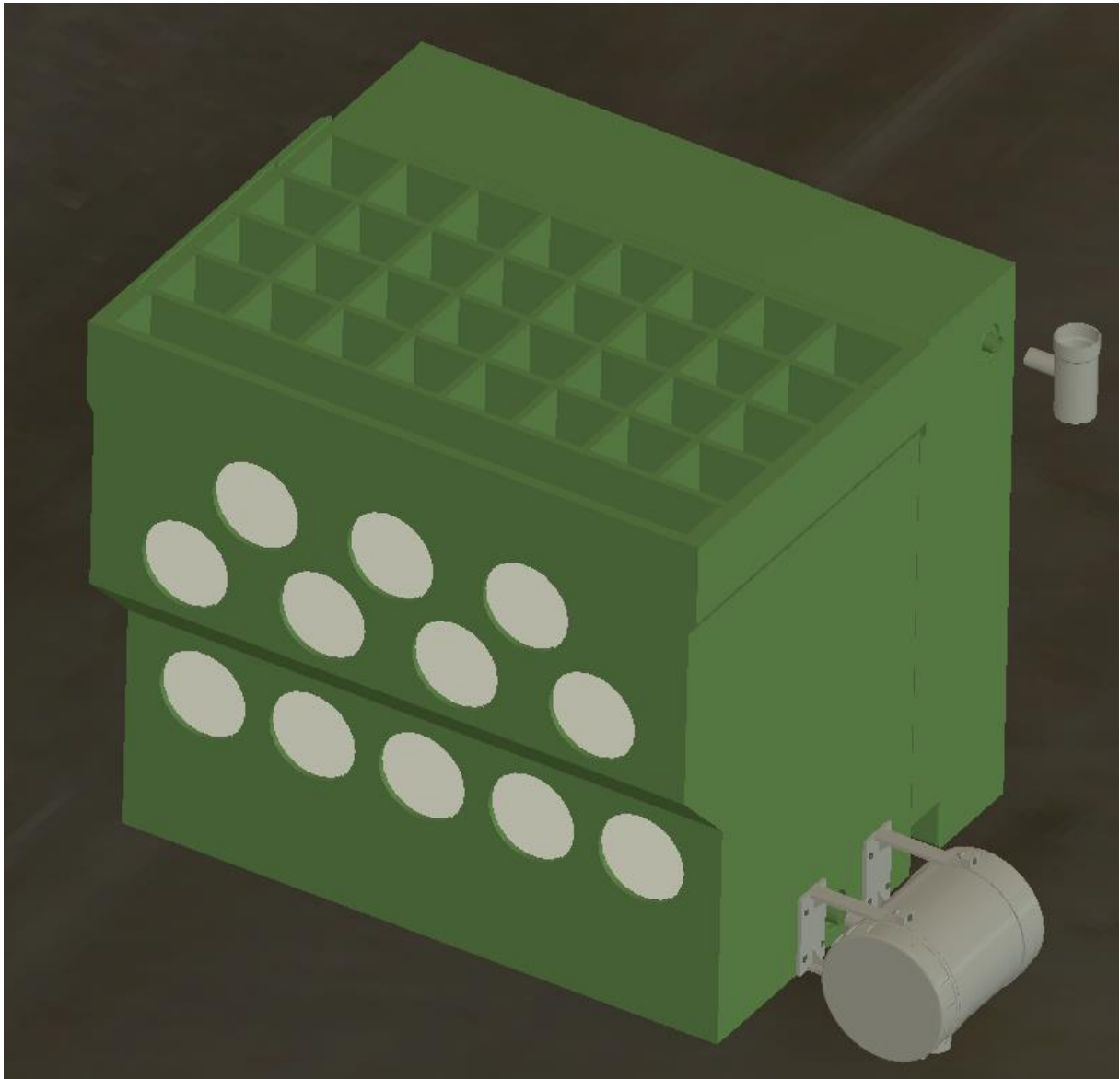


Groene gevel



Matthijs Monkelbaan

Groene gevel

Eindrapport afstudeerstage

Matthijs Monkelbaan

12103837

Delft

18-3-2016

De Dakdokters BV.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1. Inleiding	4
2. Projectplan	5
2.1. Achtergrondinformatie.....	5
2.1.1. De Dakdokters	5
2.1.2. Amsterdam	7
2.2. Probleemstelling.....	7
2.3. Doelstelling.....	9
2.3.1. Ontwerpvisie	9
2.4. Opdracht/producten	9
2.5. Methode.....	9
2.6. Afbakening.....	9
2.7. Randvoorwaarden	9
3. Analysefase.....	10
3.1. Wat zijn groene gevels?	10
3.2. Onderzoek wateropslag	15
3.2.1. Verdamping door planten	16
3.2.2. Toekomstig weerbeeld	18
3.2.3. Grootte wateropslag	20
3.3. Conclusies.....	20
4. Ontwerpfase.....	21
4.1. Functieboom	21
4.2. Conceptvorming	21
4.2.1. Keuze voor type groene gevel.....	22
4.2.2. Morfologisch overzicht.....	22
4.2.3. Concept 1: All-in gevel.....	24
4.2.4. Concept 2: zakken gevel.....	25
4.2.5. Concept 3: dubbele opslag	26
4.3. Keuzematrix.....	27
4.4. Het eerste ontwerp	28
4.4.1. Keuze frame materiaal	31
4.5. Conclusie ontwerpfase	31
5. Detailleringsfase	32
5.1. Watermanagement	32
5.2. Planten.....	33
5.3. Materiaalkeuze	34

5.4. Onderhoud aan de groene gevel.....	34
5.5. Van tekening naar de praktijk	35
6. Conclusies & aanbevelingen.....	39
6.1. Conclusies.....	39
6.2. Aanbevelingen.....	39
Literatuurlijst	40
Bijlage I Pakket van eisen en wensen	41
Bijlage II Kerncijfers KNMI'14 klimaatscenario's	42
Bijlage III Lijst van planten.....	47
Bijlage IV Gegevens en berekeningen ontwerp	48
Bijlage V Gegevens PLA	50

Samenvatting

Dit rapport is het verslag van een afstuderstage bij De Dakdokters B.V. over het ontwerpen van een groene gevel. De Dakdokters is actief in het aanleggen van daken waar planten op groeien, groene daken en hebben als missie de stad gezond te maken.

Het gezond maken van de stad kan door meer planten te laten groeien in de stad. Planten zorgen er namelijk voor dat problemen die veroorzaakt worden door gebouwen en wegen worden opgelost. Daarnaast wordt de luchtkwaliteit beter. Groene gevels worden echter bijna niet toegepast in de stad. Dit komt door een ongelijke verdeling van de kosten en baten van groene gevels over de verschillende stakeholders. Het ontwerp in dit rapport heeft als doel om de kosten te verkleinen en de baten te vergroten voor de eigenaar van de gevel.

Groene gevels zijn er in 6 verschillende vormen en zijn op te delen in twee types, groeiend vanuit de grond of vanuit bakken die aan de gevel worden gehangen. Om de kosten te verlagen is opslag van regenwater nodig, de hoeveelheid moet genoeg zijn om de waterbehoefte van de planten te voorzien, maar ook om buien op te vangen en zo de stad leefbaarder te maken.

De groene gevel die ontworpen is bestaat uit stapelbare modules die veel grond bevatten en ruimte hebben voor wateropslag. De hele installatie werkt passief, dus zonder pompen en met zo min mogelijk regeling van buitenaf. Ook het bewateren van de planten gebeurt passief door de grond het water omhoog te laten trekken van onderaf.

Om dat te bereiken wordt van slimme maar simpele technieken gebruik gemaakt, zoals bijvoorbeeld een klep die het waterniveau controleert door een drijvend element als hefboom te gebruiken. Of door een onderdeel dat automatisch de wateropslag vult, maar als de opslag vol zit er voor zorgt dat deze niet overstroomd. Het hele ontwerp wordt tot slot uitgewerkt voor een woonhuis waarbij een gevel groen gemaakt wordt met het ontwerp.

1. Inleiding

Dit rapport is een verslaglegging van de afstudeerstage bij de Dakdokters B.V. De Dakdoksters is een bedrijf dat groene daken aanlegt in Amsterdam. Groene daken zijn daken waar planten op kunnen groeien. De missie van De Dakdokters is om de stad gezond te maken en dat doen zij met planten en sinds 2013 ook met water door water op te slaan op de daken. De stad is groter dan alleen daken en daarom is dit project gestart om ook de gevels van Amsterdam gezonder te maken.

Groene gevels kunnen een oplossing zijn voor de problemen in de stad die veroorzaakt worden door de gebouwen en wegen. Echter worden er nog maar weinig gebouwen gebouwd met een groene gevel. De reden hiervoor blijkt een complexe verhouding tussen kosten en baten. Het probleem wat het ontwerp binnen project moet oplossen is dat ook het vergroten van de voordelen en het verkleinen van de kosten van een groene gevel.

In dit verslag wordt het ontwerpproces van probleemstelling tot het detailontwerp behandeld in vier fases. Deze fases volgen de ontwerpmethodiek en zijn de oriëntatiefase, analysefase, ontwerpfase en detailfase. Iedere fase heeft zijn eigen hoofdstuk.

De oriëntatiefase omvat het projectplan. In het projectplan wordt de context van het project behandeld met daarna de probleemstelling, opdracht en doelstelling. De volgende fase is de analysefase, in deze fase worden onderzoeken uitgevoerd en wordt extra kennis verzameld om het project beter uit te kunnen voeren. In de ontwerpfase wordt vervolgens aan de hand van een functieboom een morfologisch overzicht gemaakt. Uit het morfologisch overzicht worden concepten gemaakt waarvan het beste concept gekozen wordt en uitgewerkt wordt tot een ontwerp. Met het ontwerp wordt in de detailfase doorgewerkt en worden de technische details gespecificeerd. Tot slot komen in het zesde hoofdstuk de conclusies en aanbevelingen over het project.

2. Projectplan

Dit hoofdstuk bevat achtergrondinformatie, de analyse van het probleem, met de daar bij behorende probleemstelling, de opdracht en de producten en doelstelling. Naast de analyse wordt er behandeld welke methode voor het project wordt gebruikt, wat de afbakening van het project is en welke randvoorwaarden er gelden voor het project.

2.1. Achtergrondinformatie

In deze paragraaf wordt de achtergrondinformatie behandeld. Hierbij gaat het over het bedrijf waar de afstudeerstage plaats vindt, een uitleg over het begrip groene gevel en tot slot informatie over Amsterdam.

2.1.1. De Dakdokters

Het project vindt plaats bij De Dakdokters B.V. Dit is een jong, groeiend bedrijf wat groendaken aanlegt in Amsterdam. In figuur 1 is een groendak te zien. Een groendak is een dak waarop een aantal waterkerende en -houdende lagen zijn aangebracht zodat op het dak planten kunnen groeien. In principe kan dit iedere soort plant zijn, van grassen tot bomen, maar Sedum planten worden vaak toegepast door het geringe gewicht en de capaciteit om lang zonder water te kunnen overleven. Een aantal voordelen van een groen dak zijn:

- langere levensduur dan een bitumen dak.
- Isolerende werking
- Esthetisch voordeel
- Mogelijkheid tot voedselproductie
- Verbetering van de luchtkwaliteit (CO₂, NO_x, Fijnstof)



Figuur 1: Een groendak. Bron: dakdokters.nl

De Dakdokters heeft een aantal bedrijfsthema's waar het op richt. Het eerste thema is biodiversiteit. Dit houdt in dat door planten te laten groeien op daken de biodiversiteit toeneemt in de steden, zowel voor planten als voor dieren. Insecten zoals bijen en vogels profiteren hier vooral van. Het tweede thema is recreatie. Door daken in te zetten als een tuin wanneer het dak toegankelijk is voor mensen wordt extra recreatieruimte gecreëerd in de stad. Het derde thema is water. Door klimaatverandering komen steeds vaker zware en/of lange buien voor. Door deze veranderingen, gecombineerd met verstedelijking komt het steeds vaker voor dat steden wateroverlast hebben door regenval. De Dakdokters willen dit oplossen door meer water op te vangen op daken. Het vierde thema is voedsel. Op daktuinen kan ook voedsel verbouwd worden. Zo kan voedsel geproduceerd worden in de steden. Waardoor bijna geen transport nodig. Het vijfde en laatste thema is energie.

Zoals hierboven al genoemd is bieden groendaken extra isolatie op daken wat de vraag naar warmte en koude af doet nemen. Zonnepanelen kunnen ook gecombineerd worden met groendaken. Dit heeft een positief effect op de zonnepanelen omdat de efficiëntie afneemt bij hogere temperaturen. De planten en het vocht wat vastgehouden wordt in het groendak koelen de zonnepanelen waardoor de efficiëntie toeneemt.

Voor het thema water hebben De Dakdokters het Polderdak bedacht. Dit is een groendak waarin ruimte gecreëerd is om water op te slaan door middel van kunststof pallets. Dit is te zien in figuur 2. Wanneer het langere tijd of hard regent vult het dak zich met water wanneer de laag met planten verzadigd is. Als het gestopt is met regenen en de druk op het riool is afgenomen kan het water alsnog geloosd worden. Dit gebeurt met de sluis in figuur 3.



Figuur 2: Opbouw polderdak. Bron: dakdokters.nl



Figuur 3: Sluis van het Polderdak. Bron: dakdokters.nl

2.1.2. Amsterdam

De gemeente heeft doelen gesteld voor 2020 op het gebied van Duurzame energie, luchtkwaliteit, circulaire economie en klimaatbestendigheid.

Op gebied van energie richt de gemeente zich op het vergroten van het aandeel zonne-energie en het aansluiten van bestaande gebouwen op het warmtenet. Daarnaast wil de gemeente de luchtkwaliteit voornamelijk verbeteren door de mobiliteit te verduurzamen en het aanplanten van meer groen. Op het gebied van circulaire economie wil de stad zijn afvalstroom verkleinen (65% van het huisvuil scheiden) en het stimuleren van bedrijven en projecten op gebied van onderzoek en 7 principes van de circulaire economie opgesteld door de gemeente. Tot slot wil de gemeente de klimaatbestendigheid van de stad vergroten door beter om te gaan met wateropslag. Hiervoor is Amsterdam Rainproof het centrum.

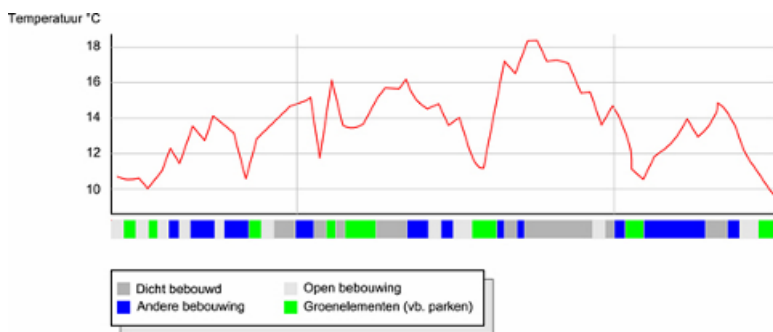
Deze doelen hebben geresulteerd in het uitschrijven van een subsidie voor 2016-2018 voor groene daken en gevels. De subsidie bedraagt €20-50/m² voor groene daken afhankelijk van de wateropslag capaciteit. Groene gevels kunnen €50/m² subsidie krijgen (met een maximum van €50.000 per jaar).

2.2. Probleemstelling

De laatste twee eeuwen is de economische activiteit zich gaan concentreren in steden. Dit heeft er voor gezorgd dat steden de motor voor de economie zijn geworden. Volgens de Cohesian policy 2014-2020 (EU 2014) woont bijna 70% van de Europese bevolking in steden of stedelijk gebied. En die stedelijke gebieden zorgen voor twee derde van het Europese BBP. Door het concentreren van de bevolking en de economie worden ook problemen geconcentreerd. Zaken als werkloosheid, armoede en de druk op het milieu worden versterkt binnen de stad ten opzichte van het platteland.

De grootste fysieke problemen waar westerse steden mee te maken hebben zijn het hitte eiland effect, wateroverlast, luchtkwaliteit en energieverbruik. Deze problemen worden veroorzaakt door de manier waarop gebouwen worden ontworpen en gebouwd.

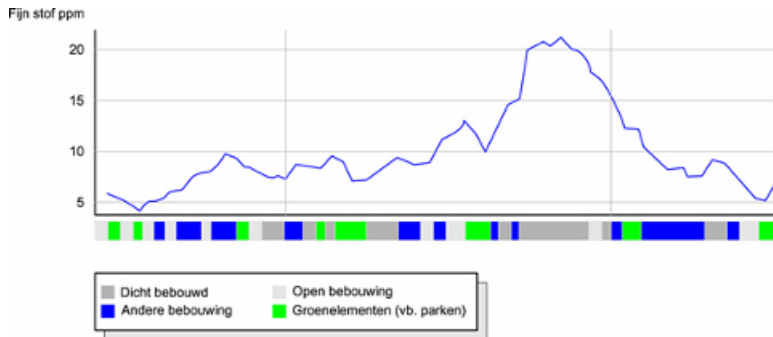
Het hitte eiland effect is te zien in figuur 4, waar bebouwing is neemt de temperatuur toe en bij groenelementen is de temperatuur lager. Volgens Gevels in 't groen (Hendriks 2008) houden steenachtige materialen (gevels en bestrating) warmte veel langer vast waardoor de omgeving minder afkoelt in de nacht. De verdamping van planten zorgt voor een verkoeling van de omgeving. Per liter water wordt er 0,7kWh onttrokken uit de lucht.



Figuur 4: Gemiddelde temperatuur langs een zuidoost-noordwesttraject door Berlijn. Bron: Gevels in 't Groen. Hendriks 2008

Wateroverlast wordt veroorzaakt door een groot aandeel verhard oppervlak in het stedelijk gebied. Onder dit verharde oppervlak vallen wegen, trottoirs, gebouwen, pleinen etc. Wanneer het regent kan het water niet door de grond opgenomen worden omdat het verharde oppervlak geen water doorlaat. Het gevolg is dat al het regenwater in korte tijd afgevoerd moet worden door het riool. Het vergroten van de capaciteit van het riool is erg kostbaar en onnodig. Wanneer regenwater wordt vertraagd of wordt opgenomen in de grond neemt het afvoer debiet af. Het vertragen en opnemen van water kan door waterdoorlatende oppervlakken en groen. Specifieke voorbeelden zijn te vinden op: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen>.

Volgens Gevels in 't groen (Hendriks 2008) is in stedelijke gebieden een verhoging van de concentratie fijnstof (grotere deeltjes PM10 en kleinere deeltjes PM2.5) en gassen (CO₂, NO_x, SO₂) door economische activiteiten. Planten kunnen deze deeltjes zuiveren door opname via huidmondjes (voor gassen en PM2.5) en het vastleggen aan oppervlakken zoals bladeren en takken (PM10). Groene gevels zijn erg effectief omdat de deeltjes door de wind tegen de planten geblazen wordt. In figuur 5 is het effect van groen op de luchtvervuiling te zien.



Figuur 5: Fijnstofconcentraties langs hetzelfde traject als in figuur 4.

Volgens UN Habitat verbruiken steden 75% van de beschikbare primaire energie en stoten 60% van alle CO₂ uit. Volgens de NOS wordt 40% van de energie gebruikt door gebouwen. Die gebruiken de energie voor verwarming, koeling, verlichting en apparatuur. Wil de stad duurzaam worden zullen alle gebouwen energieneutraal moeten worden. Dat houdt in dat gebouwen evenveel energie opwekken als dat ze gebruiken. Besparingen kunnen worden gemaakt door zonwering en door het gebouw beter te isoleren. Het toevoegen van thermische massa lijkt ook een voordeel, maar volgens het boek duurzame energietechniek (Ouwehand et. al 2014) werkt het toevoegen van thermische massa alleen als de massa zich in de binnenruimte bevindt.

Zoals hierboven al een paar keer gesuggereerd is zijn de problemen in veel gevallen op te lossen door planten. Planten verbeteren de luchtkwaliteit, verminderen het hitte eiland effect, vertragen het wegspoelen van regenwater en houden regenwater vast. Voor zowel groene gevels als voor groene daken is er sprake van een split incentive. Een situatie waarbij de voordelen van een investering niet of slechts deels bij de investeerder liggen. In het geval van groene gevels en groendaken liggen de grootste baten bij de gemeente en het waterschap.

Om meer groen in de stad te krijgen moet het investeren in een groene gevel aantrekkelijker worden. Dat houdt in dat er meer baten tegenover de kosten moeten staan en dat de kosten zo veel mogelijk worden teruggedrongen. De baten kunnen worden ingedeeld in direct beïnvloedbare baten en indirect beïnvloedbare baten in de tabel zijn voorbeeld opgenomen.

Direct beïnvloedbare baten	Indirect beïnvloedbare baten
Aanschafkosten	LEED en BREEAM certificatie
Onderhoudskosten	Subsidie
Gebruikskosten	Regelgeving
Energieverbruik van het gebouw	Verbeteren leefomgeving
Verkleinen risico's (overlast)	Productiviteit/blijdschap gebruikers

Hierbij zijn de direct beïnvloedbare baten eenvoudig te verwerken in het ontwerp en goed te meten. De indirect beïnvloedbare baten zijn lastig te meten en lastig te realiseren omdat ze vaak door beleid gevormd moeten worden.

2.3. Doelstelling

De hoofddoelstelling is: de directe baten van de groene gevel vergroten.

Deelstellingen zijn:

- De groene gevel passief laten functioneren met zo min mogelijk regeling.
- Zo veel mogelijk milieuvriendelijke, recyclebare en duurzame materialen gebruiken.

2.3.1. Ontwerpvisie

De Dakdokters streven naar het toepassen van zo veel mogelijk duurzame en zo veel mogelijk lokale materialen. Denk hierbij aan gerecyclede kunststoffen, eigen materiaal terugkopen, lokale producten, geen giftige materialen en geen bedreiging voor habitat en uitsterving van dieren en planten.

2.4. Opdracht/producten

De opdracht luidt als volgt: ontwerp een groene gevel die gebruik maakt van regenwater.

De producten die bij het project worden opgeleverd zijn:

- Een project dossier met daarin alle bronnen van waarde, documenten, rapporten, tekeningen en andere documenten.
- Een eindverslag van de afstudeerstage.
- Een uitgewerkte case voor een gebouw waarin de groene gevel is toegepast is op een geselecteerd gebouw.
- 3D ontwerp in Inventor

2.5. Methode

Het project wordt gestructureerd met behulp van de methode omschreven in het boek Ontwerpen van technische innovaties (Oskam, 2012).

Volgens deze methode wordt het project opgedeeld in maximaal 5 fases.

- Oriënteren; Het beschrijven van de context, het probleem en de doelen van het project.
- Analyseren; Vergaren van kennis, onderzoek en eisen en wensen.
- Ontwerpen; Deeloplossingen, concepten, keuzevorming en ontwerp.
- Detailleren; Uitwerken, simulatie, produceren van werktekeningen.
- Realiseren; Productie, testen en normering.

Dit project doorloopt de fases tot en met de detailfase. Tijdens iedere fase worden de geschikte tools en methodes geselecteerd om tot de gewenste resultaten te komen.

Voor de rapportage wordt gewerkt volgens Rapport over Rapporteren (Hoogland 2015).

2.6. Afbakening

Het project richt zich op het maken van een eerste ontwerp. Het product zal niet produceerbaar zijn en verdere ontwikkeling en testen zullen nodig zijn voor het maken van een prototype.

De bouwkundige aspecten van het ontwerp zullen in ieder geval beoordeeld moeten worden door een constructeur.

2.7. Randvoorwaarden

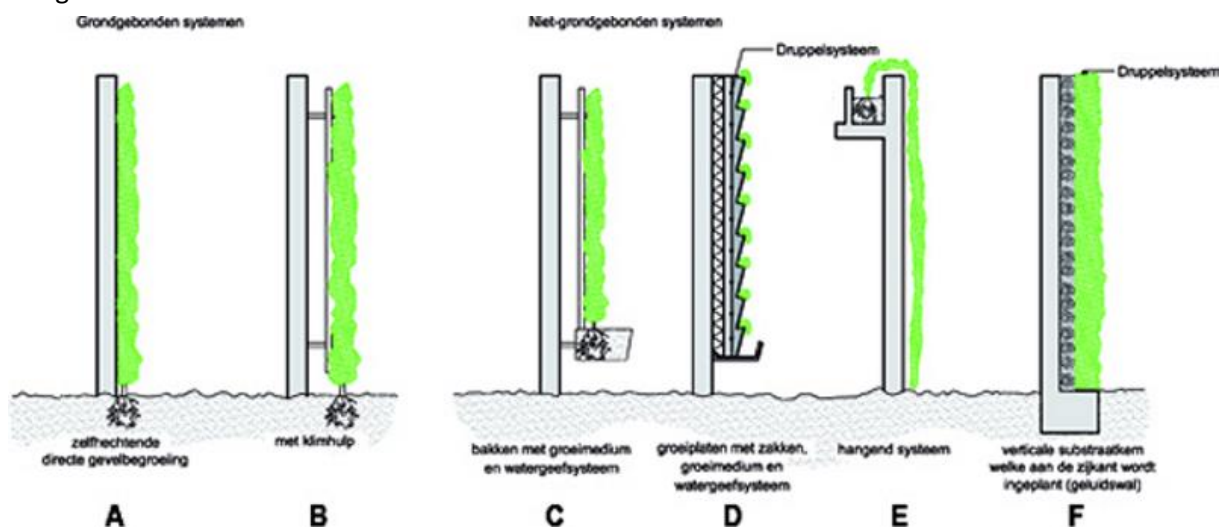
Het project wordt uitgevoerd voor De Dakdokters. Zij moeten ondersteuning bieden in de vorm van begeleiding, antwoorden op vragen, werkplek bieden (minimaal 1 dag per week), reiskosten vergoeding bieden en meewerken met fysieke producten. Daarnaast duur het project 17 weken, van 16 november tot 18 maart.

3. Analysefase

Onderzoek wordt gedaan in de analysefase. In dit hoofdstuk worden twee onderzoeken behandeld. Het eerste onderzoek is een literatuuronderzoek naar groene gevels om zo kennis te vergaren over de verschillende systemen en hun eigenschappen. Het tweede onderzoek moet bepalen hoe groot de wateropslag moet zijn. Hiervoor wordt gekeken naar de hoeveelheid water die planten verdampen en de huidige en toekomstige neerslag. Tot slot worden enkele conclusies getrokken.

3.1. Wat zijn groene gevels?

Groene gevels kunnen opgedeeld worden in twee categorieën, namelijk grondgebonden en niet grondgebonden systemen. Bij een grondgebonden systeem groeit de plant in de grond en wordt de gevel begroeid door klimplanten. Bij een niet grondgebonden systeem groeien planten in een medium dat aan de muur gehangen is. Dit wordt bijna altijd toegepast wanneer er geen ruimte voor planten op de grond is. Grondgebonden systemen zijn altijd goedkoper dan niet grondgebonden systemen, maar bij een grondgebonden systeem met klimplanten kan het een aantal jaar duren voor het gewenste effect.

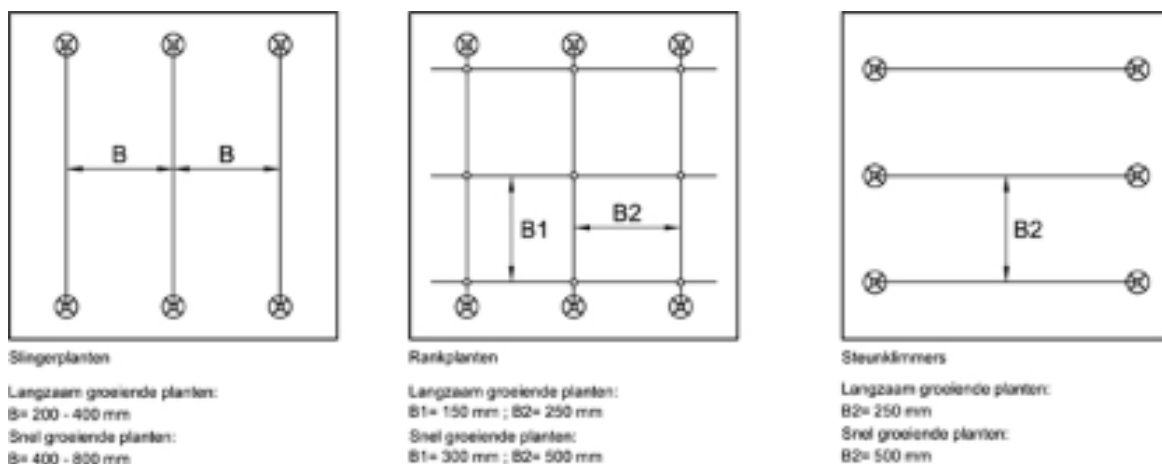


Figuur 6: Soorten groene gevels. A zelf hechtende directe groene gevel. B met klimhulp. C bakken met groeimedum en watergeefstelsel. D groeiplaten met zakken groeimedum en watergeefstelsel. E hangend systeem. F verticale substraatkern, ingeplant aan de zijkant. Bron: Gevels in 't groen. Hendriks 2008.

Grondgebonden systemen bestaan al heel lang. Voornamelijk in Duitstalige landen worden klimplanten, zoals klimop, al eeuwen lang ingezet om de gevel te vergroenen. In de mediterrane landen worden klimplanten gebruikt om het huis koel te houden. Deze zelf hechtende groene gevels (A in figuur 6) groeien tegen de muur van een gebouw op en houden zich daar aan vast. Moderne groene gevels hebben bijna allemaal een klimhulp voor de klimplanten (B in figuur 6). De klimhulp zorgt ervoor dat de klimplant zich niet aan de muur vasthoudt, maar aan het systeem. Dit heeft als voordeel dat het pand niet kan beschadigen door het groeien van de klimplant. Daarnaast is de plant beter te controleren. Aangezien de plant alleen aan het geleidingssysteem kan groeien, kan de vorm van dat systeem bepalen hoe de plant groeit. Ook kan door gebruik van een klimhulp meerdere soorten klimplanten gebruikt worden, dus niet alleen de zelf hechtende planten. De vorm van het geleidingssysteem verschilt per soort klimmer. Slingerplanten kunnen voldoen met een verticale geleider naar boven. Zoals te zien is in figuur 7 Voor andere soorten klimplanten is juist een raster of horizontale geleiding nodig. In figuur 8 is een assortiment van klimhulpen te zien.



Figuur 7: Groene façade. Bron: <http://www.deck-railing.com/image/s3i/urbangreening.jpg>



Figuur 8: Systemen voor verschillende soorten klimplanten. Links voor slingerplanten, midden voor rankplanten en rechts voor steunklimmers. Bron: Gevels in 't groen (Hendriks 2008)

Niet grondgebonden systemen bestaan uit beplanting met een groeimedium boven de grond. Ten opzichte van grondgebonden systemen is er geen ruimte nodig op de grond voor het groeien van planten en is er direct resultaat te boeken. Nadelen zijn het voorzien van water en het onderhoud aan de groene gevel. Voorbeelden van niet grond gebonden systemen zijn:

1. hangende systemen; (E in figuur 6)
2. boven elkaar rechtstreeks tegen de gevel gemonteerde metalen bakken met een watergeefstelsel; (D in figuur 6)
3. metalen bakken gemonteerd tegen een staalframe op enige afstand van de gevel, de bakken verbonden met een stalen raster waarlangs de beplanting groeit; (C in figuur 6)
4. prefab 'groeiplaten', bekleed met vliezen, waarin plantzakjes zijn gemaakt; het geheel wordt bevestigd op een stalen basisframe; (D in figuur 6)
5. systemen met een doorgaande groeikern, waarbij inplanting plaatsvindt vanaf de buitenzijde; het betreft relatief zware systemen die vooral worden toegepast in geluidswallen; (F in figuur 6)

Hangende systemen zijn in principe hetzelfde als grondgebonden systemen, echter bevindt het groeimedium zich aan de bovenkant van de gevel waardoor een watergeefstelsel nodig is.

Het systeem met bakken is een tweede vorm van een niet grond gebonden systeem. Dit systeem bestaat uit bakken die onder elkaar geplaatst zijn. In de bakken zit een substraat waarin planten kunnen groeien. Water wordt voorzien door een overloop systeem. Van bovenaf wordt water

gesproeid, wanneer een bak verzadigd is loop het water naar beneden de volgende bak in. In figuur 9 hieronder is te zien hoe het systeem werkt.



Figuur 9: Systeem met bakken. Samenstelling van twee afbeeldingen uit *Gevels in 't groen* (Hendriks 2008).

Het derde niet grond gebonden systeem is een combinatie van het grond gebonden systeem met klimplanten, maar dan met een groeimedium op hoogte. Deze panelen kunnen voor gekweekt worden waardoor er direct resultaat te behalen is. Echter heeft het wel een irrigatiesysteem nodig. In de onderstaande figuur is de werking te zien.



Figuur 10: Combinatie systeem met bakken en klimplanten. Samenstelling van twee afbeeldingen uit *Gevels in 't groen* (Hendriks 2008).

Voor groene gevels met veel biodiversiteit en een mooi uiterlijk worden voornamelijk systemen gebruikt gebaseerd op prefab platen. Deze platen kunnen op de muur geplaatst worden met planten en al. Binnen deze prefab platen zit verschil. Er zijn platen die geen substraat hebben, maar platen laten groeien door gebruik te maken van hydroponics. Planten groeien dan niet in grond, maar hebben wortels die verstrengeld zijn in een doek. Dit doek is te zien in figuur 11. Het doek bestaat uit

een materiaal met een capillaire werking. De planten worden in een kleine opening in het doek geplaatst waarna de wortels zich kunnen gaan verstrengelen in het doek.



Figuur 11: Hydroponics doek. Bron: Hydroponic Living Walls – DIY – Really, George Irwin. Februari 2012. Greenroofs.com.

Water wordt vanuit een bassin onderaan de gevel naar boven gepompt en langs het doek geleid. In het water zitten alle voedingsstoffen die de planten nodig hebben om te groeien. Dit maakt deze vorm van een groene gevel erg kostbaar. Het water moet constant geregeld worden op voedingsstoffen gehalte, pH-waarde en ziektes. Ook moet gereedschap gesteriliseerd worden voor er aan de muur gewerkt kan worden om de kans op ziektes te verminderen. Door deze kwetsbaarheid zijn groene gevels met hydroponics niet geschikt om buiten geplaatst te worden.



Figuur 12: Werking hydroponic gevel. Bron: http://www.growinggreenguide.org/wp-content/uploads/2014/04/Figure-22-wall_types.jpg



Figuur 13: Hydroponics groene gevel. Bron: http://www.greenroofs.com/images/content-greenwalls20912_PatrickBlanc_DussmanDasKulturKaufhaus.gif

De tweede manier is door substraat in de muur vast te houden door middel van een constructie. In het substraat kunnen vervolgens planten geplaatst worden. De constructie kan bestaan uit zakken, maar ook kunststof of keramische holtes in een frame. Het substraat is in staat (beperkte) hoeveelheden vocht en voedingsstoffen vast te houden. Hierdoor is er niet continu irrigatie nodig.



Figuur 14: Groene gevel met substraat, zakken als constructie. Bron: evolove.cc



Figuur 15: Groene gevel met substraat, frame als constructie. Bron: Gevels in 't groen (Hendriks 2008).

Een laatste manier is een doorlopende kern van substraat of grond binnen een metalen frame. Dit is een techniek die voornamelijk voor geluidswallen wordt gebruikt. Door de grote massa van wel 1000kg/m^2 heeft deze techniek een hoge mate van geluidsdemping. Het is alleen lastig om grotere hoogtes te halen. Wel is door de grotere substraatmassa ten opzichte van andere gevels beter bestand tegen korte droogte en hoeft dus minder geïrrigeerd te worden. In figuur 16 is de werking van de doorlopende kern gevel te zien.

Voor meer informatie wordt verwezen naar de publicatie Gevels in 't groen (Hendriks 2008).



Figuur 16: Groene gevel met doorlopende grondkern. Samenstelling van twee afbeeldingen uit Gevels in 't groen (Hendriks 2008).

3.2. Onderzoek wateropslag

Voor het maken van een groene gevel met wateropslag is het belangrijk om te weten hoe groot de opslag moet zijn. De groene gevel moet volgens de doelen tijdens zware buien het riool van de stad verlichten door water op te vangen en de gevel moet planten kunnen voorzien in hun waterbehoefte. De opslag moet dus groot genoeg zijn om planten door een droge periode heen te loodsen, maar ook groot genoeg zijn om de zware buien op te vangen. Er zijn een aantal aspecten om rekening mee te houden, namelijk:

- Verdamping door planten

- Intensiteit en frequentie van buien
- Periodisering van de buien
- Toekomstig weerbeeld

Deze vier punten worden in dit onderzoek individueel behandeld waarna er een aantal conclusies getrokken kunnen worden. Deze conclusies zullen effect hebben op de mogelijkheden van het ontwerp.

3.2.1. Verdamping door planten

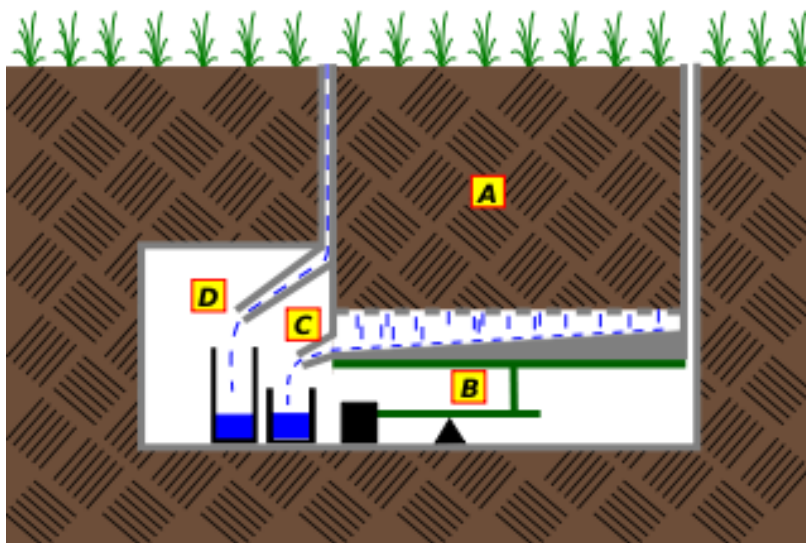
De verdamping van vocht door planten wordt evapotranspiratie (ET) genoemd en is een gecombineerd effect van transpiratie (het verplaatsen van vocht door de plant van wortel tot blad waar het vocht als waterdamp wordt afgegeven aan de atmosfeer) en evaporatie van water van grond en plat oppervlak (Dunnet 2008). De ET is onderdeel van de formule van de grondwaterbalans.

$$\Delta S = P + I + W - ET - R - D$$

$$ET = -\Delta S + P + I + W - R - D$$

- ΔS in $\frac{mm}{h}$: opslag van water in de grondlaag;
- P in $\frac{mm}{h}$: precipitatie (neerslag);
- I in $\frac{mm}{h}$: irrigatie;
- W in $\frac{mm}{h}$: capillaire stijging vanuit grondwater;
- ET in $\frac{mm}{h}$; Evapotranspiratie;
- R in $\frac{mm}{h}$: voor afvoer van het oppervlak;
- D in $\frac{mm}{h}$: voor drainage van de grond;

Deze informatie is vaak onduidelijk en niet uniform. Het nauwkeurig berekenen van de ET is daarom ook lastig. Een meettechniek voor de ET is door gebruik te maken van een Lysimeter. Dit is een container met een grondvolume waarvan bekend is hoe groot de massa is in de beginconditie. Door neerslag en massa van de grond in de Lysimeter te combineren kan berekend worden hoeveel vocht er verdampt. Lysimeters zijn duur om aan te leggen en geven alleen een puntmeting weer. De condities 100m verderop kunnen namelijk behoorlijk verschillen.



Figuur 17: Schema van een Lysimeter. A is de grond die gewogen wordt. B is de weegschaal. C is de drainage en D is de neerslagmeter. Bron: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lysimeter_q1.jpg Giancarlo Dessì (2008).

Het KNMI bepaald met de Makkink methode de verdamping voor het referentiegewas. Dit gewas is gras van 10cm hoog. Gemiddeld per jaar komt de verdamping van het referentiegewas op 575mm/m² (Hiemstra & Sluiter, 2011). In figuur 18 is de verdamping per maand te zien.

month	mean_evap	sd_evap
January	8.41	0.74
February	15.15	1.01
March	33.99	1.60
April	60.16	1.74
May	86.98	2.24
June	93.66	2.96
July	98.25	2.97
August	82.53	2.85
September	50.88	1.82
October	28.07	1.31
November	11.17	0.95
December	6.32	0.45

Figuur 18: Gemiddelde verdamping en standaard deviatie per maand Hiemstra & Sluiter (2011).

De potentiële ET is een combinatie van de gewasfactor (K_c) en de referentie ET. De gewasfactoren voor Makkink zijn te zien in figuur 19. Gras krijgt een factor 1 en een Europees loofbos (Deciduous forest) 1,04. Aangenomen wordt dat de beplanting op de groene gevel ook de factor 1 heeft, net als gras. De potentiële ET is als volgt te berekenen:

$$ET_p = K_c \cdot ET_0$$

Appendix E

Crop Factors for Use with Makkink Reference Evapotranspiration

The table below contains the crop factors for use with Makkink reference evapotranspiration for use in the Netherlands.

	April			May			June			July			August			September		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Grass	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Cereals	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0	0.9	0.8	0.6	—	—	—	—	—
Maize	—	—	—	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Potatoes	—	—	—	—	0.7	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.7	—	—
Sugar beets	—	—	—	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	1.0	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1
Leguminous plants	—	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0	0.8	—	—	—	—	—	—	—
Plant onions	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	—	—	—	—
Sow onions	—	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	—	—	—
Chicory	—	—	—	—	—	—	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Winter carrots	—	—	—	—	—	—	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Celery	—	—	—	—	—	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	—
Leek	—	—	—	—	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Bulb/tuber crops	—	—	—	—	0.5	0.7	0.7	0.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Pome/stone fruit	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
Bare soil	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Water	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.31	1.31	1.31	1.29	1.27	1.24	1.21	1.19	1.18	1.17	1.17	1.17
Deciduous forest	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Coniferous forest	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Mixed forest	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08

Values are given for three decades (I, II and III) for each month.
From Feddes (1987).

Figuur 19: Gewas factoren voor de methode Makkink. Bron: Moene, Arnold F. and Jos C. van Dam. "Crop Factors for Use with Makkink Reference Evapotranspiration", *Transport in the Atmosphere-Vegetation-Soil Continuum*. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 362-362. Cambridge Books Online. Web. 15 March 2016.
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139043137.015>

In Hiemstra & Sluiter (2011) staat in hoofdstuk 2 de wiskundige beschrijving van de referentie ET voor de Makkink methode. Deze formules zijn zo omschreven dat de referentie ET alleen afhankelijk is van de temperatuur en de korte golf zoninstraling op dat moment. Met behulp van deze formule kunnen er tests gedaan worden of een simulatie gemaakt worden om per dag de referentie ET te berekenen. Dan zal echter zelf de korte golf zoninstraling gemeten moeten worden, want deze gegevens zijn niet beschikbaar bij het KNMI.

Een derde methode om de ET te bepalen is volgens Nouri et al (2013) door gebruik te maken van de “Water Use Classification of Landscape Plants” (WUCOLS). Deze methode bestaat uit de volgende formule:

$$ET_L = K_L \cdot ET_0$$

- ET_L (mm/h) voor de evapotranspiratie van de planten in het landschap
- K_L voor de klimaatfactor
- ET_0 (mm/h) voor de referentie evapotranspiratie.

Deze methode is ontwikkeld voor toepassing in landschappen. De Makkink methode is gericht op landbouw en daarmee monoculturen. Tuinen en parken zijn een combinatie van planten, heesters en bomen die door elkaar geplaatst zijn. De klimaatfactor in de WUCOLS methode vertegenwoordigt deze variatie van planten en plaatsing en bestaat door middel van de volgende onderdelen:

$$K_L = K_s \cdot K_d \cdot K_{mc}$$

- K_L als klimaatfactor
- K_s als factor voor de variatie in soorten
- K_d als factor voor de dichtheid van de planten
- K_{mc} als factor voor het microklimaat.

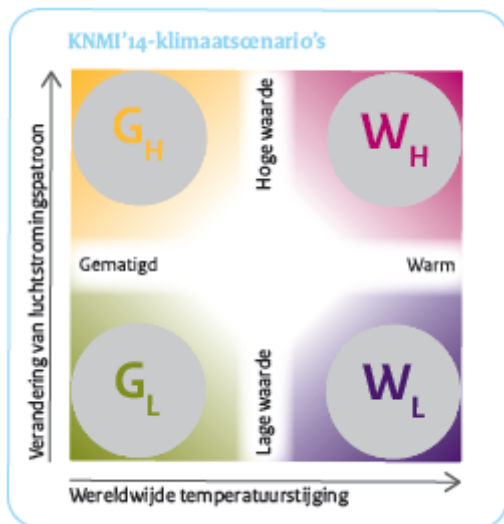
WUCOLS wordt in detail beschreven in Nouri et al (2013).

De WUCOLS methode is een betere methode dan de Makkink methode omdat er niet uitgegaan wordt van een monocultuur met dezelfde planten en dichtheid. Wel is het bepalen van de factoren onderhevig aan subjectiviteit van de persoon die de berekening uitvoert.

Voor dit project is de WUCOLS methode nog niet mogelijk omdat er nog niet bekend is welke planten er op de groene gevel komen. Ook is het de vraag wat de verticale positionering van de tuin doet met de factor voor het microklimaat. Blijkt dat een nauwkeurige bepaling van de verdamping nodig is, na het bouwen van een prototype. Dan is de WUCOLS methode aan te raden. Voor nu wordt er gebruik gemaakt van de Makkink methode met een gewasfactor van 1.

3.2.2. Toekomstig weerbeeld

Het KNMI heeft aan de onderzoeksresultaten voor het wereldwijde klimaat uit het IPCC rapport van 2013 vertaald naar vier mogelijke Nederlandse scenario's. De scenario's zijn opgebouwd uit twee veranderingen, de wereldwijde temperatuurstijging en de verandering van het luchtstromingspatroon. Samen vormen de scenario's de grenzen waarbinnen de klimaatverandering zich waarschijnlijk gaat ontwikkelen voor de periode tussen nu en 2050 of tussen nu en 2085 ten opzicht van het klimaat van de periode 1981-2010.



Figuur 20: Klimaatscenario's Nederland. Bron: KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland (2015).

Algemene veranderingen

- de temperatuur blijft stijgen
- zachte winters en hete zomers komen vaker voor



- de neerslag en extreme neerslag in de winter nemen toe
- de intensiteit van extreme regenbuien in de zomer neemt toe
- hagel en onweer worden heviger



- de zeespiegel blijft stijgen
- het tempo van de zeespiegelstijging neemt toe



- de veranderingen in windsnelheid zijn klein



- het aantal dagen met mist neemt af en het zicht verbetert verder
- de hoeveelheid zonnestraling nabij het aardoppervlak neemt licht toe



Scenario verschillen en natuurlijke variaties

- temperatuurveranderingen zijn verschillend voor de vier scenario's
- veranderingen in 2050 en 2085 zijn groter dan de natuurlijke variaties op de 30-jaar tijdschaal



- meer droge zomers in twee (G_H en W_H) van de vier scenario's
- natuurlijke variaties in neerslag zijn relatief groot, zodat de scenario's minder van elkaar verschillen



- het tempo van de zeespiegelstijging hangt sterk af van de wereldwijde temperatuurstijging
- geen verschil tussen scenario's met verschillend luchtstromingspatroon



- 's winters vaker westenwind in twee (G_H en W_H) van de vier scenario's
- het wind- en stormklimaat vertoont grote natuurlijke variaties



- natuurlijke variaties zijn verschillend voor de verschillende klimaatvariabelen



Figuur 21: Samenvatting weersveranderingen aan voor de scenario's. Bron: KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland (2015).

In figuur 21 zijn de algemene veranderingen en de veranderingen per scenario samengevat door het KNMI. Welk scenario werkelijkheid wordt is niet te zeggen, wel is zeker dat de hoeveelheid neerslag, de timing van de neerslag en natuurlijk de gemiddelde temperatuur gaan stijgen. De kern cijfers zijn te zien in bijlage II.

De klimaatscenario's hebben een aantal effecten op de toekomstbestendigheid van de groene gevel. De temperatuur zal hoger worden (in 2085 1,3-3,7% ten opzichte van 10,1°C in de periode 1981-2010), waardoor de verdamping toeneemt (in 2085 2,5-10% ten opzichte van 559mm tussen 1981-

2010). Extreme buien in de zomer nemen toe, maar de zomer wordt over het algemeen droger. De wateropslag moet dus al het water in de zomer op kunnen slaan zodat de neerslag die valt in de zomer ook gebruikt kan worden voor de groene gevel. Daarnaast neemt de neerslag in de winter toe. De wateropslag zal veel meer water opvangen dan nodig, aangezien de verdamping onder de 10mm per maand zit in de winter. Als gevolg hiervan moet de wateropvang regelmatig gelegeerd worden.

3.2.3. Grootte wateropslag

De grootte van de opslag is afhankelijk van twee factoren:

1. De hoeveelheid water voor het groeien van planten
2. De hoeveelheid water van de grootste buien

De opslag moet de grootste buien kunnen opvangen zonder te lozen in het riool en een maand de planten van water kunnen voorzien in de zomer.

De kerncijfers van de klimaatscenario's in bijlage II geven aan dat de meest intense buien in de zomer vallen. Hierbij is de hoeveelheid die eens in de 10 jaar overschreden wordt 44mm op één dag. Verwacht wordt dat dit toeneemt met maximaal 40%. De toekomstige maximale hoeveelheid neerslag die één keer in de 10 jaar overschreden wordt is 61,6mm neerslag per vierkante meter opvangoppervlak.

Een vierkante meter referentiegewas verdampt in juli is 98,25 mm water per vierkante meter met een standaarddeviatie van 2,97mm (figuur 18). De maximale verdamping in Juli is dus het gemiddelde plus de standaarddeviatie, 101,25mm. In 2050 is door klimaatverandering de gemiddelde verdamping maximaal met 11% toegenomen. Met deze kennis komt de opslag voor een maand zonder neerslag op 112,4mm/m². Deze waarde is groter dan de maximale neerslag van 61,6mm. De opslag moet dus 112,4mm per vierkante meter groene gevel zijn.

Het hoeft niet zo te zijn dat het dakoppervlak en de gevel even groot zijn.

3.3. Conclusies

Er zijn 5 verschillende soorten groene gevels waarvan twee systemen grondgebonden zijn. De grondgebonden systemen hebben veel tijd nodig om een muur groen te maken en de biodiversiteit is beperkt. Niet grondgebonden systemen zijn een stuk complexer en duurder en kunnen op veel manieren uitgevoerd worden.

De hoeveelheid water die maximaal per maand kan verdampen is groter dan de hoeveelheid water dat maximaal in een bui valt. De grootte van de wateropslag wordt dus bepaald door de maximale verdamping.

4. Ontwerpfase

Dit hoofdstuk gaat over de ontwerpfase. In deze fase worden de functies van het ontwerp benoemd waarna functievervullers worden gezocht. Deze functievervullers zijn te vinden in het morfologisch overzicht. Vanuit het morfologisch overzicht worden combinaties gemaakt die concepten vormen. Deze concepten worden per concept omschreven en begeleidt door schetsen. Vervolgens worden de concepten beoordeeld door middel van een keuzematrix. Uit die beoordeling volgt het beste concept. Vanuit dit concept wordt het ontwerp gemaakt.

4.1. Functieboom

Voor het selecteren van functievervullers is een inventarisatie nodig van de functies die in het ontwerp verwerkt moeten worden. Deze functies zijn hieronder te zien.

1. Planten laten groeien
 - 1.1. Irrigeren
 - 1.1.1. Groeimedium vochtig houden
 - 1.2. Voeden
 - 1.2.1. Voeding leveren aan planten
 - 1.3. Ondersteunen planten
 - 1.3.1. Groeimedium vasthouden
2. Water managen
 - 2.1. Opslaan
 - 2.2. Verdelen
 - 2.2.1. Water verdelen voor irrigatie
 - 2.3. Lozen
 - 2.4. Regenwater opvangen
 - 2.4.1. Transporteren naar opslag
 - 2.4.2. Filteren van grote stoffen
3. Isoleren
 - 3.1. Ventileren luchtlaag
 - 3.2. Vasthouden isolatielaag
 - 3.3. Afvoeren condens
4. Monteren
 - 4.1. Monteren aan gebouw
 - 4.2. Bakken monteren aan frame
5. Regelen
 - 5.1. Regelen van loosfunctie
 - 5.1.1. Regelen voor vorst
 - 5.1.2. Regelen voor volume
 - 5.2. Regelen van opslagfunctie
 - 5.2.1. Regelen voor droogte

4.2. Conceptvorming

In deze paragraaf komt de conceptvorming aan bod. Eerst wordt het morfologisch overzicht aan bod waarna ieder concept individueel behandeld wordt.

4.2.1. Keuze voor type groene gevel.

Voor het invullen van het morfologisch overzicht is een schifting gemaakt omdat het begrip groene gevel een heel breed begrip is, zoals in hoofdstuk 3.1 al is gebleken. Er zijn veel verschillende soorten groene gevels die allemaal verschillend presteren. Om concepten te vormen die beter bij de probleemstelling en de doelstellingen passen is daarom gekozen om de soort groene gevel te kiezen voordat er concepten worden bedacht.

Tabel 1: Keuzematrix over het type groene gevel wat gebruikt gaat worden.

Eigenschap	Bak-systeem	Hydro-ponics	Doorlopende grondkern	Klimplantpaneel voor gegroeid	Klimplanten met klimhulp	Klimplanten zonder klimhulp
Direct groen	+	+	+	+	-	-
Biodiversiteit	++	o	++	o	-	-
Zelfstandigheid	-	--	-	-	+	+
Onderhoud	+	--	+	+	+	-
Massa (lichter is beter)	-	+	--	o	+	++
Totaal	++	--	+	+	+	o

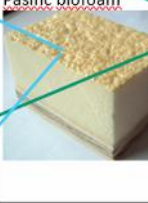
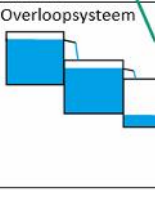
Het baksysteem is het beste met twee plussen. Ook scoort het baksysteem vooral goed op belangrijke zaken als onderhoud en biodiversiteit (de mogelijkheden voor verschillende soorten planten), evenals dat de techniek direct groen is. Het baksysteem kan op verschillende manieren worden uitgevoerd zoals bijvoorbeeld: bakken, zakken of een plaat met plantgaten. Deze vormen komen terug in het morfologisch overzicht.

4.2.2. Morfologisch overzicht

In figuur 22 is het morfologisch overzicht te zien. In het morfologisch overzicht worden functievervullers met elkaar verbonden om zo tot concepten te komen. Er worden in totaal drie concepten gevormd. Ieder concept heeft een eigen kleur gekregen. In de legenda staat welke kleur welk concept is.

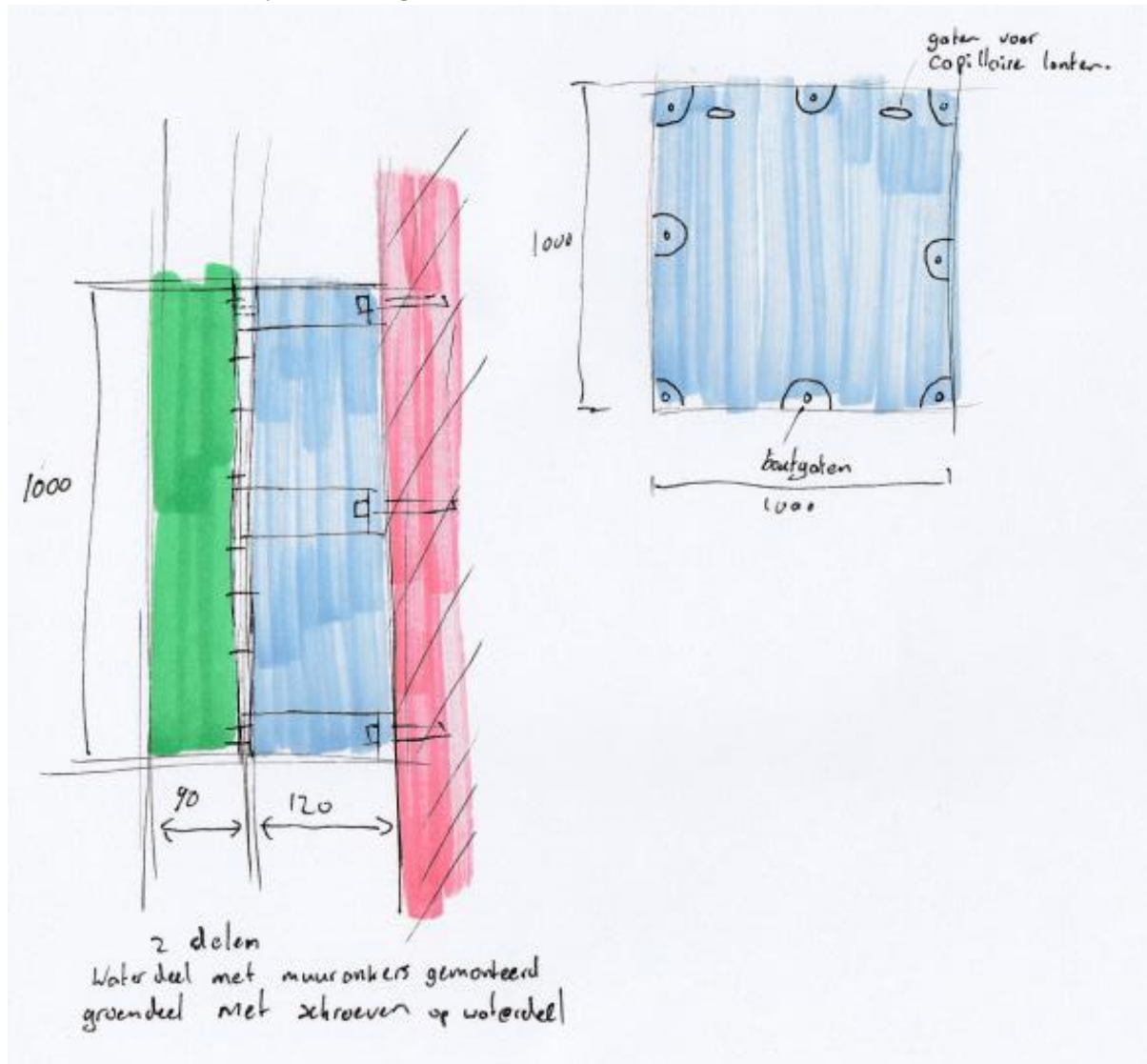
Legenda:

- **Groen:** all-in gevel
- **Lichtblauw:** zakken gevel
- **Zeegroen:** Dubbele opslag

Functie	1	2	3	4	5	6
Monteren	Ankerbout 	Strip 	Staalconstructie 	Lijm 	Aluminium frame 	
Irrigieren	Druppelleiding 	Capillaire lont 	Capillair doek 	Poreus oppervlak 		
Voeden	Kunstmest 	Afvalwater 	Compost 	Planten 		
Water opvangen	Dak 	Gevel 	Maaiveld 	Dak & gevel 	Maaiveld & gevel 	Maaiveld, dak & gevel 
Water opslaan	Tank 	Bak (open oppervlak) 	Bak (afgedekt/ Polderdak) 	Kolom 		
Planten onderstuenen	Bakstelsysteem-bakken 	Bakstelsysteem-zakken 	Bakstelsysteem-gaten 			
Isoleren	Piepschuim 	Glaswol 	Stro 	Pacific biofoam 	Katoenvezel 	
Modulariteit	Hoogte 	Breedte 	Vierkant 	Meerdere vormen 		
Water verdelen	Pomp 	Overloopsysteem 	Kleppen 	Bij opvang 		

Figuur 22: Morfologisch overzicht

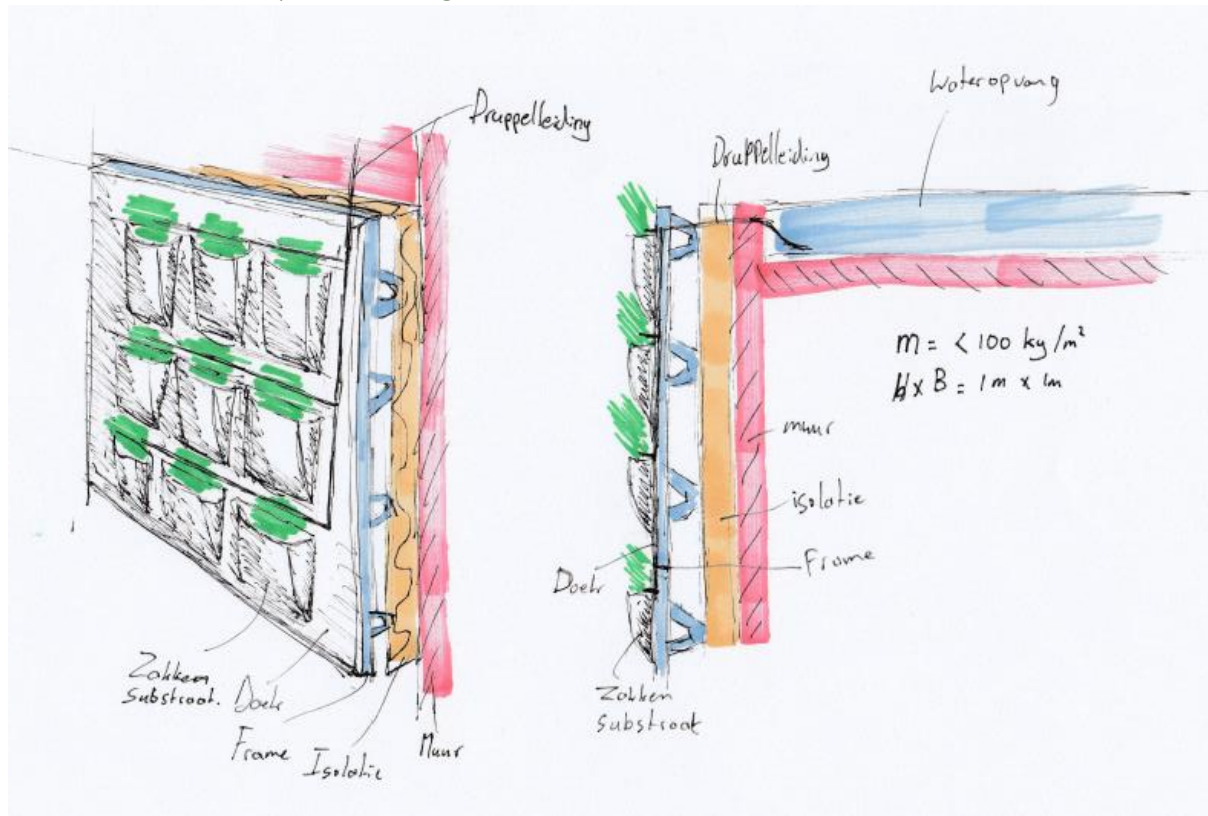
4.2.3. Concept 1: All-in gevel



Figuur 23: Schetsen van de all-in gevel.

Dit concept heet de all-in gevel omdat alle functievervullers in de gevel zijn verwerkt en bestaat uit twee delen. Een deel waarin water opgeslagen wordt (blauw) en een deel waar de planten in groeien (groen). Het waterdeel wordt op de muur gemonteerd door middel van ankerbouten. Deze bouten zitten in de hoeken en de zijden van de bak. Na montage aan de muur kan het plantendeel aan het waterdeel bevestigd worden. Dit gebeurt door middel van schroefverbindingen. De planten worden voorzien van water via capillaire lanten die vanuit het waterdeel naar het plantendeel lopen. Het water wordt verdeeld in verschillende hoogte niveaus bij de opvang, op dezelfde hoogte zijn de waterdelen met elkaar verbonden. Het opvang gebied is het dak en de planten worden voorzien van voeding door het toevoegen van compost tijdens onderhoud. De panelen zijn 1m bij 1m groot en de diepte van beide delen is minimaal 210 millimeter.

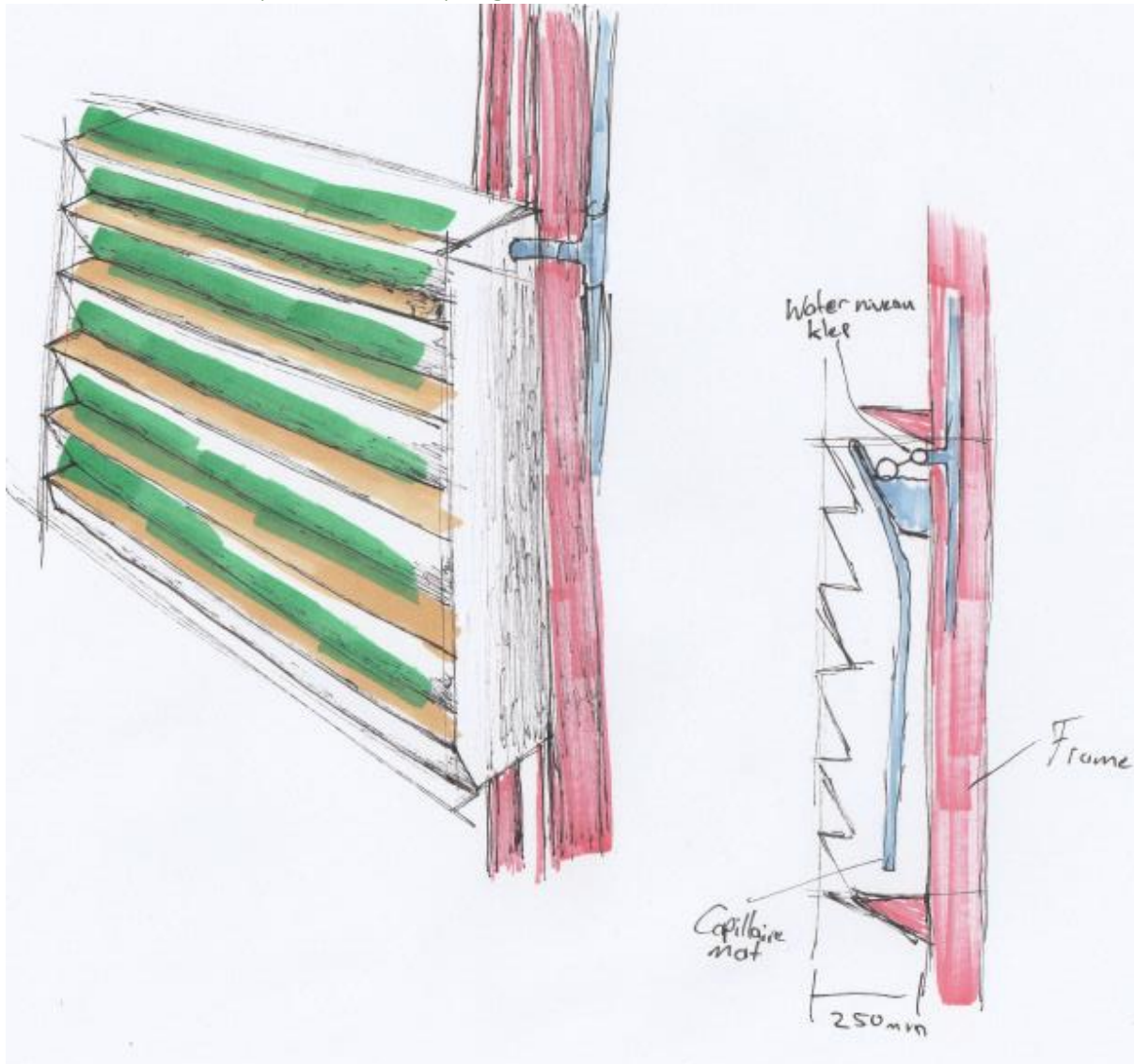
4.2.4. Concept 2: zakken gevel



Figuur 24: Schetsen van de zakken gevel.

Dit concept is opgebouwd uit een frame dat aan de muur wordt geplaatst. Tussen de muur en het frame is plaats voor een laag isolatie. Afhankelijk van de situatie kan de groene gevel laag zijn of een extra gevel laag zijn bij een spouwmuur. Op het frame wordt een doek gespannen met daaraan zakken, hier komt de naam vandaan. In die zakken zit substraat waar de planten op kunnen groeien. Druppelleidingen zorgen ervoor dat de planten voldoende water en voedingstoffen krijgen. De leidingen worden voorzien van druk door de wateropslag die zich op het dak bevindt. De voeding kan in de vorm van afvalwater (grijswater) dat met regenwater gemengd wordt. Tests zullen uitwijzen of deze vorm van voeding voldoende is. De grootte van de panelen bedraagt 1m bij 1 meter. Van soortgelijke systemen is bekend dat de massa tot 100kg/m^2 bedraagt.

4.2.5. Concept 3: dubbele opslag



Figuur 25: Schetsen van de dubbele opslag gevel.

Dit concept bestaat uit een metalen frame dat voor de gevel van een bestaand of nieuw gebouw geplaatst wordt. Op poten die aan het frame zitten worden modules geplaatst waar de planten in groeien. Bovenin deze module zit een reservoir voor water met daarin een capillaire mat die water voor irrigatie gelijkmatig verdeeld over de module. In het reservoir zit een klep met een vlotter die het waterniveau bepaald. Een vlotter is een element dat drijft op het wateroppervlak en als hefboom fungeert. In dit geval werkt de vlotter als hefboom voor een klep, de klep heet daarom een vlotterklep. Per hoogteniveau zijn de gevels aan elkaar verbonden, zo is er maar een klep en leiding per hoogteniveau nodig. Het concept heet dubbele opslag omdat op het dak het grootste deel van de opslag bevindt. Het water wordt opgevangen op het dak, maar er kan ook extra water opgevangen worden op het maaiveld waarna dit naar het dak gepompt kan worden.

4.3. Keuzematrix

De concepten worden per criterium beoordeeld. Er zijn drie scores te krijgen per criterium, slecht, voldoende en goed. Om een duidelijk verschil in punten te krijgen is een slechte score 1 punt waard, een voldoende 3 punten en een goede score 9 punten.

De keuzecriteria komen voort uit het pakket van eisen en wensen in bijlage I. Aan ieder criterium is een weegfactor gekoppeld. De weegfactor geeft aan hoe zwaar het criterium weegt voor de prestaties van het concept.

De criteria zijn:

- Duurzaamheid materiaal: beoordeling op de duurzaamheid van de materiaalgroep zoals metalen, kunststoffen of natuurlijke materialen. Dit komt voort uit de eis voor duurzaam materiaalgebruik.
- Levensduur materialen: beoordeling op de verwachte levensduur van de materialen.
- Lage onderhoudskosten: beoordeling op de verwachte onderhoudskosten. De wens is €50 per vierkante meter.
- Lage gebruikskosten: hierbij wordt beoordeeld op energie-, water- en mestverbruik.
- Opslag water: beoordeling op de capaciteit voor wateropslag. De eis is 112,4L/m² groene gevel.
- Biodiversiteit: beoordeling op de mogelijkheden voor veel verschillende planten. Komt voort uit het succescriteria om zoveel mogelijk grond te bevatten.
- Energetische prestaties: Beoordeling op toepassing van extra isolatie en andere energiebesparingen zoals zonwering. Afkomstig van het succescriterium om zo veel mogelijk energie te besparen.
- Esthetiek: Beoordeling op het uiterlijk van de groene gevel. Dit criterium komt voort uit de wens voor een aantrekkelijke gevel.
- Geschikt voor bestaande bouw: Beoordeling op basis van toepasbaarheid bij bestaande gebouwen. Komt voort uit de wens om voor bestaande en nieuwbouw toepasbaar te zijn.

De weegfactoren zijn op eigen inzicht ingedeeld en daarna beoordeeld door Daan de Leeuw. Daaruit is zijn de weegfactoren gekomen zoals hieronder te zien is.

Tabel 2: Keuzematrix concepten.

Criteria	Weegfactor	All-in gevel	Zakken gevel	Dubbele opslag
Duurzaamheid materiaal	5	9	3	3
Levensduur materialen	5	9	1	9
Lage onderhoudskosten	5	9	1	3
Lage gebruikskosten	5	9	3	9
Opslag water	4	9	3	3
Biodiversiteit	4	9	3	9
Energetische prestaties	3	1	9	9
Esthetiek	3	3	1	3
Geschikt voor bestaande bouw	3	1	3	9
	Totaal	267	103	231

Uit de keuzematrix is op te maken dat de All-in gevel het best scoort en dus het beste concept is voor de eisen en wensen voor het ontwerp van de groene gevel. Dit concept scoort op een aantal punten slecht, zoals energetische prestaties en de mogelijkheid voor toepassing bij bestaande bouw. De dubbele opslag scoort veel beter voor toepassing op bestaande- en nieuwbouw. Dit komt door het frame voor de gevel wordt geplaatst. Wanneer dit frame wordt samengevoegd met de All-in gevel vormt dit een verbetering van het concept waar het ontwerp verder op gebaseerd wordt.

4.4. Het eerste ontwerp

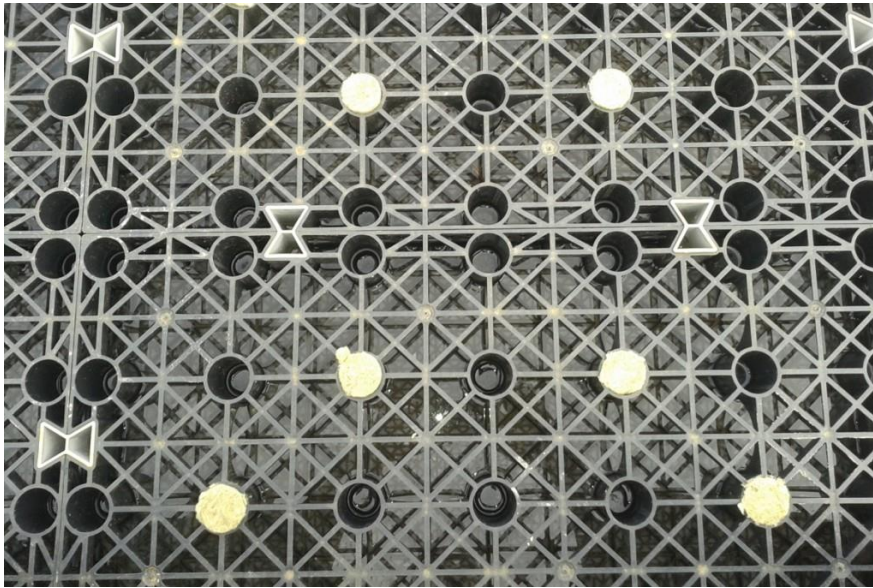
Na een gesprek met Joris Voeten van Roofscapes, een bedrijf dat onderzoek doet naar mogelijkheden en prestaties van groen in steden en tevens een relatie van De Dakdokters, is gebleken dat de oplossing voor het irrigeren met een capillaire mat zoals in het gekozen concept niet werkt zoals verwacht. In de literatuur is niet naar voren gekomen dat een capillaire mat zoals in het gekozen concept wordt beschreven streeft naar een evenwicht tussen beide kanten. Dit betekent dat wanneer de wateropslag gevuld wordt met water het doek water blijft overhevelen tot het waterniveau in het substraat net zo hoog staat. Aangezien de bak aan de voorkant niet gesloten is loopt het water via de openingen weg. Het heveleffect is te bewijzen met een simpel experiment te zien in onderstaande afbeelding.



Figuur 26: Hevelexperiment met twee glazen waarvan 1 gevuld met water. Een tissue voorziet de capillaire werking en creëert na verloop van tijd een evenwicht.

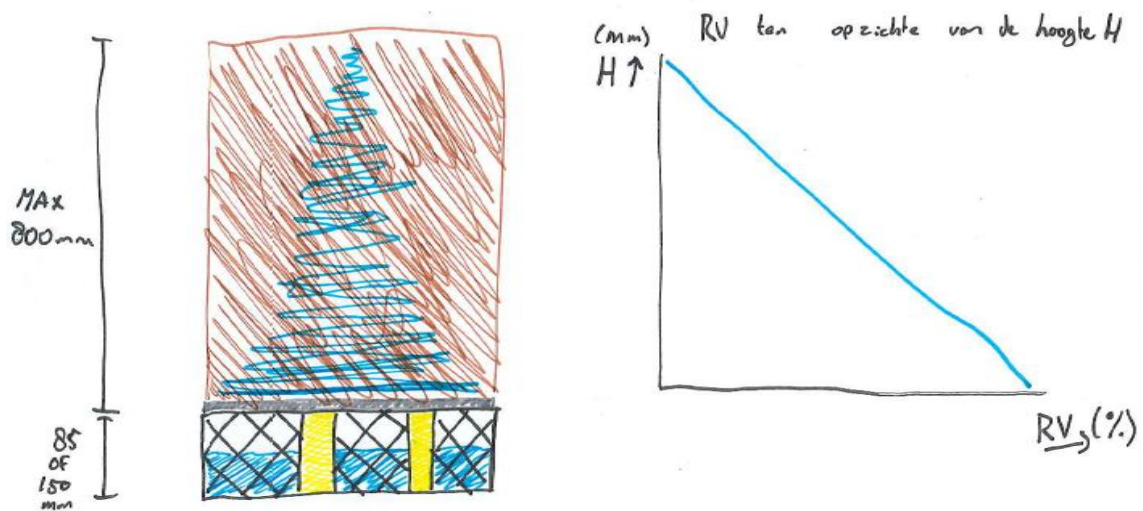
Ook vertelde Joris dat de grond in de groene gevel niet warmer mag worden dan 20 graden Celsius, er is dus enige vorm van isolatie aan de voorkant nodig om de planten te beschermen. Wanneer de grondtemperatuur boven de 20 graden Celsius komt stopt de plant met groeien. De verkoelende werking van de planten stopt dan ook aangezien de planten dan niet meer transpireren. Planten hebben volgens Joris ook baat bij zo veel mogelijk grond. De grond maakt de planten gezonder en zorgt ervoor dat ze beter tegen stress omstandigheden kunnen.

Een oplossing voor de irrigatie is door het water van onderin de groene gevel module op te trekken naar boven. Dit kan door gebruik te maken van het Permavoid systeem wat ook wordt gebruikt in het Polderdak. Dit systeem bestaat uit een krat met open ruimte waar water in kan staan. In het midden van het krat bevinden zich lonten die een geotextiel (capillaire mat) op het krat 100% verzadigd met water houden, zolang er water in het krat beschikbaar is.



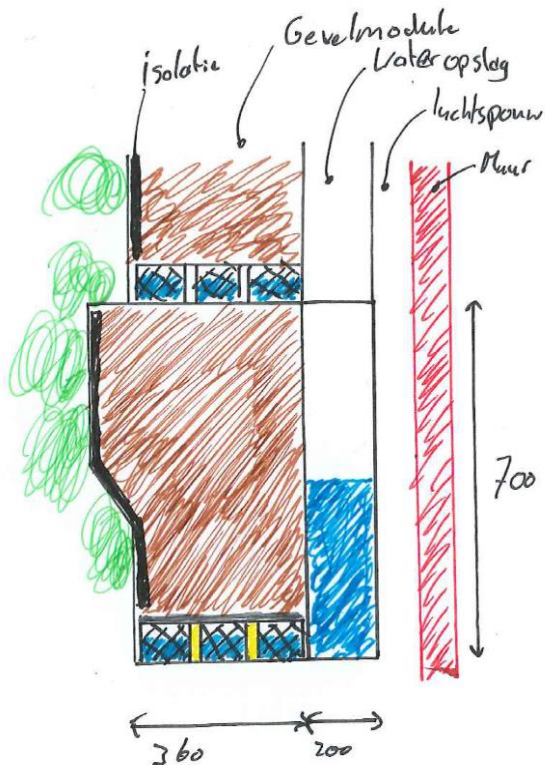
Figuur 27: Permavoid krat met capillaire lonten (geel). Bron: permavoidsports.com

Bovenop het geotextiel wordt het substraat geplaatst. Het substraat heeft afhankelijk van de samenstelling de capaciteit om vocht tot 80cm op te trekken. In figuur 28 is de opbouw van het systeem te zien. Irrigatie op deze manier heeft als voordeel dat het vochtgehalte, wat wordt bepaald door de capillaire werking van het substraat en de zwaartekracht, heel constant is. Planten hebben baat bij een constant vochtgehalte. De plant moet dat wel op de juiste hoogte geplaatst worden zodat het vochtgehalte overeenkomt met de behoefte van de plant. Wanneer dit goed gedaan wordt groeien planten volgens Joris dan sneller dan bij de natuurlijke droog-nat cycli.



Figuur 28: Irrigatie systeem, opbouw en verloop van de relatieve vochtigheid (RV) ten opzichte van de hoogte.

Aan de hand van bovenstaande informatie en het resultaat van de conceptkeuze is het ontwerp in figuur 29 tot stand gekomen.



Figuur 29: Schets van het ontwerp gebaseerd op het winnende concept met aanpassingen door verdere kennis.

De hoofdeigenschappen van het ontwerp zijn dat het ontwerp veel substraat bevat. Dit zorgt ervoor dat de planten een stabiele omgeving hebben doordat het substraat vocht en voedingsstoffen vasthoudt en de temperatuur constant houdt. Een laag isolatie aan de voorkant zorgt er tevens voor dat de temperatuur van het substraat niet snel boven de 20°C komt. Daarnaast worden de modules onderling met elkaar verbonden zodat er per hoogte niveau maar één installatie nodig is die de watertoevoer regelt. De wateropslag is een los onderdeel en kan dus afhankelijk van de situatie wel of niet toegepast worden. Wanneer de wateropslag niet wordt toegepast kan er een Polderdak aan de gevelmodules gekoppeld worden. Verder kunnen de modules op elkaar gestapeld worden en hoeven ze dus niet aan de muur gehangen te worden. Er is wel een connectie met de gevel nodig voor het opvangen van laterale krachten, zoals de wind.

Bij bestaande bouw kan de gevel los van de bestaande gevel geplaatst worden. Er is dan een fundering nodig om de gevel op af te steunen. Voor hoogtes van meer dan 7 modules (4,9m) moet er een frame gemaakt worden waar de volgende laag op kan steunen. De modules zelf kunnen dan weer op elkaar gestapeld worden tot er na 7 lagen weer een balk nodig is. Bij nieuwbouw kan hier rekening mee gehouden worden door de constructie, bijvoorbeeld de vloer, uit te laten steken uit de gevel zodat de modules hier op kunnen staan. In het geval van een zuidelijke oriëntatie kan door de relatief grote diepte van de groene gevel een overstek gemaakt worden. Een overstek is een zonwering die in de zomermaanden direct zonlicht afschermt en zo zontoetreding beperkt, maar in de wintermaanden, door de lagere stand van de zon, maximale zontoetreding heeft. Op deze manier wordt energie bespaard. De irrigatie van het substraat wordt gedaan met behulp van een Permavoid krat, zoals in bovenstaande paragraaf omschreven.

Alle leidingen, kleppen en overige installaties bevinden zich in een schacht die de naam installatieschacht heeft gekregen. Zo is onderhoud aan de installatie eenvoudig en snel uit te voeren.

4.4.1. Keuze frame materiaal

De Dakdokters hebben als wens om de groene gevel naast nieuwbouw ook op bestaande bouw toe te kunnen passen. De lichtgewicht oplossingen die al op de markt zijn, wegen rond de 100kg/m². Om water op te vangen in een groene gevel en meer biodiversiteit in de beplanting aan te brengen is er voornamelijk meer massa nodig. Een gevel met zowel wateropslag als groen is al snel +300kg/m². Dit is bijna onmogelijk om op bestaande muren te monteren zonder aanpassingen aan het gebouw te doen.

Het ontwerp is in staat 7 gevelmodules op elkaar te stapelen. Hoger dan dat is er een frame nodig. Het frame heeft als functie de volgende laag modules, die weer op elkaar gestapeld kunnen worden, te ondersteunen. De modules rusten dus op een horizontale balk van het frame. De horizontale balk moet verticaal worden ondersteund door meer balken en uiteindelijk moet het hele frame rusten op een eigen fundering of een aangepaste bestaande fundering. In onderstaande tabel staan een aantal materialen waarvan het frame gemaakt kan worden. De materialen worden beoordeeld op de eigenschappen die het product moet hebben voor de functie van het frame.

Tabel 3: keuzematrix voor frame materiaal.

Eigenschap	Staal	Gerecycled staal	Aluminium	Bamboe	Composieten	Hout	3D print beton
Levensduur	+	+	++	o	o	-	++
Energie (productie)	-	o	--	++	-	++	O
Sterkte	++	++	+	+	o	o	+(compressie)
Stijfheid	++	++	+	++	++	+	-
Massa	-	-	+	++	+	+	-
Kosten	+	+	o	+	-	+	-
Totaal	4+	5+	3+	8+	3+	4+	O

Bamboe komt als beste materiaal uit de weging. Echter zijn er nog wel een paar aantekeningen bij te plaatsen. De levensduur zal moeten worden onderzocht in de specifieke situatie als frame (buiten) wat bestand moet zijn tegen vocht afkomstig van de omgeving en de groene gevel. Ook is de kennis in Nederland wat betreft bouw met bamboe niet sterk aanwezig, waar dit in Azië wel bekend is. Daarom is gerecycled staal de beste optie. Staalbouw is relatief goedkoop en veel toegepast. Daarnaast is het een snelle bouwmethode en is met de juiste roestpreventie de levensduur goed. Ook is, afhankelijk van het ontwerp, een slank frame mogelijk waardoor er meer ruimte overblijft voor groen.

4.5. Conclusie ontwerpfase

In de ontwerpfase is gekozen voor het uitwerken van concepten die gebruik maken van het baksysteem als type groene gevel. Van de drie concepten die gemaakt zijn kwam de all-in one gevel als beste naar voren. Aan dat concept zijn een aantal aanpassingen gemaakt. Zo is het gebruik van een frame van de dubbele opslag gevel toegevoegd aan het all-in one concept. Ook is na een gesprek met Joris Voeten de irrigatietechniek veranderd van capillaire werking met matten naar het Permavoid systeem. Tot slot is het materiaal van het frame vastgesteld op gerecycled staal.

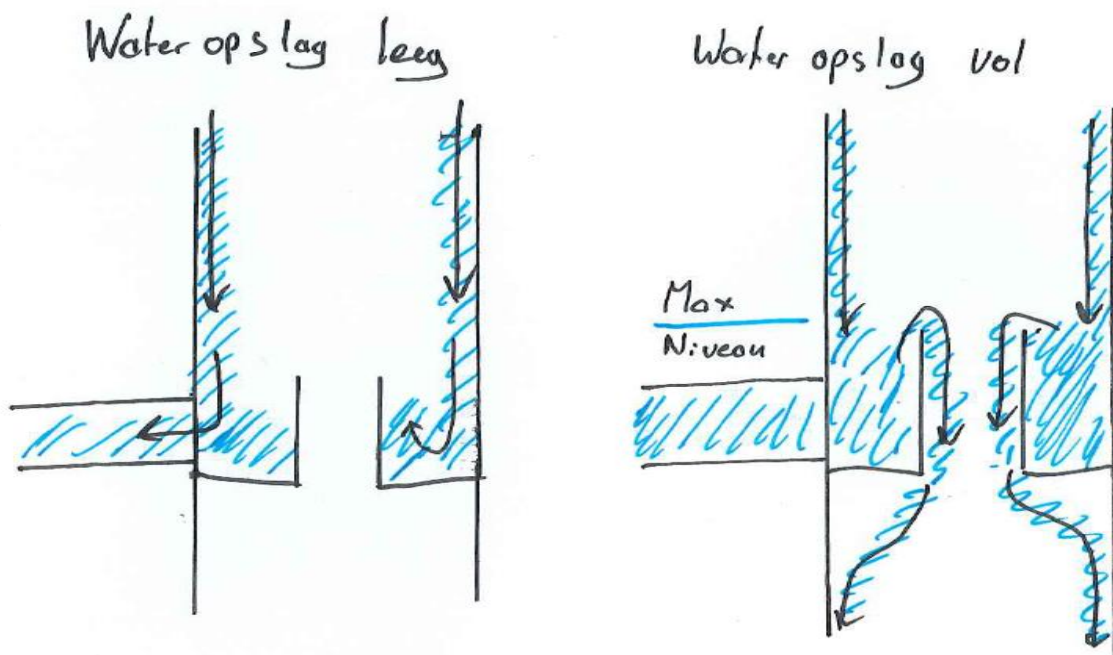
5. Detailleringfase

In de detailleringfase wordt het ontwerp verder uitgewerkt. Als eerste wordt het watermanagement behandeld. Zo worden de toegepaste technieken uitgelegd als ook de algemene werking. Vervolgens wordt er aandacht besteed aan de eisen voor de planten in de groene gevel. Vervolgens wordt de materiaalkeuze van de module behandeld. Het onderhoud aan de groene gevel komt in dit hoofdstuk ook aan bod. Tot slot wordt de case behandeld. In de case komt alles samen en wordt de module een groene gevel.

5.1. Watermanagement

Water wordt in het systeem opgevangen op het dak. De volumestroom is afhankelijk van het oppervlak van het dak en de maximale neerslag per uur. De maximale neerslag per uur is te vinden in bijlage II en bedraagt in 2050 maximaal 17mm/u (15,1mm/u maal 113%). Vanaf het dak wordt het water afgevoerd naar een verdeelbuis welke de massastroom opdeelt in n gelijke massastromen, waarbij n het aantal niveaus van de groene gevel is.

Het water uit de verdeelbuis gaat naar de wateropslag achter de groene gevel modules. De wateropslag wordt gevuld door een regenton vulautomaat (in het Engels bekend als downspout diverter). De vulautomaat maakt gebruik van de neiging van water om langs de wand van de buis te lopen, dit komt door adhesie. In onderstaande afbeelding zijn twee doorsneden te zien van een vulautomaat. De stroom langs de wand wordt onderbroken door de vulautomaat en zoekt de weg van de minste weerstand, die gaat naar de wateropslag. Wanneer de opslag vol zit stijgt het waterniveau en stroomt het over de buis in het midden van de vulautomaat verder naar beneden. Zo wordt voorkomen dat de wateropslag overstroomt.



Figuur 30: Stroom in de wateropslag vulautomaat bij een lege en een volle opslag.

Vanuit de wateropslag wordt het plantendeel gevoed met water. Dit gebeurt met een vlotterklep (figuur 30) per niveau. De vlotterklep bevindt zich in een behuizing met twee uitgangen, een uitgang naar het plantendeel en een uitgang voor het leeg laten lopen van het systeem (drain). De vlotterklep houdt het waterniveau in het plantendeel op een vaste waarde. In het plantendeel bevindt dit water zich in de ruimte van de Permavoid kratten, zoals uitgelegd in de conceptverandering. De drain wordt afgesloten door een magneetklep (figuur 31) welke centraal wordt aangestuurd.

Horizontaal worden de wateropslag en plantendelen met elkaar verbonden met behulp van buizen die op de aansluitingen worden gemonteerd.



Figuur 31: vlotterklep. Bron: Alibaba.com



Figuur 32: Magneetklep. Bron: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/39802-2279963.jpg

Naast het leidingwerk moet er ook een regelsysteem komen die de magneetkleppen aanstuurt. Dat regelsysteem moet bij vorst de wateropslag leeg kunnen laten lopen en daarnaast op basis van de verwachte neerslag voldoende ruimte vrijmaken om het regenwater op te vangen, net als het Polderdak doet. Dit regelsysteem is nog niet uitgewerkt in dit project en zal dus later alsnog moeten gebeuren.

5.2. Planten

In de literatuur en op het internet zijn lijsten met planten te vinden die geschikt zijn voor gebruik op groene gevels. In bijlage III is een lijst gemaakt met planten waarvan bekend is dat ze geschikt zijn voor toepassing op groene gevels. Deze planten voldoen aan de eisen om goed te functioneren op een groene gevel. Volgens de Brochure dak en gevel groen van Ir. Margareth E.C.M. Hop (2010) moeten planten voldoen aan de volgende criteria:

- De planten moeten passen bij de lichtcondities die bij de oriëntatie van de gevel horen.
- De planten moeten niet topzwaar zijn
- De planten moeten niet zo snel groeien dat ze meerdere keren per jaar gesnoeid moeten worden i.v.m. onderhoud
- De planten moeten in staat zijn de gehele gevel te bedekken
- De planten moeten ook in de winter de gevel aantrekkelijk houden door wintergroen te zijn of door aantrekkelijk te verdorren
- De bladkleur en -structuur moet voornamelijk aantrekkelijk zijn, bloei is mooi meegenomen maar duurt niet lang genoeg om de basis te zijn

5.3. Materiaalkeuze

Het materiaal voor de groene gevel moet aan een aantal eisen voldoen, namelijk:

- UV bestendig
- 100% recyclebaar
- Duurzaam zijn in vochtige omgeving
- Makkelijk te vormen zijn
- Bij voorkeur biologische oorsprong

In CES edupack, een database voor materialen met selectietools, is na het filteren op UV bestendigheid en biologisch afbreekbaarheid een lijst met materialen naar voren gekomen. Deze lijst bevat allerlei vormen van PLA, karton, papier en PHA.

Papier en karton vallen uiteraard af omdat die niet goed presteren in vochtige omstandigheden. Ook vallen veel vormen van PLA en PHA af omdat ze niet 100% recyclebaar zijn. Mocht die eis vervallen dat is een glas gevulde PLA een sterke optie en is er brandvertragend PLA mogelijk. Uiteindelijk is de keuze gevallen op 'general purpose' PLA. Dit materiaal is 100% recyclebaar, goed bestendig tegen UV, te maken uit suikers afkomstig van planten zoals Maïs en suikerbiet en presteert mechanisch goed. De kosten liggen tussen de €2,57 en €3,13 per kg. De volledige datasheet is te zien in bijlage V.

5.4. Onderhoud aan de groene gevel

Onderhoud aan groene gevels komt overeen met onderhoud aan intensieve groene daken en tuinen. Na de aanleg is regelmatig onderhoud nodig om onkruid en kiemen van planten en bomen uit de gevel te houden en de groei van de gewenste planten te verzekeren. Daarna is seizoensmatig onderhoud vereist waarbij planten gesnoeid worden, de grond bemest wordt en wederom onkruid verwijderd wordt.

Groene gevels vormen door de oriëntatie een extra uitdaging ten opzichte van daken en tuinen. Voor kleine hoogtes zullen er trappen nodig zijn bij het onderhoud en bij grotere hoogtes zijn liften of hoogwerkers nodig om te kunnen voldoen aan de ARBO. Het gebruik van een hoogwerker zorgt voor hogere kosten voor het uitvoeren van het onderhoud. Hoogwerkers en liften zijn tot ongeveer 20m hoogte te gebruiken (uit het overzicht van Riwal.nl hoogwerker verhuur). Bij gevels hoger dan 20m is wellicht het gebruik van een glazenwassers platform een mogelijkheid.



Figuur 33: Glazenwassers platform. Bron: By Hourick at en.wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4015847>

De kosten voor onderhoud komen voort uit de manuren die gemaakt worden tijdens het onderhoud en gebruik van materialen, zoals een hoogwerker of lift. Wanneer planten gezond zijn is er minder aandacht en dus tijd per plant nodig. Daarvoor kan tijdens het ontwerp al gezorgd worden door er voor te zorgen dat planten:

- Voldoende voeding en water hebben
- Niet te veel en niet te weinig licht krijgen
- Niet continu te natte of te droge grond hebben
- De grond niet te warm wordt (20°C)

Het kiezen van de juiste planten voor de lichtcondities en de verwachte vochtcondities zorgt er voor dat planten goed groeien en niet ziek worden en dus niet vervangen hoeven te worden tijdens het onderhoud. Een risico is dat planten te goed groeien door een overschot aan voedingsstoffen waardoor ze gaan woekeren of te groot worden. De hoeveelheid voeding moet dus goed bepaald worden.

Naast onderhoud aan planten moet er ook waar nodig onderhoud gepleegd worden aan de installatie zelf. Er moet gecontroleerd worden op lekken en of alle componenten nog goed functioneren. Toegankelijkheid van deze componenten en repareerbaarheid van onderdelen helpen de kosten laag te houden.

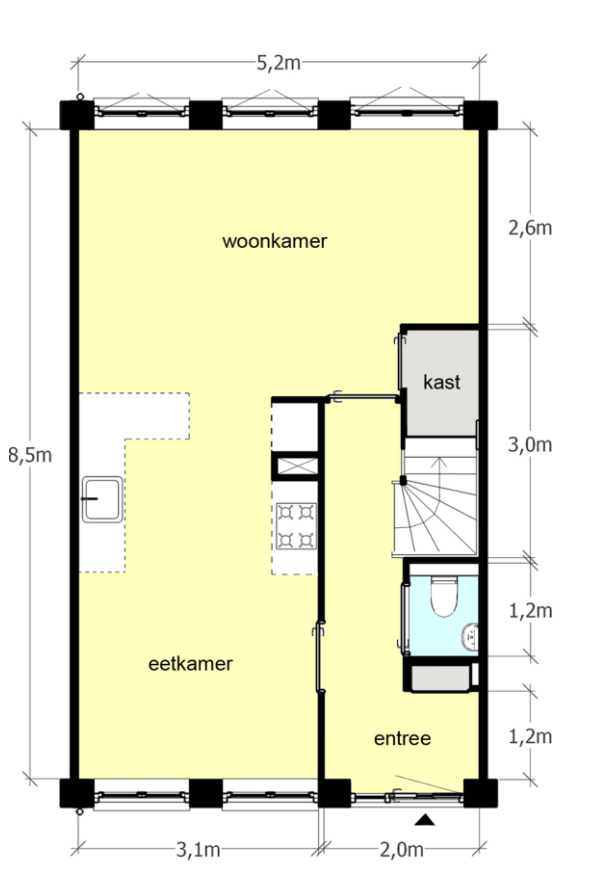
Er zijn weinig voorbeelden te vinden van groene gevels waarbij de onderhoudskosten bekend zijn, dus er is weinig data om een schatting op te baseren. In Engeland is echter wel een groene gevel gemaakt die ook een beperkte mate van wateropslag heeft. Voor deze gevel waren de onderhoudskosten ongeveer €50 per vierkante meter per jaar. Deze gevel is alleen niet erg hoog, waardoor kosten voor een hoogwerker of glazenwassersplatform niet van toepassing zijn. Het bedrag van €50 per vierkante meter per jaar is wel een goed doel om ten minste te halen.

5.5. Van tekening naar de praktijk

Een van de producten die in het projectplan besproken zijn is een case die uitgewerkt is. De case zorgt er voor dat het ontwerp in een meer reële situatie geplaatst wordt. Voor de casus is gekozen om een muur van een woonhuis te voorzien van een groene gevel. Er is gekozen voor een woonhuis omdat Friso Klapwijk directeur van De Dakdokters daar benieuwd naar was. Ook in verband met de beschikbare tijd is deze casus een verstandige keuze. Interessant is om later nog een casus uit te

werken met een groene gevel waar een extra frame voor nodig is, maar dat is voor een volgende fase.

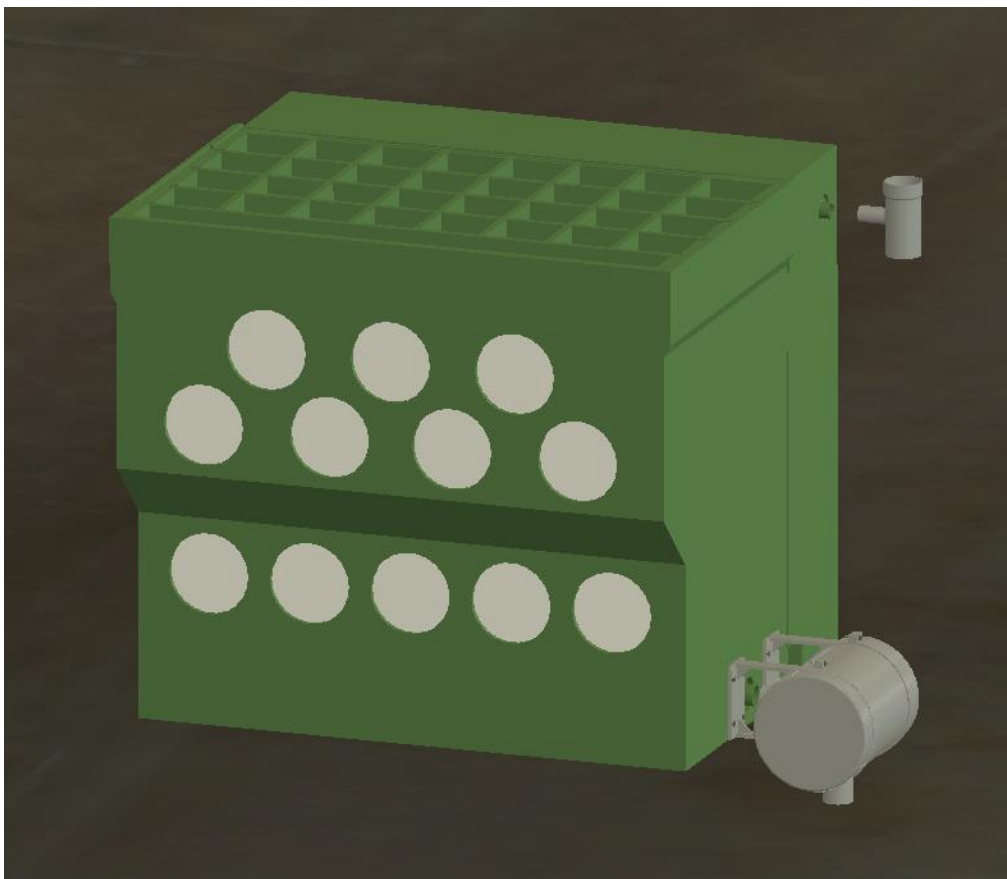
Het gebouw is een doorzonwoning met onderstaande plattegrond.



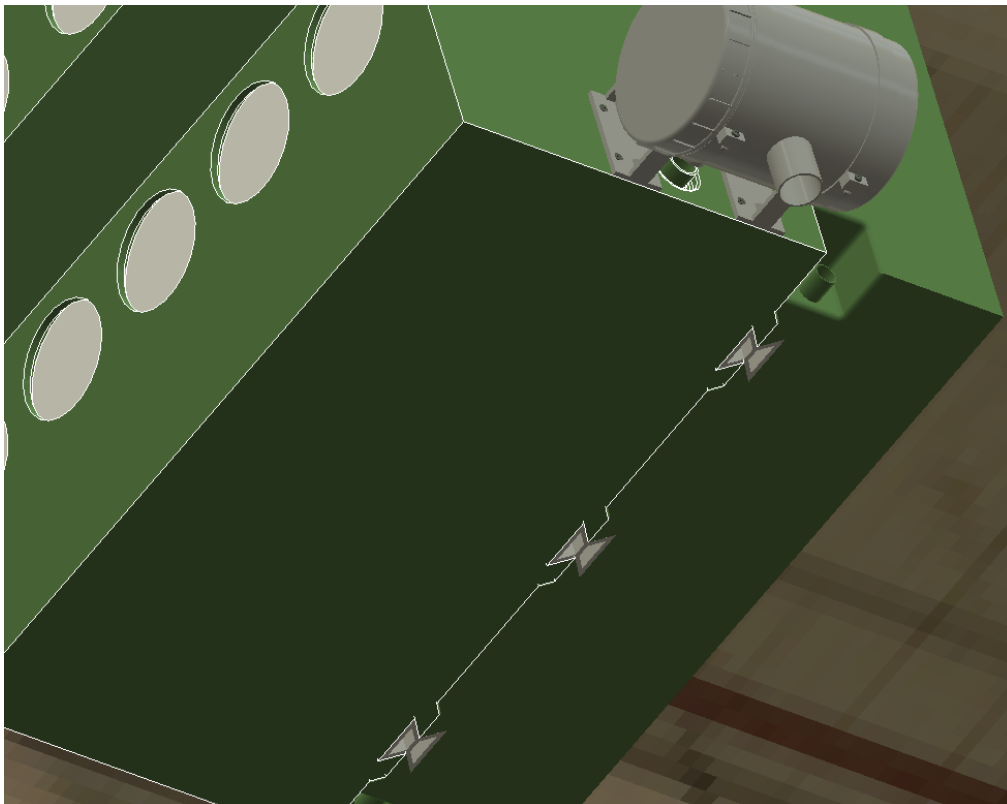
Figuur 34: Plattegrond woning. Bron: http://www.webuildhomes.nl/wp-content/uploads/152_de-Architekten-Cie_Fresh_plattegronden.jpg

De gevel wordt langs de lange muur geplaatst. De hoogte van de gevel is 7 modules hoog, 4,9m. De hoogte van de dakgoot is 5,6 meter. Er is gekozen voor 7 lagen in plaats van 8, wat theoretisch past, omdat er ruimte nodig is voor de verdeelbuis die de stroom regenwater vanaf de dakgoot over de modules verdeelt.

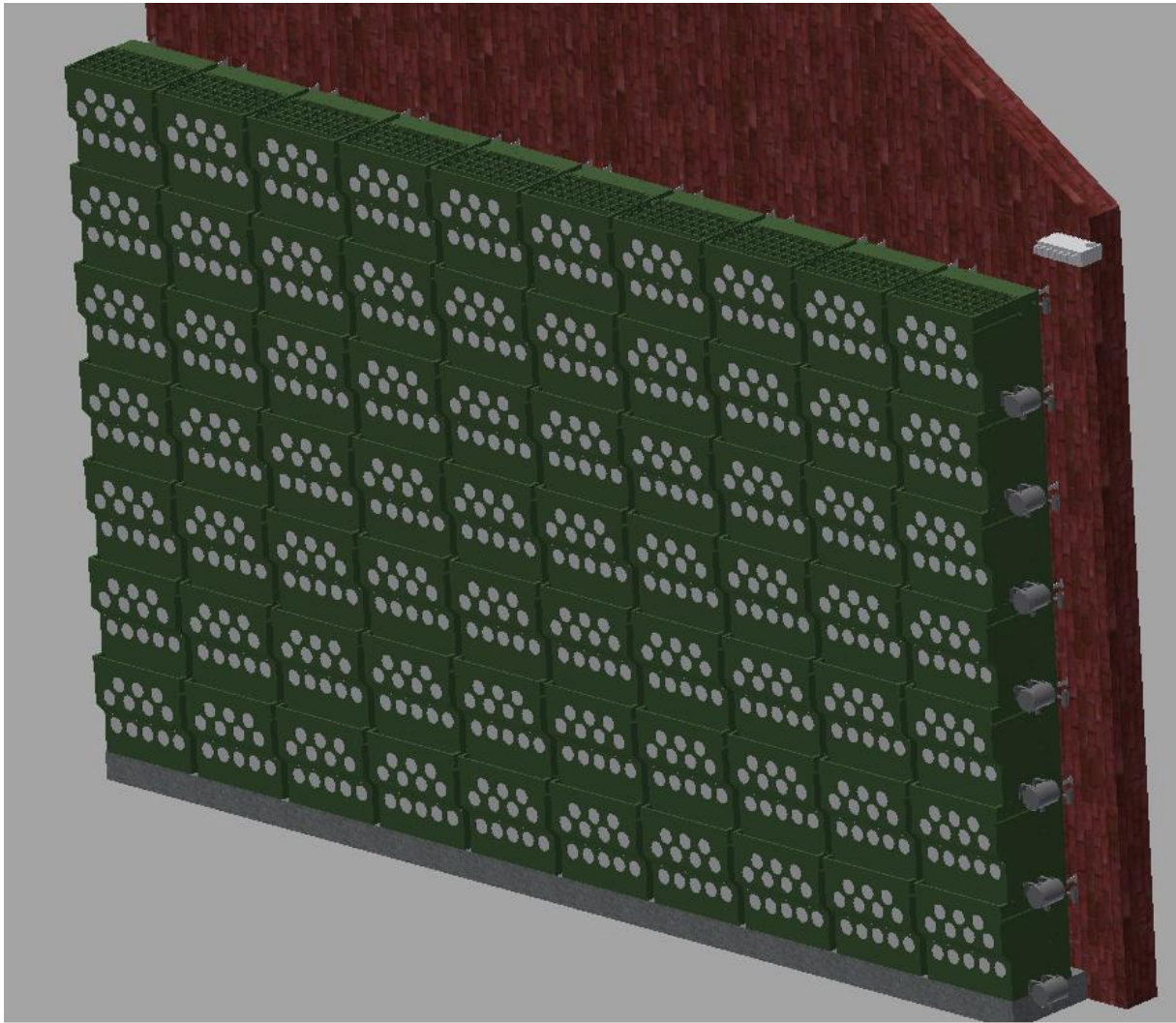
In figuur 35 tot 37 zijn afbeeldingen van de module en de groene gevel te zien. Deze afbeeldingen zijn van het 3D model. Voor de groene gevel en de module zijn een aantal berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen en tevens ook maatgegevens van de module zijn te vinden in bijlage III.



Figuur 35: Render van de groene gevel module.



Figuur 36: Render van de groene gevel module, van onderaf bekeken.



Figuur 37: Model van de case met muur en gevel modules. Rechts is de installatieschacht te zien.

6. Conclusies & aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusies en de aanbevelingen van het rapport behandeld.

6.1. Conclusies

Meer planten in de stad is de oplossing voor veel problemen in de stedelijke omgeving, zoals de waterhuishouding en het hitte eiland effect. Ook wordt de lucht schoner door het plaatsen van planten. Groene gevels worden, in tegenstelling tot groene daken, alleen bijna niet toegepast en maken daarom bijna geen verschil in het oplossen van de stedelijke problemen. De reden hiervoor lijkt te zijn dat de kosten en de baten ongelijk verdeeld zijn over de stakeholders, een split incentive. De probleemstelling richt zich daarom op het vergroten van de directe baten en het verkleinen van de directe kosten.

Binnen het begrip groene gevel zijn er 6 type systemen mogelijk die opgedeeld kunnen worden in twee groepen, grond gebonden en niet grond gebonden systemen. De niet grond gebonden systemen kunnen direct volledig groen zijn na plaatsing en bieden de meeste diversiteit in planten.

Uit het onderzoek naar de verdamping van planten is gebleken dat die verdamping maximaal 98mm/m² bedraagt in juli. Op jaarbasis is de verdamping 575mm. Deze hoeveelheid water moet opgevangen en opgeslagen worden in de gevel wil de gevel zonder kraanwater het hele jaar groen blijven. Om het systeem ook toekomstbestendig te maken is de benodigde wateropslag gesteld op 112mm water per vierkante meter groene gevel.

In de ontwerpfase is gebleken dat de bakgevel het beste type groene gevel is om concepten te maken voor de probleemstelling van het project. Ook moet het ontwerp zo veel mogelijk grond bevatten voor gezonde planten in groene gevels. Die grond mag vervolgens niet warmer worden dan 20°C omdat planten anders stoppen met groeien en dus ook verdampen.

Uit de detailfase valt te concluderen dat de onderhoudskosten lager zijn wanneer de planten gezond zijn. Ook is voor onderhoud aan groene gevels een hoogwerker of een glazenwassersplatform nodig om veilig op hoogte te kunnen werken. De oriëntatie van de groene gevel bepaald de plantenkeuze door lichtomstandigheden.

6.2. Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen zijn van toepassing voor voortzetting van het project.

- Het ontwerp verder ontwikkelen zodat deze een water en weerdichte gevellaag kan vormen. Op deze manier kunnen de bouwkosten verlaagd worden.
- De leidingen en installatieschacht verder uitwerken voor produceerbaarheid en betrouwbaarheid. Het is aan te bevelen hierbij iemand te betrekken die ervaring heeft in de praktijk en een grote kennis heeft van de mogelijke producten.
- Een case uitwerken voor een groene gevel die dusdanig hoog is dat er een frame nodig is om de modules te ondersteunen.
- Een model bouwen die als testopstelling fungeert. Een van de mogelijke testen is het bepalen van de verdamping met de WUCOLS methode, om zo de evapotranspiratie van groene gevels beter te bepalen.
- Het regelsysteem ontwerpen dat de waterstand in de wateropslag regelt voor vorst, het opvangen van de verwachte neerslag en opslag voor gebruik door de planten.
- Tests uitvoeren om te kijken of het ontwerp in de praktijk presteert zoals dat in de theorie bedacht is.
- Voor productie van het ontwerp contact opnemen met producten en het ontwerp testen op produceerbaarheid.
- Bepalen in wat voor businesscase de groene gevel gebruikt gaat worden.

Literatuurlijst

1. Hoogland, W., Dik, R., & Brand, I. (2015). *Rapport over rapporteren: Op papier en digitaal*. Groningen: Noordhoff Uitgevers bv.
2. Oskam, I. (2012). *Ontwerpen van technische innovaties: Door onderzoek, creatief denken en samenwerken*. Groningen [etc.: Noordhoff.
3. Hendriks, N. A. (2008). *Gevels in 't groen: Aanwijzingen voor het ontwerpen van groene gevels*. Rotterdam: SBR.
4. Ouwehand, J. Papa, T. de Geus, J. Gilijamse, W. de Wit, J. (2014). *Duurzame energietechniek*. Den Haag: BIM Media B.V.
5. KNMI. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.
6. Cohesion policy 2014-2020. (2014, maart). *INTEGRATED SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT*. Van: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/informat/2014/urban_en.pdf
7. Stedelijke themas. Geraadpleegd op februari 2016, van UN habitat website, <http://unhabitat.org/urban-themes/>
8. NOS (8 december 2015). Gebouwen in Nederland grootste vervuilers. NOS. Van: <http://nos.nl/>
9. Dunnett, Nigel. Kingsbury, Noël. (2008) *Planting green roofs and living walls* /Portland, Or. : Timber Press,
10. Hop, Margareth E.C.M. (2010). *Brochure voor dak en gevel groen*. Houten: Plants Publicity Holland.

Bijlage I Pakket van eisen en wensen

Eisen	De gebruikte materialen zijn 100% recyclebaar
	De gevel kan een maand lang planten voorzien van hun maximale waterbehoefte (112,4mm/m ² groene gevel)
	De gevel kan de grootste buien opvangen en hierin toekomstbestendig (2050)
	Grond/substraat in de groene gevel wordt niet warmer dan 20 graden Celsius
	Maximaal 2 keer per jaar regulier onderhoud
	Onderhoud moet veilig gedaan kunnen worden (ARBO/Bouwbesluit)
	Bij falen moet vervanging of reparatie gecombineerd kunnen worden met regulier onderhoud.
	Er moet water geloosd worden uit de wateropslag wanneer de verwachte neerslag niet opgevangen kan worden of wanneer de opslag voor 80% vol zit en er neerslag verwacht wordt.
	Voor een vorstperiode met temperaturen van -3 of lager en/of langer dan 2 dagen moet de wateropslag geleegd worden.
	Levensduur van de installatie is ten minste 25 jaar
	Levensduur van de beplanting is 5 jaar
	De gevel moet meer dan een laag in de hoogte kunnen werken
Wensen	De gevel moet het hele jaar door aantrekkelijk (levendig) ogen
	Irrigatie is passief
	De onderhoudskosten zijn lager dan €50 /m ² /jaar
Succescriteria	De gevel wordt gefabriceerd met zo veel mogelijk gerecyclede materialen
	De gevel heeft zo laag mogelijke onderhoudskosten
	De gevel zuivert de lucht zo veel mogelijk
	De gevel verlaagd het energiegebruik van het gebouw zo veel mogelijk
	De gevel biedt plaats aan zo veel mogelijk planten
	De groene gevel bevat zo veel mogelijk grond/substraat.

Bijlage II Kerncijfers KNMI'14 klimaatscenario's

Kerncijfers KNMI'14-klimaatscenario's									
Seizoen ^A	Variabele	Indicator	Klimaat ^B 1951-1980	Klimaat ^B 1981-2010	Scenario veranderingen voor het klimaat rond 2050 ^C (2036-2065)				Natuurlijke variaties
				= referentie - periode	GL	GH	WL	WH	gemiddeld over 30 jaar ^D
Wereldwijde temperatuurstijging:					+1 °C	+1 °C	+2 °C	+2 °C	
Verandering van luchtstromingspatroon:					Lage waarde	Hoge waarde	Lage waarde	Hoge waarde	
Jaar	Zeespiegel bij Noordzeekus t	absolute niveau ^E	4 cm beneden NAP	3 cm boven NAP	+15 tot +30 cm	+15 tot +30 cm	+20 tot +40 cm	+20 tot +40 cm	± 1,4 cm
		tempo van verandering	1,2 mm/jaar	2,0 mm/jaar	+1 tot +5,5 mm/jaa r	+1 tot +5,5 mm/jaa r	+3,5 tot +7,5 mm/jaa r	+3,5 tot +7,5 mm/jaa r	± 1,4 mm/jaar
	Temperatuur	gemiddelde	9,2 °C	10,1 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+2,0 °C	+2,3 °C	± 0,16 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	774 mm	851 mm	+4%	+2,5%	+5,5%	+5%	± 4,2%
	Zonnestraling	zonnestraling	346 kJ/cm2 ^F	354 kJ/cm2	+0,6%	+1,6%	-0,8%	+1,2%	± 1,6%
	Verdamping	potentiele verdamping (Makkink)	534 mm ^F	559 mm	+3%	+5%	+4%	+7%	± 1,9%
	Mist	aantal uren met zicht minder dan 1 km	412 uur	300 uur ^G	-110 uur	-110 uur	-110 uur	-110 uur	± 39 uur
Winter	Temperatuur	gemiddelde	2,4 °C	3,4 °C	+1,1 °C	+1,6 °C	+2,1 °C	+2,7 °C	± 0,48 °C
		jaar-op-jaar variaties ^H	-	± 2,6 °C	-8%	-16%	-13%	-20%	-
		dagmaximum	5,1 °C	6,1 °C	+1,0 °C	+1,6 °C	+2,0 °C	+2,5 °C	± 0,46 °C
		dagminimum	-0,3 °C	0,5 °C	+1,1 °C	+1,7 °C	+2,2 °C	+2,8 °C	± 0,51 °C
		koudste winterdag per jaar	-7,5 °C	-5,9 °C	+2,0 °C	+3,6 °C	+3,9 °C	+5,1 °C	± 0,91 °C
		zachtste winterdag per jaar	10,3 °C	11,1 °C	+0,6 °C	+0,9 °C	+1,7 °C	+1,7 °C	± 0,42 °C
		aantal vorstdagen (min temp < 0 °C)	42 dagen	38 dagen	-30%	-45%	-50%	-60%	± 9,5%
		aantal ijsdagen (max temp < 0 °C)	11 dagen	7,2 dagen	-50%	-70%	-70%	-90%	± 31%
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	188 mm	211 mm	+3%	+8%	+8%	+17%	± 8,3%
		jaar-op-jaar variaties ^H	-	± 96 mm	+4,5%	+9%	+10%	+17%	-
		10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden ^I	80 mm	89 mm	+6%	+10%	+12%	+17%	± 11%
		aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	56 dagen	55 dagen	-0,3%	+1,4%	-0,4%	+2,4%	± 4,7%

		aantal dagen ≥ 10 mm	4,1 dagen	5,3 dagen	+9,5%	+19%	+20%	+35%	± 14%
	Wind	gemiddelde windsnelheid	-	6,9 m/s	-1,1%	+0,5%	-2,5%	+0,9%	± 3,6%
		hoogste daggemiddeld e windsnelheid per jaar	-	15 m/s	-3%	-1,4%	-3%	0,0%	± 3,9%
		aantal dagen met windrichting tussen zuid en west	44 dagen	49 dagen	-1,4%	+3%	-1,7%	+4,5%	± 6,4%
Lente	Temperatuur	gemiddelde	8,3 °C	9,5 °C	+0,9 °C	+1,1 °C	+1,8 °C	+2,1 °C	± 0,24 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	148 mm	173 mm	+4,5%	+2,3%	+11%	+9%	± 8,0%
Zomer	Temperatuur	gemiddelde	16,1 °C	17,0 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+1,7 °C	+2,3 °C	± 0,25 °C
		jaar-op-jaar variaties ^{H)}	-	± 1,4 °C	+3,5%	+7,5%	+4%	+9,5%	-
		dagmaximum	20,7 °C	21,9 °C	+0,9 °C	+1,4 °C	+1,5 °C	+2,3 °C	± 0,35 °C
		dagminimum	11,2	11,9	+1,1 °C	+1,3 °C	+1,9 °C	+2,2 °C	± 0,18 °C
		koelste zomerdag per jaar	10,3 °C	11,1 °C	+0,9 °C	+1,1 °C	+1,6 °C	+2,0 °C	± 0,43 °C
		warmste zomerdag per jaar	23,2 °C	24,7 °C	+1,4 °C	+1,9 °C	+2,3 °C	+3,3 °C	± 0,52 °C
		aantal zomerse dagen (max temp ≥ 25 °C)	13 dagen	21 dagen	+22%	+35%	+40%	+70%	± 13%
		aantal tropische nachten (min temp ≥ 20 °C)	< 0,1 dagen	0,1 dagen	+0,5%	+0,6%	+1,4%	+2,2%	-
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	224 mm	224 mm	+1,2%	-8%	+1,4%	-13%	± 9,2%
		jaar-op-jaar variaties ^{H)}	-	± 113 mm	+2,1 tot +5%	-2,5 tot +1,0%	+1,4 tot +7%	-4 tot +2,2%	-
		dagelijkse hoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschredenI)	44 mm	44 mm	+1,7 tot +10%	+2,0 tot +13%	+3 tot +21%	+2,5 tot +22%	± 15%
		maximum uurneerslag per jaar	14,9 mm/uur	15,1 mm/uur	+5,5 tot +11%	+7 tot +14%	+12 tot +23%	+13 tot +25%	± 14%
		aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	45 dagen	43 dagen	+0,5%	-5,5%	+0,7%	-10%	± 6,4%
		aantal dagen ≥ 20 mm	1,6 dagen	1,7 dagen	+4,5 tot +18%	-4,5 tot +10%	+6 tot +30%	-8,5 tot +14%	± 24%
	Zonnestraling	zonnestraling	149 kJ/cm2 ^{F)}	153 kJ/cm2	+2,1%	+5%	+1,0%	+6,5%	± 2,4%
	Vochtigheid	relatieve vochtigheid	78%	77%	-0,6%	-2,0%	+0,1%	-2,5%	± 0,86%
	Verdamping	potentiele verdamping (Makkink)	253 mm ^{F)}	266 mm	+4%	+7%	+4%	+11%	± 2,8%
	Droogte	gemiddeld hoogste neerslagtekort	140 mm	144 mm	+4,5%	+20%	+0,7%	+30%	± 13%

		gedurende het groeiseizoen ¹⁾							
		hoogste neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden ¹⁾	-	230 mm	+5%	+17%	+4,5%	+25%	-
Herfst	Temperatuur	gemiddelde	10,0 °C	10,6 °C	+1,1 °C	+1,3 °C	+2,2 °C	+2,3 °C	± 0,27 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	214 mm	245 mm	+7%	+8%	+3%	+7,5%	± 9,0%

Kerncijfers KNMI'14-klimaatscenario's, met correctie W _L 2085									
Seizoen ^A)	Variabele	Indicator	Klimaat ^B) 1951- 1980	Klimaat ^B) 1981- 2010 = referentie - periode	Scenario veranderingen voor het klimaat rond 2085 ^C (2071-2100)				Natuurlijke variaties gemiddeld over 30 jaar ^D)
					G _L	G _H	W _L	W _H	
Wereldwijde temperatuurstijging:					+1,5 °C	+1,5 °C	+3,5 °C	+3,5 °C	
Verandering van luchtstromingspatroon:					Lage waarde	Hoge waarde	Lage waarde	Hoge waarde	
Jaar	Zeespiegel bij Noordzeekus t	absolute niveau ^E)	4 cm beneden NAP	3 cm boven NAP	+25 tot +60 cm	+25 tot +60 cm	+45 tot +80 cm	+45 tot +80 cm	± 1,4 cm
		tempo van verandering	1,2 mm/jaar	2,0 mm/jaar	+1 tot +7,5 mm/jaa r	+1 tot +7,5 mm/jaa r	+4 tot +10,5 mm/jaa r	+4 tot +10,5 mm/jaa r	± 1,4 mm/jaar
	Temperatuur	gemiddelde	9,2 °C	10,1 °C	+1,3 °C	+1,7 °C	+3,3 °C	+3,7 °C	± 0,16 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	774 mm	851 mm	+5%	+5%	+7%	+7%	± 4,2%
	Zonnestraling	zonnestraling	346 kJ/cm ² ^F)	354 kJ/cm ²	-0,5%	+1,1%	-0,9%	+1,4%	± 1,6%
	Verdamping	potentiele verdamping (Makkink)	534 mm ^F)	559 mm	+2,5%	+5,5%	+6%	+10%	± 1,9%
	Mist	aantal uren met zicht minder dan 1 km	412 uur	300 uur ^G)	-120 uur	-120 uur	-120 uur	-120 uur	± 39 uur
Winter	Temperatuur	gemiddelde	2,4 °C	3,4 °C	+1,3 °C	+2,0 °C	+3,2 °C	+4,1 °C	± 0,48 °C
		jaar-op-jaar variaties ^H)	-	± 2,6 °C	-10%	-17%	-15%	-24%	-
		dagmaximum	5,1 °C	6,1 °C	+1,2 °C	+2,0 °C	+3,1 °C	+3,8 °C	± 0,46 °C
		dagminimum	-0,3 °C	0,5 °C	+1,4 °C	+2,1 °C	+3,5 °C	+4,4 °C	± 0,51 °C
		koudste winterdag per jaar	-7,5 °C	-5,9 °C	+2,7 °C	+4,1 °C	+5,6 °C	+7,3 °C	± 0,91 °C
		zachtste winterdag per jaar	10,3 °C	11,1 °C	+1,0 °C	+1,2 °C	+2,8 °C	+3,1 °C	± 0,42 °C
		aantal vorstdagen (min temp < 0 °C)	42 dagen	38 dagen	-35%	-50%	-70%	-80%	± 9,5%

		aantal ijsdagen (max temp < 0 °C)	11 dagen	7,2 dagen	-60%	-80%	-90%	<-90%	± 31%
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	188 mm	211 mm	+4,5%	+12%	+13%	+30%	± 8,3%
		jaar-op-jaar variaties ^{H)}	-	± 96 mm	+6,5%	+12%	+16%	+30%	-
		10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden ^{I)}	80 mm	89 mm	+8%	+12%	+18%	+25%	± 11%
		aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	56 dagen	55 dagen	+0,3%	+1,0%	-1,1%	+3%	± 4,7%
	Wind	aantal dagen ≥ 10 mm	4,1 dagen	5,3 dagen	+14%	+24%	+30%	+60%	± 14%
		gemiddelde windsnelheid	-	6,9 m/s	-2,0%	+0,5%	-2,5%	+2,2%	± 3,6%
		hoogste daggemiddeld e windsnelheid per jaar	-	15 m/s	-2,0%	-0,9%	-1,8%	+2,0%	± 3,9%
		aantal dagen met windrichting tussen zuid en west	44 dagen	49 dagen	-1,6%	+6,5%	-6,5%	+4%	± 6,4%
Lente	Temperatuur	gemiddelde	8,3 °C	9,5 °C	+1,2 °C	+1,5 °C	+2,8 °C	+3,1 °C	± 0,24 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	148 mm	173 mm	+8%	+7,5%	+15%	+12%	± 8,0%
Zomer	Temperatuur	gemiddelde	16,1 °C	17,0 °C	+1,2 °C	+1,7 °C	+3,2 °C	+3,7 °C	± 0,25 °C
		jaar-op-jaar variaties ^{H)}	-	± 1,4 °C	+5%	+9%	+7,5%	+14%	-
		dagmaximum	20,7 °C	21,9 °C	+1,0 °C	+1,7 °C	+3,0 °C	+3,8 °C	± 0,35 °C
		dagminimum	11,2	11,9	+1,4 °C	+1,7 °C	+3,4 °C	+3,7 °C	± 0,18 °C
		koelste zomerdag per jaar	10,3 °C	11,1 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+2,7 °C	+3,1 °C	± 0,43 °C
		warmste zomerdag per jaar	23,2 °C	24,7 °C	+2,0 °C	+2,6 °C	+4,2 °C	+4,9 °C	± 0,52 °C
		aantal zomerse dagen (max temp ≥ 25 °C)	13 dagen	21 dagen	+30%	+50%	+100%	+130%	± 13%
		aantal tropische nachten (min temp ≥ 20 °C)	< 0,1 dagen	0,1 dagen	+0,9%	+1,2%	+6,5%	+7,5%	-
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	224 mm	224 mm	+1,0%	-8%	-5%	-23%	± 9,2%
		jaar-op-jaar variaties ^{H)}	-	± 113 mm	+1,2 tot +5,5%	-2,5 tot +1,9%	-0,9 tot +10%	-8,5 tot +2,3%	-
		dagelijkse hoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden ^{I)}	44 mm	44 mm	+2,5 tot +15%	+2,5 tot +17%	+5,5 tot +40%	+5 tot +40%	± 15%
		maximum uurneerslag per jaar	14,9 mm/uur	15,1 mm/uur	+8 tot +16%	+9 tot +19%	+22 tot +45%	+22 tot +45%	± 14%

		aantal natte dagen ($\geq 0,1$ mm)	45 dagen	43 dagen	+2,1%	-5,5%	-5%	-16%	$\pm 6,4\%$
		aantal dagen ≥ 20 mm	1,6 dagen	1,7 dagen	+5 tot +23%	-3,5 tot +14%	+3 tot +40%	-15 tot +14%	$\pm 24\%$
	Zonnestraling	zonnestraling	149 kJ/cm ^{2F)}	153 kJ/cm ²	+0,9%	+5,5%	+3,5%	+9,5%	$\pm 2,4\%$
	Vochtigheid	relatieve vochtigheid	78%	77%	0,0%	-2,0%	-0,6%	-3%	$\pm 0,86\%$
	Verdamping	potentiele verdamping (Makkink)	253 mm ^{F)}	266 mm	+3,5%	+8,5%	+9%	+15%	$\pm 2,8\%$
	Droogte	gemiddeld hoogste neerslagtekort gedurende het groeiseizoen ¹⁾	140 mm	144 mm	+1,0%	+19%	+14%	+50%	$\pm 13\%$
		hoogste neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden ¹⁾	-	230 mm	+3,5%	+17%	+15%	+40%	-
Herfst	Temperatuur	gemiddelde	10,0 °C	10,6 °C	+1,6 °C	+1,6 °C	+3,8 °C	+3,8 °C	$\pm 0,27$ °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	214 mm	245 mm	+7,5%	+9%	+6,5%	+12%	$\pm 9,0\%$

Bijlage III Lijst van planten

Bron: Brochure voor dak en gevel groen, Margareth Hop (2010).

Vaste planten voor een zonwand

• Ajuga reptans - klein donkergroen blad, paarse bloemetjes • Alchemilla mollis - groot zachtbehaard lichtgroen blad • Armeria - grasachtig blad, paars bloemhoofdje • Artemisia - grijs-wit behaard blad • Ceratostigma plumbaginoides - roodbruin blad, blauwe bloem • Festuca glauca - gras • Geranium - ingesneden blad, rijke bloei, roze, paars, wit • Helianthemum - rijke bloei, geel, rood, roze, wit, blad wintergroen • Hemerocallis (botanische soorten) - grasachtig blad, grote bloem, geel of geel/rood • Koeleria - gras • Liriope - grasachtig blad, paarse bloeiaartjes • Nepeta - klein grijsgroen blad, paarse bloemetjes • Ophiopogon planiscapus 'Niger' - zwart-purper grasachtig blad • Origanum - klein blad, paarse bloemetjes • Pennisetum alopecuroides - gras • Phlox stolonifera - heel klein blad, paarse of roze bloemetjes • Prunella - donkergroen blad, paarse bloemetjes • Sedum - vetplant, wintergroen, voor extensieve wanden • Stachys byzantina - grijs-wit sterk behaard blad, roze bloem

Vaste planten voor een schaduwwand

• Adiantum capillus-veneris - varen • Asarum - donkergroen leerachtig blad, • Astilbe chinensis var. pumila - "jn ingesneden blad, roze bloeiaar • Bergenia - groot leerachtig wintergroen blad, roze bloem • Blechnum spicant - varen • Convallaria - gaafrandig blad, geurende witte bloemetjes • Epimedium - brons jong blad, bloem geel of roze, deels wintergroen • Heuchera - purper of brons blad met tekening, roze ijle bloempjes • Hosta - groot blad, groen, blauwgroen of met gele of witte tekening, bloemen paars of wit • Lamium - blad met zilveren vlekken, bloem geel, paars of wit • Omphalodes - blauwe bloemetjes als vergeet-me-niet • Pachysandra - wintergroen leerachtig blad, witte bloem • Pulmonaria - groot blad met witte vlekken, bloem paars/roze • Tiarella - groot zachtbehaard blad, ijle groenwitte bloempluim.

Heesters voor een zonwand

• Berberis - wintergroen, klein blad • Buxus - wintergroen, klein leerachtig blad • Cotoneaster - wintergroen, klein leerachtig blad, rode bes • Erica - heide, wintergroen, bloem paars/roze/wit • Hebe - heel klein (wintergroen) blad, bloemetjes roze/wit • Hypericum calycinum - middelgroot blad, grote gele bloem • Lavandula - wintergroen, grijsgroen blad, paarse bloem • Mahonia repens - wintergroen stekelig blad, gele bloemetjes • Pieris - wintergroen klein blad, rode knop, witte bloem • Rosa (kruipend) - bloei in allerlei kleuren • Spiraea - klein blad, witte of roze bloemtrossen

Heesters voor een schaduwwand

• Daphne - wintergroen klein blad, roze geurende bloem • Euonymus fortunei - vrij klein wintergroen blad, groen of met witte/gele vlekken • Gaultheria procumbens - wintergroen klein blad, witte bloem, rode/roze bes • Vinca - wintergroen vrij klein blad, paarse bloem

Er zijn meerdere van dit soort lijsten te vinden op het internet zoals in onderstaande link. Die lijst is echter gericht op toepassingen in Australië en daarom minder ideaal voor Nederland.

<http://ozbreed.com.au/recommended-greenwall-plants/>

Bijlage IV Gegevens en berekeningen ontwerp

Berekeningen aan bakken voor de case.

In de case wordt voor een woonhuis een groene gevel geplaatst. Hieronder zijn gegevens verzameld en uitgerekend.

Gegevens huis

- Hoogte = 5,6m
- Lengte = 8,5m
- Breedte = 5,2m
- Oppervlak dak = 44,2m²
- Modules in de breedte = 10
- Modules in de hoogte = 7 (8 is niet mogelijk i.v.m. waterhuishouding)
- Maximale neerslag per uur:

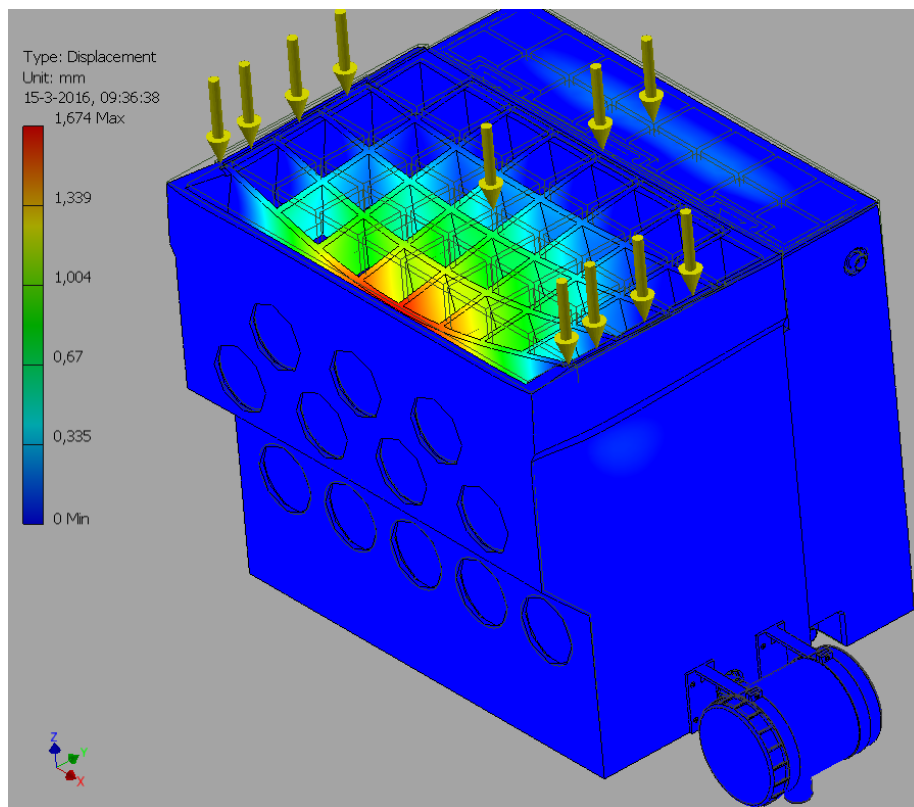
$$\varphi_m = Opp_{dak} \cdot neerslag = 44,2m^2 \cdot \frac{(15,1 \cdot 1,13)mm}{u} = 0,754 \frac{m^3}{u} = 0,21 \frac{kg}{s}$$

- De waarde voor de neerslag komt uit KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland (2015)

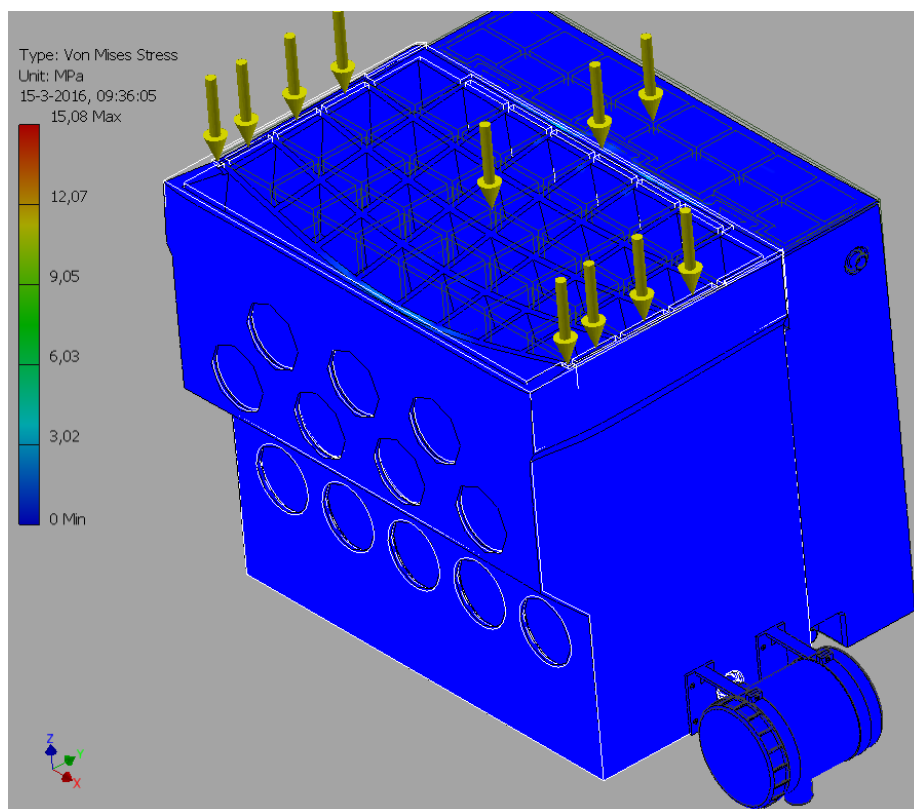
Gegevens groene gevel module

- Breedte = 0,76m
- Hoogte = 0,695m
- Diepte met wateropslag = 0,66m
- Diepte zonder wateropslag = 0,48m
- Frontaal oppervlak gevel module = 0,524m²
- Inhoud wateropslag = 74,6L
- Verhouding $\frac{V_{opslag}}{Opp_{gevel}} = \frac{0,0746 m^3}{0,524 m^2} = 0,136 m$
- Dit is meer dan de eis van 0,1124 m.
- Massa systeem:
 - Massa onderdelen = 50,2 kg
 - Massa water = 74,6 kg
 - Massa water in Permavoid = 16,25 kg
 - Massa substraat + planten = ±189kg
 - Totaal: ±325kgs
- Steunoppervlak = 0,2175m²
$$\sigma = F \cdot A = 325 \cdot 9,81 \cdot 0,2175 = 146,6 kPa$$
- Kracht op fundering $F_{fundering} = F_{z module} \cdot n_{module} = 7 \cdot (325 \cdot 9,81) = 22,3 kN$
- Maximale spanning = 15MPa
- Maximale doorbuiging = 1,67mm
- Windbelasting = 4,5kPa (uit: Gevels in 't groen (2008))

$$F_{wind} = A \cdot \sigma = 0,524 \cdot 4,5kPa = 2,36kN$$



Figuur 31: Doorbuiging bij belasting van 6 volle modules (19,1kN)



Figuur 32: Maximale Von Mises spanning bij belasting van 6 volle modules (19,1kN)

Bijlage V Gegevens PLA

Datasheet van het gekozen materiaal: PLA.