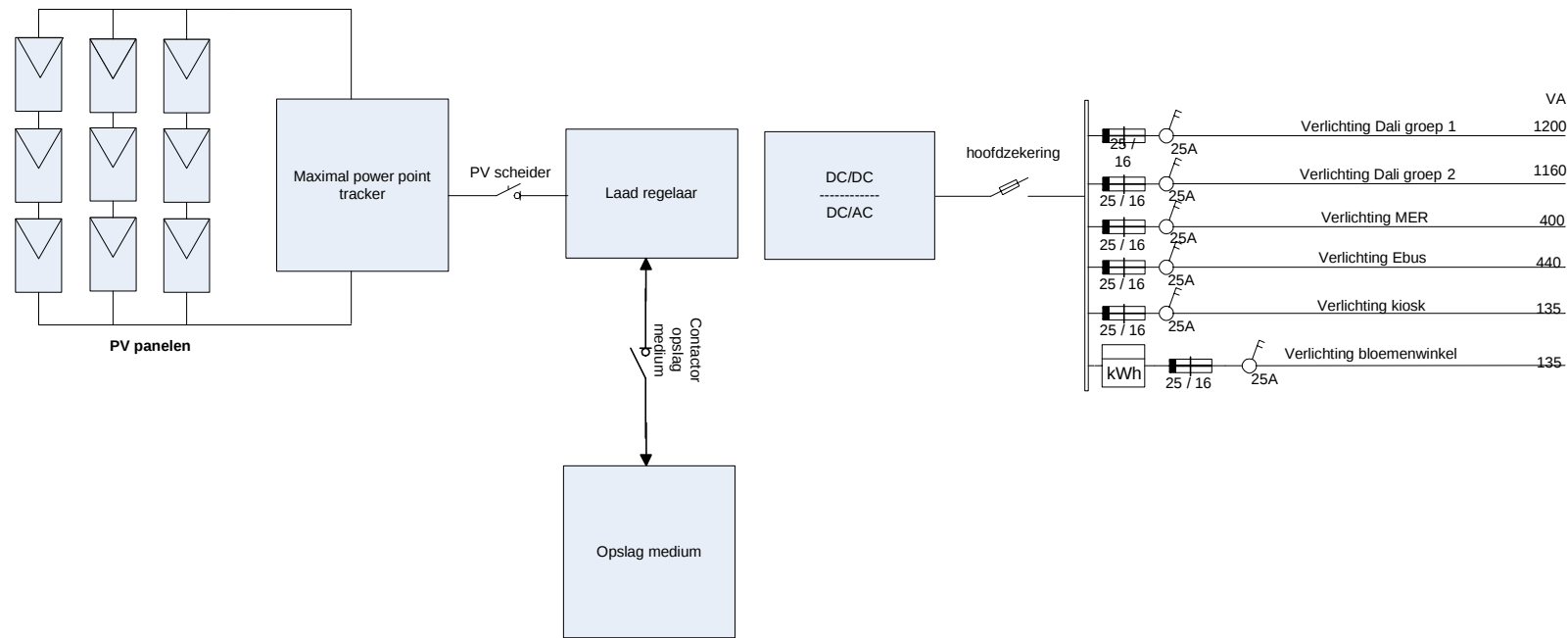
	Daktekening met PV panelen Station Helmond			
	FORMAAT A4	PRODUCTCODE	TEKENINGNR.	
	SCHAAL	NVT	BLAD	1 VAN 1

Bijlage 8: Installatie schema totale installatie Station Helmond



Schematisch overzicht PV met algemeen opslag systeem Station Helmond			
	FORMAAT	PRODUCTCODE	TEKENINGNR.
	A3		1
	SCHAAL	NVT	BLAD 1 VAN 1

Bijlage 9: Opslag systeem voor verlichtingsinstallatie Station Helmond



Opslag systeem met verlichtingsinstallatie station Helmond			
FORMAAT	PRODUCTCODE	TEKENINGNR.	REV
A3			
SCHAAL	N.V.T	BLAD	1 VAN 1

Bijlage 10: Overige informatie bronnen

Leveranciers:

- Secomec: Presentatie over hun opslag systeem en uitleg over het demoproject NiceGrid.
- Elestor: Uitleg over de werking van een flow accu, uitleg over hun eigen oplossing en een demonstratie van het prototype
- Saft: Mail contact over de datasheets, prijsinformatie en hun uitwerking voor Station Helmond en Houten
- Aquion: Informatie over een zout water accu, de eigenschappen van hun oplossing en een richtprijs voor het aanschaffen van het systeem. Daarnaast een telefoon afspraak voor verduidelijking van de werking.
- NGK: Mail contact over de mogelijkheden van NAS accu's en een presentatie info over projecten ontvangen in PDF formaat. Met daarnaast een richtprijs voor het systeem inclusief de bijbehorende datasheet.
- Allcell: Mail contact over de opslag systemen en de bijbehorende prijzen en datasheets.
- Gildemeister: Ontvangen refferenties,prijs en datasheets
- Fiamm: ontvangen datasheets, mogelijke oplossing en een grove richtprijs

Beurs:

- Solarsolutions: Zonne-energie beurs in Haarlemmermeer, gedachten uitgewisseld met partijen binnen de zonne-energie sector met onder andere Solarwatt, Mastervolt, Solaredge, Nilar en SMA Benelux