

Ontwerp van een PMFC-dakmodule

In opdracht van:



Door:

Maike van den Ende



Ontwerp van een PMFC-dakmodule

Auteur:	M.J.S. van den Ende s0202592
Opdrachtgever:	Plant-e B.V. Wageningen Universiteit Gebouw Biotechnion Bomenweg 2 6703 HD Wageningen Nederland
Onderwijsinstelling:	Industrieel Ontwerpen Universiteit Twente
Bachelorcommissie:	dr. ir. A. van de Boomgaard MBA dr. ir. M.C. van der Voort ir. M. Helder dr. ir. D.P.B.T.B. Strik
Datum publicatie:	15 oktober 2012
Datum tentamen:	18 oktober 2012

Dit rapport is gemaakt in het kader van de bacheloropdracht van de studie Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente.

Inhoudsopgave

Voorwoord	5	6.3 Tweede conceptfase - "linkcomponent"	34
Figurenlijst	6	6.3 Tweede conceptfase - "klikframe"	36
Tabellenlijst & Afkortingenlijst	7	6.3 Tweede conceptfase - conceptkeuze	38
Summary	8	6.4 Derde conceptfase - de gebruiker	39
Samenvatting	9	6.4 Derde conceptfase - uitstraling	42
1. Inleiding	10	6.4 Derde conceptfase - de output	44
1.1. Vraagstelling	11	6.4 Derde conceptfase - onderhoud en drainage	46
2. Actoranalyse		7. Eindconcept	47
2.1. Plant-e	12	7.1. Omschrijving	48
2.2. Doelgroep	14	7.2 Constructie en installatie	50
3. Technologieanalyse	16	7.3 Kostenschatting	52
3.1. Werking	16	7.4 Modelbouw	54
3.2 Componenten	18	8. Conclusie	56
3.3 Pilot	19	9. Discussie	58
3.4 Constructie eerste pilot	20	11. Referentielijst	61
4. Groene daken	21	12. Bijlages	62
4.1 & 4.2	21	I Programma van Eisen	62
4.3 lagen van een groendak	22	II Morfologisch schema	65
4.4 & 4.5	23	III Afmetingen en simulaties	66
5. Programma van eisen	24	IV Kostenschatting	67
6. Concepten	26		
6.1. Ontwerpprincipes	26		
6.2 Eerste conceptfase - constructie	27		
6.2 Eerste conceptfase - concept 1	28		
6.2 Eerste conceptfase - concept 2	30		
6.2 Eerste conceptfase - conceptkeuze	32		
6.3 Tweede conceptfase - "elektronische schakeling"	33		

Voorwoord

Met gepaste trots presenteer ik hier het eindresultaat van 14 weken hard werken aan een groenere toekomst. Duurzaamheid heeft altijd al mijn interesse getrokken en ik vind het dan ook mooi dat ik als industrieel ontwerper heb kunnen bijdrage aan een van de grootste problemen van onze generatie: het milieu en de brandstoftekorten. Ook draagt het project bij, bij de problemen van urbanisatie.

Tijdens de studiereis heb ik mogen ervaren, hoe een stadstaat als Singapore met een van de hoogste bevolkingsdichtheden ter wereld fascinerende oplossingen bedenkt voor deze radicale problemen. Een opvallend kenmerk aan Singapore is, dat ze creatief gebruik maken van de ruimte: er staan meer bomen op de daken dan op de grond. Hier heb ik ingezien dat de potentie van Plant-e enorm is en wat er zou kunnen worden bereikt. Het was een goede motivatie en inspiratie om te beginnen aan deze opdracht.

In het verslag over het project komt de veelzijdigheid van een industrieel ontwerper aan bod en laat u de verschillende ontwerpfases zien. Dit eindresultaat had ik echter nooit in mijn eentje kunnen bereiken en mijn dank gaat dan ook uit naar ontzettend veel mensen die mij zowel inhoudelijk als op mentaal vlak hebben gesteund. In de eerste plaats wil ik de begeleiders vanuit het bedrijf, Marjolein Helder en David Strik, bedanken voor de wekelijkse meetings en al hun adviezen. Mijn collega Momo stond elke dag voor mij klaar en heeft mij geholpen tijdens brainstorms. Ik heb hem dan ook met plezier geholpen met zijn project en bouw van het derde plot. Deze regenachtige zondag zal ik nog lang heugen. In het algemeen wil ik al mijn mede-stagaires Sander, Yongzhi,

Nanda en ook Momo bedanken voor alle gezellige werkdagen.

Vanuit de UT bedank ik mijn begeleider Thonie van den Boomgaard voor zijn begeleiding en een rondleiding door zijn oude studentenstad Wageningen.

veel leesplezier,
Maaïke van den Ende

Figuur 1: Groene daken in Singapore



Figurenlijst

1: Groene daken in Singapore	5	35: Modelbouw	55
2: Sociale kaart van een Plant-e PMFC-dakmodule	13	36: Alternatieve ontwerpen	59
3: Verschil in wat de doelgroepen willen	15	37: Rolbaar frame	60
4: Opzet huidige pilot	16		
5: Stroomdiagram reactieketen Plant-MFC	17		
6: Overzicht pilot	19		
7: Stappenplan constructie pilot plant-MFC	20		
8: Lagen van een intensief groendak (15)	22		
9: Mogelijke configuraties van een Plant-MFC	26		
10: Verschillende constructiemogelijkheden	27		
11: Overzicht van concept 1	28		
12: Ideeën waterdicht maken van het concept	29		
13: Test membraan kistrip	29		
14: Test membraan vastlassen	29		
15: Overzicht van concept 2	30		
16: Verbinden van de bodemframes	31		
17: Concept 1 en concept 2	32		
18: Huidige bedrading in pilot	33		
19: Ideeën verminderen van draden	33		
20: Overzicht concept linkcomponent	35		
21: Ideeën verbinden linkcomponent	35		
22: Begin- en eindpuntverbinding	35		
23: Overzicht concept klikframe	37		
24: Ideeën voor verbinding anode	37		
25: Verbinding kathode en frame	37		
26 : Drie vragen voorgelegd aan Plant-e	39		
27 : Vier scenario's voorgelegd aan Plant-e	40		
28: Impressie van uitstraling	42		
29: Ideeën modulair systeem verbergen	42		
30: Brainstorm voorkant systeem	43		
32: Ideeën voor waterstand meten en waterdrainage	46		
33: Overzicht eindconcept	47		
34: Stroomdiagram installatie	51		

Tabellenlijst & Afkortingenlijst

Tabellen:

1 Scenarios toekomstige doelgroep	15
2: Materialen gebruikt in de pilot (3)	17
3: Stappenplan constructie pilot plant-MFC	20
4: Type begroeiing en beplanting (13)	21
5: Programma van eisen	25
6: Voor- en nadelen van een modulair	26
7: Vergelijking linkcomponent en klikframe	38
8: Overzicht watt per product	44
9: Overzicht materiaaleisen per onderdeel	49
10: Materiaalkosten derde plot	53
11: Materiaalkosten nieuw ontwerp	53
12: Onderdelenmodel	54
13: Evaluatie Programma van Eisen	57

Afkortingen:

AC:	Alternating Current, wisselstroom
DC:	Direct Current, gelijkstroom
GAC:	Graphite Activated Carbon (actief kool)
LC:	Link component
NIOO:	Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Nu: Nederlands instituut voor Ecologie
PMFC:	Plant Microbial Fuel Cell
PP:	Poly Propylene
PTFE:	Poly Tetra Fluor Ethyleen ("teflon")
STW:	Technologie stichting
UT:	Universiteit Twente
V:	Voldaan
W:	Waarde
WUR:	Wageningen University Research

Summary

This assignment has been made for the company Plant-e B.V. located in Wageningen, the Netherlands. This company is specialized in technology to gain electricity out of plants. The purpose of the assignment was (a) to assess the requirements of a green electricity roof, so potential customers from the target group become interested in the product, and (b) make a design proposal, that gives a realistic impression about the opportunities of a green electricity roof. A green electricity roof is also called a PMFC-roof module.

To determine the requirements for such a module, several analysis has been performed: actor analysis, technology analysis and an analysis on the construction of green roofs. According to the actor analysis Plant-e is leader in developing the technology. To develop a product, Plant-e needs to cooperate with suppliers, manufacturers, investors, marketers and customers. For now Plant-e is still in a start-up phase and runs a small pilot. The launching customer, a company, should want to have a 'green' image and be willing to invest in a 'first right to pilot'.

The way the technology works can be simply divided into two stages: rhizodeposition of organic compounds from living plants and conversion of organic compounds into electricity by using Microbial Fuel Cell (MFC). The technology doesn't harm the plants.

The new product from Plant-e will compete with conventional green roofs. To assess the competitors and the construction of a green roof, an analysis on the construction of green roofs has been performed. Based on the research on the target group, the technology and green roofs, a list of requirements for the new green electricity roof is made. From this list, focus points for the project were determined: construction, electronic circuits and the user.

In the set-up of the new PMFC-roof module the cathode is placed at the bottom and the anode on top. By a triangular frame at the bottom, oxygen can be led to the cathode. A membrane separates the cathode from the anode and

makes sure the module is watertight. It is still possible for the protons to go through the membrane to the cathode. This concept enlarges the surface of the cathode and reduces the weight of the module per m².

The modules are linked to each other by a link component. A current collector attached to the cathode is combined with a copper wire. At the other end of the copper wire a current collector for the anode is attached. The current collector from the anode can be placed in the next module. So a series connections is formed.

Finally the appearance and feedback to the user of the PMFC-module is determined by Plant-e. They have chosen to show the technology with the help of images on the side of the modules. At the same time the PMFC-roof should look natural. This is done by placing an extra board around the total system, so the top of the modules can be covered by soil, sand, stones etc. Also the water drainage can be done from one point. Via a monitor, the results from the PMFC-roof are displayed to the user and its customers.

To evaluate the theoretical design phase, a model scaled 1 to 4 is made. Material cost and production on larger scale is also looked into. The cost for the cathode, membrane and containers were too high. In a follow-up research, the reduction of these costs has to be investigated. The final concept might not be suitable for the launching customer, considering the cost for a small batch of products. It might be better to design a simple version for the launching customer, made out of standard components or a non-modular system.

Samenvatting

De opdracht is uitgevoerd voor het bedrijf Plant-e B.V. te Wageningen. Het bedrijf is gespecialiseerd in een technologie om elektriciteit uit planten te genereren. De doelstelling van deze opdracht was (a) inventariseren waaraan een ontwerp voor groen elektriciteit leverende module moet voldoen, zodat potentiële afnemers uit de doelgroep geïnteresseerd raken, en; (b) een ontwerpvoorstel te ontwikkelen dat potentiële afnemers een realistische indruk geeft over de mogelijkheden van een groen elektriciteit leverende module. Een groene elektriciteit leverende module wordt ook wel een PMFC-dakmodule genoemd.

Om te bepalen aan welke eisen een dergelijke module moet voldoen, is er een actorenanalyse, technologieanalyse en een analyse over de constructie van groendaken uitgevoerd. Uit de actorenanalyse is naar voren gekomen dat Plant-e een centrale plek in beslag neemt als technologieontwikkelaar. Om een product te realiseren zal Plant-e moeten samenwerken met leveranciers, investeerders, marketeers en afnemers. Vooral nog bevindt het bedrijf zich in een start-up fase en loopt er een pilot. De eerste afnemer, een bedrijf, moet graag een groen imago willen hebben/voortzetten en geld wil investeren voor "the-first-right-to-pilot".

Het mechanisme van de technologie kan verdeeld worden in twee stages: het afzetten van organische verbindingen van levende planten door rhizobacteriën en het omzetten van de organische verbindingen in elektriciteit door Microbial Fuel Cell (MFC). Met deze technologie worden de planten niet geschaad.

Er is een analyse uitgevoerd over de constructie van groendaken om te bestuderen aan welke constructie-eisen een PMFC-(dak)module moet voldoen en op welke punten Plant-e moet gaan concurreren. Op basis van het vooronderzoek is een programma van eisen opgesteld voor een nieuw PMFC-dakmodule. Uit dit programma van eisen zijn bepaalde punten gekozen waar deze opdracht op wordt gericht: constructie, elektronische schakelingen en de gebruiker.

Voor de configuratie van de nieuwe PMFC-dakmodule is bepaald om de kathode op de bodem te plaatsen en de anode aan de bovenkant. Doormiddel van een driehoekig frame in de bodem wordt er zuurstof naar de kathode geleid. Een membraan scheidt de kathode van de anode. Deze zorgt ook dat de bak waterdicht is, maar wel protonen naar de kathode kunnen. Dit concept vergroot het werkbare oppervlakte van de kathode en vermindert het gewicht van de module per m^2 .

De modules worden aan elkaar geschakeld door een zogenaamd 'linkcomponent'. Een current collector bevestigd aan de kathode, wordt vastgemaakt aan een koperdraad. Aan de koperdraad wordt een current collector van de anode verbonden. Deze current collector wordt in de anode van een volgende module geplaatst. Hierdoor ontstaat er een serieschakeling.

Tot slot is er gekeken welke uitstraling en feedback de PMFC-dakmodule moet hebben naar de gebruiker. Doormiddel van afbeeldingen op de zijkant van de modules wordt de technologie uit gebeeld. Tegelijkertijd moet het PMFC-dak er zo natuurlijk mogelijk uit zien. Dit wordt bereikt doormiddel van een extra buitenrand, zodat alle randen van de modules bedekt kunnen worden met bijvoorbeeld potgrond. Doormiddel van deze buitenrand wordt het een geheel systeem en kan de waterdrainage op een centrale plek plaats vinden. Via een monitor kan de gebruiker en de klanten van de gebruiker de resultaten van het PMFC-dak zien.

Na de theoretische ontwerpfase is er een schaalmodel(1:4) ontwikkeld. Tevens is er gekeken hoe de productie in grotere oplages kan worden gefabriceerd en welke materiaalkosten dit met zich mee brengt. De kosten voor de kathode, het membraan en de bakken vielen hoog uit. In een vervolgonderzoek moet worden gekeken naar de reductie van de kosten. Een kleine oplage van modules voor de launching customer is wellicht goedkoper als er een simpelere versie met standaardonderdelen of een niet-modulair systeem wordt gemaakt.

1. Inleiding

De wereld is in de laatste decennia getroffen door een klimaatcrisis en een daaraan gerelateerde energiecrisis. Men is er zich meer en meer bewust van, dat er snel oplossingen voor het brandstoftekort en de vervuiling moeten komen. Een spin-off bedrijf van de Wageningen Universiteit (WUR), Plant-e B.V. (hierna Plant-e), komt met een unieke oplossing: groene daken die elektriciteit opwekken in de gebouwde omgeving op een kleinschalige manier, waarbij de planten ook hun reinigende functie van fijnstofafvang en koolstofdioxidebinding hebben. De technologie om elektriciteit te genereren uit planten is met behulp van de Wageningen Universiteit ontwikkeld. Om de technologie door te ontwikkelen naar een product worden diverse disciplines bij de projecten betrokken. Een industrieel ontwerper is gevraagd om een ontwerp te maken van een dakmodule voor groene elektriciteit genererende groene daken. In het verslag zal verder gesproken worden over een PMFC-dak(module). PMFC staat voor de volledige naam van de technologie namelijk "Plant microbiofuel cell".

De opdracht bedroeg 14 weken. Binnen deze periode was het niet mogelijk om alle aspecten van de dakmodule te behandelen en zijn er gericht keuzes gemaakt. De uitkomst van dit project dient ter ondersteuning van een volgend project, waarbij de concepten verder uitgewerkt en getest kunnen worden.

Het doel van de opdracht is (a) inventariseren, waaraan een ontwerp voor een dergelijke module moet voldoen, zodat potentiële afnemers uit de doelgroep geïnteresseerd

raken en (b) een ontwerpvoorstel te ontwikkelen, dat potentiële afnemers een realistische indruk geeft over de mogelijkheden van een groene elektriciteit leverende module.

Het verslag is, evenals het project, opgebouwd uit een vooronderzoek, conceptfase en een detailfase. De eerste vijf hoofdstukken behoren bij het vooronderzoek. In hoofdstuk een en twee wordt de achtergrond en doelstelling van de opdracht beschreven. In hoofdstuk drie is de actoranalyse weergegeven, hierin zijn het bedrijf Plant-e en de doelgroep geanalyseerd en gedefinieerd. In het vierde hoofdstuk is de technologie beschreven en is er gekeken, waar er mogelijke problemen kunnen worden verwacht. Hetzelfde is gedaan in hoofdstuk vijf met betrekking op het construeren van groendaken.

Uit de eerste vijf hoofdstukken volgde in hoofdstuk zes een programma van eisen voor een PMFC-dak(module). In overleg met de medewerkers van Plant-e zijn de belangrijkste eisen geformuleerd en zijn de aspecten bepaald, waar in de ontwerpfase op wordt gericht. Voor deze aspecten zijn in hoofdstuk zeven concepten ontwikkeld. In hoofdstuk acht wordt het eindconcept gedefinieerd, inclusief de constructie, installatie en de kosten. Als afsluiting volgt het beantwoorden van de onderzoeksvragen en een evaluatie van het eindconcept.

1.1. Vraagstelling

In de vorige paragraaf is de doelstelling van de opdracht al benoemd. Binnen de doelstelling en de opdracht worden zes deelonderwerpen onderscheiden: doelgroepkenmerken, technologiekenmerken, eisen en wensen voor groendaken, conceptgeneratie voor het nieuwe ontwerp, evaluatie van het eindconcept en aanbevelingen voor vervolgonderzoek. Om deze deelonderwerpen te ondersteunen zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

1. Wat zijn de kenmerken van de doelgroep?
 - a. Wat voor soort bedrijven/instanties/particulieren bevat de doelgroep?
 - b. Wat zijn de redenen voor deze doelgroep om een groendak van Plant-e te kopen?
 - c. Welke functies moet een groendak van Plant-e voor deze doelgroep vervullen?
 - d. Welke eisen en wensen zijn er vanuit de doelgroep?
2. Hoe functioneert de technologie?
 - a. Uit welke componenten bestaat de technologie?
 - b. Welke functies vervullen de componenten?
 - c. Uit welke materialen bestaan deze componenten?
3. Welke eisen en wensen brengen de toepassingen mee?
 - a. Welke eisen heeft een dakconstructie ten opzichte van een PMFC-dak en andersom?
 - b. Welke regelgeving en vergunningen hebben betrekking op groene daken?
4. Wat zijn mogelijke concepten voor een (module voor een) PMFC-dak?
 - a. Wat zijn de voor- en nadelen van een modulair groendak?
 - b. Welke componenten heeft een PMFC-dakmodule nodig naast de technologische componenten?
 - c. Welke functie vervullen deze extra componenten?
 - d. Wat zijn de beperkingen van de benodigde componenten?
- e. Op welke manier kunnen deze beperkingen gecompenseerd of opgelost worden?
- f. Hoe kan de technologie nuttig en zichtbaar verwerkt worden in de een (module voor een) PMFC-dakmodule?
- g. Hoe kunnen de eisen en wensen van de doelgroep, Plant-e en de omgeving worden geïmplementeerd in een (module voor een) PMFC-dakmodule?
5. Welk concept voldoet het beste aan de genoemde eisen?
 - a. Hoe voldoet het concept aan de gestelde eisen en wensen?
 - b. Wat zijn de voor- en nadelen van het eindconcept?
6. Wat zijn aanbevelingen voor verdere ontwikkelingen van het product?
 - a. Welke aspecten van het product moeten volgens de doelgroep worden aangepast?
 - b. Wat is een ruwe schatting van de kostprijs?
 - c. Wat is een ruwe inschatting van productiemogelijkheden?

2. Actoranalyse

2.1. Plant-e

De sociale kaart in figuur 2 laat zien welke stakeholders gerelateerd zijn aan een Plant-e PMFC-dak(module). De kaart is opgedeeld in technologieontwikkelaars, technologiegebruikers, technologieregulatoren en overige betrokkenen. Plant-e staat centraal in het vlak van de technologieontwikkelaars, maar heeft daarnaast externe kennis nodig om bepaalde onderdelen verder te ontwikkelen. Het doel van deze sociale kaart is het verkrijgen van een goed overzicht van alle betrokkenen en wat hun functie in het geheel is. Ook worden op deze manier de onderlinge relaties zichtbaar gemaakt. Tevens zou je in de kaart kunnen zien wie de effecten van de technologie gaan ondervinden (1). In dit hoofdstuk wordt verder toegelicht, wat de sterke en zwakke punten van Plant-e zijn en is er een uitgebreide doelgroepanalyse, die het uitgangspunt vormt voor het nieuwe ontwerp van een dakmodule.

2.1. Plant-e

Plant-e is een spin-off bedrijf van de Wageningen Universiteit (WUR), opgestart in 2009. Het bedrijf ontwikkelt producten, waarin levende planten elektriciteit opwekken. Het patent op de technologie is gekocht van de Wageningen Universiteit. De doelstelling van het Plant-e is om de technologie verder te ontwikkelen, te optimaliseren en te commercialiseren.

Het bedrijf Plant-e, bestaat uit twee onderzoekers; David Strik en Marjolein Helder. Tevens zijn er tijdelijke werknemers in dienst bij Plant-e. Het bedrijf bevindt zich in een opstartfase. De inkomsten voor Plant-e komen voornamelijk uit externe bronnen, waarbij subsidie en

fondsen voor starters een belangrijke rol spelen. Zo heeft Plant-e onlangs een investering van Pre-seed Grant ontvangen van k€250 (2).

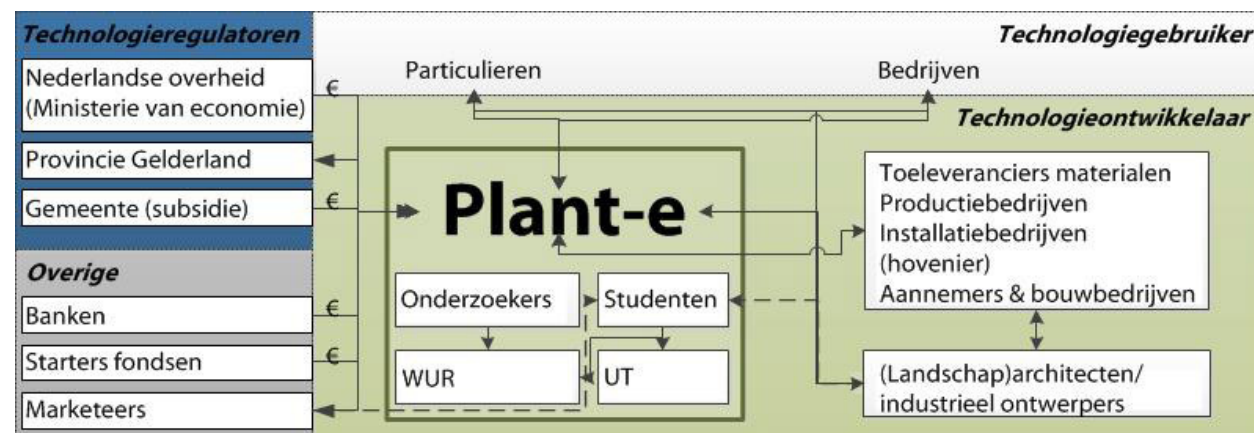
Plant-e kan nog niet inspelen met een product op de publieke belangstelling voor de technologie. Tot nu toe heeft Plant-e zich voornamelijk bezig gehouden met het onderzoeken van de technologie. Voor het ontwerp en ontwikkelen van een dergelijk product werkt Plant-e samen met diverse andere vakgebieden. De onderlinge samenwerking staan in de sociale kaart met een dubbele pijl weergegeven. Plant-e besteedt opdrachten uit en neemt tijdelijke werknemers in dienst. Voor het uitwerken van een eerste product, een gadget, zijn twee werknemers, een industrieel ontwerper en een consumentenwetenschapper tijdelijk aangesteld. Het doel van Plant-e is om per 2013 met deze gadget op de markt te komen, die zowel aan particulieren als bedrijven verkocht gaat worden. Op deze manier probeert Plant-e meer publieke bekendheid over de technologie te verwerven. Uiteindelijk moet een (module voor een) groendak een eerste key-product worden van het bedrijf.

Tot dusver is er een pilot van een groendak gerealiseerd en zijn er demo-opstellingen verkocht voor educatieve doeleinden. De toepassingen voor in de toekomst zijn veelbelovend volgens de resultaten van de haalbaarheidsstudie van de technologiestichting STW (3). In theorie kan de technologie zich terugverdienen in 18 jaar met 3.2 W/m^2 . Momenteel is echter de terugverdienperiode 143 jaar met $0,4 \text{ W/m}^2$ (3). In het eerste geval wordt de technologie ook commercieel aantrekkelijk. De berekende terugverdienperiode is

exclusief andere voordelen als isolatie en het unieke gevoel van een groene elektriciteitleverende dak. Een eerste studie naar de marktomvang in Nederland is geschat op 9,5 M€ (3).

Doordat Plant-e over het patent van de technologie beschikt, geeft dit het bedrijf de mogelijkheid om als eerste een goed product op de markt te zetten in deze nieuwe productcategorie. Plant-e zal in verschillende marktsegmenten concurreren, namelijk in de energie- en groensector. Een belangrijke toepassing van de technologie zijn de zogenaamde "groendaken". Deze groendaken zorgen voor isolatie en verhogen de esthetische waarde van een gebouw. De technologie zal echter ook economisch moeten opboksen tegen zonne-energie, die veelal ook gewonnen wordt op daken. Deze technologie is al veel verder ontwikkeld en levert per m² meer energie op. Belangrijke voordelen van PMFC is ten opzichten van zonne-energie zijn, dat PMFC geen zeldzame metalen als katalysator gebruikt, dat groendaken met een hogere esthetische waarde worden gewaardeerd, dat PMFC ook werkt bij indirect zonlicht en daarmee meer productie-uren per jaar heeft (4).

Figuur 2: Sociale kaart van een Plant-e PMFC- dakmodule



2.2. Doelgroep

De doelgroep - de technologiegebruiker

De doelgroep kan onderverdeeld worden in afnemers in de nabije en verre toekomst. In dit project wordt gericht op de nabije toekomst, de zogenoemde *launching customer*. Dit zijn midden- en grote bedrijven die een groendak op hun kantoorruimte willen. Volgens de innovatietheorie van Roger (4) kan Plant-e in de eerste verkoopfase zich het beste richten op *innovators* en *early adapters*. Dit zijn afnemers, in dit geval de directie van midden- en grote bedrijven, die eerder een nieuwe technologie accepteren en kopen dan de meesten. Ze zijn gretig om nieuwe dingen te leren en te ontdekken. Ze willen investeren in een nieuwe technologie en willen graag een groen imago hebben (4).

Launching customer

Het hebben van een eerste afnemer is een belangrijk onderdeel in de ontwikkeling van de technologie naar een productwaardig stadium. Plant-e en de eerste afnemer zullen samenwerken om een goed eerste product af te leveren. Vandaar dat het belangrijk is om van te voren vast te stellen, welke wederzijdse voordelen er zijn.

Het belangrijkste wat Plant-e op dit gebied kan bieden aan een afnemer is “the-first-right-to-pilot”: het bedrijf belooft de afnemer, dat op hun locatie het eerste product/pilot wordt geplaatst. De afnemer kan hiermee pronken tegenover zijn zakenpartners, maar ook tegenover zijn concurrenten. Anderzijds kan Plant-e bij de pilot nieuwe geïnteresseerden uitnodigen en blijft de eerste afnemer betrokken bij verdere en nieuwe ontwikkelingen (5).

Plant-e kan op korte termijn nog geen pilot leveren met

hoog vermogen en deze pilot is daarom nog niet geschikt voor veel toepassingen. Wel zou er demonstratiemateriaal aan het systeem gekoppeld kunnen worden, wat zowel voor Plant-e als de afnemer van toepassing kan zijn. Ook kan er een monitor aan het systeem gekoppeld worden, welke de opbrengst van het groene elektriciteit genererende dak registreert. Dit kan ook als demonstratiemateriaal gebruikt worden.

Het eerste product zal dus voor de verschillende partijen als demonstratiemateriaal gebruikt worden. Hierdoor is het van belang, dat de pilot een hoogwaardige en duurzame uitstraling heeft. Tevens is het van belang, dat het groene elektriciteitleverende dak duurzaam geproduceerd wordt en geen afval oplevert.

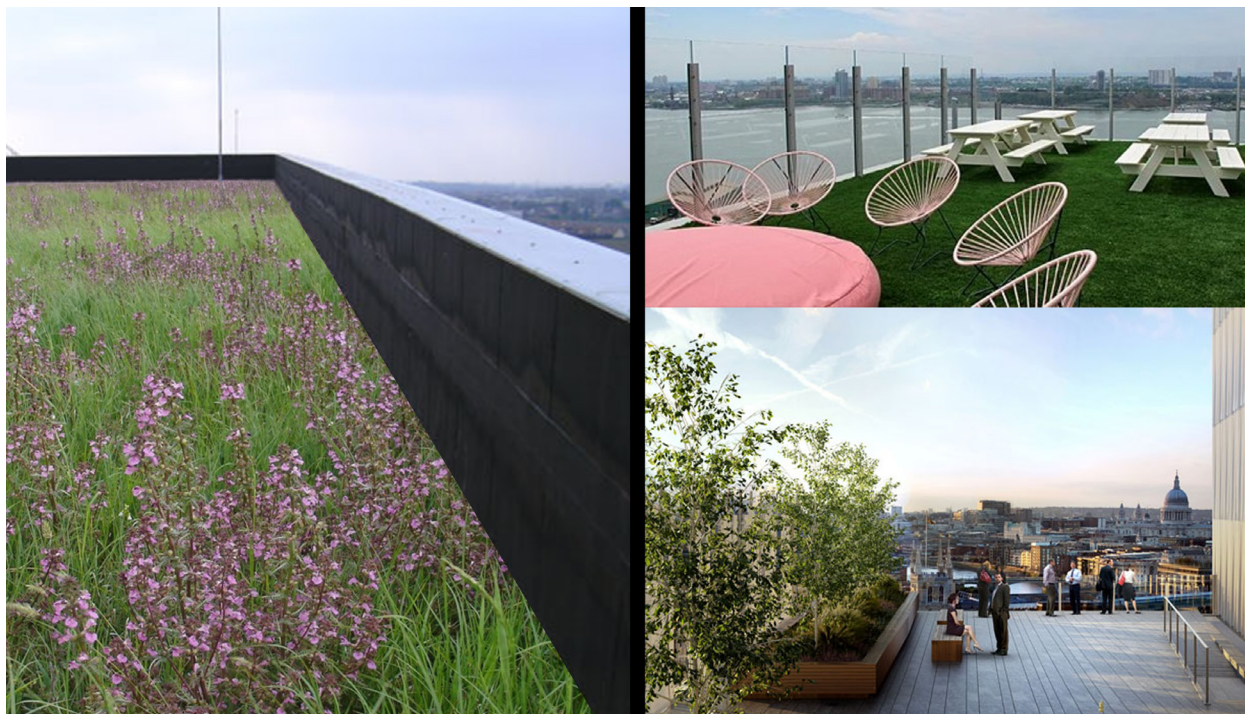
Plant-e zoekt in een *launching customer* een bedrijf met een beschikbaar plat dak, dat graag een groen imago wil hebben/voortzetten en geld wil investeren voor “the first-right-to-pilot”. Hiernaast kan de afnemer een aantal redenen hebben welke ook van toepassing zijn op groene daken: isolatie, esthetisch, wateropslag en vergroting biodiversiteit in de stad.

Er zijn diverse bedrijven en instellingen die reeds belangstelling hebben getoond voor een product van Plant-e. Binnen deze interesses vallen Nederlandse bouwbedrijven met bouwplannen voor duurzaam bouwen en specifieke plannen voor een speciaal cradle-to-cradle park. Daarnaast hebben ook middengrote bedrijven uit de omgeving van Wageningen interesse getoond, die niet actief zijn in de bouwwereld of duurzame branche (6).

Toekomstige doelgroep

Om in de toekomst een groter publiek te bereiken en te gaan concurreren met conventionele groene daken, zou de prijs flink om laag moeten en de uitstraling vergelijkbaar moeten zijn met conventionele groene daken. Om de concurrentie aan te gaan moet Plant-e zich duidelijk onderscheiden met hun elektriciteitslevering. Voor de afnemer moet duidelijk zijn, wat ze kunnen verwachten van de elektriciteitsopbrengst. Wat de doelgroep van de groene elektriciteit leverende daken over enkele jaren is, is afhankelijk van de prijsontwikkeling en het verhogen van het leverbaar vermogen. In tabel 1 staan mogelijke toekomst scenario's weergegeven (5).

Het toekomstscenario's, van de PMFC en daaraan gerelateerde producten, hangt tevens samen hoe snel PMFC de zogenaamde *grid parity* bereikt. *Grid Parity* betekent, dat het inkopen van duurzame elektriciteit evenveel kost als elektriciteit van het net. Naar verwachting wordt dit eerder bereikt bij particulieren. Voor particulieren is namelijk elektriciteit van het net duurder dan bij grote bedrijven (7).



	Vermogen blijft laag	Vermogen benadert de 3 W/m ²
Prijs blijft hoog	Blijft in de ontwikkelingsfase en de doelgroep van innovators en early adaptors Technologie wellicht geschikt voor een gadget	Bedrijven met een groen imago die de elektriciteitslevering willen gebruiken
Prijs wordt vergelijkbaar met conventionele groendaken	De elektriciteitsopbrengst is extra	Kan ook gaan concurreren in de particuliere groendaken markt.
Grid parity wordt bereikt voor huishoudens	De elektriciteitsopbrengst is extra	Kan gaan concurreren met andere alternatieve energiebronnen.

Figuur 3: Verschil in wat de doelgroepen willen
Tabel 1 Scenarios toekomstige doelgroep

3. Technologieanalyse

3.1. Werking



Figuur 4: Opzet huidige pilot

De technologie die Plant-e gebruikt en ontwikkelt om energie uit planten te halen heet Plant Microbial Fuel Cell, hierna te noemen PMFC. Door deze technologie kan er overal waar planten groeien energie gewonnen worden. De technologie is gebaseerd op een natuurlijk proces, wat de plant en zijn omgeving niet schaadt. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de technologie werkt, welke componenten nodig zijn en hoe de huidige pilot is opgebouwd.

3.1. Werking van de technologie

Het mechanisme van de technologie kan verdeeld worden in twee stages: het afzetten van organische verbindingen van levende planten door rhizobacteriën en het omzetten van de organische verbindingen in elektriciteit door Microbial Fuel Cell (MFC).

Een plant maakt organische stoffen aan door middel van fotosynthese. Deze organische stoffen worden gebruikt

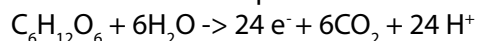
voor energie voor metabolische reacties in de plant. Een groot deel van deze organische stoffen wordt echter niet gebruikt voor de plantengroei en wordt via de wortels van de planten uitgescheiden in de grond. Ongeveer 30-60% van de netto vaste koolstof wordt getransporteerd naar de plantenwortels in de vorm van organische verbindingen en ten minste 40% is uitgescheiden in de aarde rondom de wortels. Deze organische verbindingen bevatten bijvoorbeeld glucose, zuren, koolhydraten, enzymen en dode cellen. Het transportproces van deze organische verbindingen wordt rhizoafzetting genoemd (8), wat een cruciale rol voor de tweede fase van PMFC speelt (9).

In de tweede fase van PMFC wordt er energie gegenereerd uit deze organische verbindingen. Rondom de wortels van de planten bevinden zich micro-organismen die deze organische verbindingen afbreken om hier energie uit te halen. In dit proces komen ionen vrij als afvalproduct. Deze vrijgekomen ionen kunnen worden opgevangen door een elektrode (kathode) te koppelen aan micro-organismen in de aarde (anode) die samen een circuit vormen. Het afzettingsproces tezamen met het circuit vormen de PMFC. Het type MFC wordt bepaald door het substraat. In dit geval gebruikt de MFC rhizodeposits van de wortelen van een levende plant, die het substraat definieert als PMFC (10).

De configuratie van de technologie staat weergegeven in figuur 4. De planten groeien in een geleidend substraat, zoals grafiet of actief kool in plaats van aarde. De anode en de wortels van de plant zijn volledig ondergedompeld in water om ionen te geleiden. In de anode worden de organische verbindingen afgebroken door de micro-

organismen. Deze reactie is een zogenaamde anaerobe reactie, wat betekent dat er geen zuurstof voor nodig is.

De formule voor dit proces is:



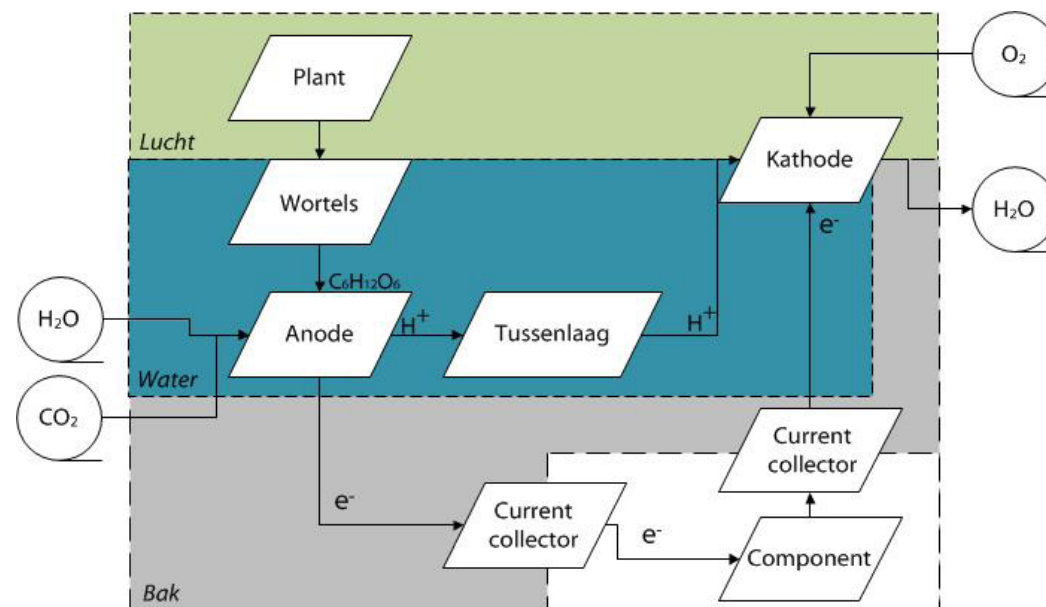
De protonen en ionen die vrijkomen in de reactie worden gebruikt om energie te winnen. Protonen verplaatsen zich naar de kathode door een tussenlaag, maar de ionen kunnen deze tussenlaag niet passeren. In figuur 4 zijn de kathode en de tussenlaag bovenop de anode geplaatst. De tussenlaag scheidt de kathode en de anode. De kathode is gemaakt van geleidend en poreus materiaal, zoals koolstofdoek, terwijl de tussenlaag niet geleidend moet zijn om kort sluiting te voorkomen.

Bedrading zorgt er uiteindelijk voor, dat de kathode en de anode verbonden worden. De kathode ontvangt protonen en ionen (in vorm van elektronen) via twee verschillende wegen. Ook wordt de kathode tussen water en lucht geplaatst, zodat deze zuurstof ontvangt voor de kathode-reactie. Protonen, elektronen en zuurstof reageren in de kathode om water te vormen. Deze reactie is als volgt:

$$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$$

De reactie in de kathode en anode samen met de bedrading om de elektronen te vervoeren, vormen het elektrische circuit om energie te genereren (9).

In figuur 5 is een stroomdiagram weergegeven, dat het transport van de elektronen en protonen in een PMFC en al zijn onderdelen weergeeft. In tabel 2 worden alle materialen benoemd van de componenten. Deze componenten worden in de volgende paragraaf beschreven.



Figuur 5: Stroomdiagram reactieketen Plant-MFC

Tabel 2: Materialen gebruikt in de pilot (3)

Component	Materiaal
Plant	Spartina Anglica en Glyceria Maxima, 7,5 kg per cel
Bak	Gerecycled polypropylene met een C2C certificaat
Anode	Actief kool korrels (GAC) van 1,5-3 mm
	Grafiet korrel van 1,5-3 mm
Current collector anode	Grafiet papier
Current collector kathode	Gouddraad
Kathode	Koolstofdoek
Tussenlaag	GS-PRO Paneel, gemaakt van polypropylene
Draden	Koperdraad bedekt met Poly-tetrafluoroethylene (PTFE)

3.2 Componenten

Plant: Een belangrijk aspect van de plant is, dat hij zich makkelijk kan aanpassen aan een waterige omgeving en kan leven zonder potgrond. Er is tot nu toe nog geen onderzoek gedaan welke plantensoorten het meeste elektriciteit produceren.

Bak: De bak zorgt dat alle onderdelen een geheel vormen. Het meest belangrijke is, dat de bak wortelwerend en waterdicht aan de onderkant is. Verder mag hij niet geleidend zijn. Tevens moet de bak weerbestendig zijn. Een belangrijk vraagstuk is, wat er met de bak gebeurt tijdens vorst. Door het bevroren water mogen er geen scheuren ontstaan. Daarnaast moeten de afmetingen in acht worden genomen. Hoe groter de bak, en daarmee de module, hoe lager de voltage in een seriecircuit.

Anode: In de anode groeien de wortels van de plant. Om deze reden is korrelig materiaal voor de anode het meest geschikt. De anode moet geleidend zijn. De reactie in de anode moet namelijk zuurstofarm zijn, vandaar dat de anode afgescheiden moet worden van de lucht.

Current collector: Deze verzamelen de stroom in een punt. De functie van de *current collectors* is om de efficiëntie van het elektronentransport te verhogen. De *current collector* moet zoveel mogelijk contact maken met de anode en een hogere geleiding hebben. Daarnaast is het belangrijk dat het materiaal waterbestendig is. Verschillende type materialen zijn beschikbaar voor de current collector van de anode: metaal of geleidend niet-metaal.

Voor de *current collector* van de kathode wordt vaak goud gebruikt. Goud is een goede geleider en roest niet. Het is

echter duur en niet-duurzaam. Op dit moment is Plant-e op zoek naar een alternatief. De geleider moet robuust zijn en te verbinden zijn aan een schakeling.

Kathode: De kathode fungeert als een ontvanger van de elektronen en protonen, en transporteert zuurstof. Protonen reageren met zuurstof en de ionen in het water. De kathode die op het moment door Plant-e wordt gebruikt, is een op maat gemaakte koolstofdoek door MASTcarbon. Een alternatief vormen koolstofkorrels, die iets goedkoper zijn, maar moeilijker kunnen worden gescheiden van de anode om kortsluiting te voorkomen.

Tussenlaag: De tussenlaag scheidt de anode van de kathode. Het is een soort interne weerstand, wat voorkomt dat ionen van de anode naar de kathode gaan. De tussenlaag moet de plant genoeg ruimte geven om te groeien en moet tegen verschuivingen van de plant kunnen.

Draden: Deze verbinden de (*current collectors* van de) anode en de (*current collectors* van de) kathode naar het elektronische apparaat. De draden moeten goed geleiden en beschermd worden tegen roesten (3).

Omvormers: De PMFC-dak(module) geeft een gelijkspanning af met een laag en fluctuerend voltage. De meeste huishoudelijke apparaten zijn ontworpen voor 230 V en een wisselspanning (50 Herz in Europa). Om gelijkstroom naar wisselstroom om te zetten en de spanning op 230 V - en constant - te krijgen zijn omvormers nodig. Plant-e maakt vooralsnog geen gebruik van omvormers in de huidige proefopstellingen.

3.3 Pilot

Op het moment zijn er drie plots van PMFC werkzaam op het dak van het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-knaw, Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek), Wageningen. De eerste twee plots zijn gebouwd in juni 2011. Het derde plot is onlangs in augustus 2012 geïnstalleerd. De eerste twee plots vormen de basis voor onderzoek en productontwikkeling op grotere schaal. Tevens vormden de plots een goede basis om de technologie te demonstreren aan een groter publiek. Plant-e heeft mede door deze eerste pilot veel media-aandacht gekregen, waarna interesse steeg bij investeerders en potentiële afnemers (11).

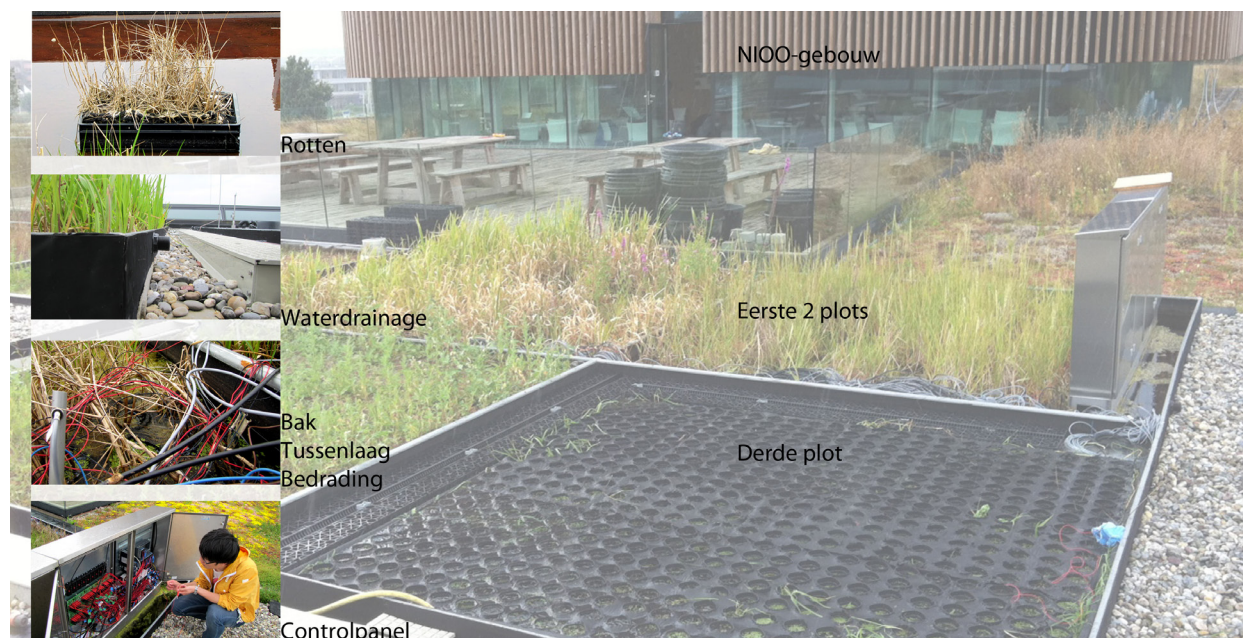
De eerste pilot bestaat uit twee plots van (2,85 x 2,85 m) en 61 cellen (0,4 x 0,6 m). In de pilot wordt de configuratie gebruikt die in figuur 4 staat weergegeven. Een cel is uit het systeem gehaald vanwege het rotten van de planten. Tussen de overige cellen zijn enkele verschillen aangebracht. 31 cellen gebruiken grafiet als anode en de andere 29 gebruiken actief kool. Daarnaast worden er twee verschillende planten gebruikt, namelijk *Spartina Anglica* en *Glyceria Maxima*. Alle cellen zijn verbonden met het *control panel*; hier zijn de cellen georganiseerd in groepen en verbonden met een weerstand (11). Dit is tevens het grootste probleem: er is meer dan 500 meter bedrading gebruikt (9).

Het derde plot is niet opgebouwd uit modules. De totale afmeting van de bak is 2,4 x 2,4 m. De configuratie is vergelijkbaar met het eerste pilot. De bak wordt normaal gesproken gebruikt voor vijvers. Dit is ook de reden, dat de bak erg dun en flexibel is, wat tevens er voor zorgt, dat deze niet gaat scheuren tijdens vorst. Rondom de bak zijn

schuimborden geplaatst, zodat de bak ruimte heeft om uit te zetten tijdens vriezen. In tegenstelling tot de eerste twee plots zijn eerst de planten geplaatst en daarna de tussenlaag en de kathode. Dit is goed te zien in figuur 6. Dit maakte de installatie een stuk minder arbeidsintensief en voor nu is het afwachten, totdat de planten omhoog komen.

De plots zijn aangesloten aan een meetsysteem in het NIOO. Hierdoor worden er continu metingen gedaan. In de zomer van 2012 heeft een stagiaire bij Plant-e de metingen verwerkt in een polarisatiecurve. De resultaten van de verschillende groepen variëren redelijk van elkaar (12). De hoogste vermogen, dat is bereikt was 30 mW/m².

Figuur 6: Overzicht pilot



3.4 Constructie eerste pilot

Bij het nieuwe ontwerp wordt geprobeerd de bestaande ontwerpen te verbeteren, evenals de constructie en de installatie. In tabel 3 en figuur 7 is weergegeven, hoe het eerste pilot is geconstrueerd. Door de installatie te observeren is waargenomen, waar de problemen liggen bij het ontwerp en de installatie. Deze problemen staan bij de stappen genoemd in tabel 3. Over het algemeen zijn de probleempunten hoe de *current collectors* worden bevestigd en hoe de installatie minder arbeidsintensief kan.

Tabel 3: Stappenplan constructie pilot plant-MFC
 Figuur 7: Stappenplan constructie pilot plant-MFC



	Stappen	Probleem
1	Verwijder aarde om de wortels van de plant	Arbeidsintensief Waterspilling
2	Stop actief kool op de bodem van elke bak en mix het met water	Gevaarlijk om actief kool in te ademen
3	Knip grafietpapier op maat en leg het op de bodem van elke bak	
4	Maak een draad vast aan het grafiet papier op de bodem: met een metaalklip en siliconen lijn	Effectief bevestigen
5	Voeg nogmaals een laagje actief kool toe	Gevaarlijk om actief kool in te ademen
6	Knip de tussenlaag in dezelfde vorm als de bak en leg hem erin	Arbeidsintensief
7	Knip de koolstofdoek in dezelfde vorm als de tussenlaag inclusief de gaten voor de planten. Leg het doek bovenop de tussenlaag	Arbeidsintensief
8	Maak een draad vast aan het koolstofdoek	Effectief bevestigen
9	Plaats de planten in de gaten	
10	Voeg meer actief kool toe onder de tussenlaag	Actief kool niet in ademen
11	Plaats alle bakken in het plot	Zwaar
12	Voeg water toe	Zwaar
13	Verbind alle draden met het <i>control panel</i>	Te veel bedrading

4. Groene daken

4.1 & 4.2

Op veel punten is een PMFC-dakmodule vergelijkbaar met een conventioneel groendak. Het stelt dezelfde eisen aan een dakconstructie. Bij een verdere ontwikkeling van een PMFC-dak zal dezelfde wet- en regelgeving van toepassing zijn. Daarom is het noodzakelijk de constructie en bouw van een conventioneel groendak te bestuderen. Voordeel hiervan is dat er naast onderzoek ook al jaren praktijkervaring over is opgedaan.

4.1. Type groene daken

Groene daken kunnen verdeeld worden in twee types: extensief en intensief. Een extensief groendak heeft stabiele vegetatie en heeft weinig onderhoud nodig. Intensieve groene daken hebben veel onderhoud nodig om de planten in leven te houden. Hierbij kan je denken aan water geven, snoeien, bemesting, onkruid wieden etc. (13, 14,15). Een gedetailleerdere indeling is weergegeven in tabel 4.

4.2. Eisen aan dakconstructie

Er zijn een aantal eisen waaraan het dak moet voldoen alvorens een groendak wordt geplaatst. Er wordt hier uitgegaan van een extensief groendak, wat het meest vergelijkbaar is qua gewicht met een PMFC-dak. Extensieve groene daken kunnen geplaatst worden op een dak, dat:

- het extra gewicht kan dragen;
- voldoende geïsoleerd is;
- bestand is tegen de druk;
- nog een voldoende levensduur heeft;
- niet bestaat uit teer of PVC

		Gewicht (kg/m ²)	Prijs (euro/m ²)
Extensieve groendaken	Mos sedum	30-100	20-40
	Sedum-grassen-kruiden	150-250	30-65
Eenvoudige intensieve groendaken	Grassen-kruiden	175-450	35-100
	Kleine heesters- vaste planten	200-750	40-150
	Struiken	300-1500	75-300
Intensieve groendaken	Gazon	200-500	40-125
	Bodembedekkers-Heesters	200-750	40-200
	Vaste planten-Heesters	300-750	75-200
	Hoge vaste planten-Heesters	450-1000	100-250
PMFC-dakmodule	Grasplanten	...	350-500

Tabel 4: Type begroeiing en beplanting (13)

waarvan:

- de dakrand hoog genoeg is;
- de drainage voldoende functioneert

Mocht het dak aan een van de eisen niet voldoen, kan er een renovatie plaatsvinden. Soms is een kleine aanpassing al voldoende (16).

De meest belangrijke eis voor een groendak is, dat het voldoende gewicht kan dragen. Het maximale gewicht is belangrijk voor het ontwerp van de nieuwe dakmodule en voor de installatie van het PMFC-dak. Tijdens installatie kan het gebeuren, dat er één plaats extra belast wordt. Het maximum gewicht dat een dak aankan verschilt per dak. Als er over het maximum gewicht wordt gesproken, betekent dat het maximale gewicht inclusief de maximale hoeveelheid water. Er moet dus bij de berekening vanuit worden gegaan, dat alle modules volledig gevuld zijn met

4.3 lagen van een groendak



Figuur 8: Lagen van een intensief groendak
(15)

water (14).

4.3. Opbouw groendak

Een groendak kan op verschillende manier worden geconstrueerd. Echter een aantal lagen komen altijd terug in de constructie, zoals een waterdichte laag, een drainagelaag, een groeimedium en een vegetatielaag. Een meer gedetailleerde opzet van een groendak bestaat uit de volgende lagen:

- Planten-/vegetatielaag
- Groeimedium
- Filter/membraan
- Drainagelaag
- Wortelwerendelaag
- Waterdichtelaag

Binnenin de constructie is het groeimedium gescheiden van de drainagelaag door een filterlaag. De filterlaag voorkomt, dat fijne deeltjes van het groeimedium in de drainagelaag terecht komen. Deze filtratielaag zorgt ervoor, dat de drainage zowel in horizontale als in verticale richting plaats vindt. (13, 14,15).

Filterlaag

De drainagelaag mag niet verstoppert door bijvoorbeeld aarde. Dit kan worden bereikt door een geweven of niet-geweven filterdoek, zoals een polyester mat of polypropylene-polyethyleenmat, (daken in 't groen). Er zijn verschillende filtergroottes mogelijk en het is zelfs mogelijk om de plantenwortels door het filterdoek te laten groeien (15, 18).

4.3.3. Drainagelaag

De drainagelaag vermindert de hydrostatische druk. Daarboven wordt alle overtollige water uit het groeimedium weggevoerd, zodat de planten hierdoor niet beschadigd worden. Deze laag moet volgens de DIN 4095 norm 50 jaar blijven functioneren (14). Type drainagematerialen zijn:

- grof materiaal zoals grind, puinsteen, lavastenen, leistenen en dergelijke.
- poreuze matten, zoals Enka Drain, dat paden voor waterstromen creëert.
- producten als Zinco's Floradrain, dat ook water kan op slaan (17, 18).

4.3.2. Wortelwerende laag

Een wortelwerende laag beschermt de dakbedekking en daarmee de dakconstructie. Daarnaast beschermt het ook de waterdichte laag. Eventueel kan de wortelwerende laag geïntegreerd worden in de waterdichte laag. Dit kunnen bijvoorbeeld membranen zijn op basis van PVC, EPDM of bitumen-koper. Waterdichte lagen die niet wortelwerend zijn, kunnen bedekt worden met:

- simpele polyethyleen plastic sheets
- polypropylene geotextiel doeken
- anti-rot asfaltsheets geïntegreerd met gebonden polyester
- bitumenproducten (15, 18).

4.3.1. Waterdichte laag

Een waterdichte laag in de constructie is de meest belangrijke en duurste laag. Zoals de naam suggereert zorgt deze ervoor, dat er geen water lekt uit het systeem.

Er zijn verschillende waterdichte membranen commercieel aanwezig op basis van dubbele bitumenlagen, dubbele synthetische lagen en enkele lagen op basis van rubber en hars (17, 18).

4.4. Wet- en regelgeving voor groene daken

In Nederland zijn er geen specifieke wetten en regelgeving voor groene daken, maar er zijn wel bepaalde regelgevingen over bouwen, waar men rekening mee moet houden. Voorbeelden van vergunningen die mogelijk ook nodig zijn voor groene (elektrische) daken: bouwbesluit (ivm maximale bouwhoogte en wateraccumulatie), welstandscommissie, arbowet, Burgerlijk Wetboek, monumentenzorg en flora- en faunawet (14, 18, 19).

Een belangrijk punt is de arbowet en de veiligheid. Wanneer een dak hoger is dan 3 meter en iemand binnen 2 meter van de rand arbeid moet verrichten, is het volgens de wet verplicht een valbeveiliging te installeren, die voldoet aan de eisen, zoals gesteld in DIN 4426 en DIN EN 795 (20).

Bij een nieuwbouwproject hoeven er geen speciale maatregelen getroffen te worden ten behoeve van aanvraag voor vergunningen. Bij het aanleggen van een groendak op een bestaand pand kan het echter wel nodig zijn om een vergunning aan te vragen, indien het bestemmingsplan verandert. Dit geldt bij een intensief groendak, waar permanent op gelopen mag worden. Als bewijsstukken zijn nodig een tekeningenset van de bestaande en de nieuwe situatie van het dak en een

constructieberekening van het dak (19)

4.5. Conclusie

Plant-e wil in de toekomst gaan concurreren met de conventionele groene daken. Een PMFC-dakmodule zal dan vergelijkbaar moeten worden qua prijs met een intensief groendak. Dit betekent, dat een PMFC-dakmodule ten aanzien van prijsconcurrentie minder dan 300 euro/m² moet gaan kosten. Dit zal Plant-e desnoods kunnen compenseren door een kortere terugverdienperiode dan conventionele groene daken. Hier is echter geen onderzoek naar gedaan.

De eisen aan een groendak en de regels, wetten en subsidies zijn hetzelfde voor een PMFC-dakmodule. Dit is een goed uitgangspunt om mee te nemen gedurende het ontwerpproces. Ook de opbouw van lagen in een groendak zijn vergelijkbaar, met name de specifiek genoemde wortelwerende laag, drainagelaag en filterlaag. Dezelfde soort materialen kunnen gebuikt worden. Een PMFC-dakmodule is duidelijk complexer dan een conventioneel groendak en met name rondom de planten zullen meer lagen nodig zijn om de technologie te laten functioneren.

5. Programma van eisen

Op basis van het vooronderzoek naar de doelgroep, de technologie en de dakconstructies is een programma van eisen opgesteld voor een nieuwe PMFC-dakmodule. De volledige lijst is te zien in bijlage I. Bij elke eis is vermeld wie de stakeholder is en wat de bron is. Met de stakeholder wordt bedoeld voor wie het belangrijk is en wie dit eist. Bij de stakeholder wordt vaak Plant-e genoemd, waarmee de technologie wordt bedoeld. Bij de bronnen wordt vermeld, wie dit heeft genoemd of op welke observatie de eis is gebaseerd.

Aan de werknemers van Plant-e is gevraagd om een waarde toe te voegen aan alle eisen. De belangrijkheid van de eis wordt als volgt gewaardeerd: van 1 naar 5 en x. x: niet nodig om mee te nemen in dit project.

- 1: heeft geen effect,
- 2: helpt de technologie,
- 3: helpt de technologie erg,
- 4: verbetert de technologie,
- 5: zonder dit werkt het niet,

In de kolom van problemen is genoemd of het een probleem is om aan de eis te gaan voldoen. De medewerkers zijn hier ook voor gevraagd deze in te vullen. De mate van een probleem is gewaardeerd van 0 tot 3. x heeft geen invloed op het eindontwerp.

- 0: makkelijk op te lossen,
- 1: mogelijk om het probleem op te lossen,
- 2: mogelijk om het probleem te verkleinen,
- 3: lijkt onmogelijk om op te lossen,

Dit gemiddelde van de belangrijkheid en de mate van het probleem is gebaseerd op een groepsdiscussie. Alle eisen met een waardering beneden de 3 of niet passend

in het vakgebied van een industrieel ontwerper zijn uit het programma van eisen voor dit project gehaald.

Focuspunten en ontwerpproces

Een PMFC-dakmodule is een complex systeem waarbij, met veel ontwerpeisen rekening moet worden gehouden. Er is daarom besloten om binnen deze opdracht de aandacht op een paar punten te richten, gebaseerd op de uitkomsten van het programma van eisen. Het ontwerpproces wordt in verschillende fases op gedeeld.

Ontwerpprincipes: configuratie

Eerste conceptfase: constructie

Tweede ontwerpfas: elektronische schakeling

Derde ontwerpfas: de gebruiker

Dit ontwerpproces houdt in dat elke fase na elkaar worden doorlopen, zodat een eindresultaat van een fase een goede basis vormt voor een volgende. Allereerst zullen de richtlijnen voor het ontwerp vastgesteld moeten worden. De eerste fase vormt de basis voor de constructie, terwijl in de tweede fase wordt gekeken, hoe de verbindingen en schakelingen aangelegd kunnen worden. In de derde fase wordt er gekeken naar de interactie tussen de gebruiker en het product, zoals de functie, uitstraling en het onderhoud. Tijdens het proces zal er meerdere malen een terugkoppeling plaatsvinden. Per onderwerp wordt de achterliggende gedachte besproken ter onderbouwing. Waar nodig wordt er verwezen naar andere hoofdstukken. In tabel 5 staan de eisen vermeld, gerelateerd aan iedere ontwerpfas.

Tabel 5: Programma van Eisen gerelateerd aan de genoemde ontwerpfases

Fase		nr.	Eis	Waarde
1	<i>Constructie</i>	1.1	De PMFC-dak(module) bevat ten minste een plant, tussenlaag, anode, kathode en elektronische schakelingen.	3
		1.9	Er moet worden voorkomen, dat elektronen van de anode naar de kathode gaan.	4
		1.13	De anode en de kathode mogen geen contact maken.	3
		1.14	De anode mag niet blootgesteld worden aan lucht/O ₂ .	3
		1.15	De anode moet contact maken met water/H ₂ O.	5
		1.16	De kathode moet aan een kant blootgesteld worden aan lucht/O ₂ .	5
		1.17	De kathode moet aan een kant blootgesteld worden aan water/H ₂ O.	5
		2.8	De PMFC-dak(modules) moet(en) waterdicht zijn om het dak te beschermen.	4
		1.2	Er moet genoeg ruimte zijn voor de plant en zijn wortels om te groeien.	3
		1.8	De afstand van de anode naar de kathode moet zo kort mogelijk zijn.	3
2	<i>Elektronische schakeling</i>	1.21	De elektronische schakelingen mogen niet roesten.	4
		1.22	Het aantal meter bedrading moet verminderd worden naar 80%.	4
3	<i>Waterdrainage</i>	1.6	Een waterreservoir moet water geven aan de wortels van de plant.	4
		1.5	Het moet mogelijk zijn om water door middel van regen of een kraan toe te voegen aan het waterreservoir.	4
		4.6	De PMFC-dak(modules) moet minder dan 16 uur per jaar aan onderhoud nodig hebben.	3
		4.9	Het waterniveau moet meetbaar zijn.	3
	<i>Demonstratie</i>	4.1	Het moet mogelijk zijn om een kleine hoeveelheid elektriciteit te gebruiken als demonstratie van de functionaliteit van de PMFC-dak(module).	5
		4.3	De technologie moet zichtbaar zijn naar de bezoekers bij de PMFC-dak(modules).	4
		4.2	De prestatie van het systeem moet ten minste geregistreerd en zichtbaar zijn bij de PMFC-dak(modules).	3
	<i>Uiterlijk</i>	4.4	De PMFC-dak(module) moet een hoogwaardige uitstraling hebben.	4
		4.5	De PMFC-dak(module) moet een plezierige omgeving vormen voor de doelgroep.	3
	<i>Installatie</i>	3.1	De installatieprocedure moet voldoen aan de Nederlandse arbowetten waaronder het maximale tilgewicht van 25 kg.	4
		3.3	Het moet mogelijk zijn om de installatie van 10 vierkante meter binnen 24 manuur te voltooien.	3
		3.4	De installatie moet te begrijpen zijn door laaggeschoolde arbeiders.	3

6. Concepten

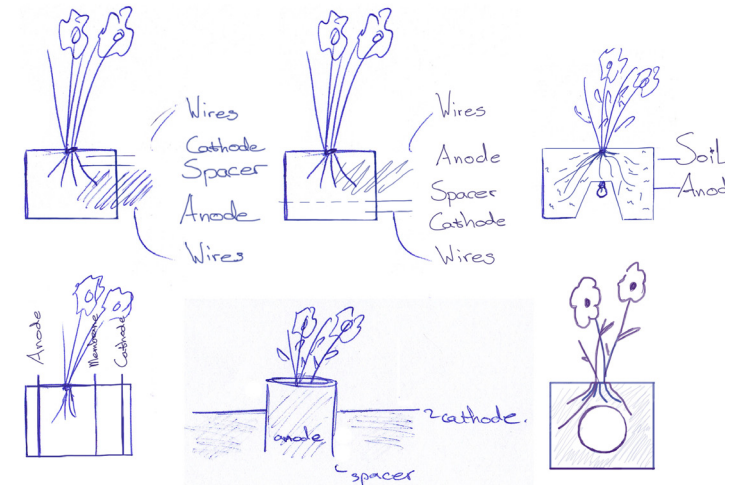
Voor de start van het ontwerpproces moet nog eerst worden bepaald of het systeem een modulair systeem wordt of niet en welke configuratie gebruikt zal worden. Een overzicht van de voor- en nadelen van een modulair systeem is weergegeven in tabel 6. In overleg met Plant-e is gekozen voor een modulair systeem. De voordelen van modulaire opbouw is, dat de modules van te voren kunnen worden geconstrueerd en de installatie op het dak snel is. Bovendien is het relatief eenvoudiger om een waterdicht systeem te maken.

Voor een PMFC zijn meerdere configuraties mogelijk. Figuur 9 geeft een overzicht van de mogelijkheden, waarvan de eerste is gebruikt in de huidige pilot. Ook deze keuze is bepaald in overleg met Plant-e. De keuze hing af van de onderzoeksvoortgang, prestatie in het lab,

Tabel 6: Voor- en nadelen van een modulair en niet-modulair systeem

Modulair groendak	Niet-modulair groendak
+ Het meest variabel voor verschillende dakafmetingen, + Een hoog doe het zelf gehalte, + Makkelijke installatie op het dak, + Makkelijk te hergebruiken en te verplaatsen, + Makkelijk om in serie en parallel te verbinden.	+ Minder materiaal nodig, voor onder andere de bakken + Minder bedrading nodig + In theorie minder energieverlies + Op maat maken is mogelijk
- Arbeidsintensief om te produceren, - Zwaar om een module op te tillen bij (ver-)plaatsing, - In theorie hogere energieverliezen, - Veel elektrische verbindingen zijn nodig.	- Bij benadering meer tijd kwijt aan de installatie op het dak, - Moeilijker om waterdicht te maken, - Laag voltage, hoog amperage zonder omvormer, - Moeilijk om voor onderhoud bij het midden te komen.

6.1. Ontwerpprincipes



Figuur 9: Mogelijke configuraties van een Plant-MFC v.l.n.r. 1: kathode aan de bovenkant, anode op de bodem; kathode op de bodem; kathode verticaal en anode horizontaal; componenten verticaal geplaatst; Kathode apart geplaatst van de anode; een kathodepijp door de anode.

kosteneffectiviteit en de potentie om het op grote schaal te produceren. In dit kader is gekozen voor een module met een kathode op de bodem. Hier is al onderzoek naar gedaan in het lab. De prestaties ervan waren goed. Deze opzet is ook al overwogen bij de bouw van de eerste pilot, maar toentertijd konden de medewerkers van Plant-e hiervoor geen constructie bedenken. Een groot voordeel, in vergelijking met de kathode aan de bovenkant, is dat de kathode op de bodem minder wordt beïnvloed door het weer en dat de oppervlakte van de kathode groter kan worden gemaakt. Een grotere werkzame oppervlakte geeft een grotere opbrengst.

6.2 Eerste conceptfase - constructie

In hoofdstuk 5 zijn de eisen en problemen van de constructie gedefinieerd. Hier zijn meerdere brainstormen over geweest. Al deze ideeën zijn gearchiveerd in een morfologisch schema, dat te vinden is in bijlage II. Per idee is bijgehouden wat de voor- en nadelen zijn en het gekozen idee is gemarkeerd. De verschillende ideeën zullen kort in het verslag genoemd worden, waarna de gekozen ideeën gedetailleerd besproken worden.

Allereerst is er een brainstorm geweest over de constructie van een PMFC met een kathode op de bodem:

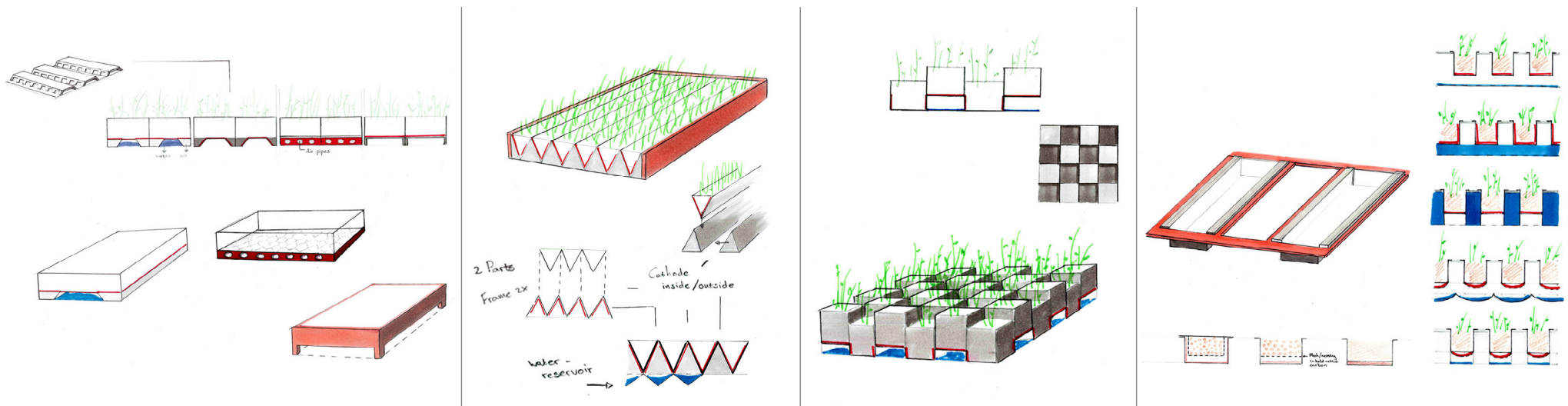
- bakken met luchtpijpen,
- hangende bakken,
- kleine plantenbakjes of
- een driehoekstelsel.

De belangrijkste vraag bij het beoordelen van de ideeën is, of de bak voldoende draagvermogen heeft. Bij

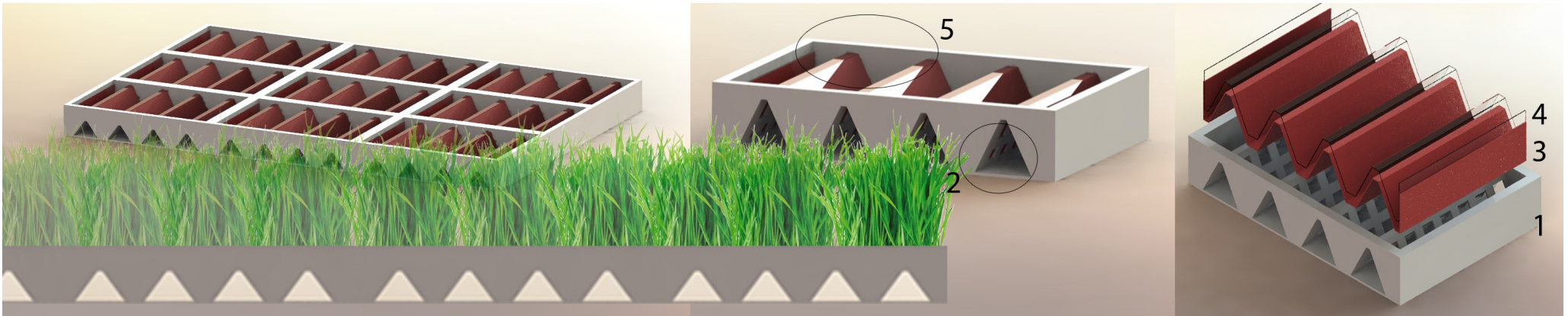
voorkeur wordt ook de hoeveelheid benodigd materiaal geminimaliseerd. Een PMFC-dakmodule uit kleine bakjes ziet er esthetisch aantrekkelijk uit, maar vraagt erg veel elektrische schakelingen. Dit maakt het complex voor grotere oppervlaktes. Het driehoekconcept heeft de meeste potentie. Het vergroot de oppervlakte van de kathode, wat meer opbrengst oplevert, en verkleint de anode en daarmee het gewicht/m². Gebaseerd op het driehoekidee zijn twee concepten ontwikkeld.

Een driehoekstelsel heeft een aantal belangrijke problemen welke meegenomen moeten worden in het ontwerp: de plaatsing van de anode en de kathode en het waterdicht maken van de bak. Gebaseerd op het driehoek idee zijn twee concepten ontwikkeld, welke verder toegelicht worden op basis van de genoemde problemen.

Figuur 10: Verschillende constructiemogelijkheden



6.2 Eerste conceptfase - concept 1



Figuur 11: Overzicht van concept 1 v.l.n.r. meerdere modules, losse module en exploded view van een module

Concept Driehoek 1 bestaat uit een bak (1) inclusief een driehoekframe. In de driehoeken bevinden zich gaten (2) om zuurstof te transporteren naar de kathode. Bovenop het frame, dus op de bodem van de bak, ligt een samengeperst doek van koolstof (3) en een membraan (4), met het membraan bovenop. Het membraan moet waterdicht aan de bak (5) vast gemaakt worden, zodat de kathode volledig gescheiden is van de anode. De bak wordt gevuld met actief kool, water en planten. De anode moet bedekt worden met bijvoorbeeld potgrond, stenen etc. In figuur 11 is een overzicht van een hele plot weergegeven, een vooraanzicht met planten, een 3D aanzicht van een module en een *exploded view*.

Enkele voor- en nadelen zijn:

- + Kant-en-klare module: er hoeft nog maar weinig constructiewerk op het dak plaats te vinden.
- + De module is stijf en gesloten aan alle kanten.
- + De hele oppervlakte kan bedekt worden met planten.

- De module kan maar in een richting geplaatst worden, wat de totale afmetingen limiteert.
- De verbinding tussen de module en membraan moet waterdicht zijn (5).
- Als een component vervangen moet worden, moet de hele module vervangen worden.
- Het effect van het bevriezen van water op deze vorm van de bak is onbekend.

Waterdicht

De module moet waterdicht worden gemaakt bij de overgang van membraan naar bak, zodat de planten niet droog komen te staan. In figuur 12 staan meerdere mogelijkheden afgebeeld. Het membraan kan groter worden gemaakt dan de kathode. Deze overlap kan gelijmd of gelast worden aan de bak. Dit hangt tevens af van het materiaal van de bak. In de bouwmarkten zijn verschillende soorten kit en afdichtpasta's aanwezig om voegen waterdicht te maken. Belangrijke eisen voor kit

en afdichtpasta zijn waterbestendigheid en hechting op kunststof. Siliconen acrylbaden is een voorbeeld van een geschikte kit (21).

De lijmverbinding kan op verschillende manieren versterkt worden. Er kan gedacht worden aan:

- het plaatsen van een binnenframe of een strip. Deze kan worden gemaakt van hard plastic of rubber.
- een stijf binnenframe met een rubberlaagje eronder. Een binnenframe of een strip zou dan aan de bak geklemd of in de bodem van de bak geprikt moeten worden.
- het opbouwen van de bak uit twee delen, een bodem en een zijkant. Het membraan wordt dan tussen de zijkant en bodem geklemd.
- het lassen van het membraan aan de zijkanten. Eventueel kan er een apart binnenframe worden geplaatst, zodat er een zak ontstaat die men kant-en-klaar in de bak plaatst.

Er zijn een paar testen gedaan met een afdichtkitstrip op een ronde PVC-buis. Op de plekken waar het membraan in twee richtingen werd gevouwen of de kit niet goed aansloot, bleken lekken te ontstaan. Het systeem lekte het meest op de overgang van membraan naar PVC.

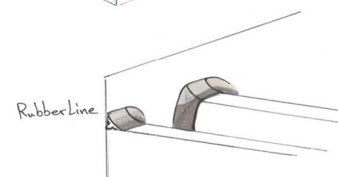
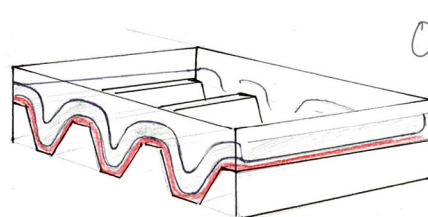
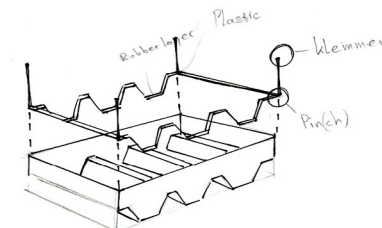
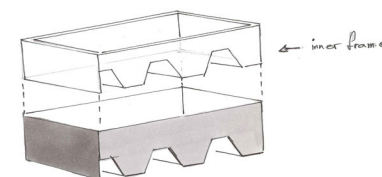
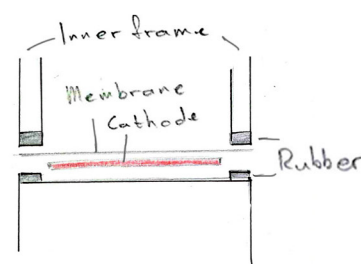
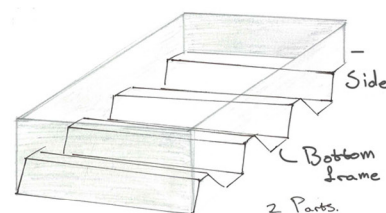
Aangezien de overgang een moeilijk punt bleef, is ook getest hoe het lassen van het membraan ging. Er is een stukje membraan gelast aan meerdere laagjes kunststoffolie, waardoor een simpel zakje met een membraan op de bodem is gecreëerd. Het simpele zakje bleek waterdicht. Voor het uiteindelijke concept is er dan ook voor gekozen om het membraan, indien mogelijk,

aan de bak te lassen. Gezien test nummer een moet het membraan niet omhoog worden gekruld, maar vlak op de bodem blijven en op de bodem worden gelast. Als het materiaal van de bak dit niet toelaat, kan er ook een binnenframe worden geplaatst, waar deze aan gelast kan worden. Dit verdient niet de voorkeur, omdat het binnenframe vervolgens weer aan de bak vastgemaakt moet worden.

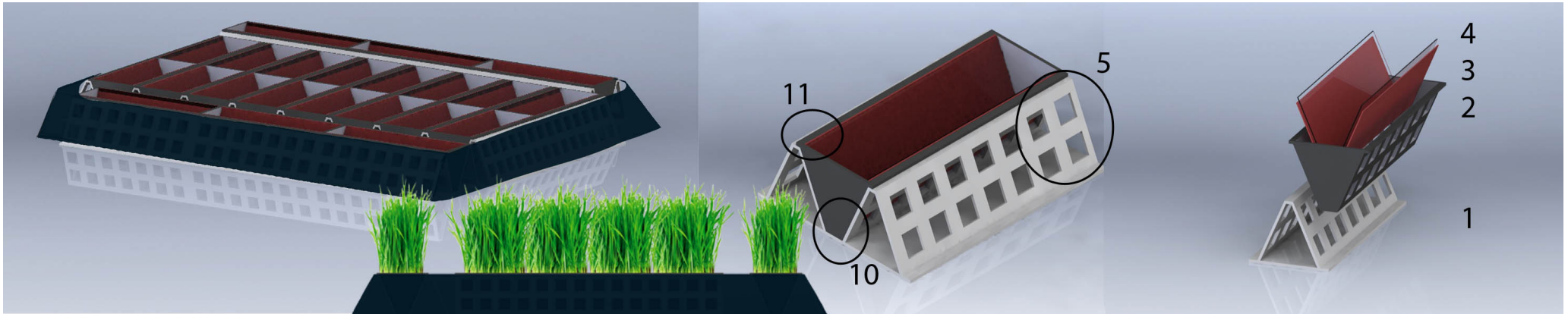
Figuur 14: Test membraan lassen aan meerdere lagen kunststoffolie

Figuur 13: Test overgang membraan naar pvcbuis waterdicht maken met een kitstrip

Figuur 12: Ideeën waterdicht maken van het concept



6.2 Eerste conceptfase - concept 2



Figuur 15: Overzicht van concept 2 v.l.n.r. meerdere modules, losse module en een exploded view van een module

Concept Driehoek 2 bestaat uit een bodemframe (1) en een bovenbak (2). De kathode (3) ligt samen met het membraan (4) in de bovenste bak. Het bodemframe en de bovenbak hebben allebei dezelfde gaten (5) voor zuurstof. Het membraan moet waterdicht aan de bovenbak vast gemaakt worden, zodat de kathode volledig gescheiden is van de anode. De bovenbak wordt gevuld met actief kool, water en planten. De anode moet bedekt worden met bijvoorbeeld potgrond, stenen etc. Het bodemframe moet stijf zijn om het gewicht van de bovenbak te kunnen dragen. De bovenbak mag wat flexibel zijn, zodat deze tijdens vorst uit kan zetten.

Bij het installeren van het systeem moeten de bodemframes aan elkaar bevestigd worden aan de lange kant (10). Er is meer onderzoek nodig om te bepalen of de bovenbakken aan de bodemframes vastgemaakt (11) moeten worden. Dit hangt in het bijzonder af van de materiaalkeuze.

Enkele voor- en nadelen zijn:

- + Meerdere vormen/afmetingen van het totale systeem zijn mogelijk.
- + Compact transport is mogelijk.
- + Het bovenste frame kan gemaakt worden van flexibel materiaal, welke kan uitzetten tijdens het bevroren van water.
- Er is meer tijd nodig voor installatie op het dak zelf.
- De onderste frames moeten aan elkaar verbonden worden. Dit is een zwak punt van de constructie.
- Arbeidsintensief om te installeren.
- De verbindingsmembraan en bovenste frame moet waterdicht zijn.
- Als modules loodrecht op elkaar geplaatst worden, ontstaan er gaten tussen de planten. Dit is te zien in het vooraanzicht in figuur 15.
- Er is een relatief kleine oppervlakte per elektrische verbinding naar de volgende module. Aangezien de

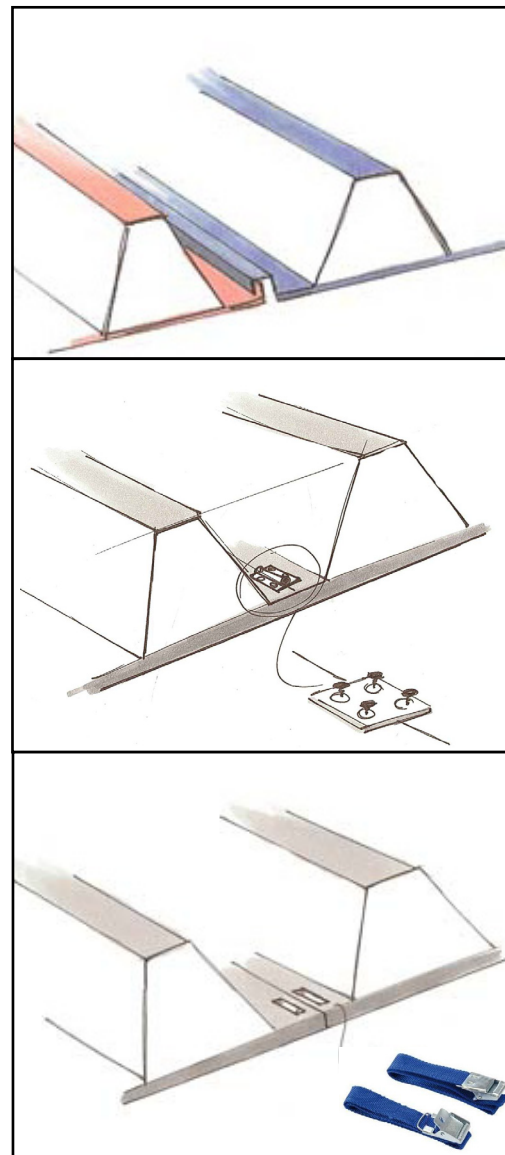
verbindingen kostbaar zijn, is dit concept relatief duur.

Verbinding onderste frames

Zoals genoemd moeten de onderste frames aan elkaar vastgemaakt worden, omdat er anders verschuivingen ontstaan. Mogelijk moet ook het bovenste aan het onderste frame vastgemaakt worden, dit is afhankelijk van de gekozen materialen. In figuur 16 staan drie mogelijke verbindingen afgebeeld. Er kan voor gekozen worden om de onderste frames in elkaar te haken. Een nadeel hiervan is, dat bij verplaatsing van een onderframe, meerdere onderframes verplaatst moeten worden. Een andere mogelijkheid is om een verbindingselement toe te voegen, dat twee onderframes verbindt. Er kan gedacht worden aan een schroefplaatje of riempje voor deze verbinding.

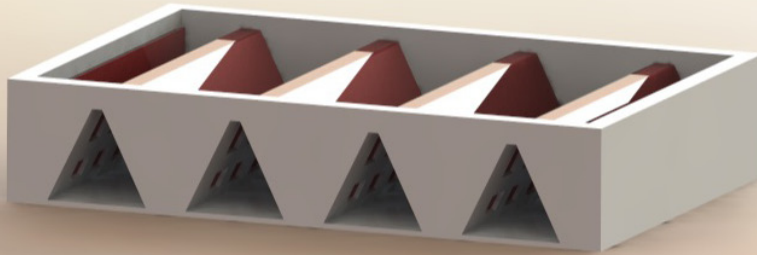
Waterdicht

Concept 2 heeft net als concept 1 het probleem hoe de overgang van het membraan naar de bak waterdicht afgesloten kan worden. Bij concept 1 zijn er verschillende methodes genoemd om de bak waterdicht af te sluiten. Voor concept 2 zou een membraanzak zeer geschikt kunnen zijn. Om de rand van het bovenframe en het membraan kan vervolgens een klem geplaatst worden.



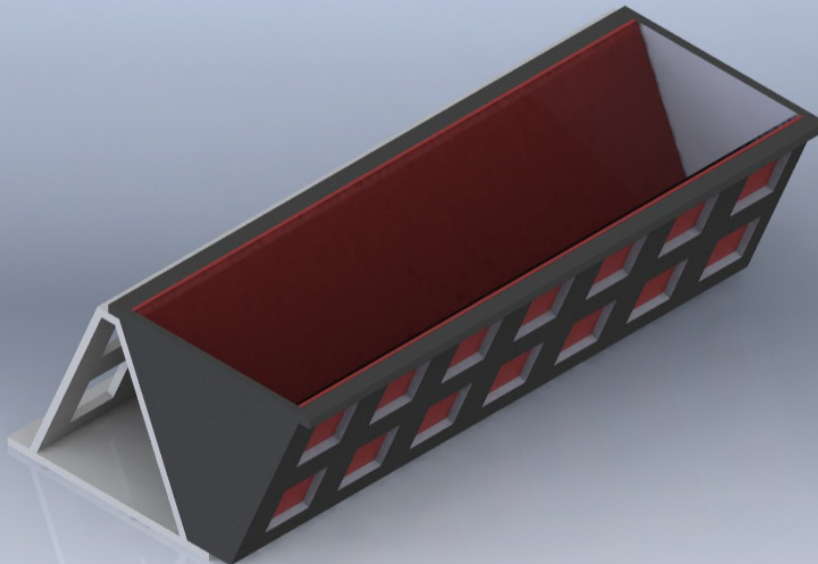
Figuur 16: Verbinden van de bodemframes

6.2 Eerste conceptfase - conceptkeuze



De keuze tussen de twee concepten kan gebaseerd worden op efficiënt gebruik van de oppervlakte, prijs, constructie en de uitstraling.

Voor de prijs zijn de afmetingen van de bakken van belang, wat invloed heeft op het aantal elektrische schakelingen en productietechnieken. Om de bakken handzaam te houden is naar verwachting de bak van concept 1 groter dan bij concept 2. Daarom moeten er bij concept 2 meer elektrische schakelingen gemaakt worden voor dezelfde totale oppervlakte, wat dit concept vermoedelijk duurder zal maken qua productiekosten en materiaalkosten. Op basis van deze overweging is het aannemelijk, dat concept 1 goedkoper zal zijn.



Over het efficiënt gebruikmaken van de oppervlakte kunnen verschillende dingen gezegd worden. Doordat concept 2 in meerdere richtingen geplaatst kan worden, zijn er variabele afmetingen van het gehele systeem mogelijk. Echter zodra de frames gedraaid worden ten opzichte van elkaar, ontstaan er gaten tussen de beplanting. Dit kan men zien in het vooraanzicht in figuur 17. De constructie van concept 1 is niet variabel qua afmetingen, maar bedekt wel de hele oppervlakte met planten. Dit heeft een betere uitstraling. Tevens lijkt concept 2 meer arbeidsintensief om te installeren, vanwege de verbinding tussen de onderste frames.

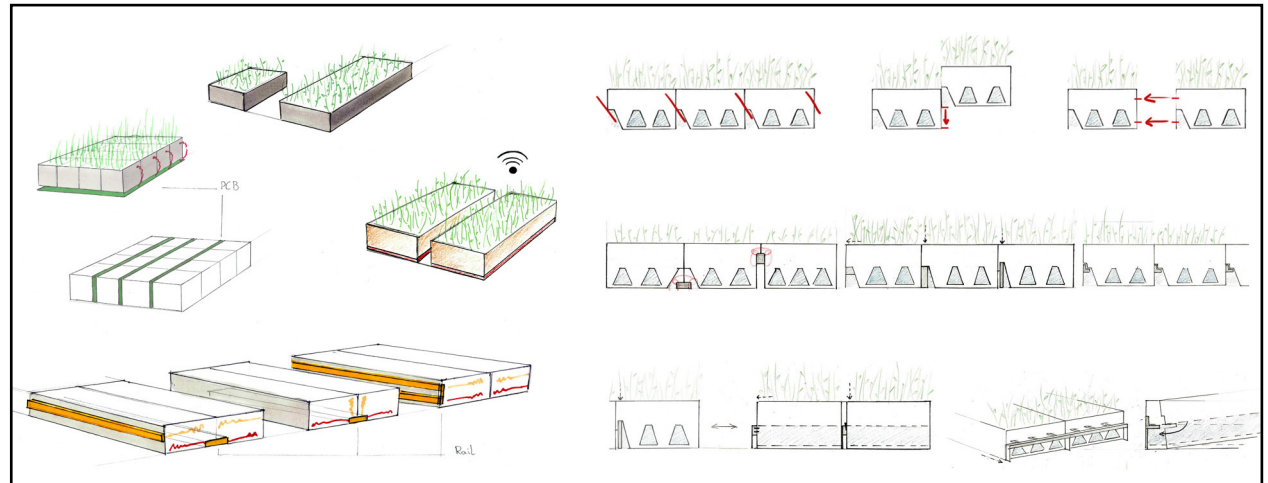
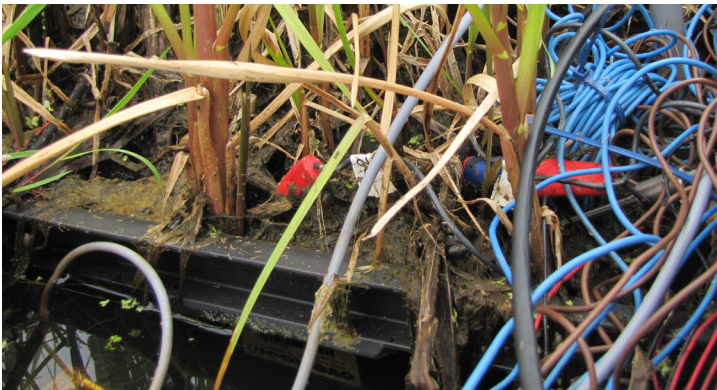
Concept 1 scoort beter op alle punten. Daarom is ervoor gekozen om concept 1 verder uit te werken

Figuur 17: Concept 1 en concept 2

6.3 Tweede conceptfase - “elektronische schakeling”

Het verminderen van de draden is een van de belangrijkste doelen voor het nieuwe ontwerp. Met het verminderen van draden worden de kosten gereduceerd en dit verhoogt de esthetische waarde. Naast het reduceren van de totale bedrading moet ook het aantal gouddraad en *current collectors* verminderd worden. In de eerste twee plots is ongeveer 500 m draad, waarvan 4 m goud, gebruikt op een totale oppervlakte van 16 m² (9).

Er zijn verschillende mogelijkheden om de bedrading te verminderen: grotere modules, draadloos systeem, printplaat als verbinding, een railsysteem of een kliksysteem. Een draadloos systeem klinkt ideaal, maar geeft te veel energieverlies voor een PMFC (22). Het is aannemelijk, dat een printplaat als verbinding of een railsysteem duur is en beschermd moet worden tegen het water. En kliksysteem is mogelijk geschikt, als je van tevoren weet welke modules in groepen geschakeld moeten worden en of dit parallel of in serie moet gebeuren.



Er is voor gekozen om het kliksysteem verder uit te werken en uit te denken. Er zijn verschillende manieren om een kliksysteem te maken. Dit kan bijvoorbeeld in de modules verwerkt worden. Modules worden aan elkaar in een rij verbonden en aan het einde van de rij vindt de verbinding naar het controlpanel plaats. Een nadeel van een kliksysteem, verwerkt in de modules, is, dat als je een module moet verwijderen de hele rij moet worden losgekoppeld. Een oplossing hiervoor is gebruik te maken van een linkcomponent die twee modules met elkaar verbindt of een balk/rail die een rij modules verbindt.

In dit project wordt de aandacht op serieschakelingen gericht. Zo verhoog je de voltage van het systeem (23). Een rij modules wordt in serie geschakeld en het hele systeem in parallel.

Figuur 18 (links): Huidige bedrading in pilot
Figuur 19 (boven): Ideeën verminderen van draden

6.3 Tweede conceptfase - “linkcomponent”

Een linkcomponent tussen twee modules kan op de bovenkant of de zijkant worden geplaatst.

Een linkcomponent aan de bovenkant is het makkelijkst, omdat een linkcomponent aan de zijkant moeilijk waterdicht te maken is of omdat deze niet vervangen kan worden, als de bak gevuld is met water. Een linkcomponent aan de bovenkant is echter wel duidelijk zichtbaar. De linkcomponent is te zien in figuur 20. Hierin is de grootte van de linkcomponent ten opzichte van de bak enigszins uitvergroot weergegeven.

Het ontwerp van de linkcomponent is meerdere malen herzien en herontworpen.

Linkcomponent aan de bovenkant:

Het ontwerp begon bij een linkcomponent die de kathode en de anode van twee verschillende modules achteraf verbindt, dat wil zeggen, wanneer alles al op het dak staat.

Voor de kathode zijn er verschillende mogelijkheden:

1. De draad gaat door een leeg buisje vanaf de bodem naar de top van de module. Een koperdraad is gesoldeerd aan een gouddraad en bedekt met een teflon laagje. De gouddraad is de *current collector* voor de kathode. De gouddraad kan op verschillende manieren vastgemaakt worden:
 - aan het frame
 - geperst tussen het membraan en de kathode
2. In plaats van een draad kan ook de koolstofdoek verlengd worden en naar boven gelegd worden. Bovenin kan vervolgens een linkcomponent geprikt worden.

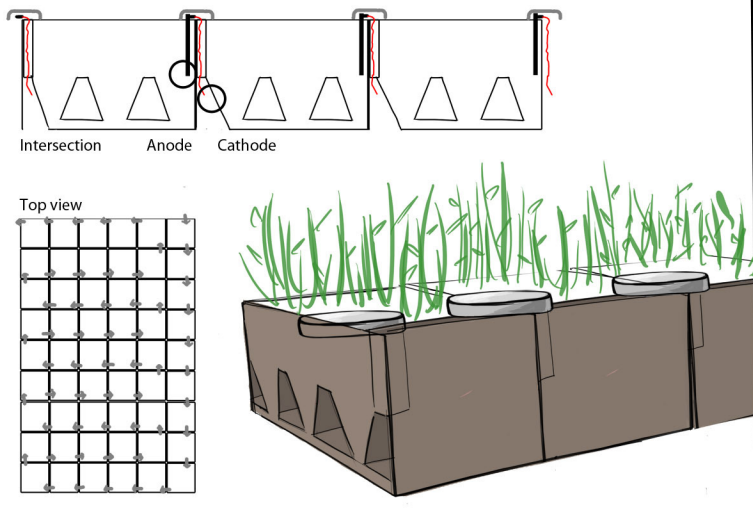
Na het vastmaken van de linkcomponent aan de kathode,

kan een grafietstaaf aan de linkcomponent vastgemaakt worden, waarna de grafietstaaf in de anode van een andere module geplaatst kan worden. De linkcomponent moet de verbinding van en naar de anode en kathode beschermen tegen water. Het is daarom belangrijk om uit te zoeken hoe de linkcomponent aan de kathode en anode vastgemaakt wordt. In figuur 21 is een overzicht van ideeën weergegeven.

Linkcomponent herzien:

Dit ontwerp is in een later stadium herzien, na het afvragen of alle onderdelen wel nodig zijn en of er productiestappen makkelijker kunnen.

- De *current collector*, koperdraad, (eventueel) leeg buisje, linkcomponent en grafietstaaf kunnen in een keer aan elkaar gemaakt worden, voor de *current collector* tussen het membraan en koolstofdoek geplaatst wordt. Dit betekent dat de linkcomponent niet meer achteraf geplaatst wordt, maar al aan een module vastzit. Door de linkcomponent in een hoek te plaatsen kan er nog tussen twee buurtmodules gekozen worden voor een verbinding.
- De draad zou in de bak kunnen blijven, zodat er geen gat in de bodem van de bak geboord hoeft te worden. De overgang van de membraan-draad-bak zou wel waterdicht gemaakt moeten worden.
- De draad zou ook door een van de gaten in de bodem naar buiten geleid kunnen worden, zodra de koolstofdoek-membraancombinatie in de bak wordt gelegd. Hierdoor kunnen echter de bakken niet helemaal meer tegen elkaar aangeschoven worden.
- In plaats van gouddraad zou er gebruikt gemaakt kunnen worden van een koolstofdraad wat iets



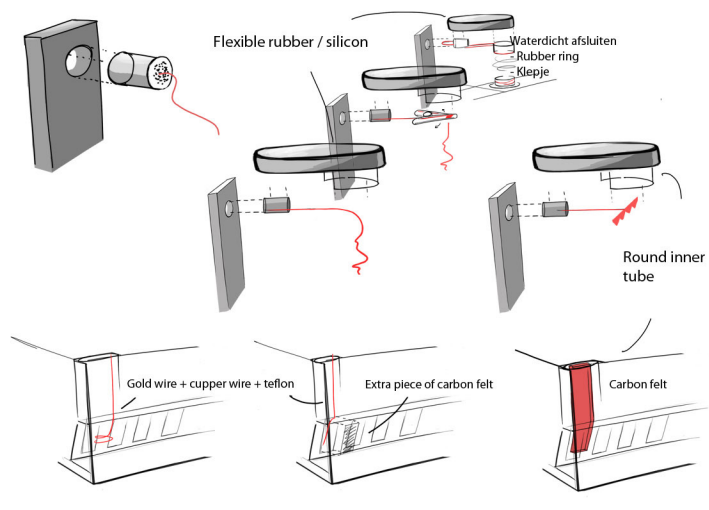
goedkoper is dan gouddraad. Koolstofdraad verbinden met koperdraad is gecompliceerder en het is geen optie om de volledige draad tot aan de grafietstaaf van koolstofdraad te maken. Dit zou weer veel te duur zijn; daarnaast moet deze koolstofdraad weer gescheiden worden van de anode. Voordeel is dan wel dat er helemaal geen zeldzame materialen gebruikt worden in het ontwerp.

Er is er voor gekozen om de gouddraad met koperdraad, linkcomponent en grafietstaaf aan elkaar te verbinden en voor het vullen van de bak aan de koolstofdoek te monteren. De draad zal in de bak blijven en naar verwachting kan het membraan om de overgang van membraan en draad heen gelast worden.

Verbinding linkcomponent naar het control panel

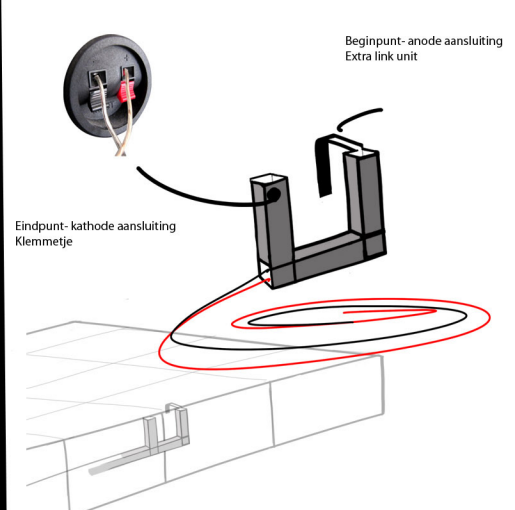
De modules moeten niet alleen aan elkaar verbonden zijn, maar uiteindelijk ook naar een control panel of aan een apparaat. Dit kan zowel bij het begin- als bij het eindpunt van een serie modules.

Bij het beginpunt moet nog een current collector in de anode worden geplaatst. Om deze anode bij het



beginpunt aan te sluiten, op de kathode bij het eindpunt, wordt een extra linkcomponent geleverd, afgebeeld in figuur 22. Er zitten twee aansluitingspunten op. Op een aansluitingspunt zit een grafietstaaf welke in een module moet worden gestoken (beginpunt schakeling). In het eindpunt kan een draad, door middel van een klemmetje, worden gestoken. Bij het eindpunt zal de grafietstaaf van het linkcomponent afgehaald moeten worden. Het klemmetje kan het beste aan de buitenkant zitten, om te voorkomen dat er water vanuit de module in loopt of door regen van boven af. Het klemmetje kan afgesloten worden door een rubberen ring of een klepje erover heen. Samen zitten de twee opzetstukjes aan een lange rol draad, die desgewenst weggewerkt kan worden door een kabelgoot.

In figuur 22 staat het verbindingsstuk aan een zijkant afgebeeld. En kan ook een linkcomponent op de bovenrand worden geplaatst. Dit is geschikt, als het systeem op een grotere oppervlakte wordt geplaatst en de serieschakeling tussentijds wordt afgebroken. Waterdicht maken van de aansluiting naar de kathode wordt hierdoor bemoeilijkt.



Figuur 20: Overzicht concept linkcomponent
Figuur 21: Ideeën verbinden linkcomponent
Figuur 22: Begin- en eindpuntverbinding: final linkcomponent

6.3 Tweede conceptfase - “klikframe”

De modules kunnen ook bevestigd worden op een frame. Binnenin het frame worden de anodes en kathodes met elkaar verbonden. Het frame kan bevestigd worden ter hoogte van de driehoeken, op de bodem of aan de bovenkant. Aangezien het frame zoveel mogelijk beschermd dient te worden tegen water is ter hoogte van de driehoeken het beste idee. Als de modules ook wat overlap hebben over het frame, is het frame ook beschermd tegen de regen.

Behalve de hoogte van het frame is plaatsing bij de een of andere zijkant ook variabel: aan de zijkant met de gaten of de dichte zijkant. Om een frame in de gaten te steken moet de module gewenteld worden tijdens het plaatsen. Hier is echter weinig ruimte voor. Het heeft daarom de voorkeur om de modules recht naar beneden te plaatsen. Hiervoor is een inham langs de hele zijde nodig. De kortste zijkant verdient de voorkeur, zodat er geen ruimte verspild wordt en meer modules op een frame passen.

Klikframe halverwege:

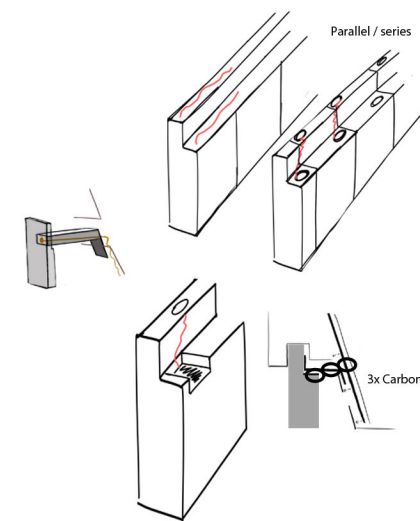
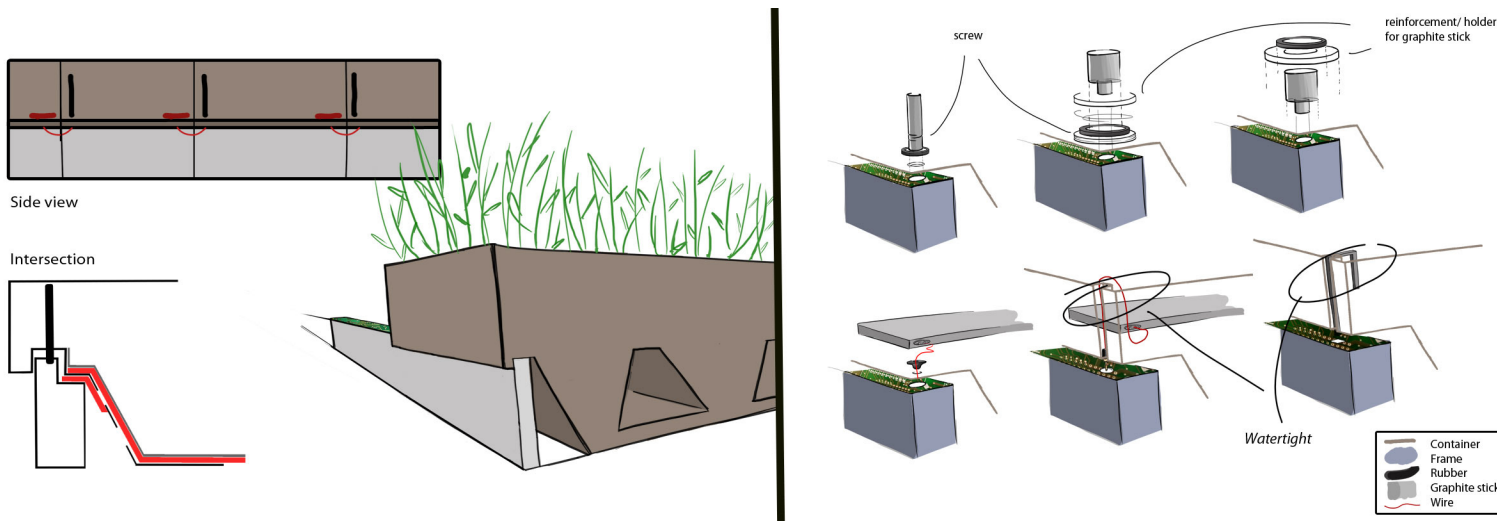
Het frame wordt als eerste op het dak geplaatst. Binnenin het frame wordt de verbinding gelegd tussen de anode en de kathode van twee modules. De verbindingen zijn allemaal in serie en aan het eind van het frame wordt de verbinding gemaakt naar het *control panel*. Een overzicht van een klikframe staat in figuur 23 weergegeven.

Anode

De *current collector* van de anode moet door of om de bak heen naar het frame. Het belangrijkste is, dat deze verbinding waterdicht gebeurt. Verschillende ideeën voor een anode verbinding zijn ontstaan na een brainstorm en

zijn weergegeven in figuur 24.

1. De *current collector* in de anode is een grafietstaaf. Aan het einde van de staaf bevindt zich een schroefdraad. Hiermee kan hij vastgeschroefd worden in het frame. De verbinding wordt waterdicht afgesloten met een rubberen ring.
2. Schroefdraad aanbrengen in een grafieten staaf is kostbaar. In plaats daarvan kan er een hulpstuk geplaatst worden om de grafieten staaf op zijn plaats te houden. Het hulpstuk kan ook een schroefdraad zijn, waarin rubber geklemd kan worden of een verstevigingsstuk.
3. In plaats van een grafietstaaf kan er ook gebruik gemaakt worden van een koperen draad. Er loopt op dit moment een test bij Plant-e om een gat te boren in een grafieten plaat/staaf, deze op te vullen met grafietpoeder en de draad. Dit kan worden gesoldeerd en afgesloten met siliconenlijm. In dit geval moet de draad door de bak naar het frame. De draad kan worden gecombineerd met een rubberen stop, zodat het gat waterdicht is. Om de draad aan het frame vast te maken is er mogelijk een extra component als een bananenstekkerverbinding nodig.
4. Voor de route van de draad kan ook een andere variant worden gekozen. In plaats van een draad door de bodem van de bak, kan deze ook buitenom worden geleid.
5. In plaats van een draad die buitenom wordt geleid kan er ook een constructie worden gemaakt van een grafietstaaf die buitenom naar het frame gaat. Wat moeilijk is voor alles wat buitenom wordt geleid, is hoe twee bakken toch tegen elkaar aangeschoven kunnen



worden zonder dat er (regen)water lekt naar de frames.

volgende bak. Dit staat weergegeven in figuur 24. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door een koperdraad of een koolstofdraad. Omdat het frame afgesloten en waterdicht is, hoeft men zich geen zorgen te maken over oxidatie cq roesten bij stalen frames.

Verbinding naar de control panel

Eerder is aangegeven, dat de verbinding tussen de modules in het frame gebeurt. Deze in serie gekoppelde modules moeten in een groep worden geschakeld naar het *control panel*. Aan beide eindes van de rij modules moet er een verbinding worden gelegd, een voor de anode en een ander voor de kathode. Het voorstel is om aan de zijkant, haaks op de frames, wederom een frame te plaatsen. Er ontstaat dan een kathode- en een anodebalk. De manier waarop de modules op deze frames worden geklikt, is hetzelfde als bij de serieframes. Via de verbindingen in het parallelframe wordt alles naar een centraal punt geleid.

Kathode

De *current collector* van de kathode kan vanaf bovenaf in het frame geschoven worden. Grafiet heeft een lagere geleiding dan actief kool, waar het doek van gemaakt is, daarom zijn alleen goud en koolstof een optie als *current collector*.

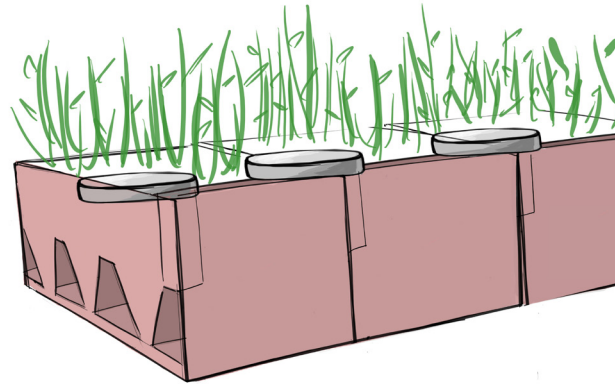
1. Goud is te duur om daar een hele component van te maken die in het frame geschoven kan worden. Er kan gebruik worden gemaakt van een plastic houder, waarin gouddraad verwerkt wordt. De gouddraad wordt in het frame gestoken.
2. In plaats van iets in het frame steken kan er ook net als bij batterijen gebruik gemaakt worden van een veer. Er is maar een klein contactoppervlakte nodig.
3. Het is ook mogelijk om een extra stuk koolstof aan de koolstofdoek toe te voegen. Dit extra stuk steekt uit, dat in het frame past.

Frame

Binnen in het frame wordt een verbinding gelegd tussen de anode van de ene bak met de kathode van de

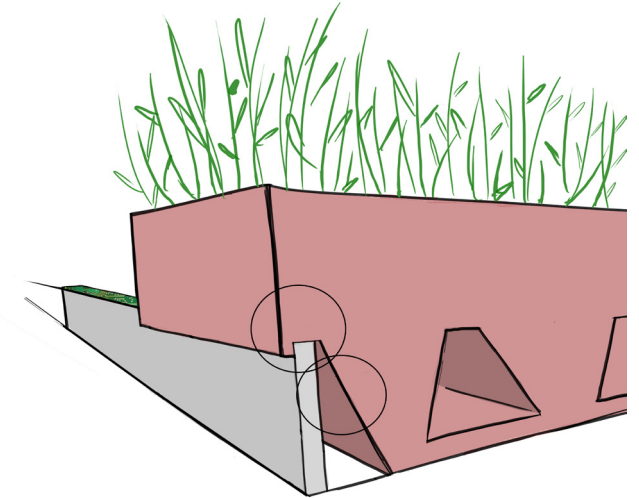
Figuur 23: Overzicht concept klikframe
Figuur 24: Ideeën voor verbinding anode
Figuur 25: Verbinding kathode en frame

6.3 Tweede conceptfase - conceptkeuze



Linkcomponent

- + Vermoedelijk goedkoper
- + Verbinding kan in meerdere richtingen worden geplaatst
- + Het aantal modules voor een serieschakeling is variabel
- + De eindverbinding kan dicht bij elkaar worden gelegd
- Zichtbaar aan de bovenkant
- De *current collector* van de anode wordt niet vastgezet
- Nog steeds zichtbare draden



Klikframe

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">+ Niet zichtbaar aan de bovenkant+ Bakken zitten vast aan dak en aan elkaar+ Geen zichtbare draden+ Geen gebruik meer van goud |
| <ul style="list-style-type: none">- Vergt een kleine aanpassing in de bak- Moeilijk om de anodeverbinding in de bak waterdicht te maken- Vermoedelijk duurder- Het aantal modules in serie hangt af van de grootte van het frame- De laatste schakelpunt zit redelijk ver van vanaf het beginpunt van de schakeling |

Tabel 7: Vergelijking linkcomponent en klikframe

6.4 Derde conceptfase - de gebruiker

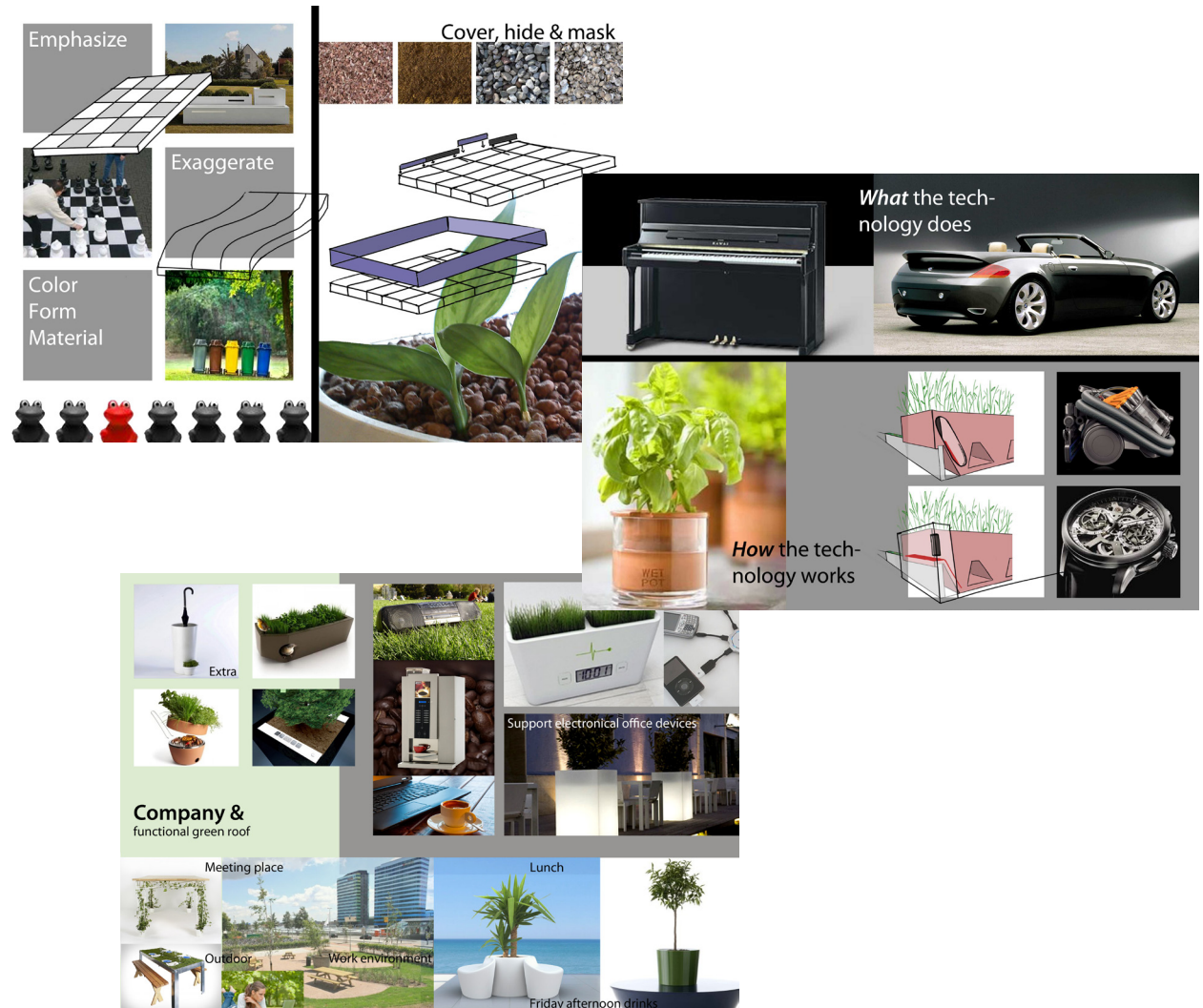
In de voorgaande fases is er veel aandacht besteed aan de constructie van de nieuwe module. De derde conceptontwikkelingsfase legt de focus op de gebruiker. Wat kan de gebruiker verwachten van de elektriciteitsopbrengst, hoe komt het product eruit te zien en wat is er nodig qua onderhoud?

Functionaliteit en uitstraling

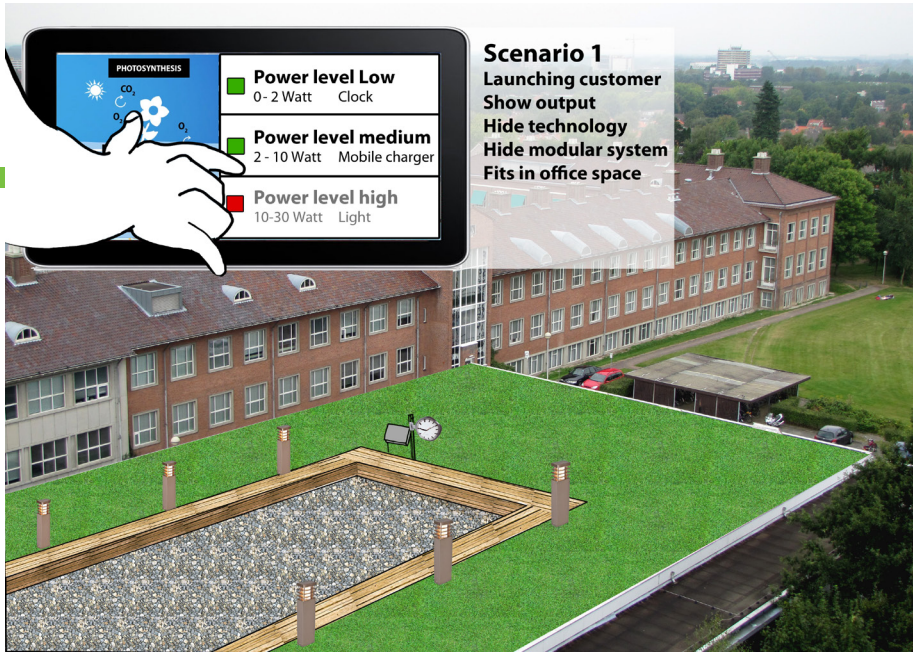
In hoofdstuk 1.2 doelgroep is reeds beschreven, dat in eerste instantie voor een *launching customer* wordt ontworpen. Hierbij moet goed worden nagedacht, wat deze afnemer wenst en of dit afwijkt van de toekomstige afnemer die Plant-e in gedachten heeft. De *launching customer* wil namelijk opvallen met het groene elektriciteitgenererende dak, waarbij niet wordt gelet op de prijs. Mogelijk verwacht een *launching customer* een PMFC-dakterras in een ongewone en aparte vorm. Hier kan slechts over gespeculeerd worden. Plant-e zou vanaf zijn kant moeten laten zien aan een potentiële afnemer wat de mogelijkheden zijn, zodat er een startpunt is voor een overleg met de *launching customer*. Plant-e zal duidelijk een standpunt moeten innemen, wat zij willen uitstralen naar het publiek.

Om de uitstraling en functionaliteit te bepalen zijn enkele vragen aan de medewerkers van Plant-e voorgelegd.

- Moet het product laten zien hoe de technologie werkt of wat het kan?
- Moet het modulaire systeem verborgen worden of benadrukt?
- Moet de PMFC-dakmodule een extra functie hebben, elektronische apparaten ondersteunen of in de kantooromgeving passen?



Figuur 26 : Drie vragen voorgelegd aan Plant-e



eenheid - natuurlijk - hoogwaardige uitrusting - lunch en werkplekken - grote oppervlaktes -

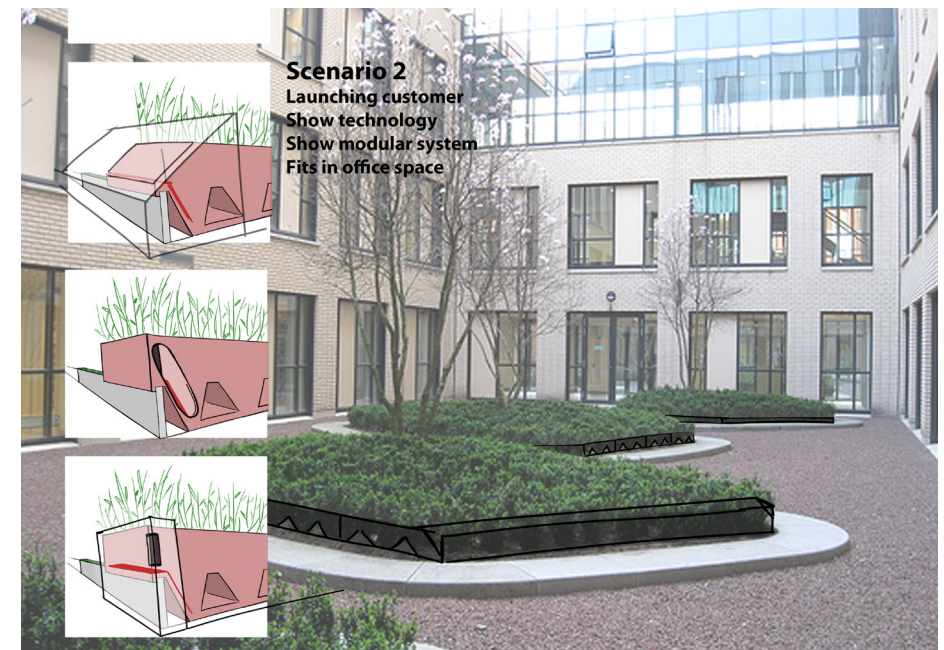
Aanvullend op de vragen zijn 4 scenario's uitgewerkt. Dit was bedoeld om de medewerkers van Plant-e een voorstelling te geven, hoe de module zou kunnen worden uitgewerkt en te bepalen welke kant Plant-e op wil.

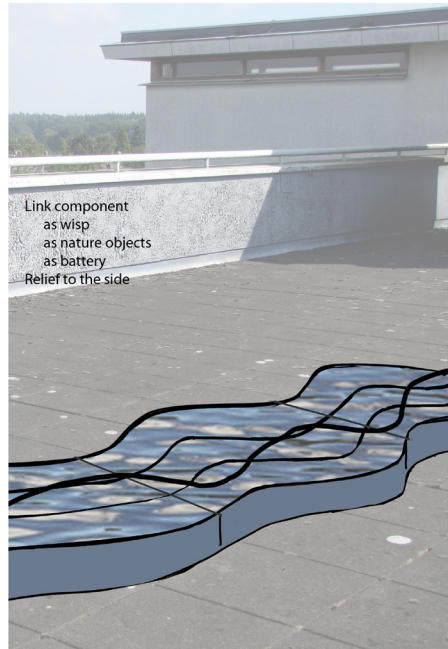
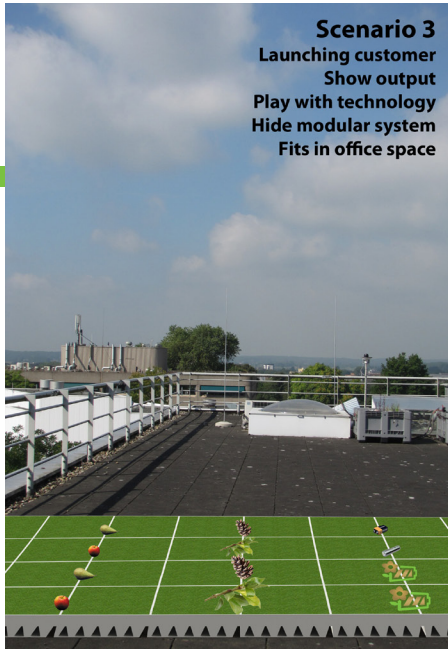
1. In het eerste scenario wordt het hele systeem bedekt, zodat het PMFC-dak lijkt op een gazon. Eromheen is plaats om te zitten op banken en is duidelijk de opbrengst van het systeem aanwezig in bijvoorbeeld tuinlampen.

Figuur 27 : Vier scenario's voorgelegd aan Plant-e

2. Scenario 2 is bedoeld als demonstratieopzet. Het systeem bestaat uit kleine hofjes, waarbij de technologie duidelijk naar voren komt. Dit is een geschikte opzet voor bijvoorbeeld een expositie of educatieve doeleinden. Er staan verschillende manieren afgebeeld, waarin de opzet verwerkt is in een (gedeeltelijke) glazen vitrine. Nadeel hiervan is, dat dit in alle modules moet worden verwerkt of veel werk moet worden besteed aan het handmatig aanpassen van enkele modules.

expositie - lezingen & presentaties - straatmeubilair - publiekelijk - stadspaleizen - parken



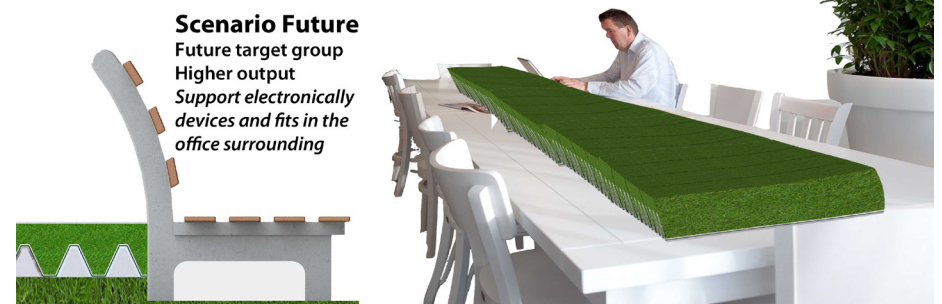
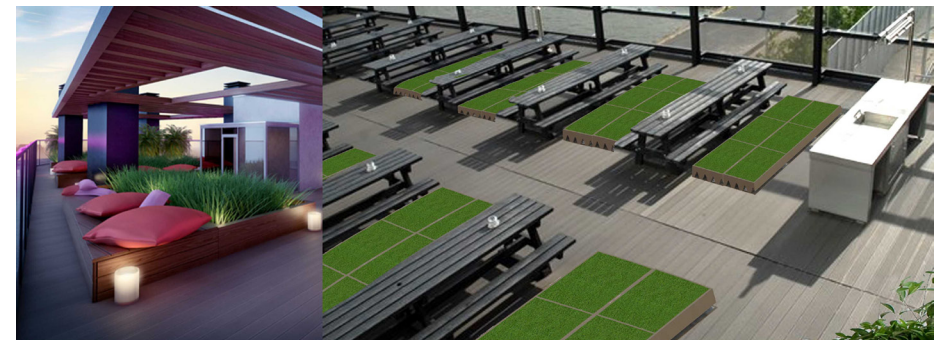


technologie en natuur - humor - bijzondere vormen - uitleg - toelichting - output -

3. In scenario 3 wordt de technologie op een speelse wijze verwerkt. De linkcomponenten kunnen worden verwerkt in inspirerende vormen als bijvoorbeeld batterijen of natuurlijke elementen, zoals dieren of fruit. Ook kan er een lange sliert worden gemaakt van alle linkcomponenten: er loopt als het ware een draad over alle modules, die elkaar verbinden. In dit scenario wordt er voor gekozen om de modules te verbergen of om er op een speelse manier mee om te gaan.

4. Het laatste scenario is niet realistisch voor de nabije toekomst en dus de *launching customer*. Echter, het is wel goed om de *launching customer* te laten zien wat er in de toekomst mogelijk is met de nieuwe technologie en wat de mogelijke resultaten van een investering kunnen zijn.

futuristisch - alle mogelijkheden - aansluitingen - kleine en grote oppervlaktes mogelijk - lounge ruimte - bars -



6.4 Derde conceptfase - uitstraling



Figuur 28: Impressie van natuurlijke uitstraling met knipoog naar industrie
Figuur 29: Ideeën modulair systeem verbergen

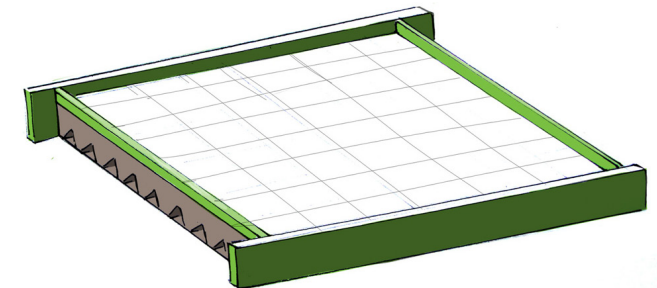
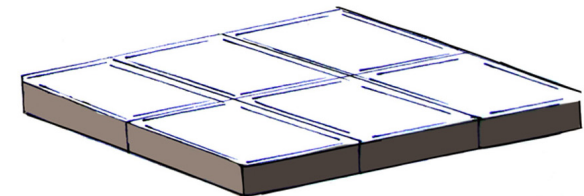
Keuze uitstraling

Er is geen keuze gemaakt voor de functionaliteit. Dit zal in overleg met de afnemer bepaald worden.

In samenspraak met de medewerkers van Plant-e is er voor gekozen om de technologie niet geheel te verbergen, maar om het op een aantrekkelijke en begrijpelijke manier te laten zien. Plant-e wil graag, dat het systeem natuurlijk overkomt met een methode om alle bakken weg te werken, maar daarnaast wil men wel weer dat met een knipoog duidelijk wordt gemaakt, hoe het systeem werkt en wat je ermee kunt. Dit kan gedaan worden door middel van een monitor of een demonstratie-exemplaar. Wel is er voor gekozen om het modulaire systeem, dus alle bakken, zoveel mogelijk te bedekken, zodat het systeem een geheel lijkt. Scenario 3 wordt daarom verder uitgewerkt.

Modulair

Voor het verbergen van alle randen van de bakken zijn twee oplossingen bedacht. De bakken kunnen in alle randen een inham hebben, zodat het op de oppervlakte lijkt alsof alles bedekt is. Een andere oplossing is om op het hele systeem een verhoogde rand te plaatsen. Over de hele oppervlakte kan een laag aarde/schelpen/stenen geplaatst worden, waardoor de randen van de modules worden afgedekt. Voordeel is, dat de waterdrainage vanaf een centrale plek geregeld kan worden.

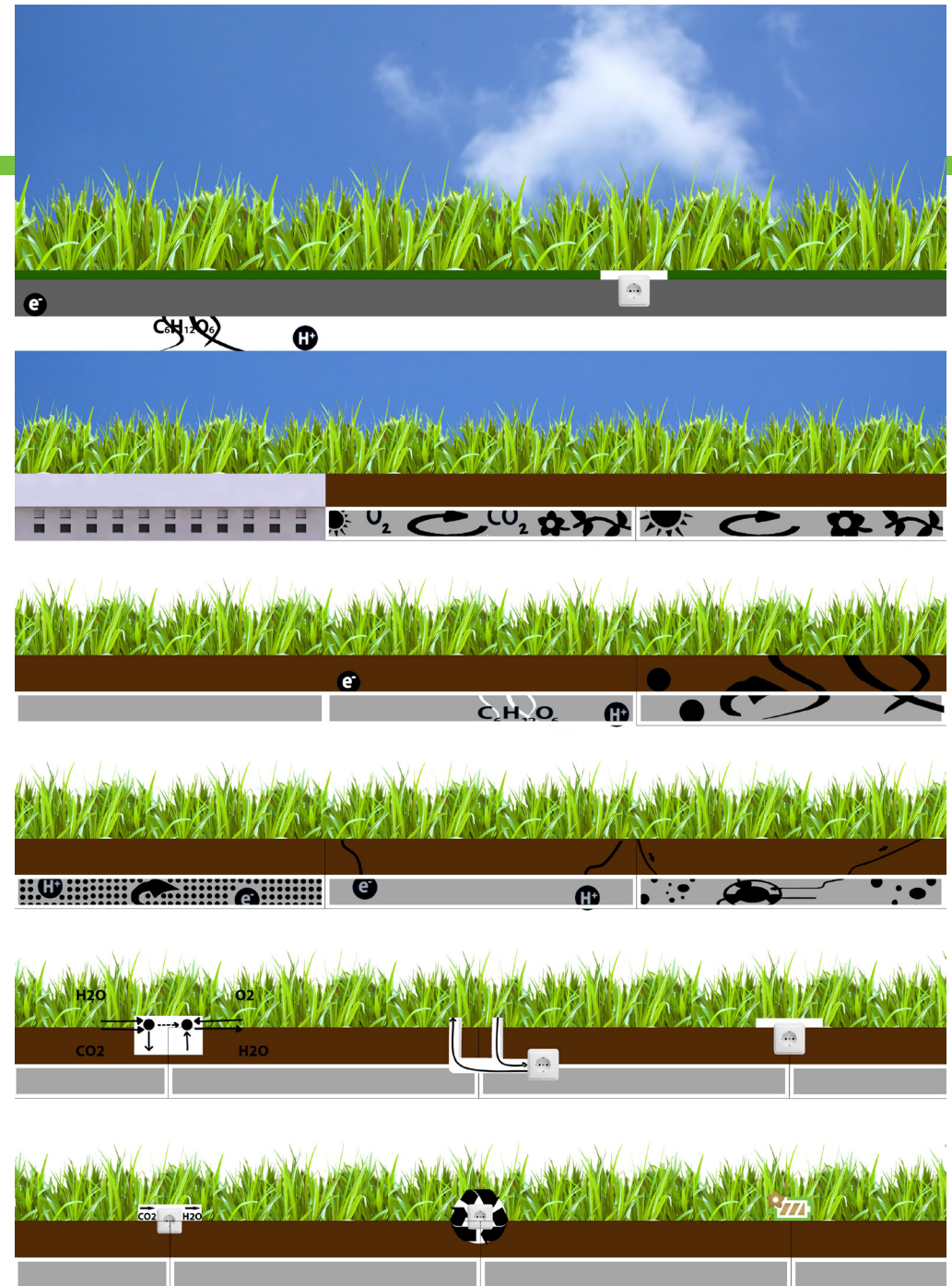


Figuur 30: Brainstorm voorkant systeem

In de scenario's zijn al een aantal voorstellen genoemd om de technologie te laten zien: linkcomponent in vormen, een doorzichtige zijkant, een afbeelding op de zijkant van de bak, een stopcontact of een USB-uitgang zichtbaar op de plantenbak. Er is voor gekozen om de technologie op een abstracte vorm, met een knipoog, terug te laten komen op de voorkant van de bak en/of op het begin- en eindpunt. De abstracte vormen en kleuren betreffende de technologie-uitleg kunnen vervolgens terugkomen op de monitor met uitleg erbij. De vormen en kleuren zorgen voor herkenning bij de gebruiker. Voor zowel de *launching customer* als Plant-e is dit ook geschikt als presentatiemateriaal tegenover andere geïnteresseerden en investeerders.

Als eindvoorstel kunnen de volgende voorstellen (rechts boven afgebeeld in figuur 30) aan de afnemer voorgelegd en eventueel gecombineerd worden:

1. De voorkant van de bak of buitenrand wordt opgedeeld in verschillende vlakken welke elk een eigen kleur krijgt. De scheidingslijn vindt plaats bij de top van de driehoeken (membraan en koolstofdoek), dan volgt er een ruimte, waar de actieve koolstof in zit en het bovenste groene randje is het buitenste randje.
2. De technologie komt in een abstracte afbeelding op de voorkant/buitenrand. Voordeel is, dat dit op de buitenrand kan worden geplaatst, waardoor de draden en eind linkcomponent netjes kunnen worden afgewerkt.
3. Het eind linkcomponent is prominent aanwezig evenals de kabelgoten. Hier kunnen ook afbeeldingen op worden geplaatst. Ook is dit een geschikte plek om een stopcontact te plaatsen of USB-uitgang.



6.4 Derde conceptfase - de output

Monitor

Het is belangrijk om de *launching customer* de toekomst voor te spiegelen, zodat duidelijk wordt gemaakt waarin wordt geïnvesteerd. Wat kan er binnen afzienbare tijd worden bereikt? De afnemer bepaalt wat het doel van het systeem wordt, maar wat kan het systeem? Daarnaast is ook al genoemd, dat het belangrijk is om de afnemer uit te leggen, hoe de technologie werkt. De meeste mensen staan verbaasd van de techniek.

Om zowel de techniek als de vermogensopbrengst samen te vatten is bedacht om een monitor te maken, waar dit samenkomt. Het vertalen van het vermogen naar toepassingen is een van de speerpunten van de monitor. Dit spreekt het meest tot de verbeelding. Daarnaast kunnen de volgende dingen op een monitor komen:

- uitleg techniek (terugkoppeling naar technologie-uitstraling),
- vermogen vertaalt naar toepassingen,
- gegevens: huidig vermogen, vergelijking met het huidige gebruik (%), overzicht verbruik en opbrengst van de afgelopen uren/dagen/weken, temperatuur binnen en buiten, mate van isolatie, waterstand,
- extra informatie: weerbericht, nieuws, tijd en datum.

In figuur 31 is een brainstorm weergegeven van verschillende soorten monitors.

Output

Er is voor gekozen om geen vaste functionaliteit te koppelen aan het nieuwe ontwerp voor een PMFC-dakmodule. De *launching customer* zou echter wel benieuwd zijn naar de mogelijkheden alvorens een keuze wordt gemaakt. De functionaliteit hangt uiteraard samen

met het te verwachten leverende vermogen en spanning.

De PMFC-dak(module) geeft een gelijkspanning af met een laag en fluctuerend voltage. De meeste huishoudelijke apparaten zijn ontworpen voor 230 V en een wisselspanning (50 Herz in Europa). Om wisselstroom en een constante gelijkspanning te creëren zijn omvormers nodig. Veel huishoudelijke apparaten zetten de wisselspanning van het net (230 V, AC) weer om tot laagvoltage gelijkspanning (DC). De PMFC-dakmodule kan daarom in deze proeffase ook rechtstreeks aangesloten worden op punten in de apparaten waar laagspannings DC nodig is

Er is gekeken naar welk vermogen mag verwacht worden van het ontworpen PMFC-module. Momenteel levert de huidige pilot 2 mW/m² (12) op en naar verwachting zou het nieuwe ontwerp meer vermogen geven. David Strik, oprichter van Plant-e, schat dit vermogen op 50 mW/m². Het maximale haalbare vermogen in Nederland is geschat op 3,2 W/m² (3). Uitgaande van een dakterras van 100m² zou dit ontwerp bij benadering 5 W kunnen leveren en in de toekomst 320 W.

In hoofdstuk 3.3 is al genoemd dat de PMFC-dakmodule niet de hele dag elektriciteit levert. 's Nachts opereert het systeem minimaal en in de ochtend loopt de opbrengst langzaam op, zodat in de middag de piek ligt. Het systeem is in geringe mate afhankelijk van de hoeveelheid zonlicht en zal daarom ook bij indirect zonlicht functioneren. Het genoemde, geschatte vermogen zal alleen gelden tijdens de middag in de maanden dat de planten functioneren. Er wordt vanuit gegaan, dat de PMFC-dakmodules zes

maanden in het jaar opereren in Nederland (24).

Uit een experiment met drie verschillende planten in een plantenbak, met de anode op de bodem en de kathode aan de bovenkant, zoals in figuur 4 weergegeven, is gebleken dat 's ochtends (10.00 uur) de voltage 10-25% lager ligt dan tijdens de middag meting (17.00 uur) (25). Het vermogen is lineair afhankelijk van voltage.

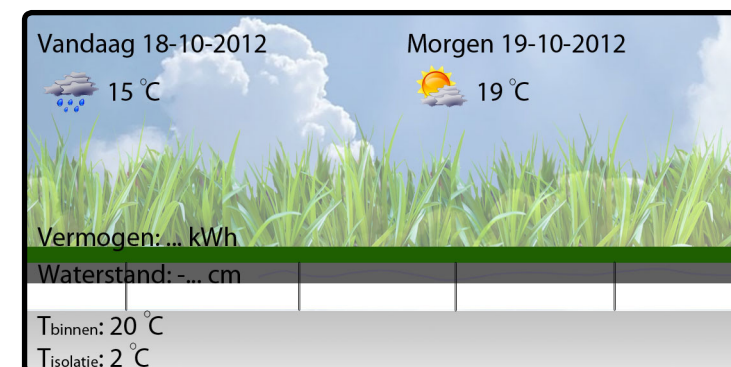
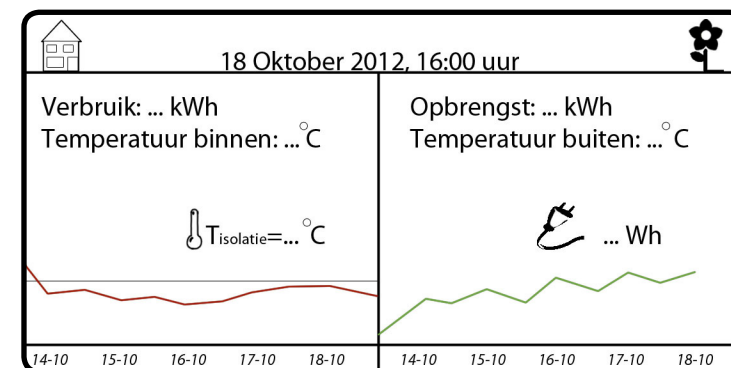
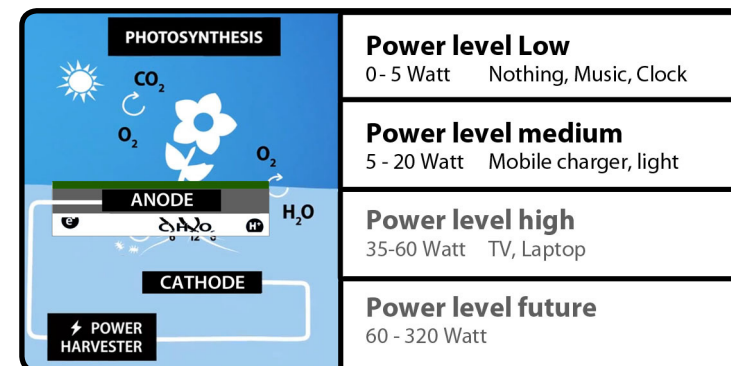
Voor het verloop van de vermogen tijdens de dag kan het volgende globaal worden aangenomen:

- 10 uur ('s nachts van 22.00 uur tot 8.00 uur) gemiddeld geen stroom wordt opgeleverd;
- 8 uur (van 8.00 uur tot 13.00 uur en 19.00 uur tot 22.00 uur) een gemiddelde van 4 W/100 m² wordt geproduceerd en;
- 6 uur (van 13.00 uur tot 19.00 uur) het piekvermogen van 5 W/ 100 m² wordt opgebracht.

Het kilowattuur die per dag geleverd wordt is bij benadering: $(8 \times 4 + 6 \times 5) / 1000 = 0,062$ kWh per dag.

In tabel 8 is een schema weergegeven van verschillende producten en hoeveel kWh ze nodig hebben voor een achturige werkdag of een uur lunchpauze (26-30).

kWh lunch	kWh werkdag	Product
0,002-0,010	0,016-0,080	Draagbare USB speakers (26)
0,003-0,010	0,024-0,080	Mobiel oplader (27)
0,011	0,088	Spaarlamp (28)
0,015 -0,060	0,12-0,48	Laptop (28,29)
0,200-0,300	1,6-2,4	Beamer (30)



6.4 Derde conceptfase - onderhoud en drainage

Eenmaal geproduceerd en geïnstalleerd zal het systeem enig onderhoud nodig hebben. Indien er problemen zijn aan het systeem op technisch gebied is het, het beste als assistentie van Plant-e wordt ingeroepen. Op het gebied van tuinieren is enig onderhoud nodig vergelijkbaar met intensieve groendaken, zoals het maaien of snoeien van de planten. Er kan echter niet over de modules gelopen worden. Hierdoor kan men bij grotere oppervlaktes niet alle planten bereiken. Een oplossing hiervoor is het creëren van een soort verplaatsbaar looppad of om de modules in rijen te plaatsen, zodat er tussendoor gelopen kan worden. Dit is geheel afhankelijk van de afnemer en zal in overleg bepaald worden.

Specifiek onderhoud van de PMFC-dakmodule bestaat uit het waterpeil op niveau houden. Voor de beste werking van het systeem is de anode volledig onderdompeld. Dit is af te leiden uit figuur 5 het stroomdiagram van de processen van de PMFC. Doordat er een laag potgrond op de anode ligt is er enige speling. Een mogelijkheid

om de waterstand in de gaten te houden is de module gedeeltelijk doorzichtig te maken. Naar verwachting valt echter het waterniveau slecht te zien, zoals afgebeeld in figuur 32. Wellicht moet in een aparte ruimte het waterniveau aan worden gegeven of kan er een meter gebruikt worden. Indien het water te laag komt te staan, kan de meter een signaal afgeven naar de monitor.

Behalve dat de waterstand te laag kan komen te staan, kan het water ook te hoog komen te staan. In hoofdstuk 4.3 wordt toegelicht, dat de waterdrainage bij conventionele groendaken van boven naar beneden verloopt. Boven de drainagelaag bevindt zich een filterlaag, welke voorkomt dat grove deeltjes in de waterafvoer terecht komen, en onder de drainagelaag bevindt zich een waterdichte folie om het dak af te screenen. In het nieuwe ontwerp is het niet mogelijk om de drainage van boven naar beneden plaats te laten vinden. Het water wordt bij het membraan tegengehouden. Waterdrainage kan dus alleen nog maar naar boven of naar de zijkant plaatsvinden.

Doordat er een buitenrand om het systeem komt te staan, kan het water via een centraal punt worden afgevoerd. Dit kan net als bij de huidige pilot door middel van een gat en een buisje. Het verschil met de huidige pilot is, dat daar de buitenrand hoger dan de modules is, wat niet het geval is bij het nieuwe ontwerp. Om te voorkomen, dat daardoor ook aarde wordt weggespoeld, kan er een filter voor het buisje worden geplaatst. Het water kan naar het dak worden geleid. Alle daken dienen een waterafvoer te hebben. Een andere gebruikelijke manier bij vijver- en groendakensystemen is om het water af te voeren met een pomp.

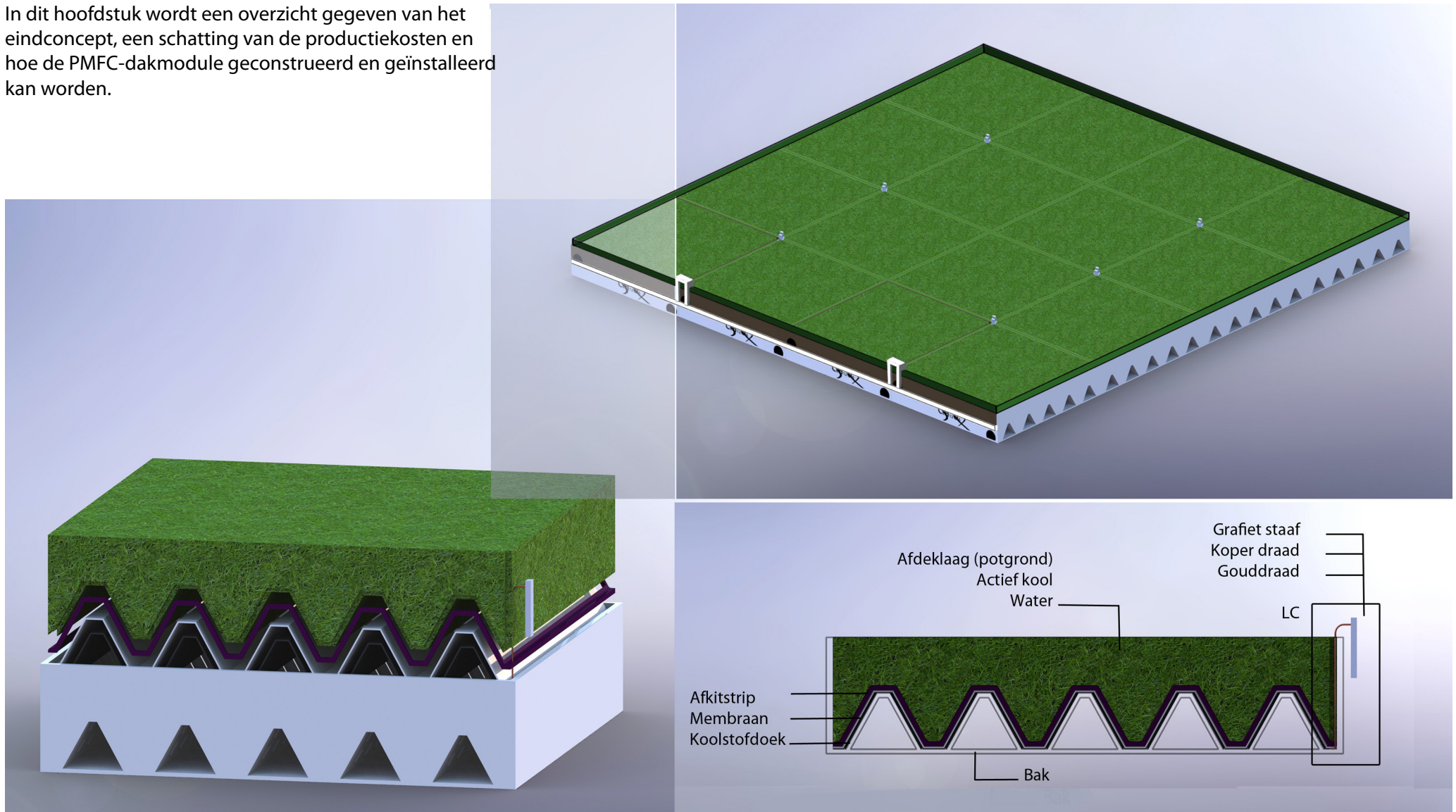
Figuur 32: Ideeën voor waterstand meten en waterdrainage



7. Eindconcept

Figuur 33: Overzicht eindconcept

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van het eindconcept, een schatting van de productiekosten en hoe de PMFC-dakmodule geconstrueerd en geïnstalleerd kan worden.



7.1. Omschrijving

Dit hoofdstuk start met een korte samenvatting hoe het nieuwe systeem zal gaan werken en hoe het eruit zal komen te zien zoals uitgewerkt in de voorgaande hoofdstukken.

Opbouw

In figuur 33 staat de doorsnede weergegeven met daarin alle onderdelen van het ontwerp. Het idee achter het ontwerp is, dat de kathode op de bodem ligt en dat de anode zich aan de bovenkant bevindt. Om dit te realiseren is er voor gekozen een bak te maken met een driehoekframe op de bodem. Door de driehoeken ontstaat er een buizensysteem onder de modules. Door gaten te maken in de bodem van de bak kan er zuurstof naar de kathode stromen. De kathode ligt direct op de bodem van de bak. De kathode wordt gescheiden door een membraan van de anode. Dit membraan laat wel protonen maar geen negatief geladen deeltjes door, waardoor de protonen van de anode naar de kathode kunnen. Het membraan zorgt er tevens voor, dat de bak waterdicht is. Een belangrijk aspect bij het waterdicht maken van de bodem is om het membraan goed te laten aansluiten op de bak. Om de waterdichtheid te realiseren wordt het membraan aan de bak gelast. Hier is eventueel een tussenstuk voor nodig.

In de anode vinden de meeste scheidingsprocessen plaats. Deze bevindt zich namelijk in dezelfde ruimte als ook de wortelen van de plant. De anode wordt zoveel mogelijk van zuurstof afgesloten door er een laagje aarde over heen te leggen.

Elektronische schakelingen

De elektroden moeten uiteraard ook met elkaar verbonden worden om de elektronen te transporteren en daarbij de elektrische energie te genereren. Dit wordt gedaan door de *current collector* van de kathode in serie te verbinden met de *current collector* van de anode van een volgende module enzovoorts. De *current collector* van de kathode is een draad welke tussen het membraan en de koolstofdoek wordt geperst. Aan deze draad zit ook de *current collector* voor de anode: een grafietstaaf. Bij plaatsing van de modules op het dak hoeft de grafietstaaf alleen nog maar in een volgende module te worden geplaatst. Hier zijn geen speciale hulpstukken voor nodig; de verbinding moet wel waterdicht worden afgesloten.

Door deze verbindingstechniek zijn verschillende soorten schakelingen mogelijk en kan de grootte van de schakelingen verschillen. Om een serie schakelingen te eindigen moet het begin- en eindmodule naast elkaar worden geplaatst. Een extra linkcomponent moet het circuit rond maken. Aan deze linkcomponent bevindt zich een lange rol draad, waardoor de stroom naar een centraal punt geleid kan worden.

Uitstraling

Het systeem moet een natuurlijk geheel worden, maar de technologie moet wel waarneembaar zijn. Dit wordt gedaan door in abstracte vormen de technologie uit te beelden op de buitenrand van het systeem. Deze vormen komen terug op een monitor, waar de uitleg verder plaatsvindt. Door het plaatsen van een hogere buitenrand kan een laag potgrond de randen van de modules bedekken. De afnemer kan zelf bepalen, wat de functie van de PMFC-dakmodules wordt binnen zijn bedrijf. De

monitor geeft naast uitleg over de technologie ook de huidige opbrengst en mogelijke toepassingen weer.

Afmetingen

De hoogte blijft hetzelfde als bij de huidige pilot: 117 mm. Deze hoogte is laag, maar net hoog genoeg gebleken voor de planten. Voor de lengte en de breedte is er gekeken naar mogelijke beperkingen.

- In solid works is met een benadering berekend hoe groot de module kan worden als hij 25 kg mag wegen. Verdere uitwerking en berekeningen zijn hiervan in bijlage III terug te vinden. De module kan iets kleiner worden dan 0,36 m².
- Voor het transport van alle winkelgoederen houdt men in heel Europa de Europese palletmaten aan. Alle standaard maten van dozen kunnen afgeleid worden van de palletmaat 80 x 120 cm, dus bijvoorbeeld (in cm): 60x40, 40x30, 30x20, 20x15, etc. (31).
- Zowel het membraan als de koolstofdoek komen van een rol. De koolstofdoek heeft een breedte van 1,5 m en een variabele lengte. Het valt te overwegen om de driehoeken op zodanige maat af te stellen, dat de 1,5 m volledig wordt gebruikt in de breedte, zodat er geen restmateriaal ontstaat. De maximale afmetingen van het membraan zijn onbekend.
- De bakken zullen een voor een op het dak geplaatst worden. Hiervoor moeten de bakken handzaam zijn, wat niet alleen afhankelijk is van het gewicht maar ook van de afmetingen.

Om aan de eerste drie voorwaarden te voldoen zouden de maten 40x80 het meest geschikt zijn. Dit is echter geen

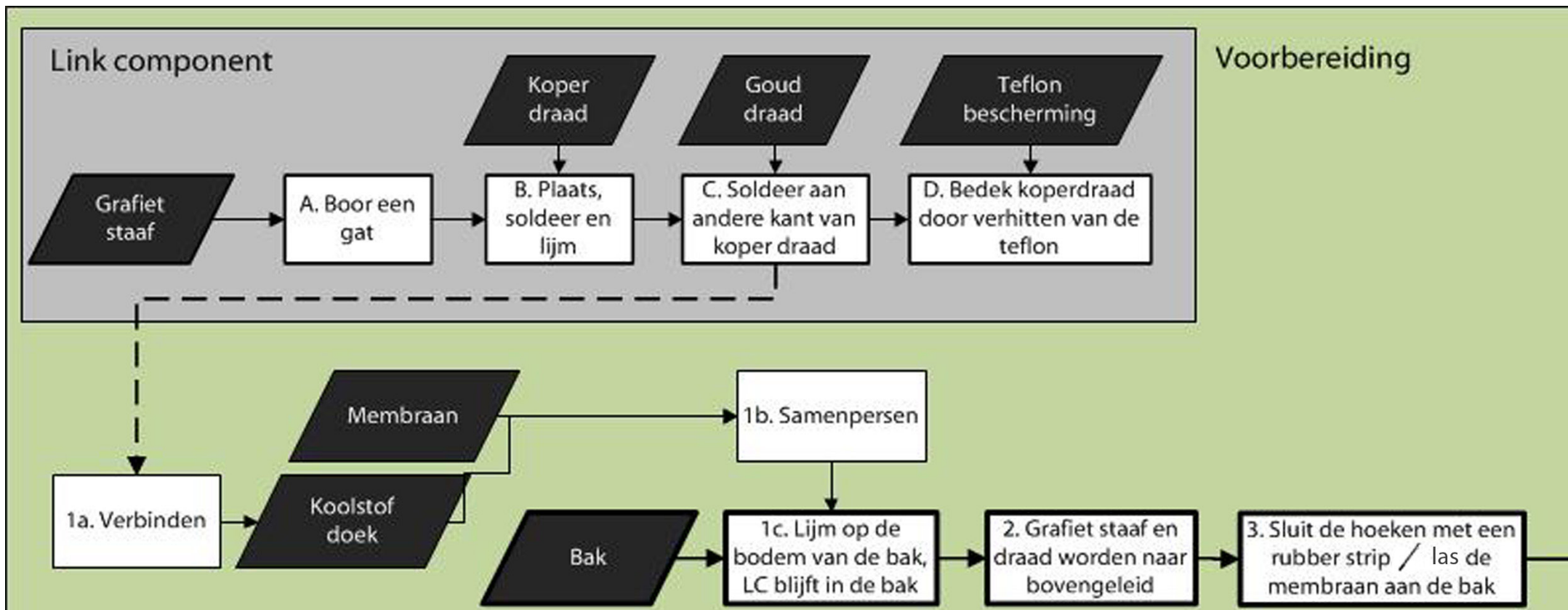
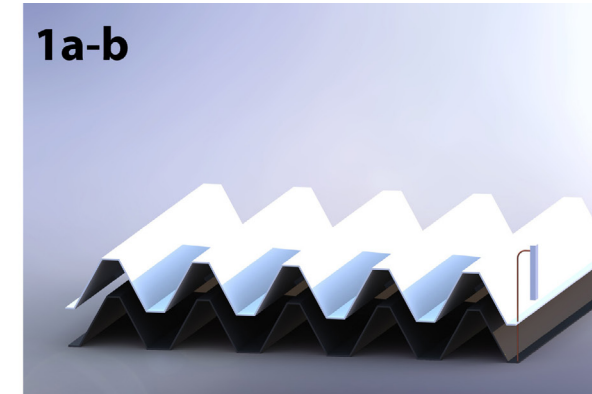
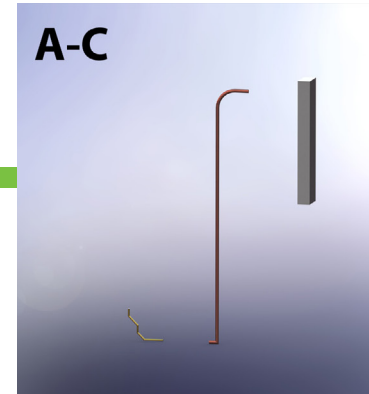
handzame afmeting voor het geschatte gewicht van 25 kg. 80 cm is te breed om in de breedte te dragen en te lang in verband met het zwaartepunt om in de lengte te dragen (32). Voor nu is gekozen om de afmeting 60x60 aan te houden, vanwege de handzame afmeting voor 1 persoon en het totale gewicht van 25 kg. Hierbij moet de vorm van de driehoeken aangepast worden om de module minder dan 25 kg te laten wegen. Voor de *launching customer* hoeft Plant-e nog geen rekening te houden met efficiënt transport.

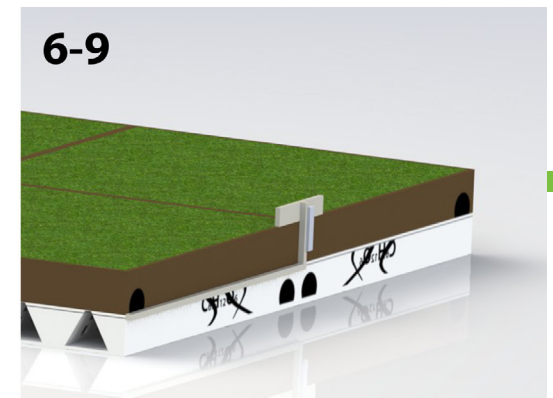
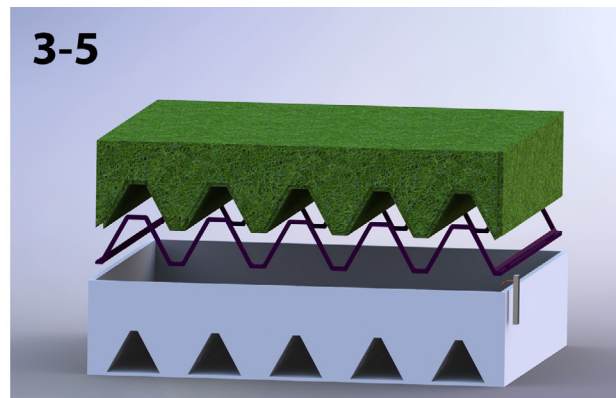
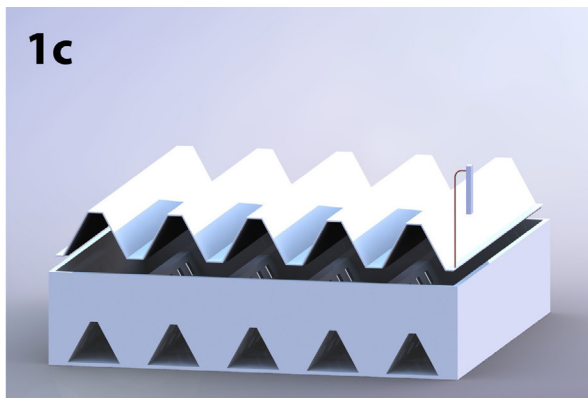
Het aantal driehoeken in de bodem van de bak is variabel. De driehoeken kunnen afgesteld worden op de geleverde maten van het membraan en de kathode. De hoogte van de driehoek is gebaseerd op de helft van de bak. Zo blijft er genoeg ruimte over voor plantengroei en anodebedekking.

Tabel 9: Overzicht materiaaleisen per onderdeel

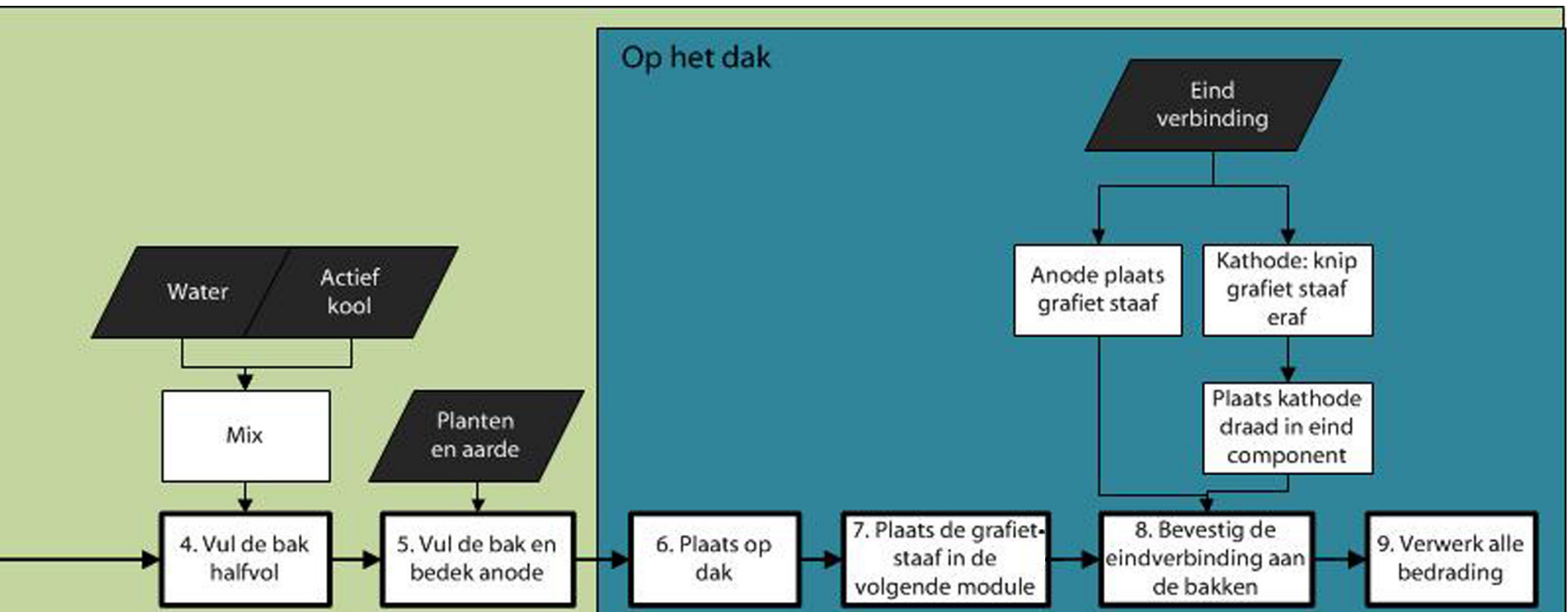
Onderdeel	Materiaaleisen	Voorbeeld
Bak	Stijf, weerbestendig, kleine dichtheid	kunststof
Kathode	Geleidend en waterbestendig	Koolstofdoek
<i>Current collector</i> kathode	Waterbestendig en geleidend materiaal	Goud
Membraan	Protonen moeten erdoorheen kunnen, water niet.	
Anode	Geleidend en moet ruimte laten voor de wortels om te groeien	Actief kool
<i>Current collector</i> anode	Geleidend, waterbestendig materiaal	Grafietstaaf
Planten	Geen houtige wortels Produceert veel ongebruikte glucose	Diverse soorten
Verbinding	Geleidend materiaal welke te koppelen is aan een apparaat	Koperdraad
Afkitstrip	Flexibel materiaal om bak waterdicht te maken	kunststof

7.2 Constructie en installatie





Figuur 34: Stroomdiagram installatie



7.3 Kostenschatting

Er is een kostenschatting gemaakt voor een kleine oppervlakte van 2,4 m x 2,4 m (16 modules) en een voor een groter oppervlakte van 108 m² (280 modules). De kleine oppervlakte is qua prijs vergeleken met de kosten van de derde plot, een niet-modulair systeem, dat op het NIOO gebouw ligt. De kosten van de derde plot staan weergegeven in tabel 10. De tweede kostenschatting is voor een concrete situatie bij een potentiële afnemer.

In alle kostenschattingen/berekeningen zijn de planten, de elektrische verbinding naar de monitor, monitor en draadafwerking buiten beschouwing gelaten. De invulling hiervan is een keuze van de afnemer. Voor de bak is een schatting gemaakt, hoeveel het kost om te spuitgieten. Hierbij is de stelregel aangehouden om de materiaalkosten met een factor drie te vermenigvuldigen (Awa moulding). Voor een kleine serie van maar 16 stuks zullen de kosten hoger uitvallen en is daarom een factor vier gebruikt.

Kostenbesparing:

Een aantal aspecten van het ontwerp kunnen veranderd worden om kosten te besparen. Een paar simpele aanpassingen zijn het verkleinen van de oppervlakte van de koolstofdoek, de lengte van de koperdraad verkleinen en een koolstofdraad in plaats van goud als *current collector* gebruiken.

De oppervlakte van de koolstofdoek kan verkleind worden door alleen het doek te gebruiken over het gedeelte met de gaten. Op de bodem en op de top van de driehoeken kan een koolstofdraad worden geplaatst die rondom kan lopen om alle koolstofdoeken te verbinden. Dit zou een kostenbesparing van ongeveer 15 euro per module

opleveren. Uitgezocht moet worden of dit opweegt tegen de extra productiekosten.

De lengte van de koperdraad in de modules kan verkleind worden met de helft, als de zijkant van de bak niet ophoudt bij een bodem van een driehoek, maar bij de top van een driehoek. Dit levert slechts een besparing op van 20 cent per module.

De gouddraad kan vervangen worden door een goedkopere koolstofdraad. Om dit te realiseren moet echter een manier worden bedacht hoe de koolstofdraad aan een koperdraad vastgemaakt kan worden en gescheiden wordt van de anode. Ook dit levert een kleine kostenbesparing op.

Door het ontwerp radicaler te veranderen kunnen er meer kosten bespaard worden. Vooral voor de koolstofdoek dient er een vervanger te worden gezocht. Een alternatief kan zijn om met goedkopere grafietkorrels te werken. De uitdaging ligt dan in het scheiden van de anode korrels en kathode korrels.

Een ander grote kostenpost waar bespaard op kan worden zijn de membranen. In plaats van membranen kan er gewerkt worden met een filterlaag, zoals geotextiel. Dit wordt bijvoorbeeld ook in conventionele groendaken gebruikt. Een nadeel hiervan is dat ook het water door de filterlaag gaat.

De laatste grote kostenpost, waarop besparingen mogelijk zijn, zijn de bakken. Dit komt, doordat de bakken speciaal voor Plant-e worden gespuutgiet en een wanddikte van

een cm wordt gebruikt. Bij spuitgieten is het ontwerp en de productie van de mal kostbaar, waardoor spuitgieten pas bij hele grote series rendabel wordt. Voor een dergelijke kleine productieserie zou gekeken moeten worden naar de inzet van bestaande producten/bakken. Een andere optie is om de bakken op een andere manier te produceren. Bakken kunnen bijvoorbeeld uit plaatmateriaal worden vervaardigd. De zijranden kunnen omhoog gevouwen worden door thermische vervorming en de hoeken kunnen aan elkaar gelast worden.

Kostenvergelijking:

Het verschil in de kosten tussen een kleine oppervlakte of een grotere oppervlakte van het systeem is met betrekking tot materiaalkosten miniem. 280 stuks is voor een productlijn dan ook een erg kleine oplage. De kosten voor het spuitgieten van de bakken gaat vaak pas omlaag bij duizenden stuks. Veel spuitgietbedrijven vereisen zelfs een grotere minimale oplage dan 280. Voor de overige materialen en onderdelen geldt ook dat het bij een grotere afname per product goedkoper wordt, maar minder extreem dan bij de seriegrootte bij spuitgieten. Wat de hele kleine oplages, zoals de 16 modules, erg duur maakt is dat voor bepaalde materialen, zoals de bedrading een minimale hoeveelheid gekocht moet worden. In deze kostenschatting is er dan ook niet vanuit gegaan, dat Plant-e iets op voorraad heeft of de materialen die over zijn een andere bestemming krijgen. Wat echt het verschil gaat worden tussen kleine oplages en oplages van 10.000 stuks zijn de productiekosten en de manuren. Voor oplages als 280 gaat het niet rendabel worden om de modules machinaal te produceren. Dit vergt dus veel

mankracht, wat de productie relatief duur zou maken.

Als de kostenschattingen van het nieuwe ontwerp worden vergeleken met de bestaande derde plot, ziet men dat de kosten van de anode flink zijn gedaald. Dit wordt echter gecompenseerd door het nieuw toegevoegde membraan en het vergroten van de koolstofdoek, waardoor het modulaire systeem uiteindelijk nog steeds duurder is.

De conclusie van de kostenschattingen is, dat in dit ontwerp door kleine aanpassingen geringe kosten kunnen worden bespaard. Door het ontwerp radicaal te veranderen kunnen grotere besparingen gerealiseerd worden.

Onderdeel	Hoeveelheid	Euro
Bak	1	450
Tussenlaag	2,4x2,4	115
Kathode	2 x 1,5 x 2,4	1209,6
Anode	12 zakken	234
CC anode	7x2,4x0,4	61,42
CC kathode	0,2 m	20
Koper	1,6 m	26,6
Lijm		8,45
Schuim		70
		~2080

3e plot	<i>per m²</i>	360
16 modules	<i>per module</i>	160
	<i>per m²</i>	428
280 modules	<i>per module</i>	150
	<i>per m²</i>	422

Tabel 10: Materiaalkosten derde plot

Tabel 11: Materiaalkosten nieuw ontwerp

Onderdelen	Prijs (€)	Per module Afmetingen	16 modules 2,4m x 2,4m=5,7 m ²		280 modules 24x4,2=100,8 m ²	
			Hoeveelheid	Totaal (€)	Hoeveelheid	Totaal (€)
Bak	1,5 - 4 / kg	0,6 x 0,6 x 0,14 m, 5 k	16	480	280	6300
Kathode	168/m ²	0,52 m ²	8,4 m ²	1406,04	150m ²	25200
Membraan	45 / m ²	0,56 m ²	8,96 m ²	403,2	160m ²	7200
Actief kool	1,56 / kg	16 L	256 L	138,776	4480 L	2430
Potgrond	8 / 50 L of 6 / 100 L	2 L	32 L	5,12	560 L	23,6
Current collector kathode	31,1/ m	5 cm	0,8 m	25	14 m	435,4
Koperdraad	26,26 / 30 m	25 cm	4,25 m	26,26	70 m	52
	8,45 / 1 stuk en					
Lijm	7,77/ 10 stuks	0,5 ml	1x	8,45	20x	155,4
	4,75/ 20 stuk en					
Current collector anode	1,40/50 stuks		16	76	280x	392
			Totaal:	~2569	Totaal:	~41798

7.4 Modelbouw

Tot nu toe zijn er veel aannames gemaakt in het – theoretische - ontwerptraject. Aan het eind van dit project is er derhalve voor gekozen om een praktisch functioneel model te maken op schaal van 1:4. Er is gekozen voor deze schaal, zodat het model makkelijk te vervoeren is van en naar de opdrachtgever vanuit de Universiteit Twente en zodat de bak voor het model met 3D printen te fabriceren is. Bij 3D printen is men er van verzekerd, dat het model in de hoeken van de bak waterdicht is en het model snel te realiseren is. Nadeel van de gekozen schaal is, dat de zijkanten te laag zouden worden om planten in het model te plaatsen. Vandaar dat de zijkanten iets opgehoogd zijn.

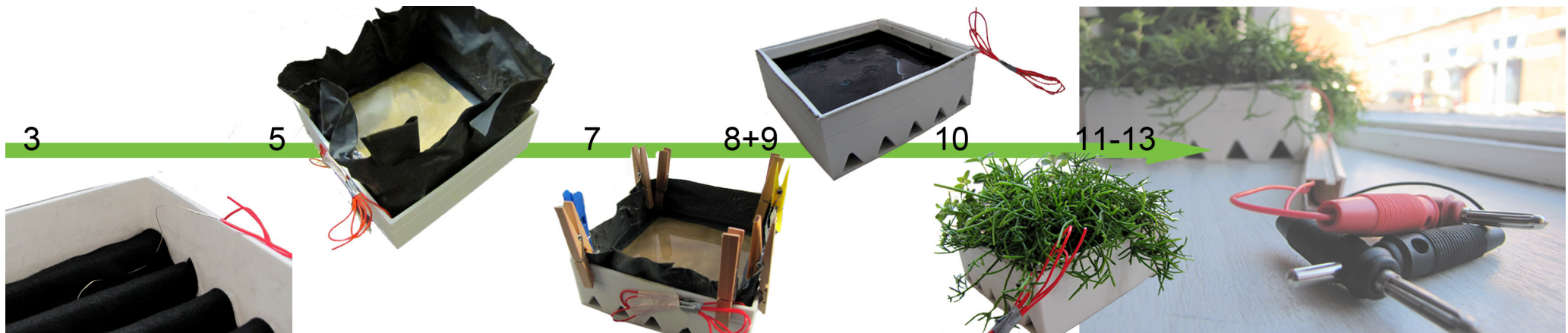
Tabel 12: Onderdelenmodel

Onderdeel	Afmetingen/ Aantal	Materiaal	Bewerking
Bak	15 x 15 cm 3,5 + 1.5 cm hoog	SLS-PA2200	3D printen bij 3Dworknet
Koolstofdoek	24 x 13 cm	Koolstof (MASTcarbon)	Knippen
Membraan	14 x 13 cm		Knippen
Waterdichtstrip		Kunststoffolie	Knippen en lassen
Gouddraad	4 cm	Goud	Knippen
Koperdraad	10 cm	Koper	Knippen
Garfiet staaf	3 cm x 1 cm	Grafiet	-
Bananenplug	4x		-
Weerstand	1x	10 Ohm	-
Actief kool	0,300 L	Actief kool (Norit)	Afmeten
Plantjes	-	-	Aarde om wortels weghalen
Afwerkingsbuis	+/- 30 cm	PVC	Op maat zagen

Met een inkeping in de zijkant wordt aangeduid wat de hoogte had moeten zijn bij schaal 1:4.

In het model zou er geen gebruik gemaakt worden van een linkcomponent, dit omdat er slechts een module is. Er wordt wel een gouddraad met een koperdraad bevestigd aan het koolstofdoek. Aan het einde wordt een bananenplug geplaatst, zodat er voltagemetingen plaats kunnen vinden aan het model. Tevens wordt er een grafietstaaf in de bak geplaatst met een bananenplug. De anode en de kathode worden met een weerstand verbonden.





Buiten bovenstaande is er zoveel mogelijk geprobeerd het echte ontwerp na te bootsen. In tabel X staan alle aparte onderdelen benoemd. Uit het solidworks model op schaal is afgeleid, wat de afmetingen van alle aparte onderdelen zijn. Het stappenplan voor het bevestigen is als volgt:

1. Gouddraad solderen aan koperdraad
2. Krimkous om koperdraad lassen
3. Gouddraad aan koolstofdoek verbinden
4. Koolstofdoek en draad in bak leggen
5. Kunststoffolie knippen in de vorm van de vier zijkanten. Elke zijkant aan een kant van het membraan lassen en de hoeken van de kunststoffolie aan elkaar lassen
6. De kunststoffolie met het membraan op de bodem leggen, op waterdichtheid testen, eventuele lekken opsporen en trachten te herstellen
7. Alles in zijn geheel in de bak plaatsen en nogmaals op waterdichtheid testen
8. Kunststoffolie zijkanten aan bak vastmaken

9. Bak vullen met actief kool en water
10. Planten positioneren
11. Een grafietstaaf met draad en bananenplug plaatsen
12. Tussen de draad vanuit de kathode en anode een weerstand plaatsen
13. De draden worden weggewerkt in een kabelgoot

Een probleem tijdens het model bouw was het waterdicht verbinden van het membraan. Het vormen van het membraan in driehoeken ging ten koste van de waterdichtheid. Het membraan in het model is vlak gemaakt en sluit dus niet goed aan bij de koolstofdoek. Daarnaast kon door de hoogte van het model slechts een kleine laag actief kool worden opgebouwd. Hierdoor maakt de grafietstaaf slechts gering contact. Ook bleef er nauwelijks ruimte over om de anode helemaal te bedekken met potgrond.

Figuur 35: Modelbouw

8. Conclusie

In hoofdstuk 7 staat een overzicht gegeven van het eindconcept, als het ware een conclusie van de ontwerpfase. Maar het onderzoek was meer dan alleen een ontwerp maken. Aan het begin van het onderzoek zijn er een aantal onderzoeksvragen gesteld. De behandeling van de onderzoeksvragen is gedetailleerd weergegeven in de voorgaande hoofdstukken. In de conclusie wordt ingegaan op alle hoofdonderzoeksvragen.

Wat zijn de kenmerken van de doelgroep?

De doelgroep bestaat uit midden en groot bedrijven, welke graag willen investeren in de technologie en hierin voorop willen lopen. Het bedrijf wil graag een pionier zijn en zijn groene imago uitdragen. De PMFC-dakmodule moet dan ook de technologie laten zien en tegelijk passen in de omgeving. Belangrijk is, dat het toekomstige perspectief van de technologie duidelijk is voor de afnemer. Terugkoppeling naar een potentiële afnemer zal in de toekomst nog moeten plaatsvinden.

Hoe functioneert de technologie?

De technologie bestaat uit een kathode en een anode die de wortelen van de plant omsluiten. Na bacteriële afbraak gaan er elektronen door de *current collector* van de anode naar het circuit. Protonen gaan door een membraan vanuit de anode naar de kathode, waar via een *current collector* uit een andere anode elektronen binnen komen. Het membraan voorkomt, dat er rechtstreeks negatief geladen deeltjes van de anode naar de kathode gaan.

Welke eisen en wensen brengen de verschillende mogelijke toepassingen met zich mee?

De module is vergeleken met conventionele groene daken.

Voor beide is het belangrijk, dat deze waterdicht zijn en een goede waterdrainage- en een filterlaag hebben. Aan de dakconstructie hoeft in de meeste gevallen niets gewijzigd te worden.

Wat zijn mogelijke concepten voor een (module voor een) PMFC-dak?

Er is gekozen voor een modulair systeem opgebouwd uit een driehoekbodem. De extra componenten die voor het ontwerp zijn toegevoegd zijn de bak en de afwerking voor de draden. Dit zorgt voor eenheid en een betere uitstraling. Een mogelijke beperking van de toepassing van een bak en het systeem is of het vorst kan doorstaan, wat pas in praktijk zal moeten blijken. Daarnaast is er een monitor toegevoegd om de gebruiker de mogelijkheden van de techniek te laten zien. Tevens is de technologie van buiten af goed zichtbaar, wat belangrijk is voor het groene en pioniersimago van de eerste afnemers.

Welk concept voldoet het beste aan de genoemde eisen?

In tabel 13 staat weergegeven in hoeverre het eindconcept aan de gestelde eisen voldoet. Belangrijke voordelen van het eindconcept zijn, dat:

- de kathode niet meer belemmerd wordt door de planten,
- de planten natuurlijker kunnen groeien zonder tussenlagen om de wortels,
- de anode kleiner is gemaakt,
- de module lichter en daarmee groter is gemaakt,
- er geen extra ruimte op het dak nodig is voor installatie,
- de draden grotendeels uit het zicht zijn,
- de bedrading van 500 meter draad verkort is naar 5

- meter draad in de modules over een
- totale oppervlakte van 16m² en
- een duidelijke feedback over de technologie naar de gebruiker plaatsvindt.

Nog openstaande ontwerpaspecten zijn een verdere kostprijsreductie onder andere voor massaproductie en eventuele aanpassingen als de praktijk uitwijst dat de winterbestendigheid en waterdrainage verbeterd moet worden.

Wat zijn aanbevelingen voor verdere ontwikkelingen van het product?

Het aantal aanbevelingen staat uitgebreid beschreven in de discussie. De belangrijkste punten voor vervolgonderzoek zijn testen uitvoeren en de verdere reductie van de kosten met het oog op massaproductie.

nr.	Eis:	W	V
1.1	De PMFC-dak(module) bevat ten minste een plant, tussenlaag, anode, kathode en elektronische schakelingen.	3	+
1.9	Er moet worden voorkomen, dat elektronen van de anode naar de kathode gaan.	4	+
1.13	De anode en de kathode mogen geen contact maken.	3	+
1.14	De anode mag niet blootgesteld worden aan lucht/O ₂ .	3	+
1.15	De anode moet contact maken met water/H ₂ O.	5	+
1.16	De kathode moet aan een kant blootgesteld worden aan lucht/O ₂ .	5	+
1.17	De kathode moet aan een kant blootgesteld worden aan water/H ₂ O.	5	+
2.8	De PMFC-dak(modules) moet(en) waterdicht zijn om het dak te beschermen.	4	-
1.2	Er moet genoeg ruimte zijn voor de plant en zijn wortels om te groeien.	3	+/-
1.8	De afstand van de anode naar de kathode moet zo kort mogelijk zijn.	3	+
1.21	De elektronische schakelingen mogen niet roesten.	4	+/-
1.22	Het aantal meter bedrading moet verminderd worden naar 80%.	4	+
1.6	Een waterreservoir moet water geven aan de wortels van de plant.	4	+
1.5	Het moet mogelijk zijn om water door middel van regen of een kraan toe te voegen aan het waterreservoir.	4	+
4.6	De PMFC-dak(modules) moet minder dan 16 uur per jaar aan onderhoud nodig hebben.	3	?
4.9	Het waterniveau moet meetbaar zijn.	3	+
4.1	Het moet mogelijk zijn om een kleine hoeveelheid elektriciteit te gebruiken als demonstratie van de functionaliteit van de PMFC-dak(module).	5	+
4.3	De technologie moet zichtbaar zijn naar de bezoekers bij de PMFC-dak(modules).	4	+
4.2	De prestatie van het systeem moet ten minste geregistreerd en zichtbaar zijn bij de PMFC-dak(modules).	3	+
4.4	De PMFC-dak(module) moet een hoogwaardige uitstraling hebben.	4	+/-
4.5	De PMFC-dak(module) moet een plezierige omgeving vormen voor de doelgroep.	3	+
3.1	De installatieprocedure moet voldoen aan de Nederlandse arbowetten waaronder het maximale tilgewicht van 25 kg.	4	+
3.3	Het moet mogelijk zijn om de installatie van 10 vierkante meter binnen 24 manuur te voltooien.	3	+
3.4	De installatie moet te begrijpen zijn door laaggeschoolde arbeiders.	3	+

Tabel 13: Programma van Eisen gerelateerd aan de genoemde ontwerpfases W staat voor waarde en V van voldaan.

9. Discussie

In hoofdstuk 5 is al genoemd, dat er keuzes zijn gemaakt, welke aspecten binnen het ontwerp tijdens dit project werden meegenomen. Om het eindconcept verder uit te werken zullen bepaalde aspecten nog moeten worden uitgezocht en worden getest. Daarnaast zijn er een aantal punten die aan het ontwerp moeten worden aangepast aan de hand van het model en de kostenschatting. Als laatste zullen in dit hoofdstuk nog aanbevelingen worden genoemd naar Plant-e voor de toekomst van de PMFC-dakmodule.

Vervolgonderzoek

Winterbestendigheid:

Tijdens het ontwerpproces is niet gekeken naar de winterbestendigheid van de concepten. Op dit gebied is wellicht de hulp nodig van een specialist in materialen en isolatie. Bij de huidige plots zijn er schuimborden tussen de modules en de buitenrand van de plot geplaatst. Dit is bij het nieuwe ontwerp niet mogelijk vanwege de driehoekframes die niet afgesloten mogen worden.

Type planten:

Er moet nog een test worden uitgevoerd, welke planten het meest geschikt zijn voor PMFC. Behalve de hoogte van de opbrengst is de sterkte van de wortels belangrijk. De wortels mogen niet het membraan penetreren. Enerzijds kunnen er planten uitgezocht worden, die dat niet doen en anderzijds is er wellicht een mogelijkheid om de wortels te omleiden.

Waterdrainage:

In hoofdstuk 6 is kort de waterdrainage van het systeem besproken en wordt er daarnaast gesproken om een

eenheid van de modules te maken door middel van een buitenrand. Hier zitten echter wat haken en ogen aan. Hoe wordt er bijvoorbeeld voorkomen, dat het water niet tussen de modules door lekt. Hoe kan dus de aansluiting tussen de modules waterdicht gemaakt worden. En hoe wordt ervoor gezorgd dat de buitenrand en de modules waterdicht op elkaar aansluiten. Wellicht moet er nog in een andere richting naar oplossingen voor waterdrainage worden gezocht en wellicht is het helemaal niet erg dat het waterafvoer niet vanaf een centrale plek wordt geregeld.

Buitenrand:

De problematiek rondom de waterdichtheid, met daarbij ook de buitenrand is zo even al genoemd. Daarnaast moet er een specifiek ontwerp komen van de buitenrand. De buitenrand en het eindstuk van de linkcomponent komen namelijk op de zelfde zijkant. Buitenrand kan ervoor, erop of erom heen worden geplaatst.

Monitor

Er zijn verschillende ideeën genoemd over de uitstraling, functionaliteit en de monitor. Hierin zijn nog geen concrete keuzes gemaakt en bij een afnemer moet worden gepeild waar de interesse liggen. De vertaling naar een uiteindelijke keuze en ontwerp kan dan worden gemaakt.

Schakelingen:

In hoofdstuk 6 zijn vele oplossingen genoemd voor de bedrading. Deze oplossingen moeten nog getest worden op hun effectiviteit, interne weerstand, productiemogelijkheden en waterdichtheid. Daarnaast is er niet onderzocht, hoe de verbinding aan een apparaat of

monitor plaatsvindt en of hier nog omvormers voor nodig zijn.

Productie

Voor de productie van de bakken is voorgesteld om het concept te gaan spuitgieten. De modules kunnen mogelijk ook opgebouwd worden uit 5 stukken plaatmateriaal. De bodemplaat moet hiervoor omgevormd worden. De overgangen moeten vervolgens vastgelast worden. Wat geschikt is voor deze oplage moet verder worden uitgezocht.

Tijdens het modelmaken is gebleken dat de hoekige overgangen van de driehoeken moeilijk waterdicht te maken waren. Om de productie gemakkelijker te maken kunnen de driehoeken beter vervangen worden door ronde vormen. Voor het bepalen van de juiste manier van waterdicht maken, zullen meerdere testen moeten worden uitgevoerd.

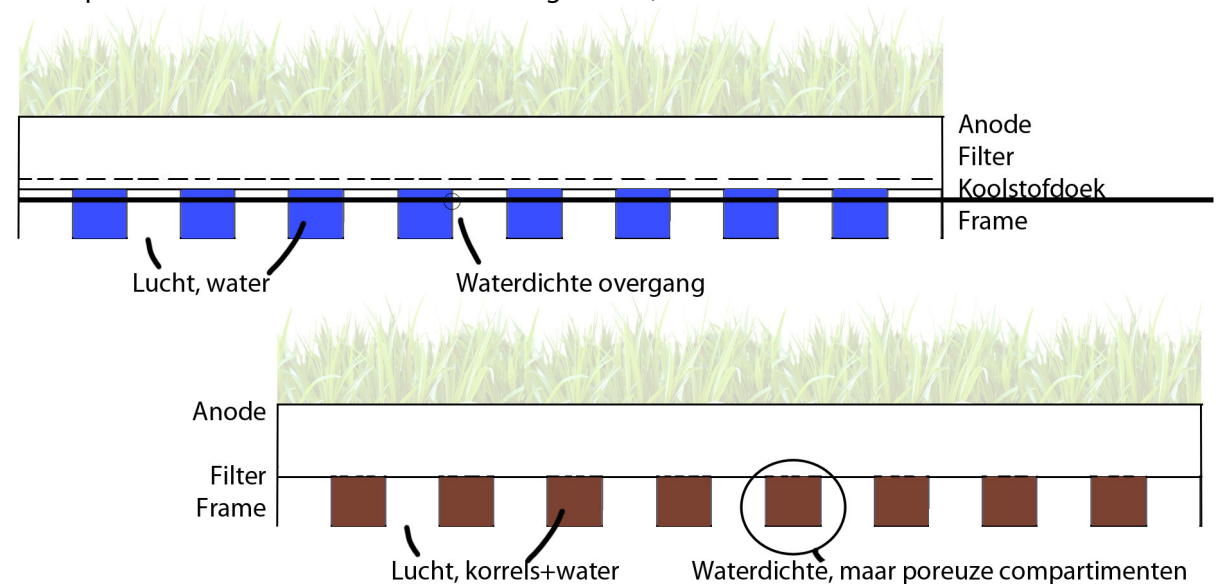
Varianten op eindconcept

De evaluatie van het ontwerp, door middel van een kostenanalyse en model, hebben veel stof tot nadenken gegeven. Duidelijk is geworden, dat er vraag is naar goedkopere materialen en simpelere productiemogelijkheden voor de opbouw van het systeem, zoals de bakken en het membraan. Ook zijn er goedkopere alternatieven nodig voor de technologiecomponenten, zoals korrels in plaats van de koolstofdoek. Deze goedkopere materialen mogen niet ten kosten gaan van de kosten of kwaliteit van andere componenten. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij het verkleinen van de bakken, waardoor de bakken goedkoper worden,

maar de schakelingen duurder. Deze uitgangspunten waren inspiratie voor nieuwe ideeën.

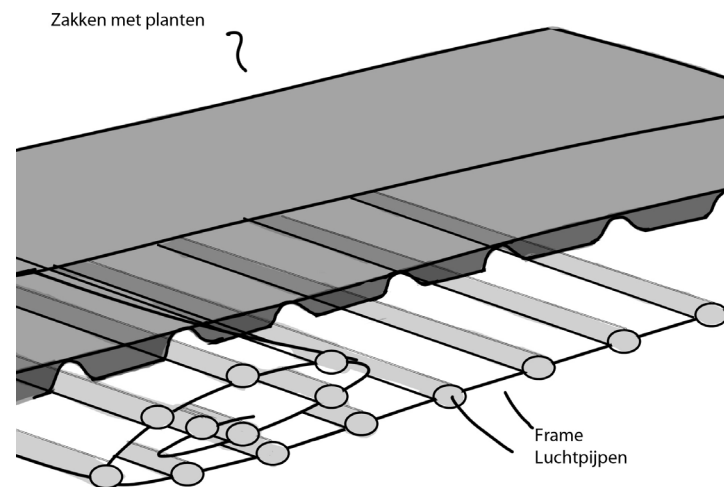
- In plaats van een membraan kan er gebruik gemaakt worden van een filterlaag, bijvoorbeeld geotextiel. Een schets voor een dergelijk ontwerp staat weergegeven in figuur 36. De onderkant van een module bestaat uit compartimenten. De koolstofdoek gaat langs compartimenten met lucht en met water. De uitdaging is om de overgang van deze compartimenten waterdicht te maken.
- In plaats van een koolstofdoek kan er ook gebruik gemaakt worden van korrels. In dit geval kan er ook weer met compartimenten op de bodem gewerkt worden: met korrels en met lucht. De korrelscompartiment moet waterdicht worden afgesloten,

Figuur 36: Alternatieve ontwerpen



- maar wel blootgesteld worden aan lucht. Er is dus weer een membraan nodig voor de afsluiting.
- In plaats van een modulair systeem kan het concept omgebouwd worden tot een niet-modulair systeem. Net zoals concept 2 kan het systeem opgedeeld worden in meerdere delen. Zo zal er een uitrolbaar frame ontworpen kunnen worden en de beplanting met anode en kathode zouden in zakken op het frame gelegd kunnen worden. Een schets hiervan staat weergegeven in figuur 37.
 - In het project is geëxperimenteerd met het maken van een zak met het membraan op de bodem. Op basis van dit idee zouden meer ideeën ontwikkeld kunnen worden.

Figuur 37: Rolbaar frame



Toekomstrichting

Bij de start van het project is gekozen voor een ontwerp voor een *launching customer*. Het eindconcept is zo ontworpen, dat het makkelijk omgebouwd kan worden voor een grootschalige productie. Gebleken is, dat het concept voor een *launching customer* in een kleine oplage te duur is. De genoemde verbeteringen zullen slechts leiden tot een minieme kostenverlaging.

Het voorstel is daarom om twee verschillende ontwerpen te maken voor een *launching customer* en een grootschalige productie. Er dient een schatting te worden gemaakt hoeveel Plant-e in de beginfase zal verkopen en zodra het concept aanslaat kan er een herontwerp worden gemaakt voor grotere productie-aantallen. Het eindconcept van dit project zal beter aansluiten bij een grootschalige productie in plaats van een *launching customer*, vanwege de kosten.

Voor een vervolgproject is het aan te raden om eerst in gesprek te gaan met een potentiële afnemer om specifiek te bepalen hoe groot het systeem wordt, wat de functie van het systeem wordt en wat het budget is. Op basis van deze gegevens kan er een op maat gemaakt systeem worden ontworpen. Vermoedelijk zal de prijs erg omlaag gaan als er standaardonderdelen worden gebruikt of een niet-modulair systeem wordt geïnstalleerd.

11. Referentielijst

1. Smit, W., & Oost, E. (1999). De wederzijdse beïnvloeding van technologie en maatschappij. Een Technology Assessment-benadering. Bussum: Coutinho.
2. Krommendijk, J.(2012). Granted projects, Eight call, Plant-e living plants generate energy. Netherlands Genomics Initiative http://www.preseedgrant.nl/granted_projects.html (geraadpleegd op 24 Juni 2012)
3. Strik, D.P.B.T.B., Helder, M. (2011). Technologische en commerciële haalbaarheid van elektriciteitsproductie met levende planten. Eindrapportage Najaarsronde 2010 Valorisation Grant fase 1 Projectnummer 11771 Wageningen, Oktober 2011
4. Strik, D.P.B.T.B et. (2011). Microbial solar cells: applying photosynthetic and electrochemically active organisms. Cell press
5. Schrama, F.A. (2011). Plant-e - Living plants generate electricity - A Case Study. Marketing and Consumerbehaviour group, Wageningen University.
6. Ende van den, M.J.S. (2012). Contact e-mail Plant-e-unpublished results. Wageningen: Plant-e
7. Sinke, W.C. (2009). Grid parity: holy grail or hype? ECN: International sustainable energy review issue 1
8. Lynch, J.M., Whipps, J.M. (1990). Substrate flow in the rhizosphere. Plant and Soil, 129(1), 1-10.
9. Chen, W.S. (2012). To Green the Plant Microbial Fuel Cell. Environmental sciences, Wageningen Universiteit
10. Strik, D.P.B.T.B., Hamelers, H.V.M., Snel, J.F.H., Buisman, C.J.N. (2008). Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. International Journal of Energy Research, 32(9), 870-876.
11. Plant-e, (2012). Essential maintenance for the PMFC pilot on the NIOO roof, for internal use only
12. Ji, Y. (2012). Polarization curve PMFC pilot at NIOO- unpublished results. Environmental sciences, Wageningen Universiteit
13. Hendriks, N.A.(2007). Daken in 't groen, aanwijzingen voor het ontwerpen van vegetatiedaken en tuindaken. Delft: Thieme media services
14. Kerksen, A.J. (2011). Handboek groene daken, van idee tot realisatie. Nieuwloop: Ecodrukkers
15. Nophadrain green roof innovators (). Intensive green roofs, design and installation manual Kerkrade: Nophadrain
16. SBR, (2012). Infoblad 440 - het aanbrengen van een vegetatiedak op een bestaand gebouw <http://www.sbr.nl/producten/infobladen/het-aanbrengen-van-een-vegetatiedak-op-een-bestaand-gebouw> (geraadpleegd op 5 juli 2012)
17. Pomegranate Center (2005). Green roof manual. Issaquah, Verenigde staten
18. Heutinc, L. Vlaskamp, W. (2008). Handleiding voor dakgroen. Afstudeerproject Groenedaken, Hogeschool Larenstein.
19. Wijffels, B. et. (2012). Kennisbank groene daken. <http://ecoengineering.groenweb.nl/content/kennisbank-3> (geraadpleegd op 28 juni 2012)
20. Zinco (). Planning guide System solutions for thriving green roofs. Nuertingen, Duitsland
21. Bison (2012). Siliconen kitten. <http://www.bison.nl/nl-nl/producten/660-siliconenkitten/product/620-siliconenkit-acrylbaden/> (geraadpleegd op 24 september 2012)
22. Halley, Drew (2009) The wireless future of energy transfer <http://singularityhub.com/2009/06/30/the-wireless-future-of-energy-transfer/> (geraadpleegd op 24 augustus 2012)
23. Verkerk, G. et. (2004). BINAS-informatieboek havo/vwo voor het onderwijs in de natuurwetenschappen. Groningen: Wolters-Noordhoff
24. Timmers, R., Strik, D., Hamelers, H., Buisman, C. 2010. Long-term performance of a plant microbial fuel cell with *Spartina Anglica*. Applied Microbiology and Biotechnology, 86(3), 973-981.
25. Fennema, S. (2012). Ontwerp van een gadget voor Plant-e. Industrieel ontwerpen, Universiteit Twente
26. MyCom NEDERLAND BV (2012) Portable Speakers <http://www.mycom.nl/Productgroep/Portable-Speakers/26389> (geraadpleegd op 12 september 2012)
27. Europese commissie - Climate Action (2012).Hoeveel verbruiken uw elektrische apparaten? Wat kost u dat? En wat betekent dat voor de CO2-uitstoot? http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/table_appliances_nl.pdf (geraadpleegd op 12 september 2012)
28. Michael Bluejay, Inc. (2012) How much electricity do computers use? <http://michaelbluejay.com/electricity/computers.html> (geraadpleegd op 12 september 2012)
29. deWinkel.nl (2012) Beamers <http://www.dewinkel.nl/211-beamers> (geraadpleegd op 12 september 2012)
30. Collomoduul. (2012). ColloModuul uitgelegd <http://www.collomoduul.nl/collomoduul-uitgelegd> (geraadpleegd op 16 september 2012)
31. DINED (2012). Staand, breedte/omtrek, <http://dined.io.tudelft.nl/dined/nl/> (geraadpleegd op 16 september 2012)

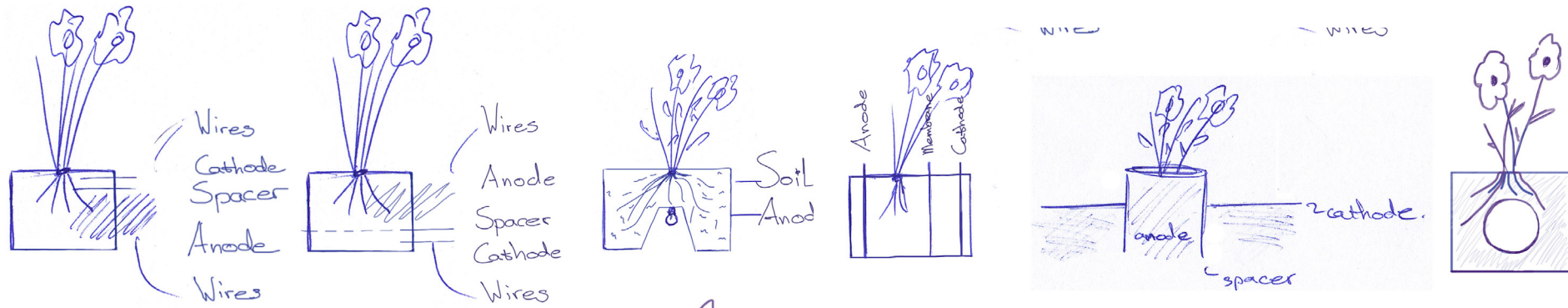
Bijlage I: Programma van eisen

		Stakeholder	Waarde		Referentie	Benaderen in project	Toelichting
1	Eisen ten aanzien van de componenten						
1.1	De PMFC-dak(module) bevat ten minste een plant, tussenlaag, anode, kathode en elektronische schakelingen.	Plant-e	3	1	Plant-e theorie	Ja	
1.2	Er moet genoeg ruimte zijn voor de plant en zijn wortels om te groeien.	Plant-e	3	1,5	Pilot	Extra	Hangt van de type plant af en gedurende dit project wordt gene plant gekozen, dus er kan niet worden geëvalueerd of aan de eis is voldaan.
1.3	De plant mag niet te sterke rhizomes hebben: te lange of te houten wortels.	Plant-e	2	0	Pilot	Nee	Waarde lager dan 3
1.4	Alle componenten mogen niet barsten door bevriezen.	Plant-e	4	1		Nee	Materialen worden niet uitgezocht in dit project.
1.5	Het moet mogelijk zijn om regen- of kraanwater toe te voegen aan het waterreservoir.	Plant-e	4	0		Ja	
1.6	Een waterreservoir moet water geven aan de wortels van de plant.	Plant-e	4	0	Plant-e theorie	Ja	
1.7	Bij overtollig water, moet het water worden afgevoerd.	Plant-e	3	1		Ja	
1.8	De afstand van de anode naar de kathode moet zo kort mogelijk zijn.	Plant-e	3	1	Pilot	Extra	Dit heeft nog meer onderzoek nodig, de optimale afstand is onbekend. De anode moet zo dicht mogelijk bij de wortels.
1.9	Er moet worden voorkomen, dat elektronen van de anode naar de kathode gaan.	Plant-e	4	1	Plant-e theorie	Ja	
1.11	Anode moet geleidend zijn.	Plant-e	4	0	Plant-e theorie	Extra	Materialen worden niet uitgezocht in dit project.
1.12	Als een current collector voor de anode is gebruikt, moet hij zoveel mogelijk contact maken van de anode.	Plant-e	2	0	Plant-e theorie	Nee	Waarde lager dan 3
1.13	De anode en de kathode mogen geen contact maken.	Plant-e	3	1	Pilot	Ja	
1.14	De anode mag niet blootgesteld worden aan lucht/O ₂ .	Plant-e	3	0	Plant-e theorie	Ja	
1.15	De anode moet contact maken met water/H ₂ O.	Plant-e	5	0	Plant-e theorie	Ja	
1.16	De kathode moet aan een kant blootgesteld worden aan lucht/O ₂ .	Plant-e	5	1	Plant-e theorie	Ja	
1.17	De kathode moet aan een kant blootgesteld worden aan water/H ₂ O.	Plant-e	5	0	Plant-e theorie	Ja	
1.18	De kathode moet geleidend zijn.	Plant-e	2	1	Plant-e theorie	Extra	Materialen worden niet uitgezocht in dit project.
1.19	De tussenlaag mag niet beschadigd worden door de wortels van de plant.	Plant-e	3	1	Pilot	Nee	Waarde lager dan 3
1.20	De kathode en tussenlaag moeten genoeg ruimte bieden voor de wortels om te groeien.	Plant-e	3	0	Pilot	Ja	
1.21	De elektronische schakelingen mogen niet roesten.	Plant-e	4	1	Plant-e theorie	Ja	
1.22	Het aantal meter bedrading moet verminderd worden naar 80%.	Plant-e	4	0	Plant-e theorie	Ja	
1.23	Als een component niet functioneert, moet het makkelijk te verplaatsen zijn.	Plant-e	3	1,5	Pilot	Ja	
1.24	De materialen moeten duurzamer zijn dan nu.	Plant-e	3	2	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Materialen worden niet uitgezocht in dit project.
1.25	Er mag geen corrosie ontstaan in de materialen in de komende 30 jaar.	Plant-e	3,5	0	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Materialen worden niet uitgezocht in dit project.
1.26	Alle materialen moeten UV-bestendig zijn.	Plant-e	3,5	0	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Materialen worden niet uitgezocht in dit project.
1.27	De materialen kunnen hergebruikt of gerecycled worden.	Plant-e	3	0	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Materialen worden niet uitgezocht in dit project.

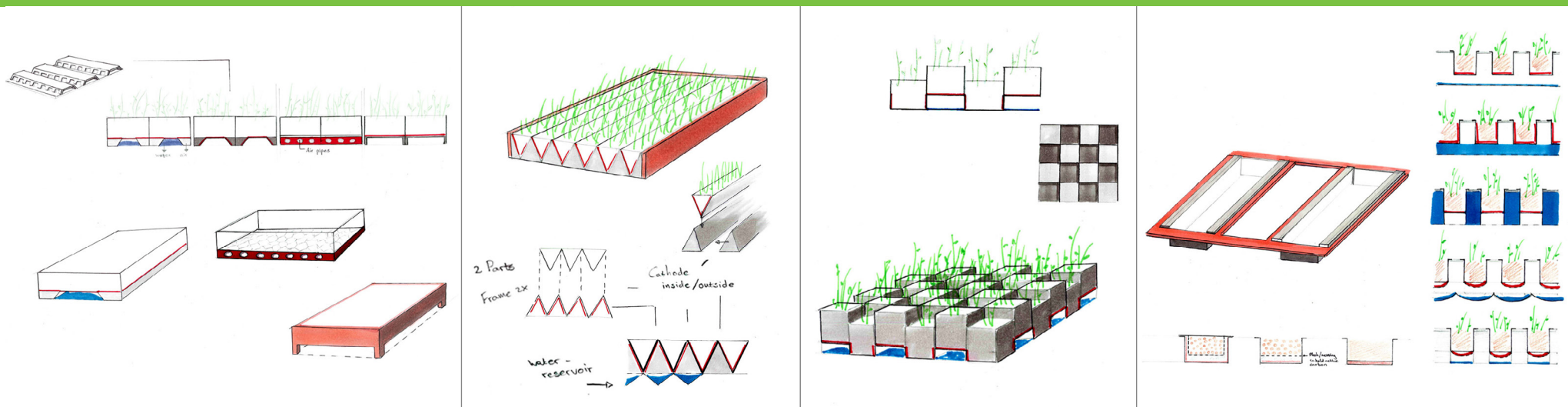
		Stakeholder	Waarde		Referentie	Behandelen in project	Toelichting
2	Dakconstructie						
2.1	De PMFC-dak(module) mag niet het gewicht van 200 kg/ m ² overschiden	Overheid	3	1	(...)	Extra	De maximale belasting hangt af van de dakconstructie, dus de eis staat niet heel erg vast. Het beste is om het gewicht zo laag mogelijk te houden.
2.2	De dakrand moet zich 120 mm boven de vegetatielaag bevinden,	Overheid	x	x	Handboek 2011	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
2.3	Het waterafvoer moet overal vanaf boven geïnspecteerd kunnen worden.	Overheid	3	x	Handboek 2011	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
2.4	Blokkade van het waterafvoer moet voorkomen worden.	Afnemer	3	x	Handboek 2011	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
2.5	De dakconstructie mag geen enkele phototoxische materialen bevatten.	Overheid	4	x	Handboek 2011	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
2.6	De PMFC-dak(module) moet vuurbestendig zijn.	Afnemer	4	x	Handboek 2011	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
2.7	De membraan en bak moeten wortelwerend zijn.	Afnemer	4	x	Green roof systems	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
2.8	De PMFC-dak(modules) moet(en) waterdicht zijn om het dak te beschermen.	Afnemer	4	1	Green roof systems	Ja	
2.9	De PMFC-dak(module) moet groffe deeltjes filteren voor het waterafvoer.	Afnemer	3	x	Green roof systems	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
2.10	Het moet mogelijk zijn om een lek te vinden.	Afnemer	4	1	Green roof systems	Nee	Het heeft geen invloed op het ontwerp en wordt meegenomen in een later stadium.
3	Installatie- en werkomgeving						
3.1	De installatieprocedure moet voldoen aan de Nederlandse arbowetten waaronder het maximale tilgewicht van 25 kg.	Overheid	4	1	Arbo-wetgeving	Ja	
3.2	Het inademen va gevaarlijke materialen en stoffen moet voorkomen worden tijdens de installatie en functioneren.	Overheid	4	1	Arbo-wetgeving	Ja	
3.3	Het moet mogelijk zijn om de installatie van 10 vierkante meter binnen 24 manuur te voltooien.	Afnemer/Plant-e	2	1	(extensive green roof possible to install in 2 hours)	Extra	Snelle en makkelijke installatie is belangrijk, voor de Launching customer echter nog niet
3.4	De installatie moet te begrijpen zijn door laaggeschoolde arbeiders.	Afnemer/Plant-e	3	1	Goedkoope mankracht	Extra	Snelle en makkelijke installatie is belangrijk, voor de Launching customer echter nog niet

		Stakeholder	Waarde		Referentie	Behandelen in project	Toelichting
4	Doelgroep en gebruik van de PMFC-dak(modules)						
4.1	Het moet mogelijk zijn om een kleine hoeveelheid elektriciteit te gebruiken als demonstratie van de functionaliteit van de PMFC-dak(module).	Afnemer	5	1	e-mail/archief	Ja	
4.2	De prestatie van het systeem moet ten minste geregistreerd en zichtbaar zijn bij de PMFC-dak(modules).	Afnemer	3	1	e-mail/archief	Ja	
4.3	De technologie moet zichtbaar zijn naar de bezoekers bij de PMFC-dak(modules).	Afnemer/Plant-e	4	1	e-mail/archief	Ja	
4.4	De PMFC-dak(module) moet een hoogwaardige uitstraling hebben.	Afnemer/Plant-e	4	1	e-mail/archief	Ja	
4.5	De PMFC-dak(module) moet een plezierige omgeving vormen voor de doelgroep.	Afnemer/Plant-e	3	2	e-mail/archief	Ja	
4.6	De PMFC-dak(modules) moet minder dan 16 uur per jaar aan onderhoud nodig hebben.	Plant-e	3	1,5	e-mail/archief	Ja	
4.7	Onderhoud moet mogelijk zijn op alle plekken van het PMFC-dak.	Afnemer	4	1		Ja	
4.8	Het PMFC-dak mag geen vervelende geuren voortbrengen.	Afnemer	2	0	e-mail/archief	Nee	
4.9	Het waterniveau moet meetbaar zijn.	Plant-e	3	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Extra	Dit moet gecombineerd worden met de waterdrainage.
4.10	Het meten van de potentie van de kathode en anode in de PMFC-dakmodule moet mogelijk zijn.	Plant-e	2	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Voor een launching customer hoeven geen metingen te worden uitgevoerd.
4.11	Het meten van de pH in de PMFC-dakmodule moet mogelijk zijn.	Plant-e	2	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Voor een launching customer hoeven geen metingen te worden uitgevoerd.
4.12	Het meten van de interne weerstand in de PMFC-dakmodule moet mogelijk zijn.	Plant-e	2	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Voor een launching customer hoeven geen metingen te worden uitgevoerd.
4.13	Het meten van de temperatuur in de PMFC-dakmodule moet mogelijk zijn.	Plant-e	2	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Voor een launching customer hoeven geen metingen te worden uitgevoerd.
4.14	Het meten van de redox in de PMFC-dakmodule moet mogelijk zijn.	Plant-e	2	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Voor een launching customer hoeven geen metingen te worden uitgevoerd.
4.15	Het meten van de groei van de planten in de PMFC-dakmodule moet mogelijk zijn.	Plant-e	2	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Voor een launching customer hoeven geen metingen te worden uitgevoerd.
4.16	Het meten van het isolatie-effect van de PMFC-dakmodule moet mogelijk zijn.	Plant-e	3	1	Randvoorwaarden pilot NIOO	Nee	Voor een launching customer hoeven geen metingen te worden uitgevoerd.
5	Algemeen						
5.1	De verkoopprijs moet in de toekomst gereduceerd zijn van 1000 euro/m ² tot 150 euro/m ² voor de eindgebruiker.	Afnemer	3	2	e-mail/archief	Nee	Voor het launching product zullen de kosten hoger uitvallen en zij nog onbepaald, dit zou mee worden genomen in een verder ontwerp stadium.
5.2	De PMFC-dak(module) zal in de toekomst 3 W/m ² vermogen leveren.	Plant-e/Afnemer	3	2	Plant-e	Nee	Voor het launching product zal de vermogen nog steeds laag zijn en het verbeteren van het vermogen is een taak voor een volgende stage.
5.3	Als er werkzaamheden plaats moet vinden binnen 2-meter afstand van de dakrand, bij een gebouw hoger dan 3 m. moeten veiligheids maatregelen genomen worden	Overheid	4	x	Handboek 2011	Nee	Dit zal niet veel effect hebben op het ontwerp, dit zal in een volgend stadium worden meegenomen.
5.4	Het moet mogelijk zijn om een PMFC-dak te maken van ten minste 50 m ² .	Plant-e	1	x	Plant-e theorie	Extra	Er is niet echt een maximum oppervlakte.
5.5	De totale afmetingen van de PMFC-dak kunnen aangepast worden aan de maten van het dak.	Plant-e	3	1	e-mail/archief	Extra	Het is belangrijk maar hoeft nog niet

Bijlage II: Morfologisch schema



	Main problems to solve	Options			
Principles		1	2	3	
1	Construction, configuration and separation of the layers: anode, current collector, cathode en tussenlaag	Horizontal: cathode on top with holes for the plants and anode at the bottom		Horizontal: anode on top, cathode at the bottom	
		Cost effective system	Possible not 24 hours power-output	Good solution between cost effective and power output	Complex to keep the cathode oxygenated
		Easily to produce	Cathode is easily influence by the weather	Don't need any holes in the spacer and cathode for the plants.	Need space underneath the cathode
		Already proven outside the lab	Roots are growing upwards Anode is flowing up and contacting the cathode	Cathode isn't influenced by weather	Strengthen the spacer for preventing deflection Difficult to keep the anode anoxic
		4	5	Vertical: thin plate system	
		Horizontal tube of cathode through anode		Vertical tubesystem	
		Cathode isn't influenced by weather	Cathode doesn't have a lot of contact with the air	The system can be build up out of little blocks	High internal resistance
		Cathode can't be harmed by the plant	Expensive membrane		Cathode doesn't connect with the same water as anode
		Cathode and anode aren't able to contact each other			Need to cover the anode
		Don't need any holes in the spacer and cathode for the plants.			Very labour intensive to install
					Cathode is influenced by weather



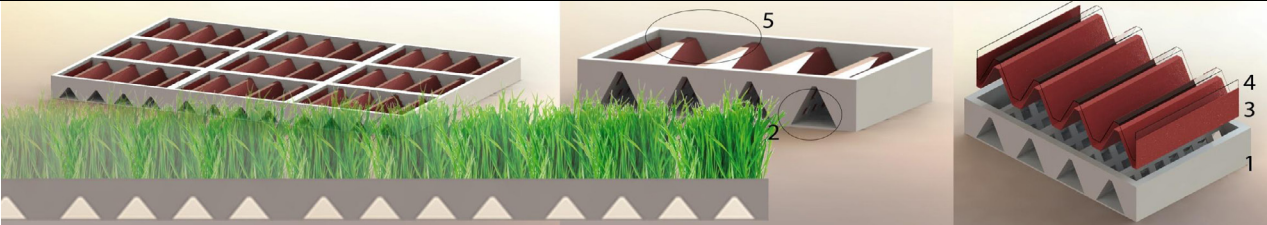
Belangrijkste problemen		Opties	
Eerste fase	Constructie en configuratie met de 1 kathode op de bodem	1	
		Modules met luchtgangen onder de bodem	
		Makkelijke installatie	Waterdicht maken wordt moeilijk
		Grote kathode	
		Relatief kleinere anode	
		Minder gewicht per m2	
		2	
		Lucht pijpen door de module	
		Contact met lucht wordt vergroot	Moeilijke constructie
		Het dak wordt nog steeds geïsoleerd	
		3	
		Bakken op een verhoging/ met pootjes	
		Makkelijke constructie	Bakken kunnen mogelijk gaan doorbuigen
		Planten bedekken de hele oppervlakte	
		Mogelijk goedkope oplossing (gebruik standaardonderdelen)	
		4	
		Hangende bakken aan een frame	
		Makkelijke te installeren op het dak	Bakken kunnen mogelijk gaan doorbuigen
		Bakken kunnen makkelijk vervangen worden	Oppervlakte niet volledig bedekt met planten
		Het systeem kan verhoogd worden, een demonstratie effect	Afmetingen systeem gerelateerd aan het frame
		5	
		Driehoek systeem	
		Makkelijke te installeren op het dak	Verschuiven van losse driehoeken
		Grote kathode	
		Relatief kleinere anode	
		Minder gewicht per m2	
		6	
		Kleine bakken	
		De totale afmetingen van het systeem zijn variabel	Veel materiaalgebruik voor de bakken en schakelingen
		Ziet er apart uit	Moeilijke constructie
			Meer tijd nodig voor de installatie op het dak

Two concepts

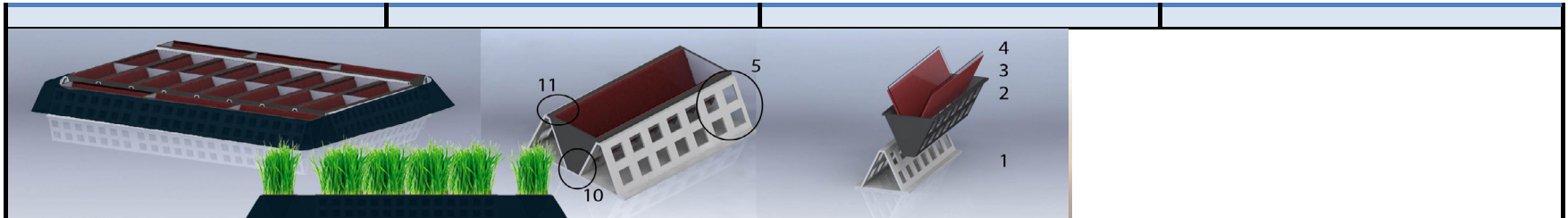
1

Detail

1 Kathode: water en zuurstof

1							
							
Concept Driehoek 1 bestaat uit een bak (1) inclusief een driehoek frame. In de driehoeken bevinden zich gaten (2) om zuurstof te transporteren naar de kathode. Bovenop het frame, dus op de bodem van de bak, ligt een samengeperst doek van koolstof (3) en een membraan (4), met het membraan bovenop. Het membraan moet waterdicht aan de bak (5) vast gemaakt worden, zodat de kathode volledig gescheiden is van de anode. De bak wordt gevuld met actief kool, water en planten. De anode moet bedekt worden met bijvoorbeeld potgrond, stenen etc. In figuur 11 is een overzicht van een hele plot weergegeven, een vooraanzicht met planten, een 3D aanzicht van een module en een exploded view.							
Kant-en-klare module, er hoeft nog maar weinig constructiewerk op het dak plaats te vinden. De module is stijf en gesloten aan alle kanten. De hele oppervlakte kan bedekt worden met planten.				De module kan maar in een richting geplaatst worden, wat de totale afmetingen limeeert. De verbinding tussen de module en membraan moet waterdicht zijn (5). Als een component vervangen moet worden, moet de hele module vervangen worden. Het effect van het bevriezen van water op deze vorm van de bak is onbekend.			
1		2		3		4	
Frame met de kathode-koolstofdoek over frame		Frame met kathode- koolstofdoek buiten (onder) de bak		Kathode-korrels in de module, afgescheiden met membraan			
Dichtbij de anode		Membraan kan ook aan de buitenkant		Goedkoper		Lastige te produceren: zakt naar laagste punt	
Volledige oppervlakte kathode wordt benut		Interne weerstand					
		Minder oppervlakte van de kathode wordt benut					

Two concepts



Concept Driehoek 2 bestaat uit een bodemframe (1) en een bovenbak (2). De kathode (3) ligt samen met het membraan (4) in de bovenste bak. Het bodemframe en de bovenbak hebben allebei dezelfde gaten (5) voor zuurstof. Het membraan moet waterdicht aan de bovenbak vast gemaakt worden, zodat de kathode volledig gescheiden is van de anode. De bovenbak wordt gevuld met actief kool, water en planten. De anode moet bedekt worden met bijvoorbeeld potgrond, stenen etc. Het bodemframe moet stijf zijn om het gewicht van de bovenbak te kunnen dragen. De bovenbak mag wat flexibel zijn, zodat deze tijdens vorst uit kan zetten.

Meerdere vormen/afmetingen van het totale systeem zijn mogelijk.

Compact transport is mogelijk.

Het bovenste frame kan gemaakt worden van flexibel materiaal, welke kan uitzetten tijdens het bevroren van water.

Er is meer tijd nodig voor installatie op het dak zelf.

De onderste frames moeten aan elkaar verbonden worden. Dit is een zwak punt van de constructie.

Arbeidsintensief om te installeren.

De verbinding membraan en bovenste frame moet waterdicht zijn.

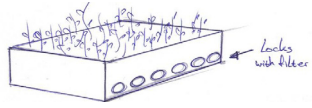
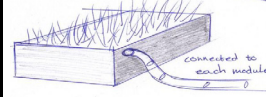
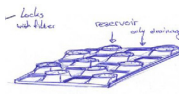
Als modules loodrecht op elkaar geplaatst worden ontstaan er gaten tussen de planten. Dit is te zien in het vooraanzicht in figuur 15.

Er is een relatief kleine oppervlakte per elektrische verbinding naar de volgende module. Aangezien de verbindingen kostbaar zijn, is dit

Detail

	1	2	3	4
1 Kathode: water en zuurstof	Bodemframe met kathode onderop (korrels/koolstof doek) Ver van de anode Grote interne weerstand	Bodemframe met kathode bovenop (korrels/koolstof doek) Dichtbij de anode	Kathode zit vast aan de bovenbak Dichtbij de anode Verkleint interne weerstand	
2 Anode vorm en materiaal	Stijf met gaten De bak zal niet uitzetten door water, maar overstroomt Niet nodig om te verbinden aan de bodemframe	Plastic zak met gaten: membraan aan de buitenkant Waterdicht Niet duurzaam Membraan kan eraan gesmolten worden Zal uitzetten door water	gaten in een flexibele bak met de membraan binnenin Waterdicht Zal hij scheuren?	
3 Plaatsen anode op kathode	Inkeping in bodemframe maken, waarin de bovenste bak ingelegd kan worden Simpel Moeilijk Is de houder sterk genoeg? 2 naburige bakken worden op elkaar gestapeld	Insteken Makkelijke te verplaatsen Is dit sterk genoeg?	Niet vastmaken: een stijf materiaal voor de bovenste frame gebruiken Hoef niet te worden vastgemaakt Verschuivingen	Klittenband Goedkoop Kan tegen water
4 Vast maken aan onderste frame	Frame Houd het systeem bij elkaar Extra materiaal Frame moet op maat gemaakt worden	In elkaar haken Geen extra materiaal nodig	Riem/gesp Relatief makkelijk weer los te koppelen Roest? Extra materiaal Extra handelingen tijdens de plaatsing	Plaatje vast schroeven aan twee bodemframes Extra materiaal Veel extra handelingen tijdens de plaatsing

Detail		1		2		3		4	
5	De membraan waterdicht bevestigen	Binnen frame/zak		Verticaal frame binnenin plaatsen		Horizontaal frame op de bodem		Lijmen (koolstofdoek kleiner dan de membraan	
		Vrijwel zeker dat het werkt	Extra materiaal nodig	Werkt	Extra materiaal nodig	Niet zichtbaar aan de bovenkant	Blokkeert de kathode	Simpele bewerking	Veel lijm nodig
		Machinaal goed te doen	Hoe vast te maken aan de randen boven?	Machinaal goed te doen	Hoe vast te maken?		Hoe vast te maken?		Niet duurzaam Het is niet meer te vervangen
		5		6		7			
6	Modules vast maken aan het dak	Het membraan aan de bak lassen		Gaten in de hoeken boren en over het geheel een rubber lijn insteken		De bodem en zijanten zijn twee verschillende stukken			
		Effectief	Niet met alle materialen mogelijk Het is niet te vervangen	Makkelijk	Rubber steekt uit, niet handig ivm het tegen elkaar schuiven Verwakt module Een paar gaten genoeg of hele omtrek nodig?	Geen extra bevestiging nodig	Hoe vast maken?		
		1		2		3		4	
		Modules op een frame zetten		Samenbinden		Windscherm plaatsen		Een buitenrand omheen plaatsen	
		Vormt 1 geheel van de modules	Extra onderdelen Frame moet op maat gemaakt worden	Verschillende afmetingen van het systeem zijn mogelijk	Veel extra constructie werk nodig Lijkt al gauw houtje-touwtje		Blokkeert het zicht	Kan het systeem mooi afwerken Vormt 1 geheel van de modules	Moet op maat gemaakt worden

Belangrijkste problemen		Opties									
Derde fase		1	2	3	4	5					
1	Drainage/waterniveau controle										
		Automatische sensor, meter en pomp		Sluizen met een filter op de bodem		Sluizen bovenaan		Drainage laag, spouw/wateropslag laag		Extra container voor wateropslag	
		Onderhoud zich zelf	Duur	Geen elektriciteit nodig	Dakhoogte gelijk aan grond van de module Irrigatiekanaal langs zij is nodig	No electrical power needed	The water is already too high	Minder vaak nodig om handmatig water toe te voegen	Zwaar Beperkt in de ruimte	Geen kraanwater meer nodig om toe te voegen	Een pomp nodig Zwaar
2	Uitstraling	Bedek anode met: aarde, zand, stenen schelpen etc.		Organische vormen van de modules		Natuurlijk materiaal van de modules, als steen, marmer, hout		Kleur		Inspirerende vormen link component	
		Scheidt anode van de lucht	Aarde mengt met de anode	Geeft speels effect	Niet efficient in gebruik	Creeert natuurlijke uitstraling	Beperkte mogelijkheden ivm productie	Kan gebruikt worden om contrasten aan te brengen	Beperkte verbetering in uitstraling	Alle variaties mogelijk Benadrukt de schakelingen	Valt heel erg op Veel vormpjes nodig
3	Demonstratie en feedback naar de gebruiker	Doe-het-zelf-kit		Een monitor met de huidige data		Houder met een -meeneem-specificatie blad		Een stopcontact voor het opladen van mobiel		Een waterpomp dmv de PMFC-dakmodules	
		Handig voor demonstratie	Staat los van de modules	Resultaat is zichtbaar	Gebruiker weet nog niet meteen wat hij ermee kan	Geschikt voor een expositie	Blaadjes waaien weg	Toepassing is zichtbaar	Nog niet mogelijk	Systeem onderhoud zichzelf	Speekt niet echt mensen aan

Bijlage III: Afmetingen en simulaties

Voor de simulaties zijn de volgende gegevens gebruikt:

Standaard onderframe van een driehoek: 139,5 mm breed x 358 mm hoog

Componenten	Materiaal	Dichtheid
Bak:	PP Copolymer	890 kg/m ³
Kathode:	Koolstofdoek	4,6 kg/m ³
Mengsel van	40% water	1000 kg/m ³
	40% actief kool	400 kg /m ³
	20% aarde	700 kg/m ³

Afmetingen 600 mm x 400 mm

Onderframe een driehoek: 105x 385 mm

Onderframe half: 60 x 385 mm

Dikte zijkant bak: 7,5 mm

Lengte koolstofdoek: 85 cm

Componenten	Volume	Gewicht
Bodem bak:	1,9 L	1,6 kg
Zijkant bak:	1,6 L	1,3 kg
Kathode:	0,7 L	3 gram
Membraan:	0,7 L	1 gram
Mengsel	1,4 L	10 kg
Totaal:	19 L	~13 kg

Afmetingen 400 x 600 mm

Onderframe een driehoek: 105 x 585 mm

Onderframe half: 60 x 585 mm

Dikte zijkant bak: 12,5 mm

Lengte koolstofdoek: 66 cm

Componenten	Volume	Gewicht
Bodem bak:	2,2 L	1,9 kg
Zijkant bak:	2,9 L	2,5 kg
Kathode:	0,8 L	3 gram
Membraan:	0,8 L	2 gram
Mengsel:	16,8 L	11 kg
Totaal:	23,4 L	~16 kg

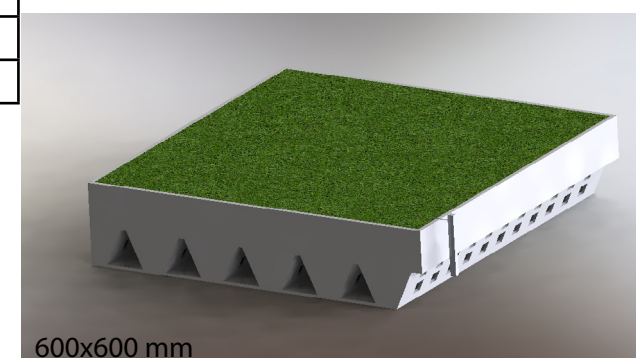
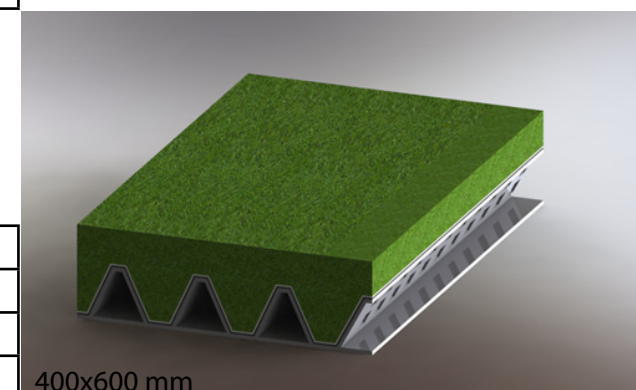
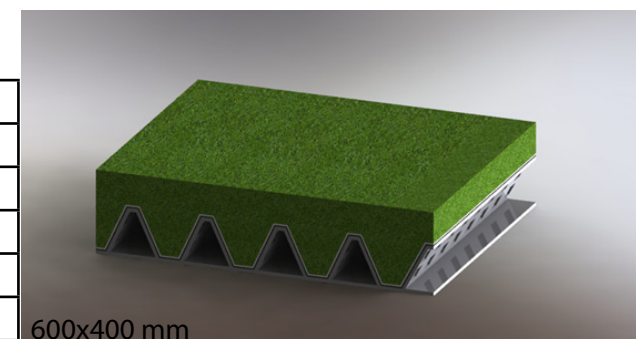
Afmetingen 600 x 600 mm

Onderframe een driehoek: 105 x 585 mm

Dikte zijkant bak: 7,5 cm

Lengte koolstofdoek: 98 cm

Componenten	Volume	Gewicht
Bodem bak:	3,5 L	3 kg
Zijkant bak:	1,8 L	1,7 kg
Kathode:	1,1 L	5 gram
Membraan:	1,2 L	3 gram
Mengsel:	32,4 L	22,6 kg
Totaal:	40 L	27 kg



Bijlage IV: Kostenschatting

Onderdelen	Materiaal gegevens		Per module		16 modules	2,4m x 2,4m=5,7 m ²
	Materiaal	Prijs (€)	Afmetingen	Volume	Hoeveelheid	Totaal (€)
Bak	Polypropyleen, gerecycled materiaal	1,5 - 4 / kg	0,6 x 0,6 x 0,14 m	5kg / 5,7 l	16	480
Kathode	viscose rayon en gecarboniseerd	168/m ²	54 cm x 98 cm	0,52 m ²	8,4 m ²	1406,04
Membraan	"ion exchange membrane"	45 / m ²	58 cm x 98 cm	0,56 m ²	8,96 m ²	403,2
Actief kool	Actief kool korrels (GAC)	1,56 / kg		16 L	256 L	138,776
Potgrond		8 / 50 L of 6 / 100 L		2 L	32 L	5,12
Current collector kathode	Gouddraad	31,1/ m	5 cm		0,8 m	25
Koperdraad	Koperdraad met teflon laag	26,26 / 30 m	25 cm		4,25 m	26,26
Lijm	Draad lijm	8,45 / 1 stuk en 7,77/ 10 stuks 4,75/ 20 stuk en		0,5 ml	1x	8,45
Current collector anode	Grafiet staaf	1,40/50 stuks			16	76
					Totaal:	~2569
					160	/module
					446	/m ²

280 modules		24x4,2=100,8 m²
Hoeveelheid	Totaal (€)	Verkoper/producent
280	6300	http://www.designerdata.nl/index.php?subj=7&subject=7&lang=en&PHPSESSID=84ca0ad57352d72392fbad5e467a7949
150m ²	25200	MAST Carbon: http://ctex.mastcarbon.co.uk/cloth_products.php
160m ²	7200	FUMA tech: http://www.fumatech.com/EN/Onlineshop/fumasep-for-Electro-membrane-processes/Anionenautauscher-membranen/
4480 L	2430	Norit carbon; Norit PK 0,25-1, which is produced by steam activation.
560 L	23,6	http://www.eurocompostwebwinkel.be/eshop/product.php?id_product=21
14 m	435,4	
70 m	52	http://uk.rs-online.com/web/p/hookup-equipment-wire/1771107/
20x	155,4	http://www.conrad.de/ce/de/product/588328/LEITKLEBER-WIRE-GLUE
280x	392	Muller und rossner graifet staafjes
Totaal:	~41798	
150	/module	
415	/m ²	