

SMART HOME GRID DEMONSTRATOR

Project S4



Hoofdstuk 1 Inleiding.....	3
Hoofdstuk 2 Plan van Aanpak.....	4
2.1 Achtergrond	4
2.2 Projectopdracht	5
2.3 Probleemstelling	6
2.4 Op te leveren producten.....	7
2.5 Project organisatie	8
2.6 Planning.....	9
2.7 Contract.....	10
Hoofdstuk 3 verdieping elektrisch inhoud.....	11
3.1 SolarEdge	11
3.2 SolarEdge Omvormer	12
3.3 Eplan Tekening	15
Hoofdstuk 4 Demo opstelling	17
4.1 Indeling kar.....	17
4.2 Bekabeling Kar	19
4.3 Leidingwerk Kar.....	22
4.4 Zwaartepunt kar.....	25
Hoofdstuk 5 Impact op milieu	26
Hoofdstuk 6 Zonnepanelen	31
Hoofdstuk 7 Analyse Energy Management System.....	37
7.1 EMS system keuze.....	37
7.2 EMS open source platforms.....	38
7.3 Hardware onderzoek	40
7.4 Algoritme analyse	41
7.5 EMS Statements.....	42
Hoofdstuk 8 Resultaten	45
Testrapport	46
Testplan 1 Zonnepanelen goed aangesloten.....	46
Testplan 2 SolarEdge/Home Assistant online uitlezen	47
.....	48
Testplan 3 Duco aanzetten.....	48
Testplan 4 Aarde meting.....	48
Testplan 5 één zonnepaneel	49
Hoofdstuk 9 Conclusie	50
Hoofdstuk 10 Aanbevelingen.....	51

Systeem op de kar.....	51
Bronvermelding	52
Bijlagen	54
Berekeningen	54
PVE	58

Hoofdstuk 1 Inleiding

Tijdens semester 4 volgen studenten altijd een project, waar de kennis wordt toegepast van dat en voorgaande semesters. Er is uit meerdere projecten door de groep gekozen voor het project Smart Home Grid Demonstrator die wordt uitgevoerd voor de opdrachtgever Ronald van Buuren. De projectgroep bestaat uit 7 studenten van werktuigbouwkunde (WTB), elektrotechniek (ELT) en embedded systems engineering (ESE). Het doel is het realiseren van een Smart Home Grid verrijdbare demonstratieopstelling, waarop een energiemangement-systeem op kan worden gesimuleerd. Er zal stroom worden geleverd door PV-panelen die op het MIC zijn gemonteerd. De opgewekte stroom zal worden gebruikt voor het draaien van een warmtepomp, die een cv-systeem nabootst. Dat alles zal afleesbaar en bestuurbaar zijn door middel van software.

Dit document bestaat uit een plan van aanpak, waarin de planning, doelstelling, taakverdeling enzovoort in beschreven staat. In de hoofdstukken daarna zal vooral onderzoek, de realisatiefase en testopstellingen worden beschreven. Verder is er een conclusie met bronvermelding te vinden. Tot slot zijn er onderaan bijlagen, zoals berekeningen te vinden.

Hoofdstuk 2 Plan van Aanpak

2.1 Achtergrond

Vorig jaar(2021-2022) is er door S4 Studenten van de HAN gewerkt aan een Smarthome grid waarop een EMS op kan gesimuleerd worden. EMS staat hierbij voor een energiemanagement-systeem. De client Ronald van Buuren heeft dit project opgezet. De studenten moesten met behulp van deze Smarthome grid installatie een Smart EMS maken die hierbij werkt, waardoor er slimmer en efficiënter gebruik kan gemaakt worden van de opgewekte energie in een huis. Met behulp van de Smart EMS zal de lokale netspanning niet te hoog worden op een zonnige dag en zal de opwekking van energie efficiënter zijn.

De studenten hebben hiervoor ook twee cursussen gevolgd van Solar edge om hunzelf te voorzien van voorkennis. Hierna is men aan de slag geweest met het ontwerpen van een installatie dat een huis installatie simuleert. Hierbij is er over nagedacht aan de juiste componenten die hiervoor nodig waren. Daarnaast is er gebrainstormd over hoe de EMS zou moeten functioneren. Ook is er gekeken naar hoe met de beschikbare software de installatie kan worden aangestuurd.

Uiteindelijk is er een installatie ontworpen met een monitoring van de energie stromen in het systeem. De installatie is nog geen volledig geheel, in verband met een vertraging van de levering van de PV-panelen. Er is ook al een Smart EMS algoritme gecreëerd waarbij de auto accu kan gediend worden als verbruiker van energie en als opslag van energie. Ondertussen zijn de 8 PV-panelen wel binnen waarmee de huidige projectgroep weer kan beginnen.

2.2 Projectopdracht

De hoofdopdracht voor het semester 4 project is als volgt: het realiseren van een Smarthome grid waarop een energiemanagement-systeem op kan worden gesimuleerd. Het product dat wij gaan ontwerpen zal moeten voldoen aan een aantal vooraf opgestelde eisen, waarvan een lijst in de volgende ontwerpfase zal worden opgesteld. Veel hardware is al aangeschaft door de vorige groep om een Smart Grid op huishoudniveau te simuleren, zoals: 8 PV-panelen, een Solar Edge inverter en optimizers, een LG accu, een Duco ventilatie-warmtepomp en een groepenkast met wandcontactdozen. Behalve de PV-panelen, de accu en de warmtepomp is alles ook op een paneel gemonteerd en elektrisch aangesloten. De PV-panelen moeten nog worden gemonteerd en aangesloten.

Dit project beoogt de compleet “smart” werkende installatie op te leveren. Voor de warmtepomp ontwerpen de betrokken WTB studenten een klein leidingcircuit (met buffervat en thermometer) voor de Duco warmtepomp. Dit leidingcircuit bootst een vloerverwarmingscircuit na. Het leidingcircuit en de warmtepomp worden op een verrijdbaar rek gemonteerd en elektrisch verbonden met de groepenkast van ELT. Naast dit is ELT ook verantwoordelijk voor het goed aansluiten van de PV-panelen en helpen monteren van de power optimizers op zowel de loods als op de kar. Ook is het beter dat ELT meedenkt en kijkt voor een goede plek voor de meterkast-inverter-accu's-radiator op de kar, in verband met de bekabeling en warmte afvoer van het apparaat. De WTB studenten zullen hierbij helpen met het in rekening houden van de stabiliteit van de kar. De ESE studenten gaan daarentegen voornamelijk ontwerpen en testen van een energiemanagement-systeem (EMS algoritme) dat het door de klant gewenste optimale gedrag vertoont. Hierbij zal ELT ook een kleine toevoeging kunnen zijn voor het werken aan het EMS door bijvoorbeeld rekening te houden met de waardes van de batterij en omvormer. De bedoeling is om het project zo veel mogelijk opensource software te gebruiken en ook open source te laten, zodat eventuele aanpassing makkelijk doorgevoerd kunnen worden en nodige informatie op te kunnen zoeken.

2.3 Probleemstelling

2.3.1 voorlopige probleemstelling

Ontwerpopdracht:

Er moet een opstelling gemaakt worden die een Smart Home situatie nabootst. Hier komt dan een warmtepomp in combinatie met 8 zonnepanelen om te zorgen dat er zo efficiënt mogelijk gebruik wordt gemaakt van de elektriciteit. Om de energie nog efficiënter op te slaan, wordt doormiddel van een thuisbatterij en een buffervat + radiator de energie op geslagen en omgezet in nuttige warmte. Om aan de opdracht te voldoen, is er een lijst van eisen vastgesteld door overleg met de opdrachtgever, het [Programma van Eisen](#). Die is achteraan in de bijlages in zijn geheel te vinden.

Probleemsituatie:

Op moment staat er nog geen opstelling, maar zijn er al wel veel onderdelen. Er moet er voor gezorgd worden dat er een werkende opstelling komt waaraan getest kan worden. Dit moet allemaal met elkaar zo werken dat het een Smart Home nabootst. Hier moet ook een display bij komen die al deze gegevens weergeeft, dit moet geprogrammeerd worden en hiervoor moeten de juiste materialen en onderdelen voor besteld worden.

Ontwerpproblemen:

Als eerste moeten alle onderdelen in kaart worden gebracht om de opstelling compleet te kunnen maken. Op het moment van schrijven (begin van het project) staat er een warmtepomp, 8 zonnepanelen, convectie radiator, batterijen, frame, een opzet voor een smart management system en een antenne. Hier komen nog een aantal onderdelen bij die nog besteld moeten worden.

Hierna moet er een indeling ontworpen worden op het frame. Hiervoor moet er genoeg ruimte overgehouden worden voor alle kabels, slangen en antennes. Verder moet de opstelling verplaatsbaar zijn, hier moet ook rekening mee gehouden worden.

2.4 Op te leveren producten

In de loop van het project moeten er verschillende producten geleverd worden aan de opdrachtgever en de docenten. Deze producten zijn onderverdeeld in fysieke en digitale producten.

2.4.1 Fysieke producten

Het doel is om een fysieke opstelling te ontwerpen en samenstellen met een warmtepomp, werkende elektra (denk aan thuis-accu's, omvormer, bekabeling) en een lage-temperatuur circuit die verwarming nabootst. Daarnaast moeten er PV-panelen boven op een loods komen op het IPKW/MIC terrein. Die zullen door onze groep gemonteerd worden en verbonden worden zodat ze met een kabel in de loods met de rest van de samenstelling zullen verbinden. Verder zullen wij dit allemaal moeten presenteren aan de hand van een presentatie en poster aan het einde van het project.

2.4.2 Digitale producten

De groep zal meerdere producten digitaal inleveren, waaronder dit PVA. Er zal een overkoepelend document gemaakt worden waar alles in gedocumenteerd wordt betreffende het project, in de vorm van een ontwerprapport. Verder zullen de eindpresentatie, poster, video en eventuele tekeningen online ingeleverd worden.

2.5 Project organisatie

Partij 1: opdrachtgever

Begeleider: Ronald van Buuren (HAN)
Adres: Westervoortsedijk 73
Postcode: 6827 AV
Plaats: Arnhem
Land: Nederland

Partij 2: opdrachtnemers

Naam:	Studentennummer:	Opleiding:
Arvin Bloem	1679128	WTB
Berend Schaap	1645537	WTB
Kasper Gielkens	1671645	WTB
Klaasjan Wagenaar	1667599	ESE
Len Verploegen	1647316	ESE
Safa Sarioglu	1665447	ELT
Alan Boot	1645365	ELT

Tabel 1 Deelnemers van de projectgroep

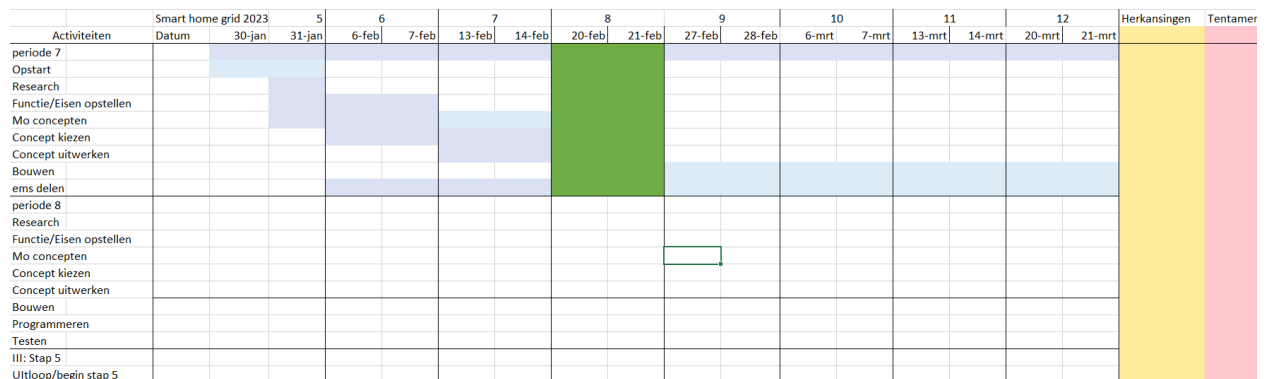
Partij 3: Hogeschool HAN

Begeleiders:	Opleiding:	Email:
Jan Verbeek	WTB	Jan.Verbeek@han.nl
Francesco Ursino	ELT	Francesco.Ursino@han.nl
Peter Bijl	ESE	Peter.Bijl@han.nl

Tabel 2 Begeleiders vanuit de HAN

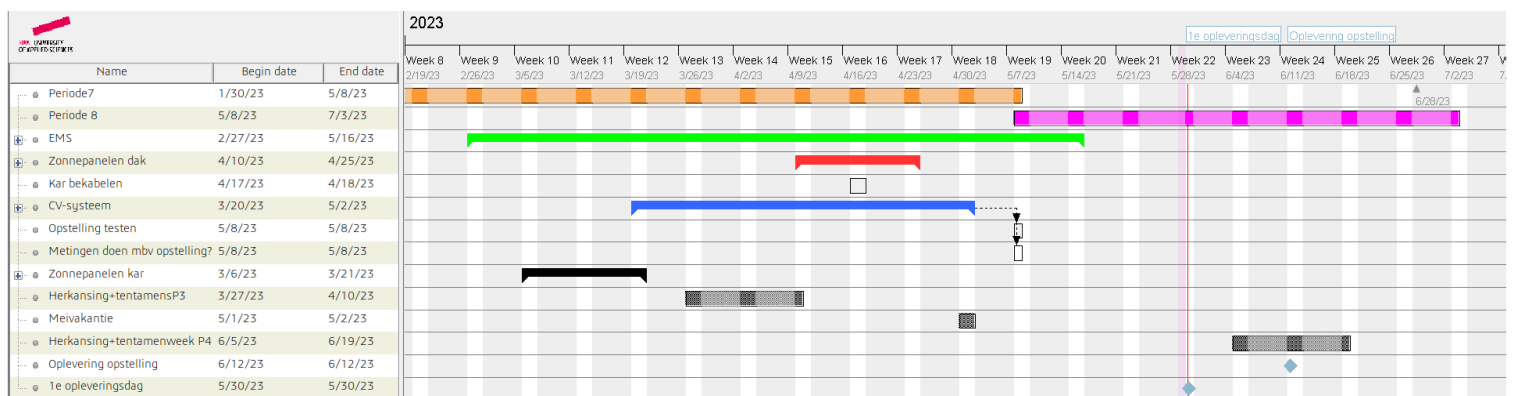
Adres: Ruitenberglaan 26
Postcode: 6826 CC
Plaats: Arnhem
Land: Nederland

2.6 Planning



Figuur 1 Planning van periode 7

De planning is gemaakt voor periode 7. In deze periode worden alle componenten gemonteerd op de wand.



Figuur 2 Planning van periode 8

Hierboven is de planning voor periode 8 te zien. Hierin is te zien wanneer welk onderdeel af moest zijn en dat de groep in week 22 alles al af willen hebben om in te leveren, aangezien er daarna minder tijd is om aan te werken.

2.7 Contract

Desbetreffende personen:

Zie opdrachtnemers.

Rollen binnen S4 project:

- Voorzitter: Roulerend
- Notulist: Roulerend
- Planning: Alan en Kasper
- Kwaliteitscontrole: Iedereen

Regels binnen S4 project:

- Bij afwezigheid dient dit tijdig gemeld te worden;
- Deadlines dienen gerespecteerd te worden door de groepsleden;
- Wanneer het door omstandigheden niet kan lukken om werk af te krijgen, moet je dit 24 uur voor de deadline melden;
- Niet nagekomen afspraken dienen binnen 2 werkdagen te worden hersteld.
- Uiterlijk 9:15 (buiten vertragingen of bijzondere situaties) op het IPKW.
- Als je na 9:30 er niet bij bent zonder melding gaan we ervanuit dat je te laat bent. Dit telt als waarschuwing.
- Indien thuiswerken, wordt van te voren de tijden afgesproken.

Sancties binnen S4 project:

- Wanneer afspraken niet worden nagekomen, wordt er een waarschuwing uitgedeeld;
- Bij een tweede waarschuwing volgt een 'gele kaart';
- Bij een derde waarschuwing volgt een 'rode kaart';
- Bij de gele kaart moet men de groep trakteren. Wel melden bij begeleider, geen verdere gevolgen.
- De rode kaart wordt direct bij de coaches gemeld. Dan zal met groep en begeleider overlegd worden wat er zal gebeuren.

Hoofdstuk 3 verdieping elektrisch inhoud

3.1 SolarEdge

Basic cursus

De projectgroep heeft de basiscursus moeten doen van SolarEdge om (veilig) te mogen werken met de producten van SolarEdge. In deze cursus zijn dan ook verschillende onderdelen van SolarEdge aan bod gekomen, zoals de poweroptimizers en omvormer. Hierbij kun je denken aan hoe deze aangesloten moeten worden, maar ook aan waar deze wel of niet mag worden gemonteerd. Hiernaast is in deze cursus ons ook geleerd over hoe de thuisbatterij verbonden moeten worden met de panelen en de omvormer. Verder heeft de cursus een volledig werkend circuit gedemonstreerd gekregen. Tot slot zijn er ook allemaal tips gegeven die bijvoorbeeld helpen te checken of alles veilig is aangesloten.

Thuis batterij

In deze extra cursus is uitgelegd dat de LG-batterij die ter beschikking is gesteld ook voldoet aan de SolarEdge eisen en aangeraden wordt door hen. Hierdoor kreeg de groep wat geruststelling op de samenwerking van de SolarEdge producten met de LG-thuisbatterij. Daarnaast leert men hoe de batterij aangesloten en gemonteerd moet worden om veilig en volgens de regels in bedrijf gesteld kan worden. Als laatste is geleerd welke functie de batterij heeft tussen de PV-panelen en omvormer en hoe dat werkt.

Omvormer

In deze laatste cursus werd uitgelegd hoe de omvormer op de goeie manier aangesloten moet worden en vooral hoe het in werking stellen werkt via de cloud. Ook werd nogmaals uitgelegd hoe men de PV-panelen met de omvormer verbindt.

Certificering

Door de basiscursus succesvol af te ronden heeft iedereen uit de groep een certificering gekregen. Door middel van deze certificering verliest een product niet zijn garantie wanneer er door de groep met gezond verstand en op de goede manier mee omgegaan wordt. Kort gezegd is iedereen gecertificeerd om met SolarEdge producten te werken. Deze certificering duurt één jaar lang. Deze tijdsperiode is meer dan genoeg voor om het project af te kunnen ronden.



Figuur 3 Voorbeeld van een certificaat van Solar Edge, behaald door Safa.

3.2 SolarEdge Omvormer

Inleiding

Er wordt gebruikt gemaakt van de SE2200H omvormer tijdens het project. Deze omvormer kan 3400W opnemen uit zonnepanelen. Onze panelen leveren maximaal $8 \times 400 = 3200W$, dus de grens van de omvormer zal niet bereikt worden, maar komt tijdens maximaal verbruik dus wel in de buurt. Echter tijdens onderzoek naar het materiaal dat beschikbaar was voor de Demonstrator is gebleken dat de panelen die geleverd waren meer stroom kunnen leveren dan dat de omvormer aankan. Het verschil van de panelen ten op zichte van de omvormer is wel 5 Ampère. De panelen leveren namelijk tot 11,7 A en de omvormer kan 6,5 A aan.

Gevolgen

De volgende situaties zouden mogelijk kunnen ontstaan door de gevolgen van de te hoge geleverde stroom: de omvormer zal in de beveiligingsmodus schieten en zal, totdat de maximale nominale stroom van de omvormer weer bereikt is, niks opleveren. Een ander maar minder erg geval zou zijn dat de omvormer wel zijn maximale stroom opneemt en doorvoert, maar alles wat daarboven komt verloren energie is. Dan zou de omvormer dus maar op 0,55% efficiëntie werken.

Aanpak

Om dit probleem aan te pakken hebben is ervoor gekozen om aan de hand van de Solaredge sites een simulatie te maken. De specifieke site heet ook wel de SolarEdge Designer, hiermee kan iemand digitaal de panelen plaatsen op de gewilde locatie en kan men van tevoren belangrijke informatie zien, voordat het materiaal al aangeschaft is. Nadat de omvormer, 8 zonnepanelen en de optimizers ingevoerd waren heeft de Designer app berekeningen gedaan.



Figuur 4 Een paar waardes berekend door de SolarEdge Designer app, waarin men bijvoorbeeld kan zien hoeveel vermogen maximaal opgewekt zou moeten kunnen worden.

Zoals hierboven te zien is, is de DC/AC oversizing 144% en de prestatieverhouding 65%. Oversizing wil zeggen dat er technisch gezien een percentage te veel capaciteit geleverd kan worden door de zonnepanelen ten opzichte van de omvormer. In dit geval dus 44% meer dan de omvormer aankan volgens de specificaties. Dit is dus waarschijnlijk door de te hoge stroomsterkte die geleverd kan worden door de panelen. Oversizing komt echter vaker voor, aangezien zonnepanelen bijna nooit hun maximum leveren. Dus als men oversized, zit je sneller aan de maximum van de omvormer, in plaats van maar een korte tijd van de dag. Als er meer geproduceerd wordt is dat in dit geval verloren energie, want de optimizers schalen het terug naar wat de omvormer aankan.



Grafiek 1 Een grafiek die de geschatte opgewekte energie per maand weergeeft.

Hieronder is de denkbeeldige opstelling van de zonnepanelen te zien. Het gebouw rechts is het MIC. Echter is dit geen goede weergave, want het dak waar de zonnepanelen op komen is eigenlijk gebogen, maar dat is hier niet op te zien. Maar dat zou niet uit moeten maken voor de eigenschappen van de opstelling.



Figuur 5 Een ruwe weergave van de opstelling van de zonnepanelen, hoe die op de oorspronkelijke loods gemonteerd zouden worden.

Er is te zien dat er ondanks dat de panelen meer produceren dan de omvormer er nog steeds opbrengst zal worden geproduceerd volgens de SolarEdge Designer app. Hiermee is er geconcludeerd door de groep dat het zal werken, maar dat de opbrengsten gelimiteerd zullen worden. Toch zal er gekeken worden of het nog geoptimaliseerd kan worden op een of andere manier. Daardoor is er gekozen om contact op te nemen met SolarEdge om hun voor advies te vragen of desnoods te controleren of de opstelling wel voldoet, zodat de garantie niet zal vervallen.

Feedback

Op 21-03 is er gebeld met SolarEdge. SolarEdge heeft gezegd dat het mogelijk was om de omvormer te gebruiken met de zonnepanelen. De power Optimizers hebben een Buck en boost functie die de Ampère kunnen afstellen op de omvormer. Hierdoor is het geen probleem dat de omvormer een max van 6.5 A heeft. Verder was een vraag van de opdrachtgever of het overige zonnepaneel achter op de kar gemonteerd kon worden voor tijdens Demo's. Eén zonnepaneel op de kar kan helaas niet volgens SolarEdge. Dit komt doordat SolarEdge omvormers een minimale (optimizer) string van 6 nodig hebben.

Bron: <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-single-phase-HD-wave-inverter--datasheet-nld.pdf>

3.3 Eplan Tekening

Inleiding

Er moest door ons een nieuw Eplan opgesteld worden, omdat de vorige groep geen toegang meer had tot het vorige Eplan. Dit komt omdat de voorgangers geen licentie meer hadden en Eplan dus niet meer werkte. Deze Eplan is zo duidelijk mogelijk uitgewerkt. Een Eplan is een elektronische tekening die duidelijk laat zien hoe alles aan elkaar elektrisch is aangesloten. Dit creëert ook gelijk een duidelijk beeld voor ons over hoe alles aangesloten moet worden.

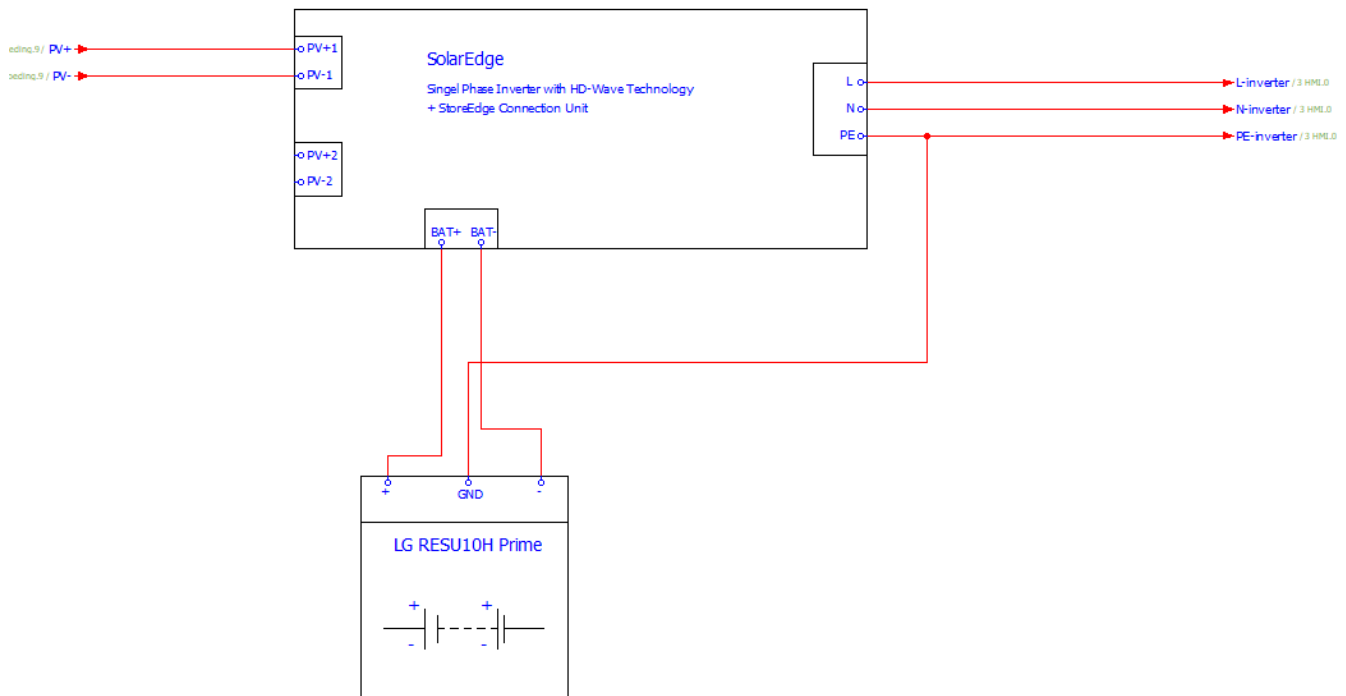
Licentie

Voordat Alan en Safa aan de slag konden was er een licentie nodig, want Eplan is niet zomaar bruikbaar voor iedereen. Deze had Alan al toevallig, maar Safa heeft het alsnog voor de zekerheid aangevraagd. Als er in het vervolg gebruikt gemaakt wil worden om het Eplan van de kar aan te passen, zal men zelf een licentie moeten aanvragen.

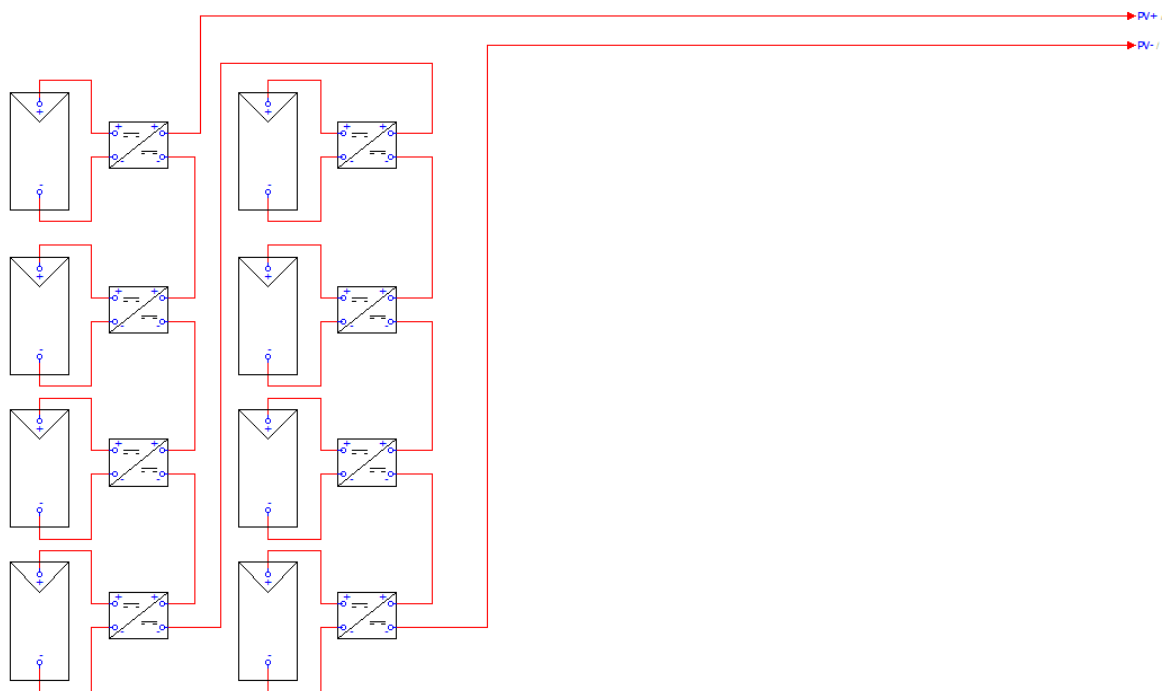
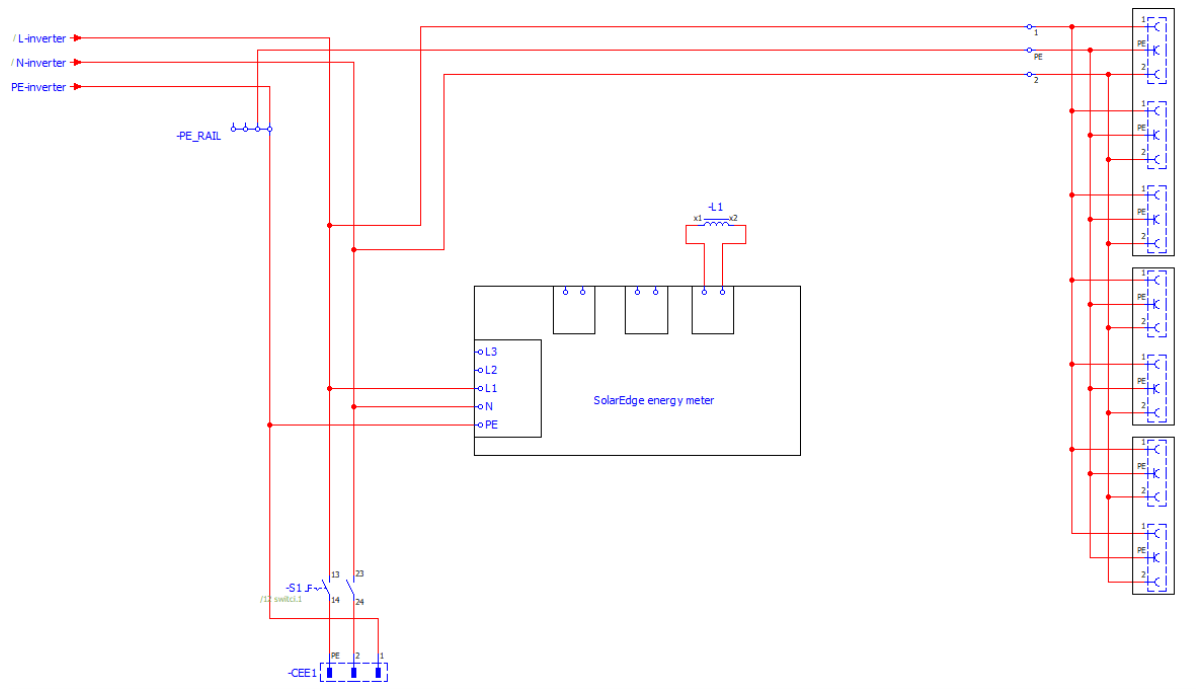
Uitvoering

Eerst moesten er natuurlijk panelen komen. Deze zijn vervolgens verbonden aan de power optimizers. Hierna gaat de optimizer string naar de omvormer en via de omvormer doorgevoerd naar de accu. Dit komt omdat de omvormer niet gelijk omzet, maar ook via een bypass zonder om te vormen de dc-stroom naar de accu kan leveren. Vervolgens gaat het nog naar de groepen kast toe. Het net wordt ook aangesloten aan de groepenkast. Tot slot gaat het nog vanaf de groepenkast naar de warmtepomp, radiator en Home Assistant en overige apparatuur met behulp van wandcontactdozen.

Resultaten



Figuur 6 Het E-Plan die de verbinding tussen de omvormer en batterij laat zien.



Figuur 7 De resterende E-plan tekeningen die de overige verbindingen laten zien.

Hoofdstuk 4 Demo opstelling

4.1 Indeling kar

Warmtepomp:

De warmtepomp had al een vaste plaats gekregen door de vorige projectgroep die hier aan gewerkt had. Er is over nagedacht of deze nog verplaatst moest worden, maar de plek waar deze op moment hangt is ideaal voor ons, de warmtepomp hangt namelijk niet in de weg voor de andere onderdelen in het systeem. Er is over nagedacht om de warmtepomp iets hoger te hangen, zodat er meer ruimte onder de warmtepomp is voor het expansievat en het buffervat. Hier is uiteindelijk niet voor gekozen, omdat het zwaartepunt van de gehele kar dan hoger lag en de kar dan makkelijker om kan vallen.

Elektra:

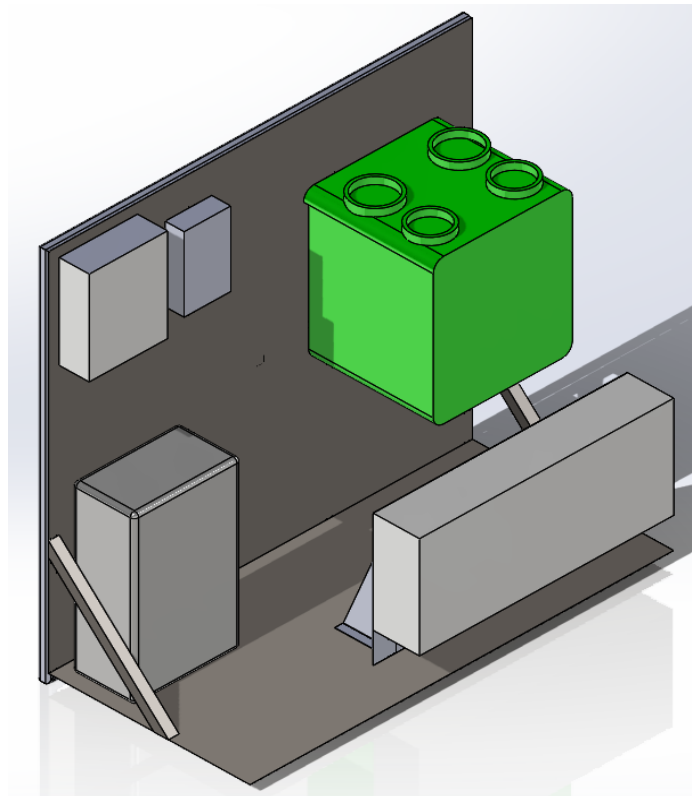
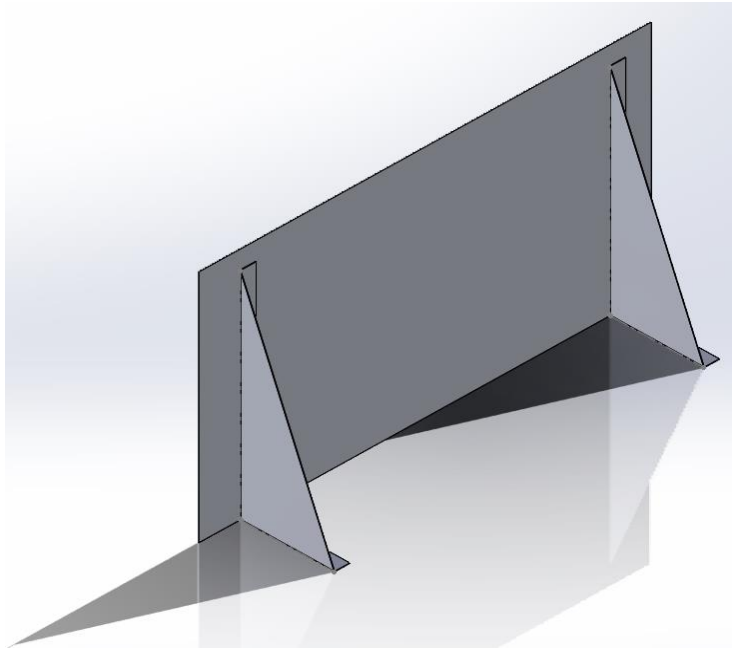
Er is voor gekozen om alle elektra componenten bij elkaar te plaatsen. Hierdoor kunnen de kabels tussen de componenten zo kort mogelijk zijn, wat het spanningsverlies vermindert aangezien de weerstand kleiner is, en daarnaast kunnen alle wandcontactdozen op een plek gemonteerd worden. De batterij is ook zo kort mogelijk bij de omvormer gezet.

Convectorradiator:

De convectorradiator word rechtsvoor op de kar geplaatst, hier is genoeg ruimte en zorgt ervoor dat deze niet ongewenst de warmtepomp beïnvloed door de warmte aan de onderkant van de warmtepomp te stralen. Om deze te kunnen plaatsen moet er een frame gemaakt worden waar deze aan kan hangen. Daarachter moet ook een plaat gemonteerd worden die zorgt voor een goede afsluiting zodat de ventilator in de convector zoveel mogelijk lucht naar boven blaast. De plaat heeft namelijk dezelfde functie als een muur, waar hij normaal op wordt gemonteerd. Hiervoor is een frame ontworpen die zelf gemaakt word in de werkplaats van staalplaat.

Leidingwerk:

Bij het leidingwerk hoort een expansievat, een buffervat en alle leidingen die alles compleet maakt. Voor het expansie- en buffervat is onder de warmtepomp genoeg ruimte overgelaten om deze te plaatsen. Als er iets aan ruimte te kort ontstaat dan is er altijd nog ruimte tot aan de batterij of de achterkant van de kar. Alle leidingen komen hiertussen. De convector staat dichtbij voor het expansie- en buffervat zodat er efficiënt gebruik gemaakt wordt en het leidingwerk zo kort mogelijk wordt. Dit bevordert de doorstroom van het water en zorgt voor minder warmteverlies.



Figuur 8 3D weergave van het concept van indeling en de radiator bevestiging.

4.2 Bekabeling Kar

ELT heeft met hulp van ESE en WTB de kar bekabeld. Voordat de bekabeling van start ging is er een duidelijke tekening gemaakt met welke kabel waarvoor is op de kar (deze is hier onder aangegeven). Ook is het E-plan hierbij van toepassing geweest. Er zijn ook buizen gebruikt waar de kabels in komen te zitten volgens de normen.

Kabel keuze

PV-panelen: De meegeleverde kabels van de zonnepanelen waren 10 meter lange 4mm² kabels. Aangezien dit niet genoeg is om naar de kar toe te bekabelen, is ervoor gekozen om een extra kabel van deze dikte te halen. De minimum aangegeven kabeldoorsnede is ook aangegeven op de panelen zelf en is ook 4mm². De totale kabellengte tot aan de omvormer is ongeveer 36 meter. Er is daarom minimaal 30 meter kabel gehaald. Over de 36 meter lengte kabel is een berekening aan spanningsverlies gedaan (te vinden in [bijlage A](#)), daar kwam uit dat het verlies 0,67% was. Dat is ruim onder de acceptabele 5%. Dat is belangrijk, aangezien de opbrengst zo hoog mogelijk moet zijn.

Omvormer:

De uitgang van de omvormer gaat naar de meterkast. De gebruikte kabel is een 3x 2,5mm² rubberen kabel. Er is gekozen voor een rubberen kabel in plaats van een YMKV type kabel, omdat de bochten die gemaakt moeten worden makkelijker te behalen zijn met een rubberen kabel. Indien een YMKV kabel gebruikt zou worden zou dit een minder scherpe hoek kunnen maken of zou de kabel minder lang meegaan als hij op dezelfde hoek als een rubberen kabel zou worden gebogen.

Resu10H (batterij):

De thuis batterij is aangesloten aan de omvormer met behulp van DC kabels van hetzelfde type als die van de PV-panelen. In de handleiding is namelijk aangegeven dat de batterij een kabel van een dikte van tussen de 4mm² en 10mm² nodig had. Dit wordt aangegeven als AWG 10-12. Aangezien onze DC-kabels 4mm² zijn hebben wij hiervan gebruik gemaakt voor de handigheid, maar er is toch voor de zekerheid een berekening gedaan voor spanningsverliezen. Daar kwam een verlies van 0,044% uit, wat natuurlijk veel kleiner is dan het verlies tussen de zonnepanelen en de omvormer aangezien de lengte van de kabel veel kleiner is. Echter zal het in het echt nog minder zijn dan 0,044%, want de lengte van 1,6 meter kabel is ruim in geschat. Het zal eerder onder de 1 meter liggen.

Net aansluiting:

Een van de wensen van de klant om een stekker verbinding te maken die geschikt is voor in het MIC. In de loods waar de kar eigenlijk zou komen is een female CEE-CARA aansluiting te vinden. Er is hierom een male CEE-CARA stekker aansluiting gemonteerd op de kar en een verlengkabel besteld om de kar te kunnen koppelen en loskoppelen wanneer nodig. Ook is er een CEE-CARA naar wandcontactdoos kabel besteld, om zo de kar ook te kunnen gebruiken in een andere omgeving als die niet over een CEE-CARA verbinding beschikt, zoals het geval was in het MIC. Daar is de groep ondertussen ook een female CEE-CARA aansluiting geïnstalleerd. De CEE-cara stekker op de kar is met de meterkast verbonden met behulp van een YMKV 3x 2,5mm² kabel.

Verandering net aansluiting:

Er is een verandering in locatie geweest wat ook effect heeft gehad op de klantwensen van onze opdrachtgever. Nu dat de opstelling moest verhuizen naar het MIC, is er door ELT zelf een CEE-CARA gemonteerd op de muur en wordt deze met de meterkast die zich bevindt in de elektrotechniek ruimte verbonden. De automaat waar het aan is verbonden vanuit de meterkast is een ALAMAT ook wel een aardlekautomaat. Deze voed, maar schakelt ook af bij lek stromen groter dan 30mA. Omdat de kar op het IPKW staat, moest de kar gekeurd worden door een inspecteur van het terrein. Daarom zijn er een paar aanpassingen gedaan, zo moest de groepenkast die wij hebben veranderd worden in een verdeelkast, aangezien de bekabeling anders onduidelijk was volgens de inspecteur. In het kopje over de montage van de zonnepanelen wordt er in meer detail ingegaan op de veranderingen.

Netwerk kabels:

Hiervoor is in samenwerking met ESE gekozen voor standaard CAT 5e kabels. Deze zijn voldoende voor ethernet en de RS485 verbindingen.

Buizen

De kabels lopen door pvc-buizen voor een extra isolatie, maar ook zodat ze niet loshangen en andere systemen hinderen.

De PVC buizen zijn gekozen aan de hand van de tabel hiernaast. De tabel geeft aan hoeveel kabels er maximaal per buis mogen lopen. Er is voor een ruime marge gekozen en hebben 19mm² gekozen als kerndoorsnede. Daardoor is de buis groot genoeg voor zowel de DC-kabels als de YMKV-kabels.

Vulfactor	Nominale kerndoorsnede mm ²	Grootste aantal draden per buis					
		Buitendiameter van de buis					
		mm					
		16	19/20	25	32	38/40	50
33 %	1,5	5 (4)					
	2,5	4 (3)	(5)				
	4	3 (2)	5 (4)				
	6	2 (2)	4 (3)	5 (5)			
	10		2	3 (3)	(5)		
40 %	16			3 (2)	5 (4)		
	25			2	3 (3)	5	
	35				2 (2)	4	
	50					3	5
	70					2	4
	95						3

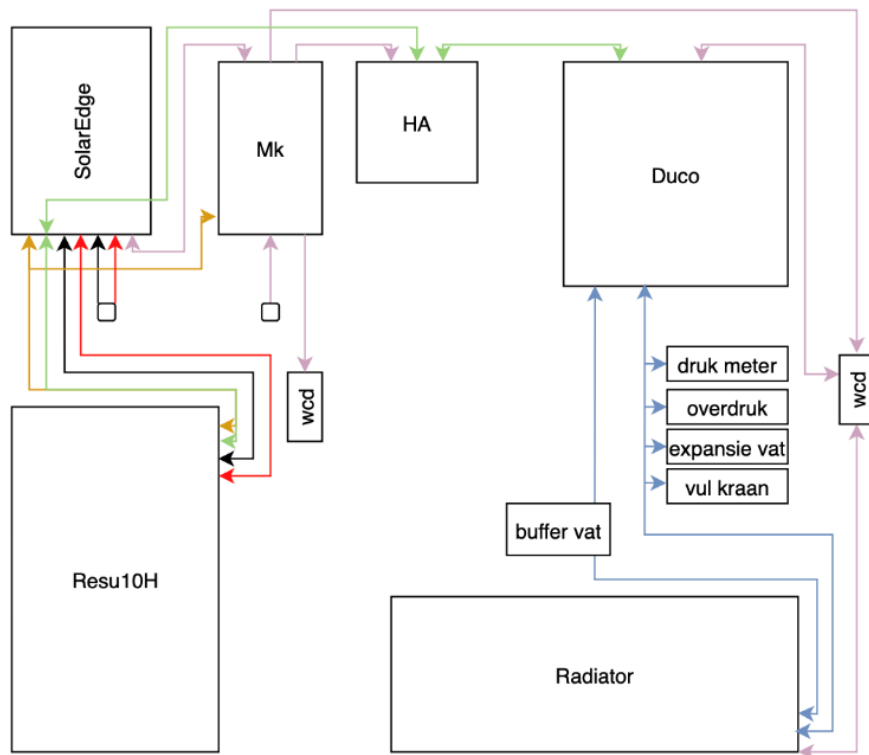
OPMERKING Bij de berekening is uitgegaan van de maximaal toegelaten diameter van de vinyldraad volgens NEN-EN 50525:reeks. De werkelijke diameter is over het algemeen kleiner, waardoor de werkelijke vulfactor iets lager zal zijn dan 33 % respectievelijk 40 %.

Tabel 3 Deze tabel laat de maximale aantal draden per buis zien, afhankelijk van de vulfactor, doorsnede en diameter vd buis.

Deze buizen moeten voldoen aan de NEN, met name wanneer ze worden bevestigd met behulp van beugels. Er zijn namelijk regels voor de afstand van de beugels zoals hieronder aangegeven. Er is gebruik gemaakt van 19mm slagvaste PVC buizen. Daardoor zal er aan de regels gehouden moeten worden die hieronder afgebeeld zijn. Dus elke 50 cm verticaal moet een beugel komen en elke 40 cm horizontaal. Dit wordt heel makkelijk gehaald omdat de meeste leidingen niet eens zo lang zijn.

Soort buis	Aanleg verticaal m	Aanleg niet-verticaal m
PVC-buis volgens NEN 3174 Halogeenvrije buis volgens NEN-EN-IEC 61386:reeks	0,5	0,4
Flexibele buis volgens NEN 3530	0,4	0,3

Tabel 4 De tabel laat zien om de hoeveel meter de buis bevestigd moet worden.



Figuur 9 Schematische weergave van de bekabeling van de kar.

Legenda figuur 9:

Rood = +DC-kabel van de omvormer naar de Batterij, maar ook de +DC-kabel vanaf de panelen naar de omvormer.

Zwart = -DC-kabel van de omvormer naar de Batterij, maar ook de -DC-kabel vanaf de panelen naar de omvormer.

Blauw = Dit is het CV leidingwerk voor de warmtepomp en de radiator.

Licht paars = YMKV 3x2,5mm kabels welke 230 AC dragen

Groen = De ethernet kabels

Geel = De RS485 kabels

Er is gekozen voor deze indeling om zo min mogelijk kruisingen te krijgen, maar we hebben ook rekening mee gehouden met de + en – kabels naar de thuisbatterij toe. Deze hebben we namelijk in aparte buizen gedaan om zo de kans op vlambogen te verminderen. Tevens hebben we ze niet samen met de ethernet en RS485 kabels gedaan om zo dus mogelijke storingen te voorkomen.

4.3 Leidingwerk Kar

Voor de werking van de warmtepomp moet deze worden aangesloten op een radiator hiervoor zijn leidingen en ander componenten nodig. Dit is uitgedacht en uitgetekend om een zo mooi mogelijk geheel te krijgen.

Keuze onderdelen

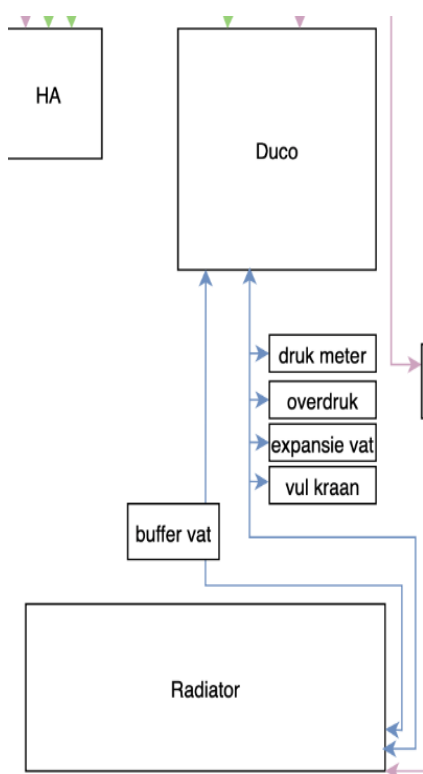
Een aantal onderdelen waren al geleverd, dit zijn een DucoBox Eco warmte pomp en een Jaga Strada hybrid H050 L120 convector. Om deze 2 aan elkaar te verbinden was een deel leiding werk nodig. Daarnaast moeten er nog een aantal onderdelen in een cv-systeem zitten dit zijn: overdruk ventiel, druk meter en expansievat. Daarnaast moet het systeem nog een buffer(vat) bevatten.

Standaard onderdelen

De meeste onderdelen waren besteld bij Bouwmaat en gekeken wat leverbaar was. Bouwmaat had maar 1 overdruk ventiel, drukmeter en expansievat in de benodigde volume, dus dat waren de makkelijkste opties. Daarnaast moest er gekozen worden voor een type leiding. De keuze was tussen koper, staal of een zogenaamd alu-pers systeem. Er is gekozen voor een alu-pers systeem van bonfix omdat dit systeem relatief makkelijk te plaatsen is en we het gereedschap tot onze beschikking hadden. Hier kwam deze onderdelen lijst uit:

Naam onderdeel	Hoeveelheid
Vul- en aftapkraan 1/2" buitendraad + knop	1
BONFIX Expansievat 25 liter 0,5 bar	1
Bevestiging expansie vat BONFIX Expansievat 25 liter 0,5 bar	1
Bonfix Alu-pers rechte koppeling 20 mm x 22 mm knel	2
Bonfix Alu-pers Knie 1/2" buitendraad x 20 mm	1
1/2" male naar flexible Bonfix Alu-pers Puntstuk 1/2" x 20 mm	2
Bonfix Alu-pers T-stuk 20 x 1/2" binnendraad x 20 mm	3
Bonfix Alu-pers T-stuk 20 x 20 x 20 mm	1
Bonfix Alu-pers systeembuis 20 x 2,0 rol 10 meter	1
BONFIX Overstortventiel 1/2" buitendraad	1
Manometer 1/2" buitendraad	1

Tabel 5 Lijst van alle onderdelen van het CV-systeem met aantallen



Figuur 10 Foto waarin het leidingwerk te zien is, samen met de schematische weergave.

Buffer vat

Volgens de producent van de warmtepomp moet het minimale volume van het circuit 20L zijn. De radiator heeft een volume van 3,2L. Dat betekent dat er nog minimaal 16,8 liter ergens in het systeem erbij moet komen. Er vanuit gaande dat er 4 meter leidingwerk met een diameter van 22mm (de in-/uitgangsdiameter van de warmtepomp) in het systeem zit, zal het volume ongeveer 1,5 liter bedragen. Daarom is het van belang dat er nog een buffervat bij komt aangezien de warmtepomp anders niet (veilig) in bedrijf genomen kan worden. Bovendien is er plusminus 20 liter water per kW nodig, en aangezien het thermisch vermogen van de waterpomp maximaal 2,5kW is, moet er tot 50L in het systeem zitten.

WEIGHT (IN KG/METRE)						
Type	H	20	35	50	65	95
06		6.7	9.0	11.1	13.3	17.5
10		7.5	9.8	12.0	14.3	18.9
11	---		11.2	13.5	15.8	20.4
15		9.4	11.9	14.4	16.9	21.8
16	---		14.2	16.7	19.2	24.1
20		11.4	14.0	16.7	19.4	24.8
21	---		16.7	19.5	22.1	27.5

WATER CONTENT IN LITRE / METRE	
Type	All heights
07*	0.51
08**	0.63
10	0.65
11	1.33
15	0.98
16	1.98
20	1.32
21	2.66

* Strada type 06, height 20

** Knockonwood and Strada type 06, all other heights

Warmtepomptechnisch

Compressor	Modulerend
Aansturing ventilator	Modulerend
Aansturing warmtepomp	Aan/Uit
Nominale stroom	5 A
Maximale stroom (opstart)	11 A
Zekeringwaarde	16 A (C)
Nominaal luchtdebiet in compressorbedrijf	600 m³/h
Minimaal luchtdebiet in compressorbedrijf	300 m³/h
Water debiet CV	300 – 600 liter / uur (max 35 kPa weerstand)
CV-aanvoer / retour	Ø 22 mm
Maximale werkdruk CV	3 Bar
Toegestane omgevingstemperatuur	10-40 °C
Toegestane zuurgraad CV-water	7,5-8,0 pH
Maximaal toegestane luchtvochtigheid installatieruimte	50 rH
Nominaal opgenomen vermogen	700 W
Maximaal opgenomen vermogen	1200 W
Koudemiddel warmtepomp circuit	R134a
GWP R134a	1430
Inhoud koudemiddel	1050 g
Maximale druk WP	2,97 Mpa (29,7 bar)
Gegarandeerd werkingsbereik buitenlucht	-10°C t.o.m. 32°C
Minimale waartemperatuur	10°C
Maximale waartemperatuur	60°C
Minimale waterinhoud primaire circuit	20 L

Figuur 11 Waardes die gegeven worden door 1.links de radiator en 2. rechts de warmtepomp

“De ISSO 72 stelt dat een warmtepomp minimaal 10 minuten moet kunnen draaien bij de ontworpen delta T situatie, dit is uitgangspunt voor de minimaal systeeminhoud. Een buffer, bij een geheel na-geregelde installatie, moet dus minimaal deze inhoud hebben.”

“De formule:

$Q_v \text{ in m}^3/\text{sec} = (\text{vermogen} / (p * c * \Delta T)) * \text{tijd}$

- Q_v = flow in m^3/sec
- vermogen in Watt
- p = soortelijke massa, deze is voor water 998 kg/m^3
- c (Soortelijke warmte = 4190 J/kg.K
- Delta T is temperatuur verschil in Kelvin”

(Warmtepomp-weetjes.nl, 2023)

Delta T zal in de situatie op het MIC het meest rond de 10 liggen, dus:

$$Q_v = \left(\frac{P}{(\rho \times c \times \Delta T)} \right) \times t = \left(\frac{2500}{(998 \times 4190 \times 10)} \right) \times 3600 = 0,215 \text{ m}^3/\text{h} = 215,2 \text{ L/h}$$

$$Q_{v,10min} = \frac{Q_v}{60} \times 10 = \frac{215,2}{60} \times 10 = 35,9 \text{ L/10 min}$$

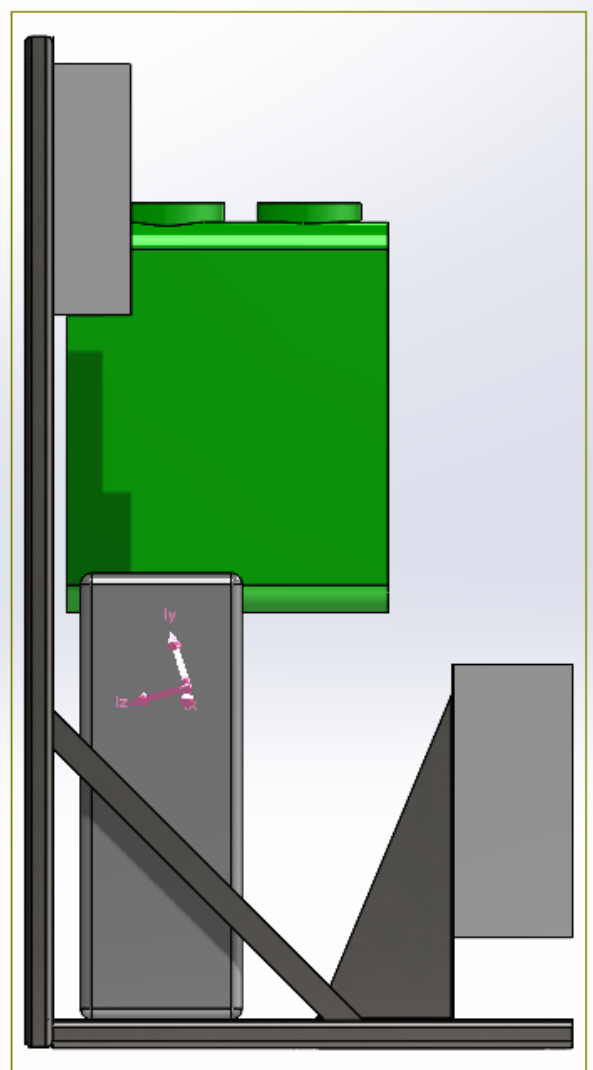
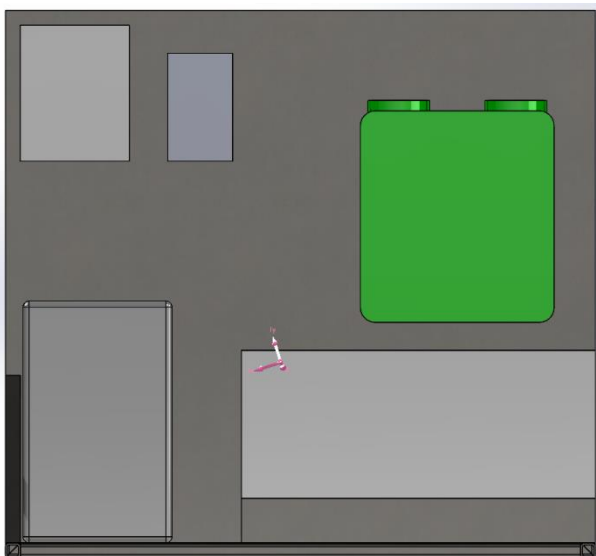
Dit betekent dat we nog een buffer nodig hebben van minimaal 35,9 liter.

Oplossingen:

Er zijn meerdere opties bekeken waarbij een voorschakelvat de mooiste is. In eerste instantie was er gekozen voor puur leidingwerk, aangezien dat makkelijk te krijgen was, daarnaast wou de groep weten of het nodig was om een buffervat te halen aangezien de bovenstaande situaties gelden voor complete huisinstallaties. Aangezien er door de groep een demo opstelling wordt gemaakt, was de gedachte dat snel opwarmen handig was om te demonstreren. Echter werkte een flowtest op de warmte pomp niet, wat het vermoeden dat er te weinig water in het systeem zat. In deze opstelling hoeft het vat namelijk niet geïsoleerd te zijn. Bovendien is een voorschakel vat een stuk goedkoper als een buffervat. Daarnaast is er nog gekeken om zelf iets te maken maar dan zijn de druk en temperatuur die het aan kan niet bekend. Er is nog geen vat toegevoegd omdat de warmte pomp ook nog niet werkt en nog niet zeker is of deze het gaat doen en er met het huidige systeem ook al getest kan worden.

4.4 Zwaartepunt kar

Een van de opdrachten was om te laten zien dat de kar niet zomaar omvalt. Op onderstaande foto's is het zwaartepunt van de kar te zien. Zoals te zien is ligt het zwaartepunt van de kar mooi in het midden, niet al te hoog en een stukje van de achterwand af richting de voorkant. Het zwaartepunt in het midden zorg ervoor dat de kar niet zomaar van links of rechts kan omvallen en omdat het zwaartepunt best laag zit is het sowieso lastiger om deze om te duwen, aangezien het moment veel kleiner is. Het zou beter zijn geweest als we het zwaartepunt wat je in figuur 12 ziet nog iets meer naar het midden had gezeten, maar aangezien het zwaartepunt nog niet boven het midden van de kar ligt zal de kar niet zomaar omvallen. Na een schatting met berekening is er ongeveer 1850 Newton nodig om de kar achterover te laten tippen.



Figuur 12 Weergave van het zwaartepunt van de kar in Solidworks.

Hoofdstuk 5 Impact op milieu

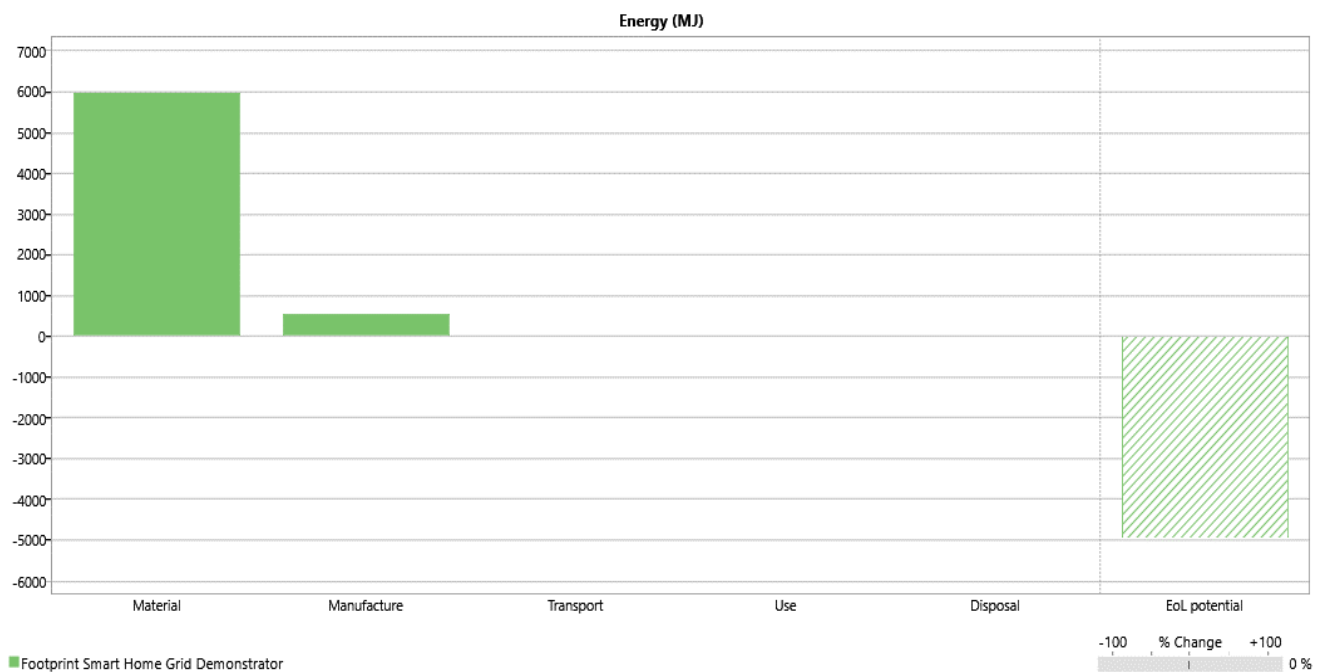
In de huidige maatschappij is het goed om na te denken over de impact op het milieu en de duurzaamheid van je project als engineer. In dit kopje wordt behandeld wat de impact is van ons project, aan de hand van een gedeeltelijke analyse van het project met de EcoAudit tool van Granta Edupack. Het is maar een gedeelte aangezien er alleen gekeken wordt naar de rails van de zonnepanelen en de kar zelf. Echter, moet wel benoemd worden dat het schattingen zijn, aangezien er een aanname van de materialen is (er is niet bekend welke metalen de rails en de kar precies uit bestaan, dus is er uitgegaan van standaard legeringen die voor de toepassingen gebruikt worden). De rest van de onderdelen, zoals de warmtepomp, is te complex om met de tool te behandelen zonder een te ruwe inschatting te maken, waardoor de resultaten niet betrouwbaar meer zijn. Wel wordt er hieronder los ingegaan op die componenten, waarbij wordt stilgestaan bij de recyclebaarheid van de componenten.

EcoAudit analyse

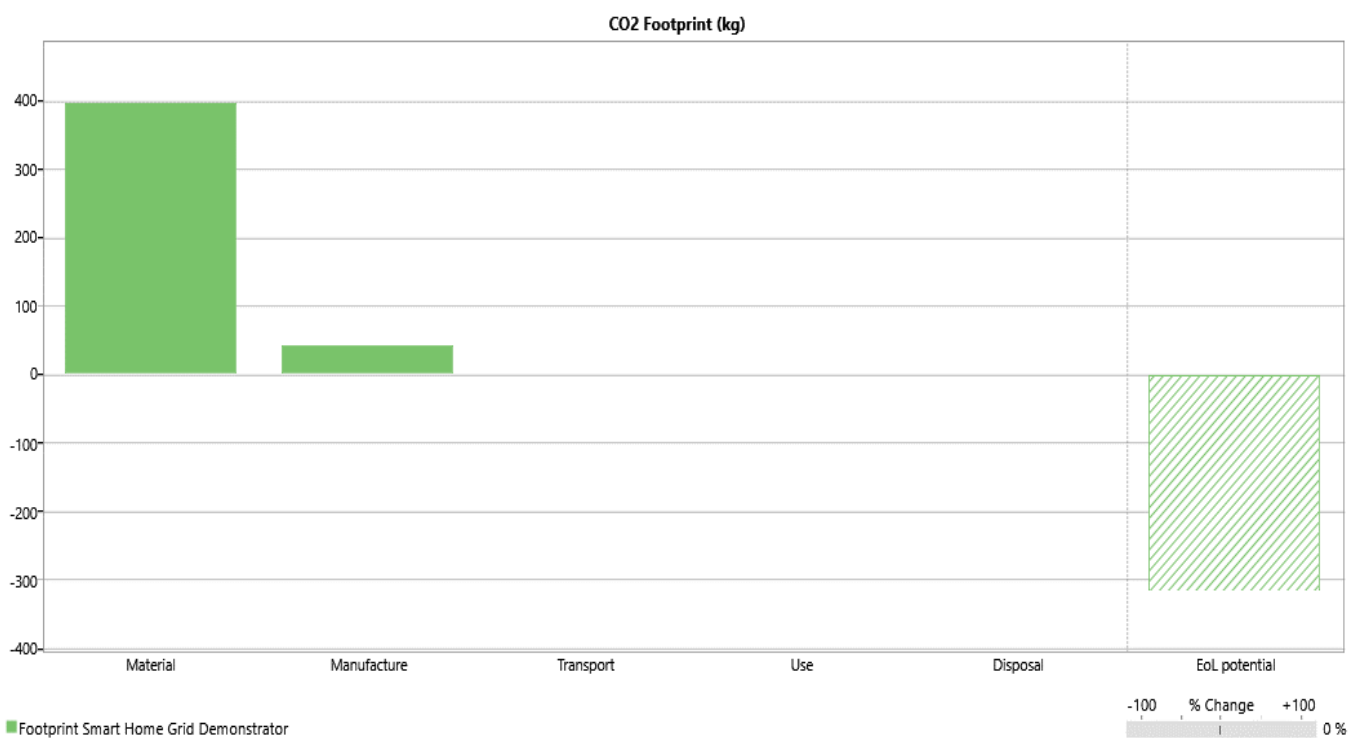
De EcoAudit tool van Granta Edupack is een handige tool waar men een inschatting kan maken van de energie- en CO₂ footprint van een product. Dat wordt gedaan door het gewicht per type materialen, productieprocessen, transport en het gebruik (denk aan levensduur, heeft het energie nodig, is het onderdeel van een bewegend voertuig) te nemen en dan berekent het programma een voetafdruk. In dit project is het dus het geval dat het niet praktisch is om alle componenten te analyseren omdat het niet betrouwbare resultaten geeft. Echter kunnen we voor de kar en de rails van de zonnepanelen wel een betrouwbare inschatting geven, wat een mooi voorbeeld schetst van de impact op het milieu.

Rails zonnepanelen

De rails van de zonnepanelen bestaat uit voornamelijk aluminium (Aellex, 2021). Om een analyse te kunnen doen is de aanname gedaan dat de rails uit de aluminiumlegering 6005 bestaat, wat vaker voor extrusies en daardoor ook voor rails gebruikt wordt. Na ongeveer het gewicht van de totale 25 meter rails te berekenen, kwam er uit dat de rails ongeveer 30 kg weegt (berekening 1, bijlage B). Dat is dus ook een schatting, want de precieze oppervlakte van de doorsnede is niet gegeven, daarnaast is er maar van 1 type rail uitgegaan. Het werkelijke gewicht ligt daar nog net boven want het andere type rail bevat meer materiaal. Dat ingevoerd in de tool, in combinatie met het extrusie-productieproces en de levensduur, mist alleen het transport nog. Ook daarvoor is een inschatting gemaakt waarmee de materialen vervoerd zijn en hoever. Daarna kan een grafiek gemaakt worden van de voetafdrukken. Hieronder is te zien hoeveel energie en CO₂ voor de totale levensduur geproduceerd en gebruikt worden. Daarin is ook te zien dat ondanks dat het goed gerecycled kan worden, er een verlies van ongeveer 1500 MJ energie overblijft. Bovendien wordt er netto meer CO₂ gebruikt dan dat er door recyclen bespaard wordt.



Grafiek 2 Energiegebruik tijdens levensduur railing.



Grafiek 3 CO2 voetafdruk in kg van de rails van de zonnepanelen.

Een ander ding dat te zien is, is dat het transport (bijna) geen voetafdruk heeft. De uitstoot is volgens Edupack 0,26 kg CO₂. Daarover is de groep sceptisch, aangezien een gemiddelde personenauto 107,5gCO₂ per km uitstoot. (European Environment Agency, 2022) Dat zou betekenen, aangezien de totaal afgelegde afstand 103 km is, dat er 11,07 kg CO₂ geproduceerd is bij het transport. De 0,26 kg is veel minder dan dat, waardoor dat geen correcte weergave is volgens ons. Dit gaat dan alleen nog over personenauto's, een vrachtwagen verbruikt tot 358% meer brandstof per 100km dan een auto, wat de uitstoot vergroot (Scania Nederland, n.d.).

Transport:

[Summary](#)

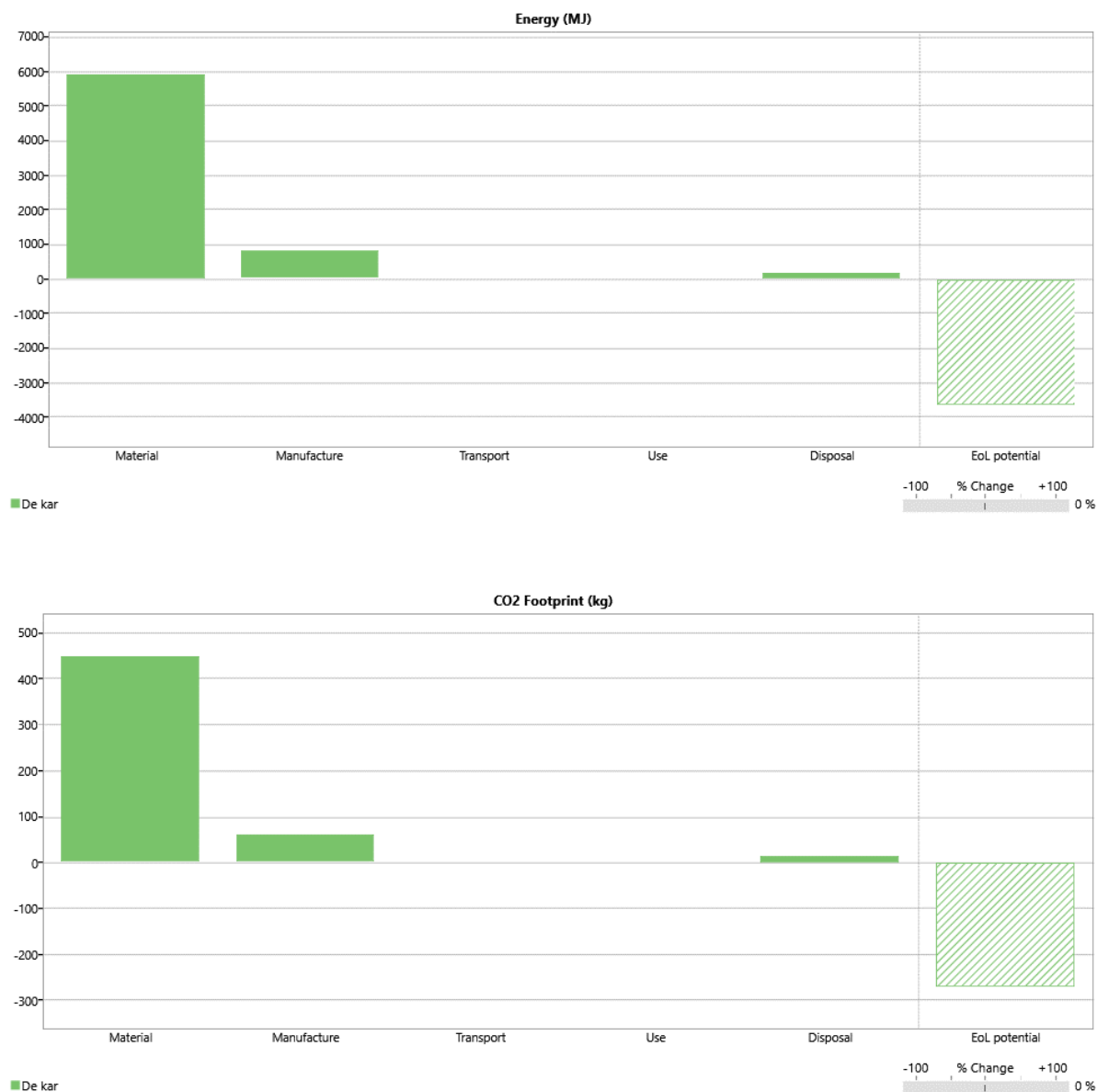
Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Vervoer naar producent	26 tonne (3 axle) truck	97	0,23	88,3
Vervoer naar IPKW	Light goods vehicle	6,4	0,031	11,7
Total		1e+02	0,26	100

Figuur 13 Voetafdruk van het transport van de rails.

De kar

Voor de kar is ook gebruikt gemaakt van de EcoAudit tool. Om de massa te berekenen is er gebruikt gemaakt van Solidworks, waarin de maten van de kar zijn opgenomen en de kar zo getrouw mogelijk hebben nagemaakt. Daarna is gekozen voor AISI 304 staal, wat niet het echte materiaal is, maar redelijk in de buurt zou moeten komen. In Edupack is er namelijk alleen de mogelijkheid een globale categorie van staal te kiezen, zoals medium-carbon steel. Voor transport is er geen inschatting te maken, want er is niet bekend in welke vorm het materiaal is vervoerd. Het zal waarschijnlijk in 1 keer vervoerd zijn, maar het is onbekend bij welke fabrikant het besteld is. Hieronder is de voetafdruk weergegeven in de tabellen.



Figuur 14 Grafieken die de duurzaamheid weergeven van de kar.

Overige onderdelen

Voor de rest van de onderdelen van de kar is het dus te complex om de EcoAudit tool te gebruiken. Echter, is er te beredeneren of de onderdelen ecologisch verantwoord zijn. Zo is de warmtepomp op het eerste gezicht goed voor het milieu en het klopt dat het gasverbruik vermindert. Alleen is uit onderzoek van de Nationale Milieu Database (NMD) dat de impact op het milieu 11x zo groot is als gedacht. (Stichting Nationale Milieudatabase, 2023). Ook van zonnepanelen is de recyclebaarheid niet 100%, maar de CO₂ voetafdruk is na ongeveer 3 jaar neutraal.

Dat wil zeggen dat na 3 jaar de uitstoot van de productie teruggewonnen is ten opzichte als men fossiele energie zou hebben gebruikt. De rest van de onderdelen bestaan voornamelijk uit plastic behuizing en veel elektronica aan de binnenkant, waarvoor zeldzame metalen in worden gebruikt. Ook daarvoor geldt dat de productie van die materialen niet duurzaam is. (Milieu Centraal, z.d.)

Hoofdstuk 6 Zonnepanelen

Type

De vorige groep heeft gekozen voor de TrinaSolar Vertex tsm-400de09.08 PV-panelen. Dat zijn zonnepanelen die tot 400W kunnen leveren per paneel. Daar is destijds voor gekozen, omdat de 8 zonnepanelen samen 3200Wp kunnen leveren en de omvormer 3400Wp aan kan. Deze zonnepanelen zijn ook geschikt aangezien met een 175 bij 110 cm relatief compact zijn. Dat heeft ons geholpen tijdens de montage, meer daarover hieronder. De zonnepanelen leveren een maximale stroomsterkte van 11,7A bij 34,2V. Eigenlijk zou de omvormer maar 6,5A aankunnen volgens de datasheet, maar in de SolarEdge designer gaf het systeem geen error aangezien de optimizers de stroomsterkte aanpassen.

Locatie zonnepanelen

Het originele idee van de opdrachtgever was om de zonnepanelen op de loods te leggen (zie figuur ##). Hier is uiteindelijk niet voor gekozen, omdat het bevestigingsmateriaal niet gemaakt was voor het buigende oppervlak van de loods. Als het hier toch op had moeten komen, dan had er een hele constructie onder het frame gemaakt moeten worden die het frame met de zonnepanelen recht houdt en de kracht tegen de weersopstandigheden goed aan kon.



Figuur 15 De loods op het MIC.

Omdat de loods niet ideaal is, is er verder gekeken naar mogelijkheden voor de plaatsing van de zonnepanelen. Een ideale plek voor ons project is op het dak van de MIC. Dit was echter niet mogelijk, omdat het volgens de beheerder van MIC te onveilig was om het op het dak te plaatsen wegens de hoogte.

Een andere optie was de panelen te plaatsen op het midden van het dak op het MIC. Hier heb je geen last van de hoogte, dus leek het een hele goede optie. Dit kon jammer genoeg ook niet gemonteerd worden, omdat hier laatst nieuwe dak bekleding was gelegd. De beheerder van MIC was bang dat de zonnepanelen de bekleding beschadigd. Hierdoor was deze optie niet mogelijk.

Uiteindelijk zijn de panelen aan de zijkant van het MIC geplaatst (zie figuur 16). Hier is er geen probleem met de hoogte en kan makkelijk gemonteerd worden met de steiger die er staat. Het enige nadeel van deze locatie is dat de zonnepanelen dan verticaal op de muur zitten en dus meer last hebben van weerkaatsing, vooral tijdens de zomer, dan als deze op een hoek op het dak gemonteerd worden.



Figuur 16 De gemonteerde zonnepanelen op de zijkant van het MIC.

Montage zonnepanelen

Voor de montage zijn er latjes van hout op 92 cm van elkaar gehangen met schroeven in het plaatwerk. Daar is voor gekozen aangezien de zonnepanelen anders heel dicht op het plaatmateriaal kwamen te hangen, en de optimizers hebben een minimale afstand tot de wand nodig. Op deze manier is de kracht ook genoeg verdeeld om het gewicht van de zonnepanelen te verdelen.

Hierna zijn de rails voor het montagesysteem van de zonnepanelen erop geschroefd. Omdat de wand met plaatmateriaal niet heel hoog is, zouden de zonnepanelen flink uitsteken. Daarom is er als groep gekozen voor een horizontale bevestiging, ook wel landscape bevestiging genoemd, waardoor mensen er nog onderdoor kunnen lopen. De zonnepanelen zijn daarna erop gelegd.

Als laatste is nagekeken of alles stevig vast zat en of er scheuren in de materialen waren ontstaan, maar dit was niet het geval.



Muur MIC



Latjes gemonteerd



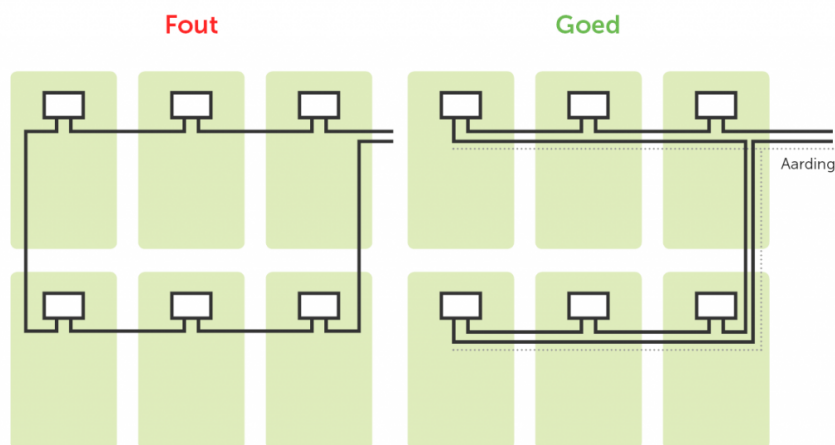
Bevestigingsmateriaal + zonnepanelen

Bekabeling zonnepanelen

De zonnepanelen zijn gekoppeld aan de power optimizers die bij het project horen. Deze power optimizers staan in serie gekoppeld met de Solar Edge omvormer die eerder geleverd was. De optimizers zorgen ervoor dat de spanning en stroom opgewekt door de panelen met een geschikt vermogen voor de omvormer werken. Dit komt doordat de optimizers kunnen communiceren met de omvormer. Maar hoe doet hij dat nou? Dat is simpel, de optimizers hebben een Buck-boost mogelijkheid waarmee ze het geproduceerde vermogen kunnen afstellen op de aangesloten Solar Edge omvormer. Hiermee zal de maximale nominale stroom/spanning niet overschrijden worden.

Norm bekabeling pv-panelen

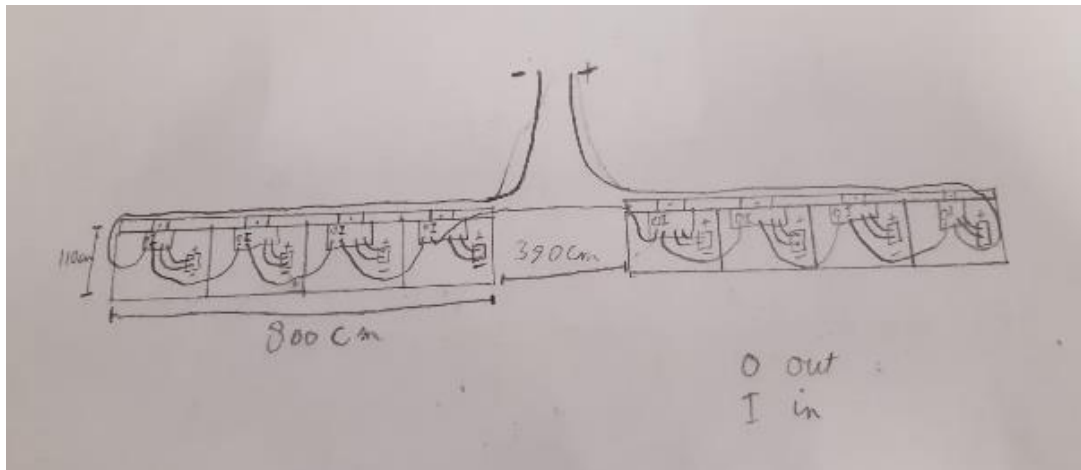
Ook zijn er regels voor het bekabelen van de panelen van de NEN. Hieronder kun je bijvoorbeeld zien hoe de panelen moeten bekabeld worden om de inductieve loop te verkleinen. Het is handig om zo beschadigingen en brand te voorkomen tijdens bijvoorbeeld blikseminslag, waarbij dus het potentiaal van de aarde in een moment hoger is en er spanning geïnduceerd zal worden.



Figuur 18 Schematische weergave van de correcte methode van bekabeling.

De bekabeling

Hieronder zie je een tekening van hoe de panelen buiten zijn bekabeld. Er is zoveel mogelijk rekening gehouden met de loop van de kabels, om zo een zo klein mogelijk loop te creëren. Dit komt doordat een kleinere inductieve loop zorgt voor minder schade tijdens bliksem inslag.



Figuur 19 Weergave van de bekabeling die door de groep gelegd is.

Confrontatie inspecteur 1

Tijdens het bekabelen van de kar en het bevestigen ervan op het MIC, is er een inspecteur van het IPKW langsgekomen. Die gaf een aantal eisen voordat de installatie aangesloten mocht worden en geactiveerd mocht worden. Een van zijn eisen was dat de kabling die van buiten naar binnen komt in een flexibele buis moet zitten en verder moest die kabel doorgevoerd worden door middel van een wartel. Ook waren de frames nog niet geaard, maar het bevestigen daarvan was nog niet gebeurd.

Werschakelaar

Volgens de NEN1010 moet er eigenlijk ook een werkschakelaar op de installatie om veilig aan de slag te kunnen met de zonnepanelen. Dit is echter niet nodig in dit geval, omdat er al drie mogelijkheden zijn om de panelen spanningsloos te maken. Toch is ervoor gekozen om een werkschakelaar op de kar te monteren om zo toch te voldoen aan de NEN1010.



*Figuur 20
Werkschakelaar
zoals die
gemonteerd is op
de kar.*

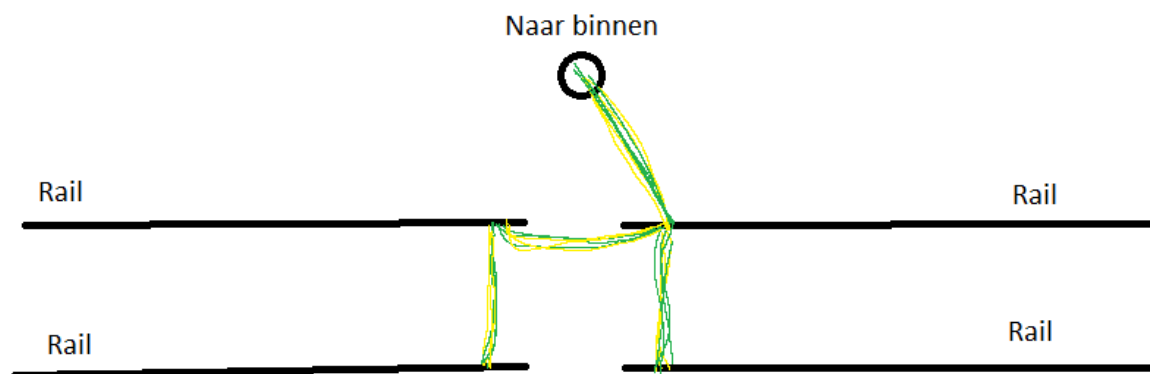
Confrontatie inspecteur 2

Na de aanpassingen toegepast te hebben is er nog een confrontatie geweest met de inspecteur van het IPKW. Nu vonden ze het niet fijn dat we een verdeler(meterkast) op de kar hebben staan. Deze moet namelijk met een vaste voeding verbonden zijn. Wij hebben deze momenteel verbonden met een CEE-cara stekker. De verdeler en dus de hoofdschakelaar, aardlekschakelaar en automaten zullen dus uit het circuit gehaald moeten worden. De meterkast met automaten wordt nu een verbinddoos en de automaten zullen niet aangesloten zijn. Waar de groep en de inspecteur het wel eens over eens konden worden, was dat er een werkschakelaar moest komen voor de gehele voeding in plaats van voor alleen de omvormer. Ook moest de kar altijd geaard zijn waardoor er nog een aparte aardkabel moest komen vanaf de kar naar de terminal box. Hier kunnen we de kar namelijk verbinden aan de aardkabel van de meterkast die zich bevindt in de MIC.

Aarding zonnepanelen frames

De frames van de zonnepanelen moeten geaard worden. Dit is namelijk belangrijk voor een goede werking van de isolatieweerstandmeting en aardlekbeveiliging van de omvormer. Dit is een bepaling uit NEN-EN-IEC 62109-2.

De manier waarop de rails zijn geaard, is door de rails aan elkaar te verbinden. Dit is weergegeven in het volgende plaatje:



Figuur 21 Ruwe schets van de situatie betreffende de aarde bekabeling.

Zo zijn alle frames/rails gezamenlijk geaard van de panelen.

Voor de isolatieweerstand moet bekeken hoeveel interne weerstand de kabel heeft en hoeveel stroom hij moet kunnen leveren in de slechtste situatie, waarbij er een kortsluitstroom zal gaan lopen naar aarde. Hierbij moet de kabel dit aan kunnen zonder dat deze zal smelten. Dus er zal ook een dikte voor de kabel gekozen moeten worden.

De dikte van de kabel kunnen we berekenen en bepalen met behulp van de volgende formule en grafiek:

De afstand vanaf de frame naar de aarde is ongeveer 8 meter.

De stroom die bij een kortsluiting ontstaat is maximaal 12,28A.

721.C.1.2 Berekening van de minimumkerndoorsnede

De doorsnede kan worden berekend aan de hand van de volgende formule:

$$S = \rho \times L \times I / U_v \quad (721.C.1)$$

waarin:

S is de doorsnede van de geleider, in mm²;

ρ is de soortelijke weerstand van koper (0,019 89 Ω mm²/m bij 50 °C);

L is de totale lengte (voedings- en retourleiding) van de geleiders, in m;

I is de totale stroom, in A;

U_v is het toegelaten spanningsverlies (0,3 V voor voedingsleidingen naar de hulpbatterij, 0,8 V voor vaste leidingen).

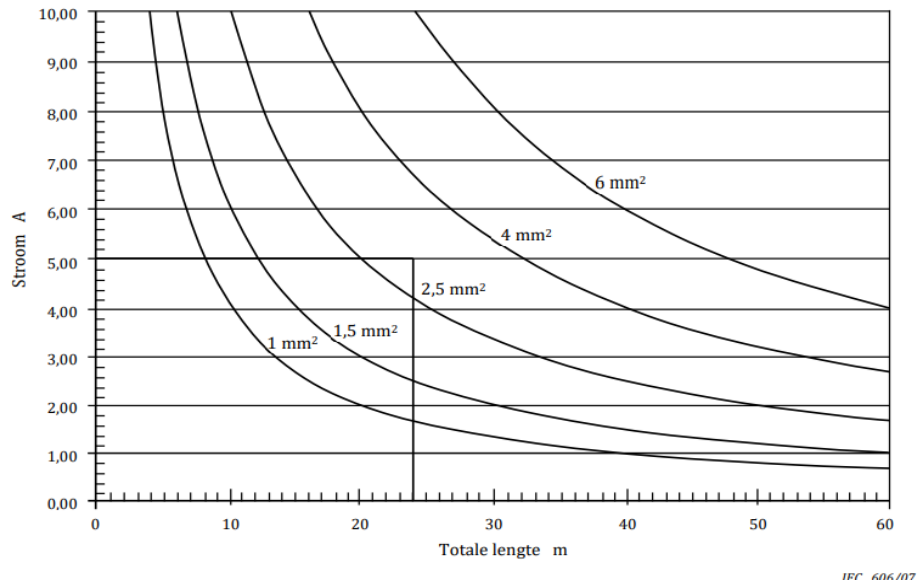
Figuur 22 De berekening van de minimumkerndoorsnede, benodigd hiernaast.

$$S = \frac{0.01989 \times 8 \times 12.28}{0.8} = 2,44 \text{ mm}^2$$

Vergelijking 1 Berekening van de kerndoorsnede.

Er is 2,5mm² draad tot de beschikking en deze zijn dus goed geschikt voor het aarde van de panelen. Een 2,5mm² kernddoorsnede is dus genoeg om de kortsluitstroom, indien deze plaatsvindt, te herleiden naar aarde. Toch hebben wij voor de zekerheid en op advies gekozen voor 4mm² kernddoorsnede en zo te mogelijke doorbrandingskans nog meer te verminderen van de aardkabel.

721.C.1.1 Grafieken ter bepaling van de minimumkernddoorsnede



Grafiek 4 Minimale benodigde doorsnede, afhankelijk van de lengte in meters en stroom in Ampère.

Hoofdstuk 7 Analyse Energy Management System

Inleiding

In deze fase onderzoeken we verschillende mogelijkheden voor het EMS (Energy management system). Hierbij kijken we onder andere of we zelf een EMS systeem gaan ontwikkelen of dat we een open source systeem gaan implementeren.

7.1 EMS system keuze

Voor het ontwikkelen van het EMS hebben we 2 mogelijkheden. 1 om zelf de hardware / software te ontwikkelen en 2 om een bestaand open source platform te gebruiken.

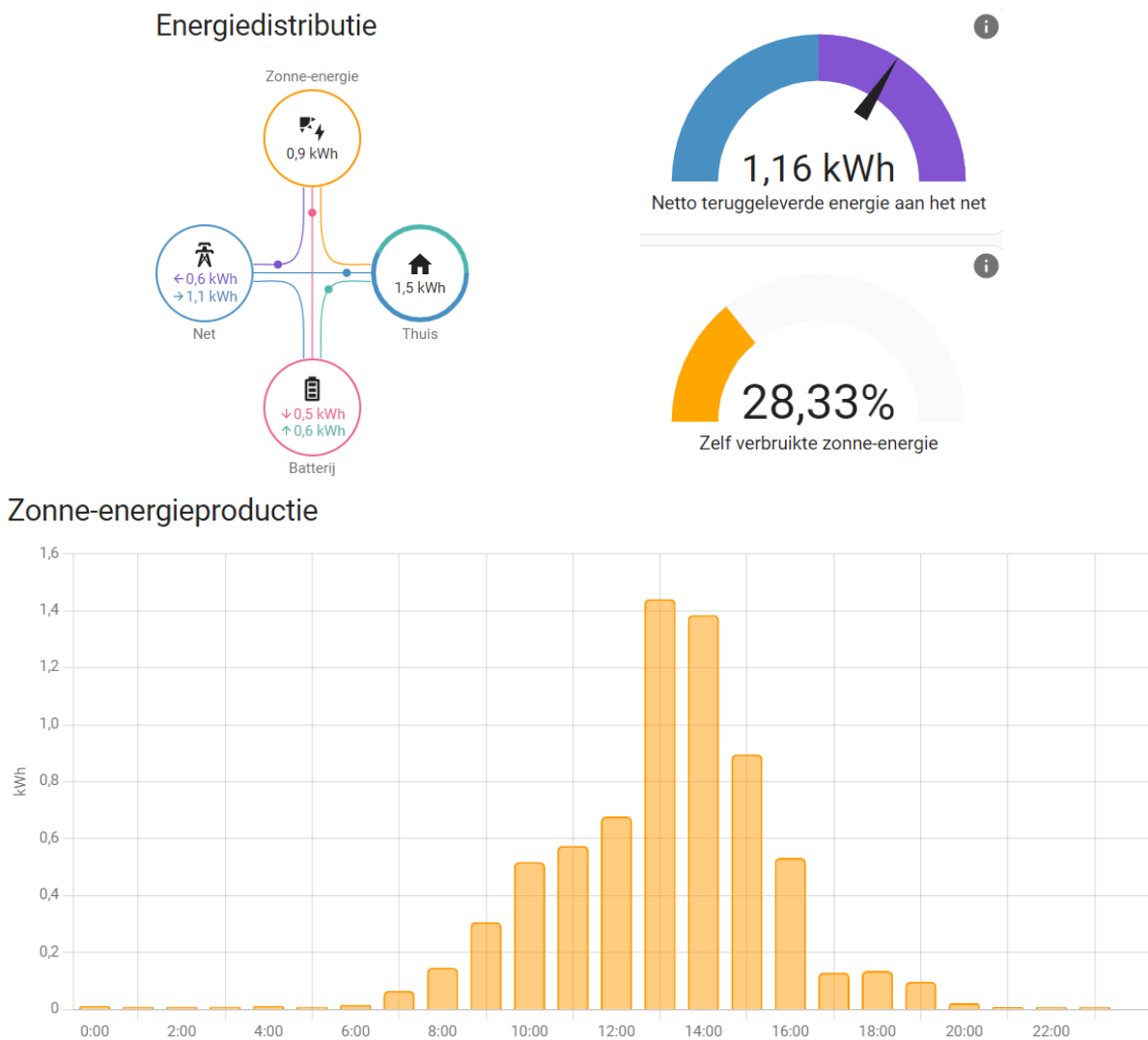
Conclusie

We hebben de keuze gemaakt om een bestaand EMS systeem te implementeren. Zodat we gelijk kunnen beginnen met testen. Hierdoor hebben we een snelle start voor het project. Voor dit bestaande systeem gebruiken we een open source platform bijvoorbeeld Home Assistant of open remote.

7.2 EMS open source platforms

Home Assistant

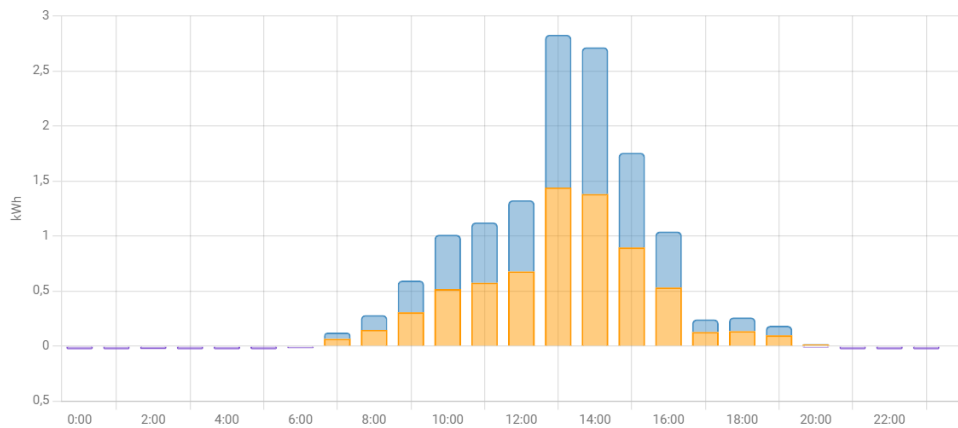
De laatste versie van Home Assistant Core 2021.8 bevat een nieuw energiedashboard (demo). Het doel is om het voor gebruikers gemakkelijk te maken om inzicht te krijgen in hun energieverbruik. Het dashboard is ontworpen om in één oogopslag te zien hoeveel energie er wordt gebruikt en opgewekt met de mogelijkheid om ook per uur uit te splitsen om te zien wat er wanneer is gebeurd. Het bevat ook indicatoren om je te helpen uw afhankelijkheid van het net te bepalen en of het toevoegen van energieopslag uw situatie zou helpen.



Figuur 23 Energiedashboard

In figuur 23 staan verschillende manieren om naar jouw verbruik te kijken, dit zal je helpen jouw energieverbruik beter te begrijpen.

Energieverbruik



Figuur 24 Verbruik per uur.

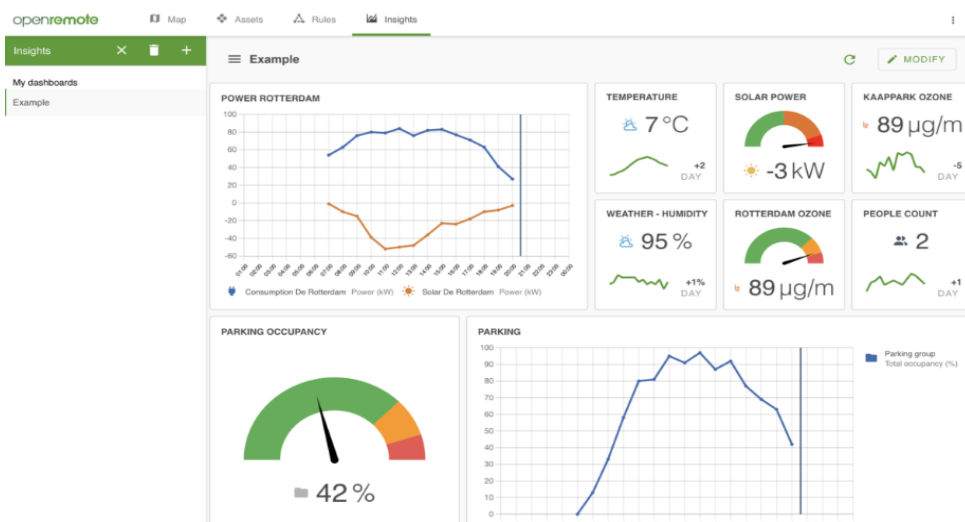
In figuur 24 staat de energieverbruiksgrafiek. Dit laat per uur zien hoeveel energie van het net is afgenomen, hoeveel energie je hebt geproduceerd en hoeveel van die energie is terug geleverd aan het net.

Open Remote

Open Remote is een intuïtief, gebruiksvriendelijk 100% open source IoT-apparaat beheerplatform voor apparaat fabrikanten, integrators en overheden. Het bevat alle functies en kenmerken, van het aansluiten van apparaten tot het bouwen van applicaties en domein specifieke slimme applicaties. Integreer al jouw gegevens, sensoren en bedieningselementen om ze centraal te openen. Verbind elk apparaat of elke gegevensbron voor activabeheer in één enkele interface. Gebruik de ingebouwde tools om gegevens te verwerken en regels te maken voor het onderhoud van bedrijfsmiddelen.

Data visualisatie

Visualiseer en analyseer jouw gegevens om nieuwe inzichten te krijgen en altijd de controle te houden. Vergelijk assets en evalueer hun gedrag in de loop van de tijd met het data visualisatiedashboard.



Figuur 25 Dashboard van Home Assistant waar allemaal waarden op te vinden zijn.

Conclusie

We hebben gekozen voor Home Assistant omdat het het grootste Home Automation platform is waardoor er al veel integraties beschikbaar is voor apparaten die voorkomen in ons systeem. o.a. de Solaredge moet hierdoor makkelijk uit te lezen en te bedienen zijn.

7.3 Hardware onderzoek

Raspberry pi

Optie 1: RP4 boot from ssd

Optie 2: CM4 + carrier board

+ Zigbee usb dongle (Home assistant sky connect).

Home assistant Yellow



Figuur 26 De Home Assistant Yellow geassembleerd.

Conclusie

We gebruiken de Home Assistant Yellow als hardware voor het project. hierin plaatsen we de Compute module 4. De CM4 werkt als brein in de Home Assistant Yellow. Het besturingssysteem laten we op een SSD draaien inplaats van een SD-kaart. Hierdoor is er hogere betrouwbaarheid ook verhoogt het de snelheid de home assistant Yellow.

Handleiding zonnepanelen

<https://nl-zonnepanelen.nl/wp-content/uploads/2020/11/se-device-control-dry-contact-switch-installation-guide.pdf>

7.4 Algoritme analyse

Het doel van het Energy Management System is om de opgewekte energie op een slimme manier te beheren. De keuze tussen gebruiken, opslaan en terug leveren wordt beïnvloed door de beschikbare informatie en apparaten in het systeem. Hoe meer informatie en componenten er in het systeem zitten, hoe meer keuzes het EMS heeft. Op deze manier kunnen we het EMS dus slimmer maken door het toevoegen van meer informatie en slimme componenten. EMS is een afkorting voor Energy Management System, en bestaat dus uit de installatie en het algoritme.

Wij kregen als project groep de taak om na te denken wat de beste keuzes zijn voor het EMS in verschillende situaties. Het huidige probleem met het lokale energie net is dat er te veel energie wordt terug geleverd wanneer de zon hard schijnt. Uiteindelijk wordt de netspanning hierdoor te hoog, en zal de omvormer afgeschakeld worden. Dit betekent dus dat er geen opbrengst is vanuit de zonnepanelen terwijl de zon wel schijnt.

Door zo min mogelijk van de opgewekte energie terug te leveren voorkomen we deze te hoge netspanning. Wanneer er meer energie wordt opgewekt door de zonnepanelen dan er wordt verbruikt door het huis kunnen we met behulp van een huis batterij deze energie opslaan voor later gebruik.

Ons uitgangspunt voor het EMS is daarom: "De opgewekte energie zo veel mogelijk zelf gebruiken". Op deze manier verlagen we de energie kosten, en voorkomen we een te hoge netspanning.

De op/ontlaad cycles moeten beperkt blijven (onder 250x per jaar). De batterij moet zelf opgewekte energie opslaan voor later gebruik. de batterij wordt op kost-effectieve manier op en ontladen dat houdt in dat de Batterij bij lage tarieven opgeladen worden, bij hoge tarieven ontladen.

Eisenlijst

1.	op/ontlaad cycles moeten beperkt blijven	de aantal cyclus moeten onder 250x per jaar blijven
2.	de batterij moet zelf opgewekte energie opslaan voor later gebruik	de batterij moet zelf opgewekte energie opslaan voor later gebruik
3.	de batterij wordt op kost-effectieve manier op en ontladen	De Batterij wordt bij lage tarieven opgeladen, bij hoge tarieven ontladen
4.	het systeem moet zoveel mogelijk zelfvoorzienend zijn	Het algoritme regelt zo efficiënt mogelijk

Tabel 6 Eisen aan het algoritme.

7.5 EMS Statements

Door middel van statements in Home Assistant is het systeem zelfvoorzienend, hierdoor regelt het algoritme zo efficiënt mogelijk. Hiervoor hebben we 3 statements ingebouwd die hieronder zijn uitgelegd.

Statement 1 Zonnepanelen laden de batterij op

Het eerste statement kijkt of het percentage van de hoogste energie prijs boven 50% is. Daarna wordt in de storage command mode de actie: Charge from clipped solar power uitgevoerd.

In de storage Default mode: Discharge to minimize import.

Statement 1

Voorwaarden	
^	Huidige Energy market price Current percentage of highest price - today waarde
Apparaat	Energy market price
Voorwaarde	Huidige Energy market price Current percentage of highest price - today waarde
Boven	50

Figuur 27 Statement 1: Zonnepanelen laden de batterij op.

Statement 2 Batterij opladen bij een lage energieprij

Het tweede statement kijkt of het percentage van de hoogste energie prijs onder de 10% is en de prijs per uur onder de 2 cent is. Daarna wordt in de storage command mode de actie: charge from clipped solar power and grid uitgevoerd.

In de storage Default mode: Discharge to minimize import.

Statement 2

Voorwaarden	
^	Huidige Energy market price Current percentage of highest price - today waarde
Apparaat	Energy market price
Voorwaarde	Huidige Energy market price Current percentage of highest price - today waarde
Boven	
Onder	10

Figuur 28 Statement 2: Batterij wordt opgeladen bij een lagere energieprij.

Statement 3 Wanneer de batterij helemaal vol is tijdens de hoogste uurprijs wordt er terug geleverd aan het net voor zonsopkomst.

Het derde statement kijkt of het percentage van de hoogste energie prijs boven de 90% is en het batterij percentage boven 50%. Dit mag alleen uitgevoerd worden voor zonsopkomst. Om te voorkomen dat de batterij in de avond leeg is.

Daarna wordt in de storage command mode de actie: Charge from SolarPower uitgevoerd.

In de storage Default mode: Discharge to Maximize export.

Statement 3

Voorwaarden

^  Huidige Energy market price Current percentage of highest price - today waarde

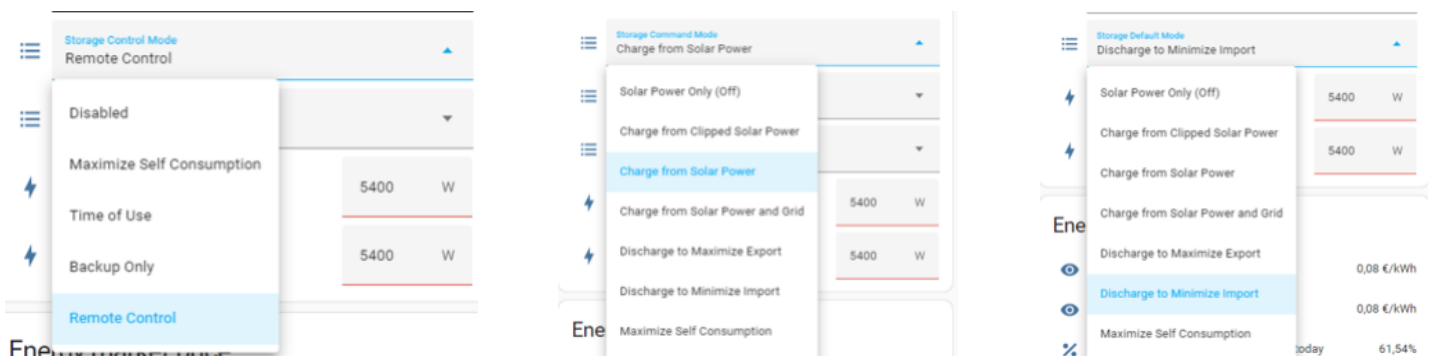
Apparaat
Energy market price

Voorwaarde
Huidige Energy market price Current percentage of highest price - today waarde

Boven
90

Figuur 29 Statement 3: Als de batterij vol is tijdens de hogere uurtarief, zal er aan het net worden terug geleverd tot zonsopkomst.

Parameter Opties



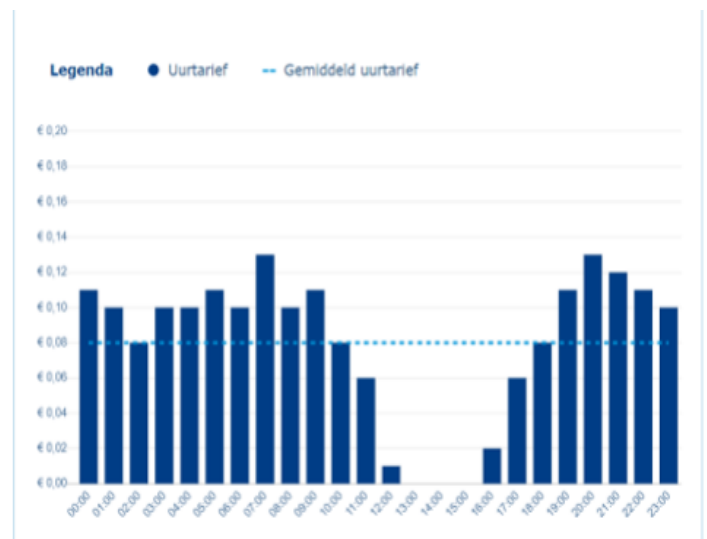
Figuur 30 Verschillende parameters die in Home Assistant kunnen worden aangegeven.

	Automatiseringen	Scènes	Scripts	Blueprints
←				
🔍 Zoek				
↑ Naam	Laatst uitgevoerd			
🤖 belasting	20 minuten geleden			
🤖 belasting uit	Nooit			
🤖 Statement 1	Nooit			
🤖 Statement 2	3 uur geleden			
🤖 Statement 3	Nooit			
🤖 Stop Statement 1	Nooit			
🤖 Stop Statement 2	Nooit			
🤖 Stop Statement 3	Nooit			

Figuur 31 Overzicht statements in Home Assistant



Figuur 33 Energieprijs op het dashboard



Figuur 32 Voorbeeld van een grafiek van uurtarieven voor energie.

Hoofdstuk 8 Resultaten



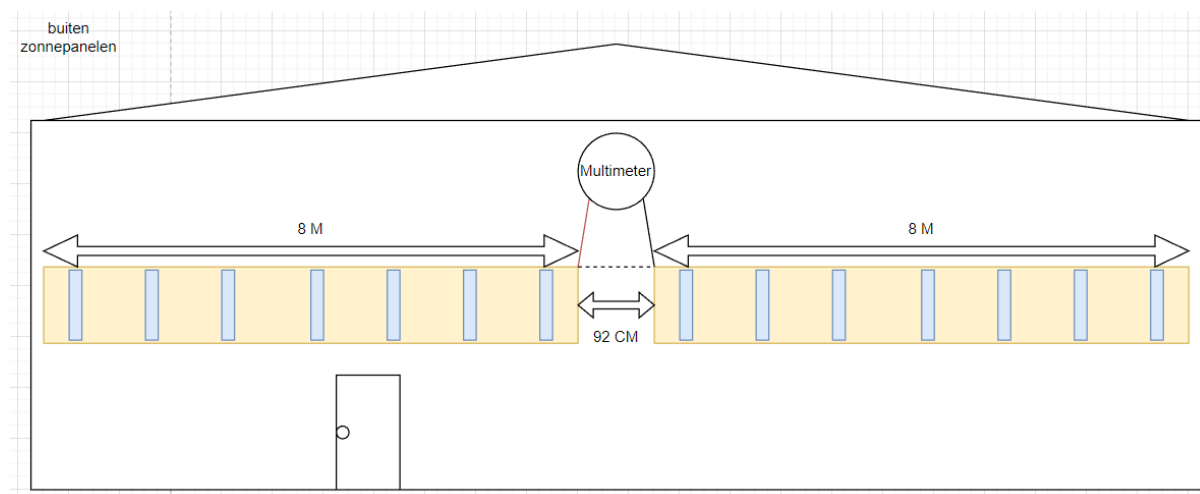
Figuur 34 De afgewerkte kar.

Testrapport

We hebben tijdens ons project veel verschillende testen gedaan. Je kunt hieronder zien wat voor een soort testen we hebben uitgevoerd, waarom we deze testen hebben uitgevoerd, wat voor materiaal we hierbij nodig hadden en tot slot de resultaten van de testen.

Testplan 1 Zonnepanelen goed aangesloten

Om te kijken of de zonnepanelen goed zijn aangesloten moeten de power optimizers 1v leveren. Wij hebben in totaal 8 panelen in bedrijf dus dat wilt zeggen dat wij 8V moeten krijgen. Om dit te testen hebben wij een multimeter nodig. De situatie van hoe alles is aangesloten staat hieronder geïllustreerd.



Figuur 35 Schematische weergave van de afmetingen van de zonnepanelen op het MIC.

Benodigdheden:

- Multimeter
- Zonnepanelen
- Power optimizers
- Kabels

Test:

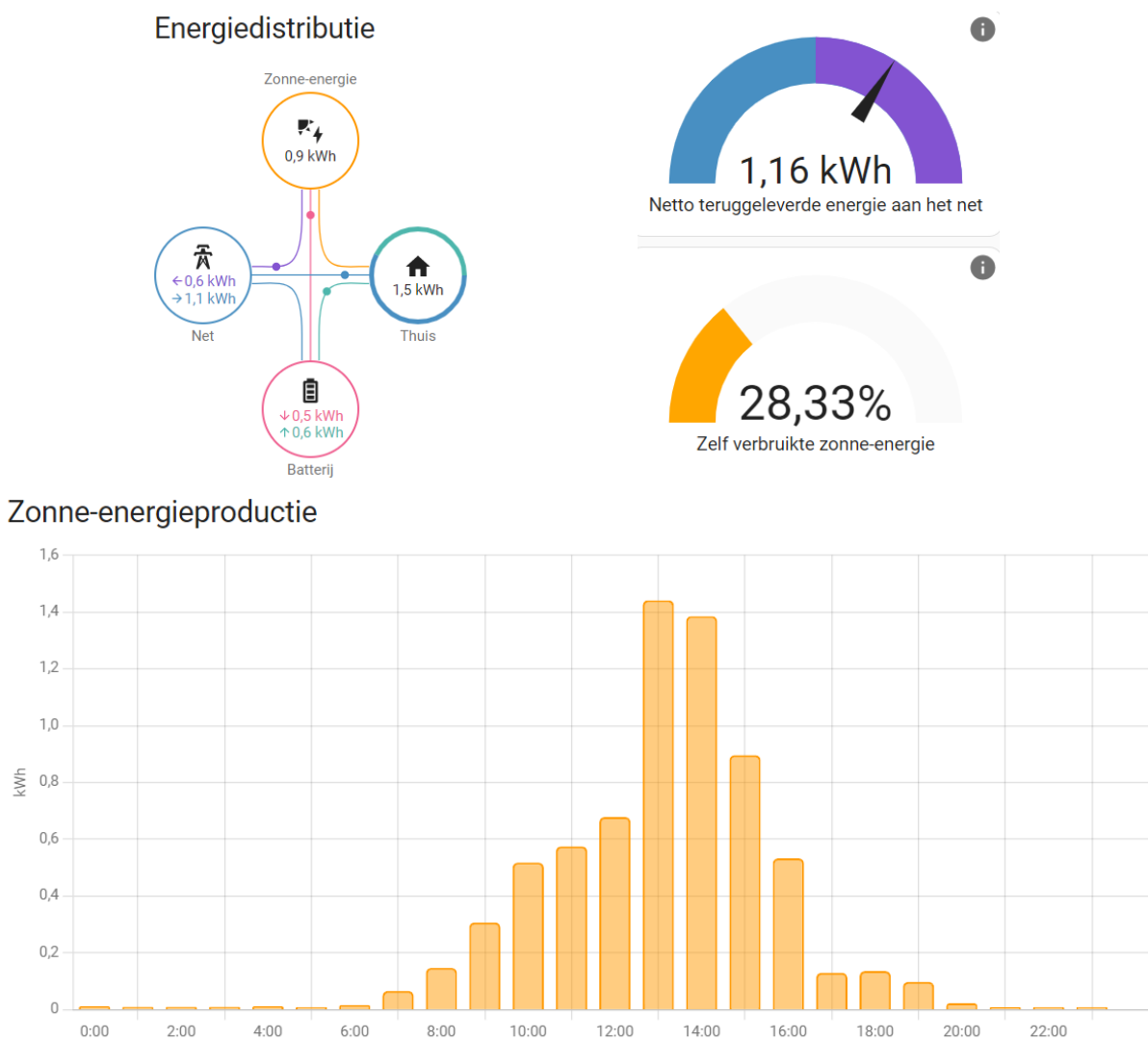
Wij hebben de zonnepanelen aangesloten op de manier die boven is geïllustreerd. Hierbij kwam er 8V op de multimeter. Dit wilt zeggen dat de zonnepanelen goed zijn aangesloten.

Testplan 2 SolarEdge/Home Assistant online uitlezen

Het doel van het Energy Management System is om de opgewekte energie op een slimme manier te beheren. De keuze tussen gebruiken, opslaan en terug leveren wordt beïnvloed door de beschikbare informatie en apparaten in het systeem. Hoe meer informatie en componenten er in het systeem zitten, hoe meer keuzes het EMS heeft. Op deze manier kunnen we het EMS dus slimmer maken door het toevoegen van meer informatie en slimme componenten. EMS is een afkorting voor Energy Management System, en bestaat dus uit de installatie en het algoritme.

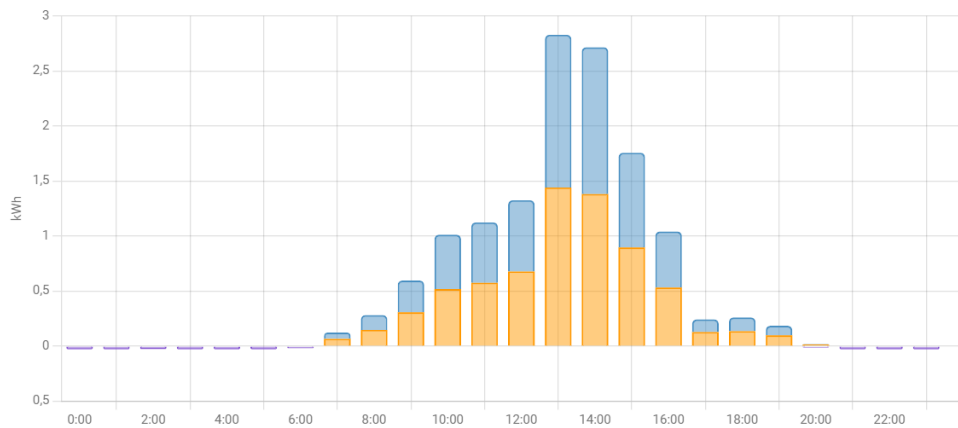
Voor de hardware gebruiken wij de Home Assistant Yellow, Hierop draait Home Assistant. Het dashboard laat in een oogopslag zien hoeveel energie er wordt gebruikt en opgewekt met de mogelijkheid om ook per uur uit te splitsen om te zien wat er wanneer is gebeurd. Het bevat ook indicatoren om u te helpen uw afhankelijkheid van het net te bepalen en of het toevoegen van energieopslag uw situatie zou helpen.

Zoals af te lezen in bovenstaande figuren is precies af te lezen hoeveel energie er per uur gebruikt wordt en hoeveel de zonnepanelen hebben opgewekt



Figuur 36 Energiedashboard

Energieverbruik



Figuur 37 Verbruik per uur.

Testplan 3 Duco aanzetten

Voor dit project hebben wij een Duco eco box gekregen van onze opdrachtgever. De duco eco box is een ventilatiewarmtepomp die wij willen bekrachtigen door de Smart Grid opstelling. Hierdoor simuleer je een last voor het systeem en dat systeem moet dat kunnen regelen. Ook moet er een activatie code komen voor de box want zonder deze code werkt hij niet.

Benodigheden:

- Duco Eco Box
- Activatie code

Test:

Voor deze test moesten we contact opnemen met het bedrijf dat deze box heeft gemaakt. Di moest omdat wij de activatie code nodig hadden en zij moesten die nog aan ons geven. Eenmaal deze code ingevoerd konden wij kalibreren. Toen wij dit deden kwam er telkens een error. Na verder inzien kwamen wij erachter dat er een grafische klep misten uit de Duco en dat wij daarom niet de Duco konden gebruiken. Daarom moesten wij vervanging zoeken. De vervanging was een radiator die wel kon aangesloten worden op ons systeem.

Testplan 4 Aarde meting

Het is bij elke elektrische systeem belangrijk dat de aarde overal goed is aangesloten. Bij ons geval moeten alle oppervlakte aan elkaar vast zitten met de aarde. Hierdoor voorkom je dat een apparaat onder stroom blijft staan. Bij ons systeem moeten de rails buiten van de zonnepanelen geaard worden. Ook moet de kar geaard worden. Deze twee aardes moeten daarna ook met elkaar verbonden worden. Om dit te testen word er gebruik gemaakt van een multimeter. Als alles goed met elkaar verbonden is dan kunnen we de weerstand meten.

Benodigheden:

- Aardeaansluiting
- Multimeter

Test:

Toen alle aardes met elkaar verbonden waren konden we beginnen met testen met de multimeter. Dit is gedaan en er kwam uit dat alle aardes goed met elkaar verbonden zijn.

Testplan 5 één zonnepaneel

De opdrachtgever wilt graag dat het systeem kan werken met één zonnepaneel. Om dit te testen hebben wij één zonnepaneel aangesloten op ons systeem. Natuurlijk hebben wij ook volle zon nodig om te kijken of hij iets oplevert. Om te kijken of het wat oplevert moeten wij de Home Assistant app gebruiken. Op deze app kan je onder andere zien hoeveel volt de zonnepaneel oplevert.

Benodigheden:

- Omvormer
- Zonnepaneel
- Power optimizer
- Home Assistant Yellow app
- Kabels

Test:

Het zonnepaneel levert maar 1V aan. Dit wil zeggen dat de omvormer niet kan werken met één zonnepaneel. Naar verder zoeken op de Solar Edge site staat er ook dat de power optimizers minimaal een string nodig hebben van acht. Daarom werkt het ook niet met een string van één.



Figuur 36 Een enkel zonnepaneel.

Hoofdstuk 9 Conclusie

EMS systeem keuze

We hebben de keuze gemaakt om een bestaand EMS systeem te implementeren. Zodat we gelijk kunnen beginnen met testen, dit had wel iets vertraging door levertijd. Voor dit bestaande systeem gebruiken we de Home Assistant Yellow als hardware voor het project. hierin plaatsen we de Compute module 4. De CM4 werkt als brein in de Home Assistant Yellow. Het besturingssysteem laten we op een SSD draaien in plaats van een SD-kaart. Hierdoor is er een hogere betrouwbaarheid, ook verhoogt het de snelheid de Home Assistant Yellow.

EMS Algoritme

Door middel van statements in Home Assistant is het systeem zelfvoorzienend, hierdoor regelt het algoritme zo efficiënt mogelijk. Hiervoor hebben we 3 statements ingebouwd. In de laatste weken hadden we pas alles draaiend voor het testen. Hierdoor weten we nog niet precies of alles volgens plan was. Het algoritme gedeelte kan misschien nog worden uitgebreid met meerde statements en aanpassingen in de statements.

Fysieke installatie

Zoals de wens van de opdrachtgever was, is het systeem op de kar af. Alles wat gemonteerd moest worden om een duidelijk overzicht te krijgen van hoe een huis “Smart” zijn energie kan opwekken en gebruiken, is zo geplaatst dat de routes te volgen zijn. Zo is er een werkende elektrische kring aangesloten en een warmtepomp met CV-aansluiting. Echter, de warmtepomp is niet in werking gesteld. Daardoor is de kar nog niet klaar voor een demonstratie. Wel zijn de zonnepanelen volledig en volgens de richtlijnen, gekeurd door het IPKW, gemonteerd. De zonnepanelen werken dan ook al en kunnen de batterij opladen of stroom terug leveren aan het net.

Hoofdstuk 10 Aanbevelingen

Extra zonnepaneel

De opdrachtgever wilt graag dat het systeem kan werken met één zonnepaneel. Om dit te testen is er los één zonnepaneel aangesloten op ons systeem. Het zonnepaneel levert maar 1V aan. Dit wil zeggen dat de omvormer niet kan werken met één zonnepaneel. Naar verder zoeken op de solar edge site staat er ook dat de power optimizers minimaal een stringlengte nodig hebben van 8 optimizers. Daardoor kan dat in combinatie met de huidige omvormer niet. Wel kan er nog een soort van opstelling gemaakt worden waar het zonnepaneel gemonteerd en aangesloten wordt op de kar als die verreden moet worden, maar dat het zonnepaneel dan alleen dient als visueel hulpmiddel (dus geen stroom levert)

Als dat niet gebeurt houden we 1 zonnepaneel over. Als de installatie wordt verhuisd naar het nieuwe gebouw kan dit zonnepaneel ook gemonteerd worden. Met dit extra zonnepaneel wordt er iets meer energie opgewekt worden waardoor de batterij ook sneller wordt opgeladen.

[Zie testplan 5](#)

EMS Algoritme

In de laatste paar werkte de gehele installatie pas, hierdoor hadden we weinig tijd voor het optimaliseren van het algoritme. In de toekomst kan het algoritme verder geoptimaliseerd worden door nieuwe statements of met andere aanpassingen.

Systeem op de kar

Zoals eerder vermeld kan het systeem nog niet volledig ingeschakeld worden omdat de warmtepomp in deze staat niet werkt. Na analyse van de foutmelding lijkt het om een sensor die in de ventilatieklep zit te gaan. Die klep is niet aanwezig, waardoor de computer de sensor niet ziet en een error geeft. Er is een grote kans dat als de klep wel geïnstalleerd wordt, dat de warmtepomp in bedrijf genomen kan worden en daarmee de gehele installatie zijn werk kan doen (nu wekt het systeem nog te weinig stroom op). Als dat níét het geval is, kan het zijn dat de buffer vergroot moet worden. Dat is nog niet gebeurd omdat de warmtepomp niet werkte en het zonde zou zijn als het systeem dan vervangen moet worden.

Bronvermelding

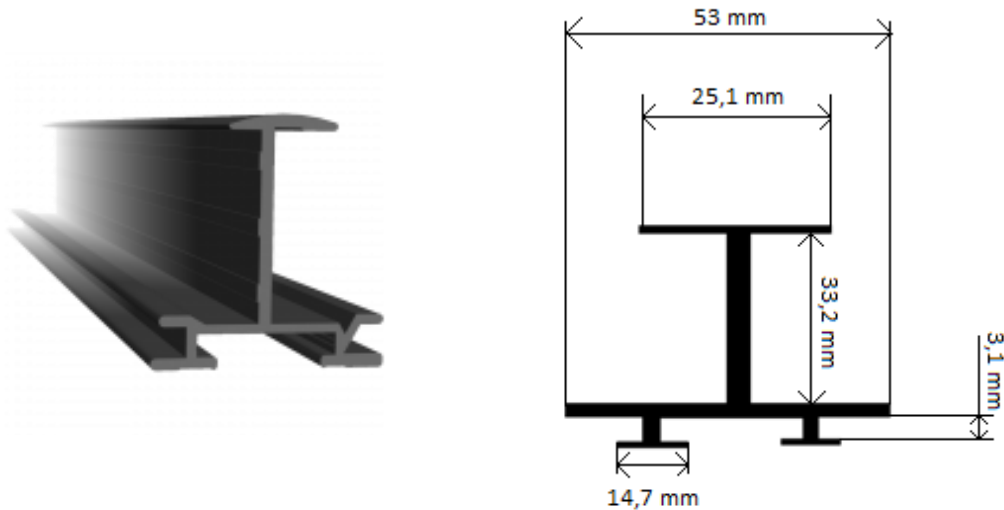
1. Aelex. (2021, June 2). *Inleg-montagesysteem*. Retrieved April 18, 2023, from <https://aelex.nl/inleg-montagesysteem-voor-zonnepanelen>
2. European Environment Agency. (2022, September 26). *CO2 performance of new passenger cars in Europe*. Retrieved April 18, 2023, from <https://www.eea.europa.eu/ims/co2-performance-of-new-passenger>
3. Scania Nederland. (n.d.). *Verbruik vrachtwagen*. Retrieved April 24, 2023, from <https://www.scania.com/nl/nl/home/info/verbruik-vrachtwagen.html#:~:text=Het%20gemiddelde%20verbruik%20van%20een,het%20verbruik%20van%20uw%20vrachtwagen.>
4. Stichting Nationale Milieudatabase. (2023, February 20). *Milieubelasting warmtepomp valt hoger uit*. NMD. Retrieved April 24, 2023, from <https://milieudatabase.nl/nl/actueel/nieuws/milieubelasting-warmtepomp-valt-hoger-uit/>
5. Milieu Centraal. (z.d.). *Duurzaamheid van zonnepanelen*. Geraadpleegd op 24 april 2023, van <https://www.milieucentraal.nl/energiebesparen/zonnepanelen/duurzaamheid-van-zonnepanelen/>
6. Kluwen, N. (2021) *Aansluiten DC bekabeling, Nederlandse Zonnepanelen Unie*. Geraadpleegd op: 11 april 2023. [DC-bekabeling zonnepanelen | Kennisbank Installatie Journaal \(han.nl\)](#)
7. *En 50618:2015 en (2015) NEN*. Geraadpleegd op 11 april 2023. [NEN-EN 50618:2015 en \(han.nl\)](#)
8. SolarEdge (2020) *Overvoltage Surge Protection–technical note -*. Geraadpleegd op 11 April 2023. https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/lightning_surge_protection.pdf

9. Kerkhofs, A. (2017) *Kabel Berekening formules, Kabelberekening bij pv-installaties*. Geraadpleegd op 18 april 2023.
[https://www.ew-installatietechniek.nl/artikelen/open/kabelberekening-bij-pv-installaties#:~:text=Het%20spanningsverlies%20in%20de%20stroomvoerde,%3A%20Uv%3D%20I%20x%20R.&text=Voorbeeld%3A%20een%20kabel%20\(3%20x,\(1%20x%20%CF%81\)%3AA](https://www.ew-installatietechniek.nl/artikelen/open/kabelberekening-bij-pv-installaties#:~:text=Het%20spanningsverlies%20in%20de%20stroomvoerde,%3A%20Uv%3D%20I%20x%20R.&text=Voorbeeld%3A%20een%20kabel%20(3%20x,(1%20x%20%CF%81)%3AA).
10. NEN (2017) *NPR 5310:2017 nl*, Geraadpleegd op 18 April 2023.
<https://connect-1nen-1nl-13q7w5ngy0bf0.stcproxy.han.nl/standard/openpdf/?artfile=3526786&RNR=3526786&token=7c42def3-cdd9-4920-a557-8fb76c140373&type=pdf#pagemode=bookmarks>
11. *NEN EN IEC 62109-2* (2011), Geraadpleegd op 18 April 2022.
<https://connect-1nen-1nl-13q7w5n5h015e.stcproxy.han.nl/standard/openpdf/?artfile=522774&RNR=164180&token=e9cf25b8-2796-42d0-a518-e4384d067bc2&type=pdf#pagemode=bookmarks>

Bijlagen

Berekeningen

1. Gewicht berekenen van de rails van de zonnepanelen.



Om het gewicht te kunnen berekenen van de rails, is er gebruik gemaakt van een doorsnede van de rails. Daar is een schatting van gemaakt, want de vorm is lastig te meten. Zie de 2^{de} foto hierboven voor de versimpeling. De totale oppervlakte van de doorsnede is een som van waardes gemeten dmv een schuifmaat, dus de eindwaarde zal ondanks de versimpeling aardig in de buurt komen.

Door de maten op te tellen en die waarde keer de algemene dikte te doen, in dit geval 3mm, krijgt men daar de oppervlakte van de doorsnede uit.

$$A = (53 + 25,1 + 33,2 + 2 * (3,1) + 2 * (14,7)) \times 3 = 146,9 \times 3 = 440,7 \text{ mm}^2 = 0,0004407 \text{ m}^2$$

Met die waarde en de lengte van de rails, is het volume van de rails als volgt te berekenen:

$$V = A \times l = 0,0004407 \times 25 = 1,1 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

Tot slot is met de dichtheid de massa te berekenen. De dichtheid van aluminium 6005 is 2700 kg/m³.

$$m = V \times \rho = 1,1 \times 10^{-2} \times 2700 = 29,7 \text{ kg}$$

De totale massa van de rails is dus ongeveer 30kg.

2. Spanningsverlies van kabel PV-panelen -> omvormer.

Over de 36 meter is het spanningsverlies U_V berekent met de volgende formule:

$$U_V = I \times R$$

Met:

I = De stroomsterkte in Ampère (A);

R = De weerstand in Ohm (Ω);

Hiervoor moeten wij eerst de weerstand berekenen van de kabel. Daar hebben we deze formule voor:

$$R = \frac{(L \times \rho)}{A}$$

R = Weerstand in Ohm (Ω);

L = Lengte in meter (m);

ρ = Soortelijke weerstand van het materiaal in Ohm meter ($\Omega \times m$);

A = Doorsnede in kwadraatmeter (m^2);

In dit geval zijn de volgende waardes benodigd:

$L = 8 \times 2 + 2 \times 10 = 36$ meter;

ρ = soortelijke weerstand koper = $0,0175 \times 10^{-6}$ ($\Omega \times m$);

$A = 4 \text{ mm}^2 = 4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$$R = \frac{(36 \times 0,0175 \times 10^{-6})}{4 \times 10^{-6}} = 0,1575 \Omega$$

Nu kunnen we met de nominale stroom van de pv-panelen en de weerstand in de kabel de theoretische spanningsverlies berekenen.

$I_{\text{nominiaal}} = 11,7A$

$R = 0,1575 \Omega$

$$U_{\text{verlies}} = I \times R = 11,7 \times 0,1575 = 1,84 V$$

Het spanningsverlies in percentage is te berekenen door het spanningsverlies te delen door de totale spanning van de panelen:

U_{paneel} = spanning van de panelen

$U_{\text{paneel}} = 34,2 \times 8 = 273,6V$

$U_{\text{Verlies}\%}$ = spanningsverlies in percentage

$$U_{\text{Verlies}\%} = \left(\frac{1,84}{273,6} \right) \times 100 = 0,67\%$$

3. Spanningsverlies omvormer->batterij

Er kan weer gebruik gemaakt worden van de zelfde formules als voor de kabels van de zonnepanelen:

$$R = \frac{(L \times \rho)}{A}$$

L = Lengte in meter (m);

ρ = Soortelijke weerstand van het materiaal in Ohm meter ($\Omega \times m$);

A = Doorsnede in kwadraatmeter (m^2);

R = Weerstand in Ohm (Ω);

$$R = \frac{(1,6 \times 0,0175 \times 10^{-6})}{4 \times 10^{-6}} = 0,007 \Omega$$

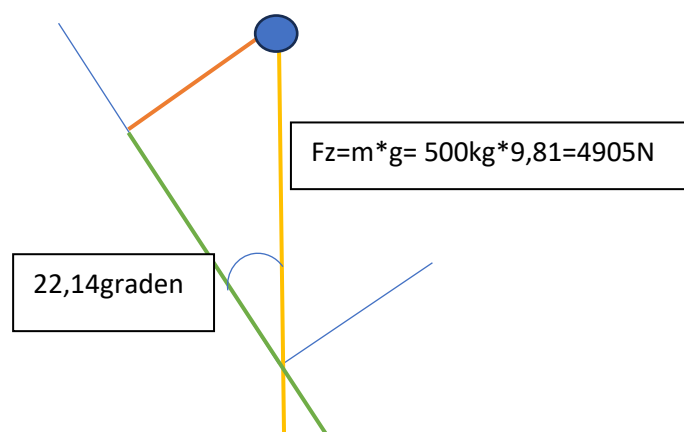
I_{pk} is de piek stroomsterkte die ontladen kan worden voor 10 seconden door de batterij, die is in dit geval $I_{pk} = 20,9A$. Er wordt gebruik gemaakt van de piek stroom, omdat de kabel dit wel meerdere malen moet kunnen weerstaan zonder een probleem te veroorzaken en het de uiterste situatie is voor de kabels.

$$U_{Verlies} = I \times R = 20,9 \times 0,007 = 0,1463 V$$

U_B = maximale spanning geleverd door de thuisbatterij = 335V

$$U_{Verlies} \% = \left(\frac{U_{Verlies}}{U_B} \right) \times 100 = \left(\frac{0,1463}{335} \right) \times 100 = 0,044 \%$$

4. Stabiliteitsberekening



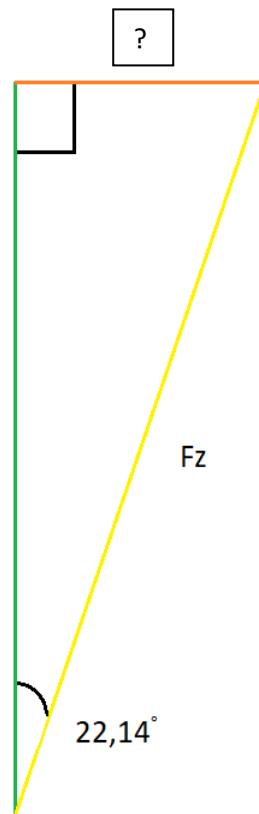
Er is een schatting gemaakt aan de hand van een solidworks tekening, waar aan alle componenten een massa gekoppeld is. Op die manier is het zwaartepunt berekend van de kar, zoals ook weergegeven in figuur (XXX) Aangezien de kar om zal vallen als het zwaartepunt voorbij de wand zou vallen, kan de hoek berekend worden waarbij de kar zal omvallen. De kar is in het figuur hierboven met blauw aangegeven, geel is de verticale lijn wanneer de kar om zal vallen als de hoek groter wordt, en groen en oranje zijn denkbeeldige lijnen om de berekening te versimpelen. Door de rechte hoek van de kar als oorsprong te nemen, volgt er een coördinaat waarop het zwaartepunt viel: in dit geval (248.71 , 611.16). De waardes geven de afstand in X,Y aan tot de oorsprong, en aangezien het een rechte hoek is, is de hoek waarbij de kar omvalt met de tangens uit te rekenen:

$$\tan(\alpha) = \frac{248,71}{611,16}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{248,71}{611,16}\right) = 22,14^\circ$$

Om de kracht te berekenen waarbij het zwaartepunt over de lijn zal vallen, is de horizontale (oranje) lijn in het figuur. Dat is namelijk de kracht die de meeste invloed heeft op het laten tippen van de kar. Die is te berekenen met de hoek en de lange zijde, welk in dit geval de zwaartekracht betreft omdat het massapunt op de verticale lijn ligt (alle massa bevindt zich als het ware in dat punt en aangezien het een verticale lijn is werkt er geen andere kracht naar beneden.). De zwaartekracht betreft $F_z = m \times g = 500 \times 9,81 = 4905N$, waarbij m de massa van de kar is (ongeveer 500kg). Door de sinusfunctie te gebruiken kan dan de overstaande/oranje zijde berekend worden en daarmee de kracht om de kar te laten tippen:

$$\sin(22,14) = \frac{?}{4905} \text{ wordt } ? = \sin(22,14) \times 4905 = 1848,6N \approx 1850N$$



mechanische
eisen

Nr.	Eis (in woorden)	Eis (specifiek en meetbaar)	Verificatie-methode	Stakeholder
1.	Zorg dat de testopstelling niet makkelijk kan omvallen	Maak de testopstelling stabiel doormiddel van het zwaartepunt laag te houden	Statica berekeningen uitvoeren op de opstelling	Opdrachtgever
				Gebruiker
				Onderzoeker
2.	Buffervat monteren	Eventueel een buffervat toevoegen als het gewenst is voor testen of als het nodig blijkt na berekeningen	Thermodynamische berekeningen op de opstelling doen	Onderzoeker
3.	Meterkast monteren	Monteer de meterkast-inverter-accu's-Radiator bij de Duco warmtepomp op het frame van de testopstelling	Visuele inspectie	Opdrachtgever
				Onderzoekers
4.	Batterijen monteren	Monteer de batterijen op de testopstelling. Zorg dat deze niet meer kunnen bewegen of omvallen	Visuele inspectie en handmatige inspectie	Opdrachtgever

5.	Zonnepanelen monteren	De zonnepanelen moeten op de loods bij het MIC gemonteerd worden	Visuele inspectie met montagepunten en elektriciteits-aansluitingen, zowel door WTB'ers als ELT'ers of ESE'ers	Opdrachtgever
6.	Verzin een mogelijkheid dat de testopstelling mobiel gebruikt kan worden met PV-panelen	Monteer 1 à 2 PV-panelen aan de achterkant, eventueel kantelbaar	Visuele inspectie	Opdrachtgever
7.	Inductor monteren	Monteer de inductor op een stevige plaat op de testopstelling en zorg dat deze hier niet af kan vallen. Houd ook genoeg ruimte voor warmteafvoer	Visuele inspectie en nameten	Opdrachtgever

technische eisen

Nr.	Eis (in woorden)	Eis (specifiek en meetbaar)	Verificatie-methode	Stakeholder
1.	Verbinding PV-panelen en opstelling maken	Realiseer een stekkerverbinding tussen PV-panelen (op de loods) en de testopstelling.	Visuele inspectie veiligheid door ELT	Opdrachtgever
2.	Inzicht op huidig toestand en gebruik	Alle sensoren zijn zichtbaar op het scherm	ESE	Gebruiker
				Onderzoeker
				Opdrachtgever
3.	Bediening via het scherm	Extra optisch voor het scherm voor sensoren voor eenvoudige toegang tot alle benodigde informatie	ESE	Onderzoeker
				Opdrachtgever

				Gebruiker
4.	op/ontlaad cycles moeten beperkt blijven	de aantal cycles moeten onder 250x per jaar blijven	ESE/ELT	Gebruiker
5.	de batterij moet zelf opgewekte energie opslaan voor later gebruik	de batterij moet zelf opgewekte energie opslaan voor later gebruik	ESE/ELT	Onderzoeker
6.	de batterij wordt op kost-effectieve manier op en ontladen	De Batterij wordt bij lage tarieven opgeladen, bij hoge tarieven ontladen	ESE	Onderzoeker
7.	het systeem moet zoveel mogelijk zelfvoorzienend zijn	Het algoritme regelt zo efficiënt mogelijk	ESE	Onderzoeker
8.	Opstelling in de juiste parameters gebruikt kan worden	Opstelling gebruiken bij een binnenlucht van 10 tot 40 graden celsius en een buitenlucht van -10 tot 32 graden celsius	Temperatuur meten	Gebruiker

