

Invulling geven aan de multifunctionaliteit van het dak

Bodegraven



Datum: 02/05/2021

Projectnummer: 3014 Afstuderen Dexter

Status: 2^e peiling - Concept

Auteur(s): B.D.J. Beumken



Informatiepagina

Documentgegevens

Titel Invulling geven aan de multifunctionaliteit van het dak
Ondertitel *Op welke wijze kan een praktisch bruikbare tool vroegtijdig bijdragen aan het toetsen van de energie- en waterbergingsambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijke hoogbouw?*
Datum 11/06/2021

Auteursgegevens

Volledige naam Borre Dexter Jacob Beumken
Telefoonnummer
E-Mailadres
Opleiding Ruimtelijke Ontwikkeling/ Climate & Management
Onderwijsinstelling De Haagse Hogeschool
Studentnummer

Gegevens opdrachtgever

Naam Bedrijf Adviesbureau Merosch B.V.
E-Mailadres
Telefoon
Adres
Postcode

Contactpersoon Merosch

Naam Runa Lentz
Functie Adviseur
Rol in onderzoek Bedrijfsbegeleider
E-Mailadres

Contactpersonen de Haagse Hogeschool

Naam Bas Hilckmann
Rol in onderzoek Procesbegeleider
E-Mailadres

Naam Gerbrand van Bork
Rol in onderzoek Inhoudelijk begeleider en tevens afstudeercoördinator
E-Mailadres

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Begrippenlijst	6
Samenvatting	7
1 Inleiding.....	10
1.1 Thematiek	10
1.2 Aanleiding	10
1.3 Vraagstelling	11
1.4 Aanpak.....	12
1.5 Afbakening hoofdvraag.....	14
1.6 Leeswijzer	15
2 Huidig beleidskader Energie en Water op binnenstedelijke hoogbouw	16
2.1 Beleidsmatige ontwikkelingen lokale waterberging	16
2.2 Beleidsmatige ontwikkelingen lokale energieopwekking	18
2.3 Conclusie	20
2.4 Wat betekent dit voor de tool?	20
3 Fysieke kaders voor inpassing maatregelen	21
3.1 Dak meest kansrijk voor energieopwekking en waterberging	21
3.2 Onderzochte dakvoorzieningen	22
3.3 Mogelijkheden en beperkingen.....	24
3.4 Cijfermatige toelichting	28
3.5 Wat betekent dit voor de tool?	32
4 Eisen toolontwerp	33
4.1 Aanpak.....	33
4.2 Programma van Eisen	33
4.3 Wat betekent dit voor de tool?	35
5 Blauwdruk voor ontwerp en werking van de tool.....	37
5.1 Ontwerpproces tool.....	37
5.2 Eindtool	46
5.3 Gevoeligheidsanalyse.....	50
5.4 Toetsen van de tool: casestudy	53
5.5 Conclusie	54
6 Conclusie	55
7 Aanbevelingen en discussie	56
7.1 Discussie.....	56
7.2 Aanbevelingen	56
Bibliografie	58
Bijlage	60
Bijlage 1: Beleidsinventarisatie thema water	60
Bijlage 2: Beleidsinventarisatie thema energie.....	60
Bijlage 3: Uitwerking interview Arjan Krikke (De ENK)	61

Bijlage 4: Transcript interview Friso Klapwijk (Dakdokters).....	62
Bijlage 5: Transcript interview Tim Janszen (Janszon)	65
Bijlage 6: Overzicht daktype en daktype varianten	68
Bijlage 7: Complete cijfermatige onderbouwing daktype en daktypevarianten	70
Bijlage 8: Werkblad 1 tool: Handleiding.....	71
Bijlage 9: Werkblad 2 tool: Daktype.....	75
Bijlage 10: Werkblad 3 tool: Invoer	76
Bijlage 11: Werkblad 4 tool: Dashboard resultaten	77
Bijlage 12: Werkblad 5 tool: Gedetailleerd overzicht.....	78
Bijlage 13: Feedbackformulier rekenmodel	79

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage “*invulling geven aan de multifunctionaliteit van het dak*” als resultaat van mijn afstudeerstudie bij adviesbureau Merosch. Deze scriptie geldt als meesterproef van mijn opleiding Ruimtelijke Ontwikkeling, Climate en Management aan de Haagse Hogeschool. In deze rapportage komt vier jaar aan kennis, onderzoekstechnieken en theorie- en praktijkervaring samen.

Bij het onderzoeken en schrijven van de scriptie heb ik veel kennis, begeleiding en coaching mogen ontvangen van mijn begeleider Runa Lentz, waarvoor grote dank. Verder wil ik in het bijzonder ook de hogeschoolbegeleiders Bas Hilckmann en Gerbrand van Bork bedanken voor hun scherpe blik en goede begeleiding tijdens het afstuderen. Als laatst wil ik ook graag mijn collega's bij Merosch bedanken voor het creëren van een gezonde en leuke werksfeer die hebben bijgedragen aan een hele prettige afstudeerervaring. Ik kijk met vreugde terug op deze periode.

Veel plezier bij het lezen van deze scriptie!

Dexter Beumken

Bodegraven 11/06/2021

Begrippenlijst

Buitenschil van het gebouw	Verzamelterm voor alle buitenzijdes van het gebouw. Hieronder vallen: dak en gevel.
Dak	Een niet-besloten ruimte aan de bovenkant(en) van het gebouw. Soms ook in de vorm van een terras of daktuin.
Dakvoorzieningen	Een verzamelterm voor alle klimaatadaptieve, klimaatmitigerende en gebouwinstallaties die plaatsvinden op het dak
Gebouwinstallaties	Met gebouwinstallaties worden de installaties bedoeld die bijdragen aan het functioneren van het gebouw. Denk bijvoorbeeld aan een relatief eenvoudige installatie als een lift, of een uitgebreidere installatie als een warmte-koude installatie of een ventilatiesysteem.
Groen	Aangelegde beplanting op eigen perceel. Vaak ten goede van waterberging, biodiversiteit, vermindering <i>city heat stress</i> en esthetische waarde.
Klimaatadaptatie	Onder de term klimaatadaptatie wordt het aanpassen aan het veranderende klimaat verstaan. Klimaatadaptatie draagt niet bij aan het verhelpen van de oorzaak, maar het verzachten of verhelpen van de gevolgen hiervan.
Klimaatmitigatie	Onder de term klimaatmitigatie wordt het tegenwerken van klimaatverandering verstaan. Klimaatmitigatie draagt niet bij aan het verzachten van de gevolgen, maar aan het verminderen van klimaatverandering.
PV-panelen	Onder PV-panelen verstaan we zonnepanelen.
Waterberging/blauw	Het opvangen en (tijdelijk) bergen van hemelwater op gebouwperceel.

Samenvatting

De stedelijke bebouwde omgeving staat in de nabije toekomst voor een grote uitdaging. Wet- en regelgeving verplicht projectontwikkelaars van gebouwen om steeds duurzamer te worden en een klimaat mitigerende rol aan te nemen. Tegelijkertijd beginnen de gevolgen van klimaatverandering hun grip te krijgen op de stad, waardoor, met de toename van versterking en verstedelijking, effecten als *city heat stress* en overstromingen een steeds relevanter thema worden in het stedelijk beleid.

Met de BENG-norm (bijna energieneutraal gebouw-norm) introduceert de nationale overheid een strenge eis aan de duurzaamheid van gebouwen, van kracht vanaf januari 2021. Voor de binnenstedelijke hoogbouw betekent deze norm een aandeel hernieuwbaar energie van $\geq 40\%$. Hiermee valt het bijna niet meer weg te denken dat nieuwe binnenstedelijke hoogbouw voorzien wordt van PV-panelen. Deze voorziening voor duurzame energieopwekking is vooralsnog de meest rendabele invulling voor dit vraagstuk en het rendement van PV blijft in de toekomst enkel toenemen. Om naast deze klimaat mitigerende ontwikkeling ook te reageren op het veranderende klimaat zijn beleidsmakers in Nederland druk bezig met het implementeren van eisen aan de nieuw- en bestaande bouw. Zo is in het *Convenant Klimaatadaptief Bouwen* van de Provincie Zuid-Holland, ondertekend door onder andere de gemeente Rotterdam en Den Haag, vastgelegd dat een groot deel van de neerslag (50mm/m^2) van een korte hevige bui op privaat terrein wordt opgevangen en vertraagd afgevoerd. Ook de gemeente Amsterdam en Eindhoven hebben eisen gesteld aan de opgave voor waterberging (60mm/m^2). Er wordt van ontwikkelaars van binnenstedelijke nieuwbouw verwacht klimaatadaptief en -mitigerend gebouw te ontwikkelen, en dit vertaalt zich naar hoge ambities in de projectontwikkeling.

Naar aanleiding van deze trend verlangt adviesbureau Merosch naar een rekenmodel dat al vroeg in het project (schetsontwerpfase) een intelligente inschatting kan doen van de haalbaarheid van klimaatadaptieve en -mitigerende ambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijke hoogbouw. De hoofdvraag van dit onderzoek luidt dan ook: *“Op welke wijze kan een praktisch bruikbare tool vroegtijdig bijdragen aan het toetsen van de energie- en waterbergingsambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijke hoogbouw?”*

Het doel van dit onderzoek is om een rekenmodel te ontwikkelen waarmee de gebruikers de potentie van projectambities kan toetsen op basis van kennis over het dak en verschillende klimaatadaptieve en -mitigerende voorzieningen. Dit model kan in de toekomst gebruikt worden in de schetsontwerpfase van een project en kan ondersteuning bieden bij de totstandkoming van projectambities.

Om dit te realiseren is een literatuurstudie uitgezet naar relevante beleidsdocumenten die context en concrete eisen bieden bij het vraagstuk waterberging en energieopwekking. Als resultaat op deze literatuurstudie zijn de volgende uitgangspunten vastgesteld:

- De landelijke trend van waterberging op eigen kavel ontwikkelt zich naar een gemiddelde van 60mm/m^2 verhard oppervlak. Dit beleid is al een vereiste voor nieuwbouw in Amsterdam en Eindhoven. Rotterdam en Den Haag zitten hier zoals omschreven met 50mm/m^2 iets onder.
- Met de BENG-norm stijgt de relevantie van PV-integratie op een gebouw. Alhoewel er verschillende manieren zijn om aan een 40% aandeel hernieuwbare energie te komen zijn PV-panelen het meest efficiënt.

Door het uitzetten van interviews met dak experts, het bezoeken van Webinars over de multifunctionaliteit van daken en aanvullende deskresearch is kennis vergaard over de invulling van de waterbergende- en energieopwekkende voorzieningen op de buitenschil van het gebouw. Allereerst is ondervonden dat de buitengevel geen ruimte biedt voor enige betekenisvolle waterberging. Hiervoor is de helling te stijl en bergen de schaarse water bufferende voorzieningen, zoals een groene gevel, geen significante hoeveelheden water. Ook voor PV-panelen en andere energieopwekkende voorzieningen is de gevel een minder interessante optie dan het dak. De combinatie van een scherpe invalshoek op de zon en hoge installatiekosten maakt het financieel onaantrekkelijk om PV-panelen in de gevel te integreren. Andere energieopwekkende opties op de gevel blijven vooralsnog uit.

Hiermee is het dak de ideale bestemming voor energieopwekking en waterberging. In dit onderzoek zijn vijf voorzieningen onderzocht in relatie tot deze thema's. Deze voorzieningen zijn geselecteerd op basis van relevantie in de huidige hoogbouw ontwikkeling en wegens de significante bijdrage aan waterbergende ambities. Deze voorzieningen zijn:

- *Intensief groendak (Daktuin)*

Het intensief groendak (ofwel daktuin) biedt ruimte voor zowel sociale meerwaarde als waterberging. De relatief dikke substraatlaag biedt ruimte voor een waterbuffer tot wel 70mm/m². Hiernaast is het intensief groendak goed in ruimte te combineren met de extra waterbergende draagkracht van een polderdak.

- *Extensief groendak (Sedum dak)*

Een extensief groendak is een relatief dunne daklaag bestaande uit sedum vetplantjes. Deze vetplantjes hebben weinig water en onderhoud nodig en zijn daarmee ideaal voor de invulling van een dak. De substraatlaag biedt een waterbergend vermogen van 20mm/m² en hiernaast is het in ruimte goed te combineren met PV-panelen (mits zuid georiënteerd) en/of een polderdak.

- *Polderdak*

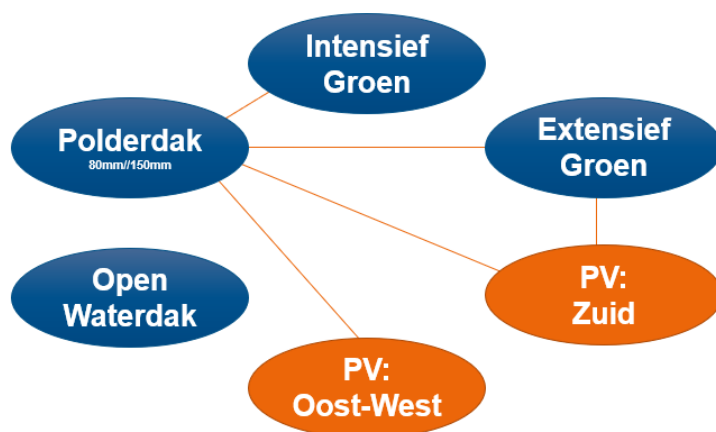
Het polderdak is de ideale oplossing voor het voldoen aan waterbergingseisen in de binnenstad. Een polderdak bestaat uit een groep retentiekragen (85 of 150 millimeter dikte) die te installeren zijn op het dak. Middels een smart-flow control systeem kan het water dynamisch worden afgevoerd. Het waterbergend vermogen van een polderdak is, afhankelijk van de dikte van de retentiekragen, 80-140mm/m². Hiernaast zijn deze retentiekragen stevig en kunnen hier andere voorzieningen op geplaatst worden

- *Open waterdak*

Het open waterdak is het best te omschrijven als een open bak met water op het dak, bedoeld voor optisch comfort. Voorzien van een waterdichte daklaag staat er, voor optimale werking, permanent water op het dak. Bij regenval bieden deze daken soms mogelijkheid voor het tijdelijk opvangen van water. Vanwege de constructionele gevolgen is het waterbergend vermogen vaak beperkt tot 15mm/m².

- *PV-panelen*

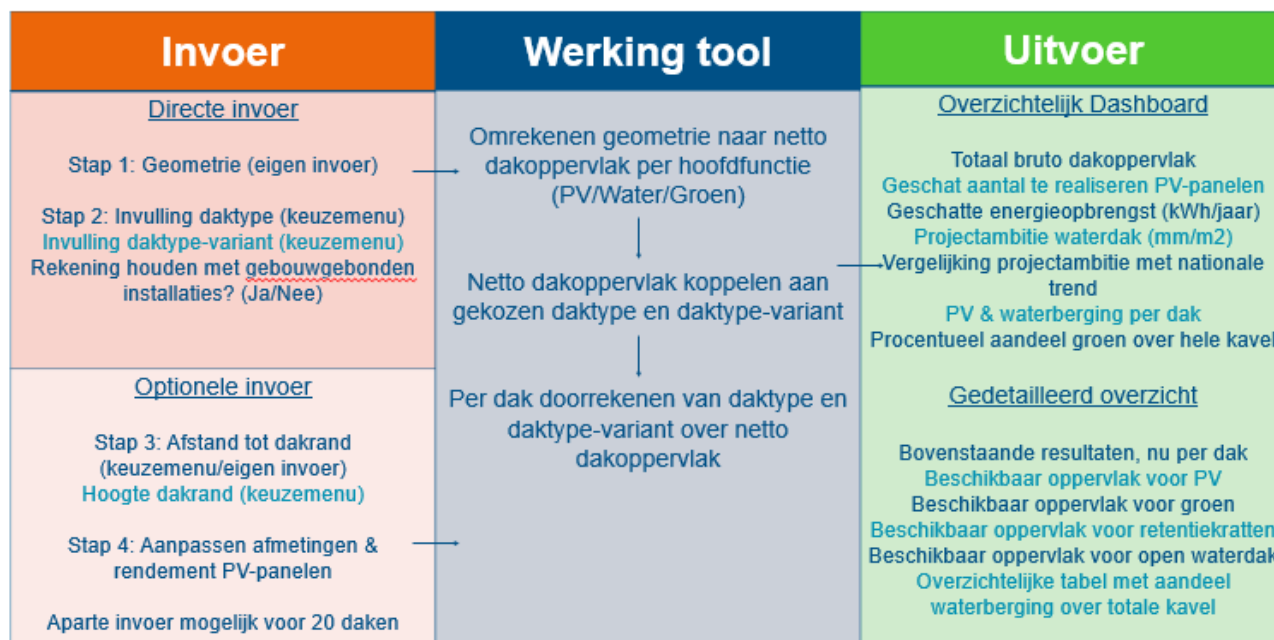
PV-panelen zijn veelal bekende installaties die met weinig ruimtebenodigdheden erg efficiënt zijn in het opwekken van energie. Voor de lokale elektriciteitsvoorziening heeft het weinig concurrentie op de markt. In dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen twee PV-opstellingen: zuid en oost-west. Een oost-west opstelling neemt het minst ruimte in beslag wegens de korte herhalingsafstand van de panelen en is ideaal voor het maximaal benutten van het dak voor zonne-energie. Een zuid-opstelling wordt toegepast als beoogd wordt het hoogst mogelijke rendement uit de panelen te behalen, of als de ruimte gedeeld moet worden met extensief groen.



Figuur 1: Combinatiematrix van de onderzochte dakvoorzieningen

Voor het ontwerpen van een rekenmodel zijn een aantal interne meetings georganiseerd om de ontwerpeisen van de tool scherp te krijgen. In veelvuldig overleg in zowel teamvergaderingen als een-op-een gesprekken is tot een toolontwerp gekomen.

Onderstaand afbeelding is een schematische weergave van de werking van de tool. De tool zelf is in Microsoft Excel ontworpen.



Figuur 2: Schematische weergave toolwerking

1 Inleiding

1.1 Thematiek

Binnen het thema duurzame gebiedsontwikkeling focust deze studie zich op een integrale aanpak van een klimaatbestendige gebouwschil. Omdat gevels en daken veelal onbenutte ruimtes zijn in de stad, bieden deze ideaal terrein voor de invulling van klimaat technische vraagstukken. Deze ruimte is echter per gebouw gelimiteerd aan tientallen of honderden vierkante meter. Het dak vullen met PV-panelen laat geen ruimte over voor groen en vice versa. Hiernaast zien we in de praktijk ook vaak dat in de VO-fase (Voorlopig Ontwerpfase) gebouwinstallaties op de gebouwschil over het hoofd worden gezien, wat later in het project tot problemen kan leiden.

Dit afstudeeronderzoek bij adviesbureau Merosch probeert een aanzet te geven tot een integrale benadering van de gebouwschil in de VO-fase. Hierbij ligt de focus op de gebouwschil van hoge nieuwbouw woontorens met grote klimaatadaptieve en duurzame ambities, vanwege de beperkte dakruimte ten opzichte van de grootte van het gebouw. Vanwege de relevantie van de klimaatadaptieve maatregelen in de stad, zal dit onderzoek gericht zijn op de binnenstedelijke woontorens.

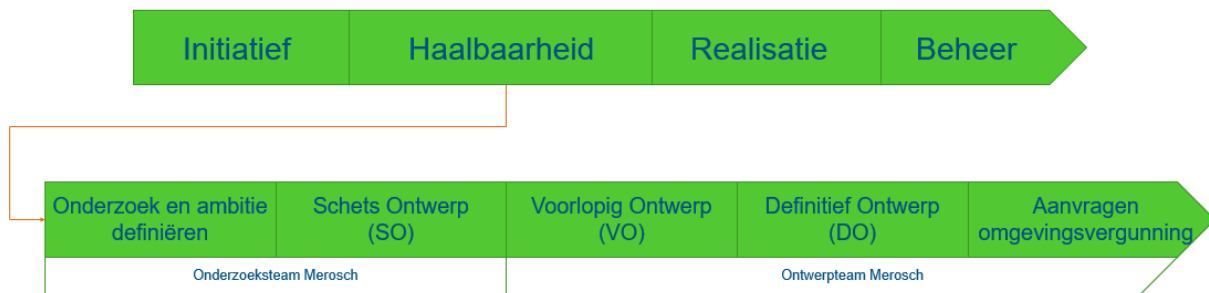
1.2 Aanleiding

Sinds 1 januari 2021 is de BENG-norm (Bijna Energieneutraal Gebouw) in Nederland van kracht. De BENG-norm is de Nederlandse uitwerking van de Europees verplichte EPDB Recast-richtlijnen. Hierin staat vastgesteld dat in heel Europa vanaf 2021 alle nieuwe gebouwen bij oplevering bijna energieneutraal moeten zijn. De BENG-norm geeft hier nationale invulling aan door alle nieuwbouw aan drie BENG-eisen te laten voldoen; BENG 1: de maximale energiebehoefte in kWh/m² per jaar; BENG 2: het maximale primair fossiel energiegebruik in kWh/m² per jaar; en BENG 3: het minimale aandeel in hernieuwbare energie in procenten (RVO, 2020). Hoe streng deze eisen en percentages zijn is verschillend voor de gebruiksfunctie van het gebouw.

Binnenstedelijke nieuwe woonhoogbouw moet volgens de BENG 3-norm voldoen aan een hernieuwbaar energie aandeel van $\geq 40\%$. Voor een ontwikkelaar zijn er verschillende manieren om hier invulling aan te geven. Denk bijvoorbeeld aan een warmtepomp, PV-panelen, warmte-koude opslag (WKO), een pellet-ketel of een zonneboiler. De overheid stimuleert hierin voornamelijk het gebruik van PV-panelen, omdat dit de meest rendabele en eenvoudige techniek is om lokaal duurzame elektriciteit op te wekken (RVO, 2020). De ruimte die deze PV-panelen opeisen op de gebouwschil moeten echter concurreren met de ruimtevraag van klimaatadaptieve maatregelen en gebouw-specifieke installaties. Deze vraag naar klimaatadaptieve maatregelen op gebouwniveau is vooral relevant in binnenstedelijke gebieden waar verdichting en versterking van de binnenstad klimaatadaptieve vraagstukken aanwakkeren. Met het oog op de toenemende extreme weersomstandigheden zoals heviger regenbuien en langere periodes van droogte zullen steden maatregelen moeten nemen om gevolgen als overstromingen en *city heat stress* te voorkomen. Gemeentes nemen daarom klimaatadaptieve thema's als groen en waterberging op in de binnenstedelijke plannen en stellen steeds vaker ambitieuze eisen aan nieuwe binnenstedelijke hoogbouw.

Als adviesbureau in de verduurzaming van de gebouwde omgeving staat Merosch midden in deze ontwikkeling. Merosch is onderverdeeld in twee specialisaties, te weten: onderzoek en ontwerp. Het onderzoeksteam is vooral aanwezig in de SO-fase (Schets Ontwerp fase) van het project terwijl het ontwerpteam vooral bezig is in de VO en latere fases (zie Figuur 3). In de SO-fase van een project komen partijen samen om de duurzaamheidsambities van het gebouw vast te stellen. De klimaatadaptieve en mitigerende maatregelen op de buitengevel van het gebouw worden vervolgens uitgetekend op het beschikbare oppervlak, en zo worden de ambities relatief eenvoudig vastgesteld. Als later in het project het definitieve ontwerp uitgetekend wordt en blijkt dat de ambities onrealistisch of niet haalbaar zijn moeten er ambities opgeofferd worden of er ontstaat vertraging omdat het project een stapje terug moet doen.

De vier fasen van gebiedsontwikkeling



Figuur 3: De vier fasen van gebiedsontwikkeling en het werkgebied van de Merosch teams (MIW, 2021)

Om dit te voorkomen wil Merosch al vroeg in het project in de vorm van een tool een intelligente inschatting kunnen doen van de haalbaarheid van klimaatadaptieve en -mitigerende ambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijke hoogbouw. Het doel van dit onderzoek is om een tool of rekenmodel te ontwikkelen die daarbij ondersteuning biedt. Dit productrapport geldt als onderbouwing voor deze tool.

1.3 Vraagstelling

De onderzoeksvraag is als volgt: *Op welke wijze kan een praktisch bruikbare tool vroegtijdig bijdragen aan het toetsen van de energie- en waterbergingsambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijke hoogbouw?*

Deze vraag zal in dit verslag onderverdeeld worden in een vijftal deelvragen.

1. Wat zijn de (inter)nationale, regionale en lokale eisen/ambities op het gebied van energiewinning op binnenstedelijk hoogbouwniveau?
2. Wat zijn de (inter)nationale, regionale en lokale eisen/ambities op het gebied van waterberging op binnenstedelijk hoogbouwniveau?
3. Welke voorzieningen zijn momenteel relevant in het behalen van de energie- en waterbergingsambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijk hoogbouw?
4. Wat zijn de ruimtelijke, financiële en klimaat-technische consequenties van deze voorzieningen?
5. Waaraan moet deze tool voldoen om praktisch bruikbaar te zijn, en hoe kan deze vroegtijdig bijdragen aan het toetsen van de energie- en waterbergingsambities?

Hoe leidt het beantwoorden van de deelvragen tot de hoofdvraag?

1. Deze deelvraag zet aan tot onderzoek naar het beleidsmatige kader van de inpassing van PV-panelen op de buitenschil van binnenstedelijke hoogbouw. Hierbij wordt beoogd te achterhalen welke ambitie de overheidsorganen stellen aan zonnepanelen op het dak en of hier al beleidsmatige verplichtingen voor zien als het gaat om het verplicht toepassen van PV-panelen bij nieuwbouw
2. Deze deelvraag zet aan tot onderzoek naar het beleidsmatige kader van de inpassing van waterberging op de buitenschil van binnenstedelijke hoogbouw. De vraag voor waterberging in de binnenstad wordt steeds relevanter en veel overheidsorganen passen hun beleid hier ook al op aan. Dit hoofdstuk onderzoekt wat deze beleidsambities zijn en in hoeverre al verplichtingen gesteld worden aan het bergen van water.

Met de eerste twee deelvragen wordt enerzijds context gegeven bij de hoofdvraag door het aantonen van de beleidsmatige significantie van het onderwerp. En anderzijds wordt deze informatie ook benut als directe input in de praktisch bruikbare tool waar de tool de projectambitie kan vergelijken met lokale of regionale wetgeving.

3. Deze deelvraag stuurt aan op het onderzoeken van de voorzieningen die invullingen doen aan de energieopwekking- en waterbergingsambitie op de buitenschil van binnenstedelijke hoogbouw. Dus welke maatregelen zijn vaak terug te zien bij projecten die hoge ambities stellen voor energieopwekking en waterberging op het gebouw? Deze deelvraag geeft antwoord op het “toetsen

van de energie- en waterbergingsambitie op de buitenschil van binnenstedelijke hoogbouw” door middel van het onderzoek van de voorzieningen die hier invulling aan geven.

4. Deze deelvraag onderzoekt hoe de voorzieningen, onderzocht in deelvraag 3, cijfermatig bijdragen op klimaat-technisch aspect bij het invullen van de projectambities. En wat, van deze voorzieningen, de financiële en ruimtelijke consequenties zijn.
5. Deelvraag 5 zet aan tot het ontwerp van de tool en beantwoordt het eerste deel van de hoofdvraag: “Op welke wijze kan een praktisch bruikbare tool vroegtijdig bijdragen”. Met het beantwoorden van deze deelvraag wordt toegewerkt naar een eindtool die invulling geeft aan de hoofdvraag.

1.4 Aanpak

Het onderzoek bestaat uit drie fasen; 1) de literatuurstudie, 2) het praktijkonderzoek en 3) het toolontwerp. Gezamenlijk zullen deze onderzoeksfasen moeten leiden tot de ontwikkeling van het eindproduct wat de praktisch bruikbare tool moet zijn. Deze studie vormt dan ook de verantwoording van kwaliteit van de tool.

1^e fase: de literatuurstudie

Het hiernavolgende 2^e hoofdstuk vormt de eerste fase van de studie, waarin deelvragen 1 en 2 beantwoord worden. Middels een literatuurstudie naar beleidsdocumenten, gepubliceerd door lokale, regionale en nationale overheidsorganen, met betrekking tot de thema's waterberging en energieopwekking op gebouwniveau wordt het beleidsmatige kader uitgetekend. Hierbij wordt beoogd concrete informatie te presenteren over de eisen en ambities die deze overheidsorganen stellen binnen hun grenzen. Met het oog op de beperkte onderzoekstijd is besloten alleen de vijf grootste Nederlandse gemeenten, en haar overkoepelende overheidsorganen op regionaal en nationaal niveau mee te nemen in dit literatuuronderzoek. Hieronder vallen de gemeenten Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht en Eindhoven, de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland, Utrecht en Noord-Brabant en het Rijk.

Het literatuuronderzoek heeft twee doelen, enerzijds moet dit directe input geven in de tool waarbij de gebruiker per locatie de huidige beleidsdoelen en ambities kan inzien. En anderzijds dient dit onderzoek het vraagstuk voor lokale waterberging en energievoorzieningen in een brede beleidsmatige context te begrijpen. Waar praten we nou precies over als het gaat om lokale waterberging en energieopwekking? Onderzoek hiernaar is gedaan via websites van de gemeenten en haar overkoepelende overheidsorganisaties en via zoekmachines als Google en DuckDuckGo.

2^e onderzoeksfase: het praktijkonderzoek

Het praktijkonderzoek zal zich presenteren in het 3^e hoofdstuk van deze studie en is gericht op de invulling van de projectambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijk woonbouw. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de 3^e en 4^e deelvraag van het onderzoek en zal dus ingaan op de relevante energieopwekkende en waterbergende voorzieningen, en haar ruimtelijke, financiële en klimaat-technische consequenties. Met interviews en webinar als voornaamste informatiebronnen (aangevuld met internetonderzoek waar nodig), zijn de huidige relevante gebouwvoorzieningen, en haar ruimtelijke, financiële en klimaat-technische consequenties, onderzocht die bijdragen aan de energie- en waterbergingsambities. Experts die via een- of meerdere interview(s) hun kennis en ervaring hebben gedeeld zijn: Friso Klapwijk (*de Dakdokters*), Arjen Krikke (*de Enk, groen en golf*), Tim Janszen (*Janszon*), Daan Zaat (*SolarSedum*) en Peter Stam (*Merosch*). En het viertal webinars zijn georganiseerd door de partijen *Optigruben Benelux* (“Webinar: PV en groen, opgewekt verhaal!”, “Webinar: Klimaatadaptieve kavel” en “Introductie: Multifunctionele daken”) en *Duurzaam Gebouwd* (“Webinar gebouwschil”). Deze interviews en webinars zorgen voor een breed theoretisch informatiespectrum over de mogelijkheden en beperkingen van de invulling van daken met PV, waterberging en groen, en de praktijkervaringen die de experts hiermee hebben. Waar nodig is het praktijkonderzoek aangevuld met deskresearch via zoekmachines als Google en DuckDuckGo om de cijfermatige kennis achter de onderzochte energie- en waterberging voorzieningen compleet te maken.

De interviewstijl van de interviews was deels open, en deels gesloten. Allereerst werd aan de respondenten feitelijke kennis gevraagd, bijvoorbeeld over de afstand tussen PV-panelen, het waterbergend vermogen van retentiekragen of de onderhoudsintensiteit van groen. En hierop volgend werd een open conversatie gehouden over de ervaringen met de dakvoorziening en de mogelijkheden en beperkingen van hiervan.

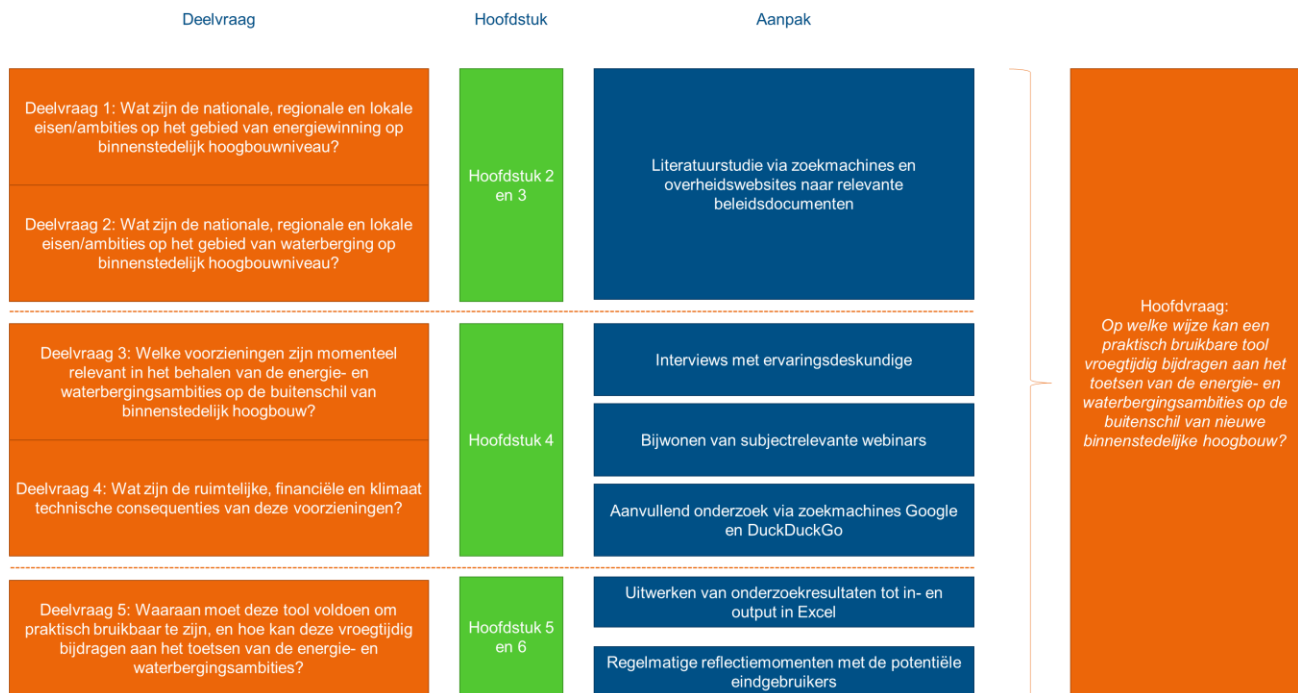
	<i>Respondent</i>	<i>Werkzaam bij:</i>	<i>Onderwerp:</i>
1	Klapwijk, Friso	De Dakdokters	Groen, waterberging en PV. Waar biedt het dak allemaal ruimte voor, en hoe kan men deze ruimte combineren?
2	Krikke, Arjen	De Enk, groen en golf	Groen op het dak en/of de buitengevel, wat zijn de mogelijkheden en beperkingen hiervan?
3	Janszen, Tim	Janszon	Waar moet allemaal rekening mee gehouden worden bij het inpassen van PV op het dak?
4	Zaat, Daan	SolarSedum	Hoe laat SolarSedum de combinatie van groen en PV op het dak werken? Wat is nodig voor een duurzame combinatie van de twee?
5	Stam, Peter	Merosch	De randvoorwaarden voor de inpassing van de dakvoorziening: Waar moet het dak nog meer ruimte aan bieden?

Tabel 1: Overzicht interviews respondenten en onderwerpen

De onderzoeksresultaten zullen later in de tool tot keuze-input worden verwerkt, waarbij de gebruiker uit de onderzochte voorzieningen een dak invulling kan samenstellen. De tool berekent vervolgens de cijfermatige consequenties van deze keuze.

3^e onderzoeksfase: het toolontwerp

In hoofdstuk 4 en 5 wordt de 3^e onderzoeksfase gepresenteerd en zal daarmee invulling doen op de laatste deelvraag. Om tot het ontwerp te komen zal hoofdstuk 4 het programma van eisen presenteren. Dit is een verzameling van toeleisen en -wensen die in samenwerking met de potentiële gebruikers van de tool (de Merosch werknemers) is opgezet. Om tot een alomvattend PvE te komen is deze onderverdeeld in 4 sub-paragrafen, bestaande uit: algemeen, input, output en gebruiksvriendelijkheid. De eisen en wensen in het PvE zijn opgesteld uit twee teamsessies en meerdere 1-op-1 meetings met de potentiële gebruikers. De eerste teamsessie vond plaats voorafgaand aan het ontwerpen van de tool en had als doel een blauwdruk te ontwerpen van de werking en resultaat van de tool. De tweede teamsessie ging gepaard met de presentatie van het 1^e toolconcept, de feedback uit deze sessie is ook verwerkt in het PvE. Naast deze sessies zijn er los een aantal 1-op-1 reflectiemomenten georganiseerd met de betrokken Merosch werknemers. Het doel hiervan was om de individuele wensen van de gebruikers in de tool te verwerken en om een in gesloten brainstormsessie op de tool te reflecteren. Om de toolontwikkeling integraal te benaderen zijn zowel medewerkers van het onderzoeksteam van Merosch, als van het ontwerpteam, meegenomen in het ontwerpproces. De toekomstige gebruikers die in deze fase nauw bij het onderzoek betrokken zijn geweest zijn: Runa Lentz, Menno Schokker en Margriet Vlot van het onderzoeksteam, en Peter Stam en Niels Aantjes van het ontwerpteam. Het verdere ontwerpproces bestond uit het uitwerken van de literatuur- en praktijkonderzoeksresultaten in Excel en het bedenken van formules die input tot output verwerken. Dit laatste proces is begeleid door mediaplatform YouTube waarin veel uitleg over de werking en de trucjes van Excel te vinden zijn. Bij het laatste toolconcept (het 2^e concept) is ook met hogeschoolbegeleider Gerbrand van Bork aandachtig naar de Excelformules gekeken.



Figuur 4: Samenvattende weergave van de aanpak

1.5 Afbakening hoofdvraag

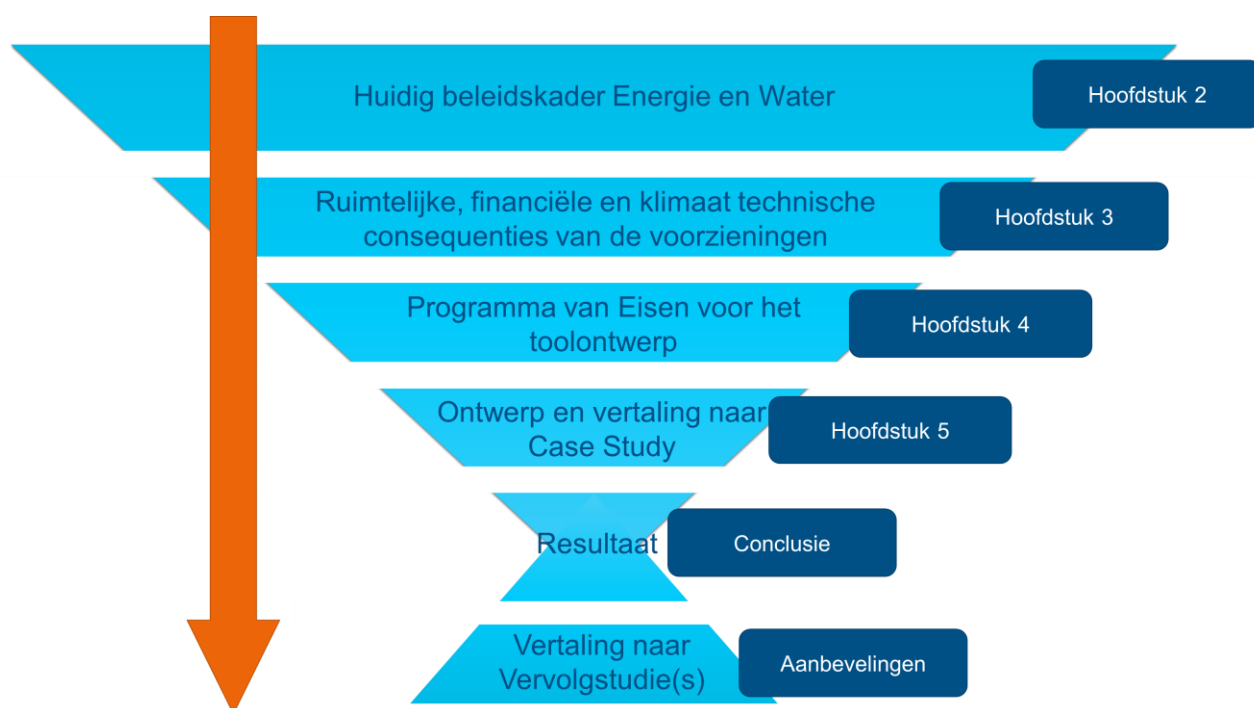
Het onderzoek is specifiek gericht op welke voorzieningen momenteel populair zijn bij het winnen van energie of het bergen van water op de daken van nieuwe binnenstedelijke hoogbouw. Er is veel ruimte voor innovatie en creatieve oplossingen voor dit vraagstuk, zoals bijvoorbeeld een powernest installatie voor zon- en windenergie, maar deze worden in de praktijk relatief weinig toegepast in vergelijking met de onderzochte voorzieningen, bovendien zijn deze technieken en innovaties van dak invulling erg uiteenlopend. Om de studie af te bakenen is daarom gekozen het onderzoek specifiek naar de populaire en vertrouwde voorzieningen te sturen die momenteel vaak toegepast worden. Hiermee behoudt de tool ook enige relevantie in de voorzieningen die het adviseert aan de gebruiker.

Voor een totale integrale visie op het dak viel voorheen de biodiverse en heat-stress-reducerende meerwaarde van groen in de scope van het onderzoek. Zo kan dit relevant zijn voor projecten waar ingespeeld wordt op de biodiverse meerwaarde van groendaken, om te weten welk type groendak het gewenste effect heeft. Echter is in deze studie gekozen om 'groen' alleen te zien als voorziening om water te bergen, en dus de groenvarianten niet te toetsen op de biodiverse of heat-stress-reducerende meerwaarde. Deze biodiverse of heat-stress-reducerende meerwaarde is namelijk nog moeilijk in cijfers uit te drukken, omdat deze simpelweg nog niet bekend zijn. Onderzoek hiernaar zou een opzichzelfstaande studie vormen en daarom een te grote toevoeging aan deze.

Het inpassingsvraagstuk van projecten met hoge klimaatadaptieve en -mitigerende ambities is vooral relevant in binnenstedelijke hoogbouw met, onder andere, woningfuncties. In deze projecten is het klimaatadaptieve aspect belangrijk vanwege de urgentie om als stad aan te passen aan de toekomstige stedelijke problemen als gevolgen van klimaatverandering. Tegelijkertijd moeten deze gebouwen tegenwoordig voldoen aan hoge klimaat mitigerende eisen en hebben we te maken met een woning schaarste, waardoor er een grote opgave ligt voor nieuwe woningbouw. Deze samenkomst van belangen, in combinatie met de beperkte kavelruimte van binnenstedelijke ontwikkelingen, zorgt dat de inpassing van de adaptieve en mitigerende voorzieningen extra aandacht vraagt. Hierom is de keuze gemaakt de studie op deze casussen te focussen. Voorzieningen die helpen met het vraagstuk maar buiten de gebouwschil worden toegepast, zoals wadi's bijvoorbeeld (een ondergronds waterbassin), vallen ook buiten de scope. Als laatst is dit onderzoek gericht op daken met een hellingsgraad van 0 tot 5 graden. Dit heeft te maken met het verlies in waterbergende capaciteit van daken met een hellingsgraad boven de 5 graden (Optigrun, 2021).

1.6 Leeswijzer

Het hiernavolgende hoofdstuk: hoofdstuk 2, zal het huidige beleidskader voor de thema's energie en water weergeven voor de vijf grootste gemeenten van Nederland: Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht en Eindhoven. De subhoofdstukken van hoofdstuk 2 worden afgesloten met een samenvattende tabel die alle informatie overzichtelijk weergeeft. Hoofdstuk 3 volgt met een inventarisatie van relevante lokale waterberging en energieopwekkende voorzieningen en licht de ruimtelijke mogelijkheden en beperkingen van deze voorzieningen toe. Afsluitend aan dit hoofdstuk volgt een cijfermatige toelichting van de onderzochte voorzieningen waarin wordt uitgelegd hoe deze voorzieningen invulling geven aan het behalen van projectambities. Hoofdstuk 4 werkt toe naar het ontwerp van de eindtool. Dit hoofdstuk vertaalt een combinatie van interne Merosch-vergaderingen naar een Programma van Eisen dat als houvast moet gelden voor het ontwerpen van de tool, en waarin de tool in een later stadium kan worden getoetst. Het laatste hoofdstuk: hoofdstuk 5, vertaalt het eerdere onderzoek naar een toolontwerp waarin alle aspecten van het onderzoek samen komen. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een casestudy waarin de tool aan de hand van een relevant Merosch project wordt getoetst op kwaliteit.



Figuur 5: De leeswijzer gevisualiseerd

2 Huidig beleidskader Energie en Water op binnenstedelijke hoogbouw

In dit hoofdstuk wordt het huidige beleid (januari 2021) op lokale waterberging en energieopwekking op binnenstedelijke hoogbouw onderzocht voor de gemeentes Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, Den Haag en Eindhoven en de overkoepelende regionale en nationale overheidsorganisaties. De eerste vier steden vertegenwoordigen de G4 steden, de vier grootste steden in Nederland. Eindhoven is aan de scope toegevoegd omdat deze gemeente een bekende en ambitieuze opdrachtgever binnen het netwerk van Merosch en bovendien de 5^e grootste gemeente van Nederland is. Dit hoofdstuk dient als inventarisatie van het gemeentelijk, provinciaal en nationaal beleid op lokale waterberging en energiewinning. Het beoogt hiermee enerzijds een indruk te geven van de relevantie van het water- en energievraagstuk in de binnenstad en helpt het te begrijpen aan de hand van doelen en/of ambities die de overheidsorganen stellen. En anderzijds zal de cijfermatige doelen en/of ambities tot input worden verwerkt in de tool. Dit wordt aan het eind van dit hoofdstuk verder toegelicht. Beleid op het gebied van waterberging zal onderzocht worden op gemeentelijk, provinciaal en nationaal niveau. Europees beleid, zoals bijvoorbeeld de “*EU-strategie voor aanpassing aan de klimaatverandering*”, is te hoog over en focust zich niet concreet op de taak voor lokale waterberging in de stad en wordt hierom niet verder onderzocht. Beleid op het gebied van energieopwekking zal eveneens onderzocht worden op gemeentelijk, provinciaal en nationaal niveau waarin dit onderzoek zich met name richt op de BENG-norm en de Regionale Energiestrategieën. Europees beleid in de vorm van de ‘*Energie-Unie*’, en de nationale implementatie in het *Energieakkoord* focussen zich niet concreet op wat deze transitie voor de bebouwde wereld betekent, waar de BENG en de RES dit wel doen. Daarom worden deze niet verder onderzocht. Als laatst is het waterbergingsvraagstuk ook voor de waterschappen relevant. Deze ontwikkeling valt binnen het waterschap onder het thema klimaatadaptatie, hierboven voegen zij zich middels het Deltaplan ruimtelijke adaptatie bij de gemeenten, provincies en de overheid. Dit wordt in *Hoofdstuk 2.1: Landelijk – Ministerie van infrastructuur en Waterstaat* verder toegelicht.

Aan de hand van recent gepubliceerde beleidsdocumenten zoals ‘De Nationale Klimaatadaptiestrategie’ of het ‘Convenant Klimaatadaptief Bouwen’ voor de provincie Zuid-Holland is een inventarisatie gemaakt van het relevante beleidsdocument voor de thema’s energie en water. De complete inventarisatie is in de bijlage te vinden.

2.1 Beleidsmatige ontwikkelingen lokale waterberging

Landelijk – Ministerie van infrastructuur en Waterstaat

Klimaatadaptatie is in de beleidsmatige wereld een steeds vaker voorkomend begrip. Met het oog op de toekomst is stedelijk klimaatadaptatie een urgent thema en er wordt landelijk steeds meer draagvlak voor gecreëerd. Op nationaal niveau wordt dit vastgelegd in de nationale klimaatadaptatiestrategie en het deltaprogramma ruimtelijke adaptatie. De nationale klimaatadaptatiestrategie is een vrij inventariserend document waarin, aan de hand van de vier belangrijkste klimaateffecten; A) Het wordt warmer, B) het wordt natter, C) het wordt droger, en D) de zeespiegel stijgt, de gevolgen en risico’s van klimaatverandering in Nederland wordt aangeduid (NAS, 2016). Met de zeven ambities; 1) kwetsbaarheid in beeld brengen, 2) risicodialogo voeren en strategie opstellen, 3) uitvoeringsagenda opstellen, 4) meekoppelkansen benutten, 5) stimuleren en faciliteren, 6) reguleren en borgen, en 7) handelen bij calamiteiten, is het deltaprogramma ruimtelijke adaptatie opgesteld in samenwerking met gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk als richtlijnen voor een klimaatbestendig en waterrobuust Nederland (Deltaprogramma RA, 2018). Waar de Nationale Klimaatadaptatiestrategie uit 2016 vooral de gevolgen van klimaatverandering inventariseert doet het deltaprogramma ruimtelijke adaptatie een opzet voor de aanpak hiervan en wordt het concrete doel gesteld om in 2050 klimaatbestendig te zijn in Nederland.

Provinciaal

Op provinciaal niveau wordt er weinig gepubliceerd over klimaatadaptatie en waterberging. Veelal wordt dit thema op gemeentelijk niveau verder toegelicht, gezien de gevolgen van hevige regenval erg afhankelijk zijn van de geografische omstandigheden. Steden en wijken die relatief laag liggen, hebben meer last van hevige regenval dan de gebieden die hoger liggen of die weinig versterking hebben, zoals dorpen, bossen of

polders. Lokaal wordt hier direct door de gemeente in beleidsdocumenten naar gehandeld of kan het in een bestemmingsplan of omgevingsvisie worden opgenomen.

Provincies die wél met het thema bezig zijn, zijn de provincies Noord-Holland en Zuid-Holland. Waar de provincie Noord-Holland in de handreiking 'Overstromingsrobuust inrichten' stuurt op het inspireren en stimuleren van gemeenten, is de provincie Zuid-Holland verder in het vastleggen van de ambities in het 'Convenant Klimaatadaptief Bouwen'. Het convenant, ondertekend door 38 partijen waaronder de gemeenten Den Haag en Rotterdam, streeft naar het verminderen van de negatieve gevolgen van klimaatverandering, waaronder het voor de studie interessante thema wateroverlast. Hierover zijn twee strenge ambities vastgesteld. De eerste ambitie stelt: "Een groot deel van de neerslag (50 mm) van een korte hevige bui (1/100 jaar, 70 mm in 60 min) op privaat terrein wordt op dit terrein opgevangen en vertraagd afgevoerd. De berging is niet eerder dan in 24 uur leeg en is in maximaal 48 uur weer beschikbaar, of wordt gestuurd." En de tweede ambitie is: "In het plangebied treedt geen schade op aan bebouwing en voorzieningen bij extreem hevige neerslag (1/250 jaar, 90 mm/u)" (Bouw adaptief, 2019).

Gemeentelijk

Op gemeentelijk niveau is te zien dat er steeds meer initiatief wordt ondernomen om de stad klimaatadaptief te maken. Amsterdam en Eindhoven zijn hiermee koploper met de programma's 'Rainproof Amsterdam' en 'Eindhoven duurzaam'. Rainproof Amsterdam en Eindhoven duurzaam zijn beide top-down programma's die als doel hebben de inwoners te ondersteunen en projectontwikkelaars te sturen in hun klimaatadaptieve ontwikkelingen. Alhoewel deze organisaties los staan van de beleidsmatige wereld, werken ze veel samen en stuurt de gemeente ook in op het volgen van de richtlijnen, tips en tools die deze organisaties gebruiken. Zo heeft Eindhoven duurzaam bijvoorbeeld een rekentool gecreëerd die berekent hoeveel water er op de desbetreffende kavel moet worden geborgen om aan het plaatselijke bestemmingsplan te voldoen. Vervolgens geeft de tool tips over de verschillende manieren van water bergen op eigen kavel.

Wat betreft de beleidsmatige afspraken omtrent waterberging zijn vooral Amsterdam en Eindhoven koploper. In de Eindhovense klimaattoets uit 2019 staat beschreven dat bij ontwikkelingen met een oppervlakte vanaf 150 m² er 60 mm waterberging moet worden aangelegd per m² verharding, en bij ontwikkelingen met minder dan 150 m² verharding er 20 mm water per m² geborgen moet worden. Amsterdam heeft in 2020 in de Strategie klimaatadaptatie Amsterdam ook haar ambitie vastgelegd. Hierin wordt beschreven dat op ieder privaat en publiek gebouw de eerste 60 liter (of 60 mm) regenwater lokaal geborgen moet kunnen worden en dat binnen 60 uur geleidelijk dient te lozen in het riool. Den Haag en Rotterdam hebben geen extra eisen aan waterberging wat al niet gedekt staat in het 'Convenant Klimaatadaptief Bouwen', echter heeft de gemeente Rotterdam in het Rotterdams weerwoord urgentiedocument beschreven dat bijna alle gebouwen die vanaf 2022 gerenoveerd of gerealiseerd worden, minimaal 70 mm water bergen en vertraagd afvoeren. Als laatste heeft de gemeente Utrecht nog geen concrete plannen of ambitie uitgesproken wat waterberging betreft. Wel is in 2016 in het Plan Gemeentelijke Watertaken Utrecht beschreven dat bij ontwikkelingen waarbij de verharding met 500 m² toeneemt, deze toename gecompenseerd wordt door elders verharding weg te halen of extra waterberging aan te leggen.

Samengevat

Schaalniveau	Beleidsdocument	Concrete ambitie of eis gerelateerd aan de studie
Nationaal	Nationale klimaatadaptiestrategie (2016); Deltaprogramma ruimtelijke adaptie (2018)	Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie
Prov. Noord-Holland	Handreiking waterrobuust inrichten (2017)	Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie
Prov. Zuid-Holland	Convenant Klimaatadaptief Bouwen (2019)	Een groot deel van de neerslag (50mm) van een korte hevige bui op privaat terrein wordt op dit terrein opgevangen en vertraagd afgevoerd. De berging is niet eerder dan in 24 uur leeg en is maximaal 38 uur weer beschikbaar, of wordt gestuurd. Hiernaast; In het plangebied treedt geen schade op aan de

		bebouwing en voorzieningen bij extreem hevige neerslag (1/250 jaar, 90mm/u)
Gem. Amsterdam	Strategie klimaatadaptie Amsterdam (2020)	Daarbij dient minimaal 60 liter hemelwater te worden opgevangen per m ² bebouwd oppervlak en dient deze hoeveelheid hemelwater binnen 60 uur weer te worden afgevoerd met een maximum lozing op het riool van 1 liter per m ² bebouwd oppervlak
Gem. Eindhoven	De Eindhovense klimaattoets (2019)	Bij ontwikkelingen met 150 m ² of meer verharding 60mm waterberging per m ² verharding. Bij ontwikkelingen met minder dan 150 m ² verharding 20mm waterberging per m ² verharding.
Gem. Den Haag	Waterbergingsvisie Den Haag Centrum (2007)	Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie
Gem. Rotterdam	Rotterdams weerwoord urgentiedocument	Eisen aan de waterbergings- en vertragscapaciteit voor nieuwe bouwplannen worden opgenomen in regelgeving & bijna alle gebouwen die vanaf 2022 zijn gerealiseerd en gerenoveerd zijn in staat om 70 mm neerslag op te vangen en vertraagd te verwerken. Meestal binnen de grenzen van het gebouw, en soms in samenwerking met de directe omgeving
Gem. Utrecht	Plan gemeentelijke watertaken Utrecht (2016)	Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie

Tabel 2: Samenvatting beleidsmatige ontwikkelingen lokale waterberging

2.2 Beleidsmatige ontwikkelingen lokale energieopwekking

Landelijk – BENG-norm

Vanaf 1 januari 2021 is de nationaal gedragen BENG-norm van kracht. De BENG, onderverdeeld in 3 normen die de energieprestatie van een gebouw berekenen, is een directe vervanger van de hiervoor geldende EPC-eis. Met EPC werd voorheen de energieprestatie van een gebouw gemeten. Hoe lager het EPC, hoe duurzamer het gebouw. In 2006 lag de maximale EPC-eis op 0,8. In de 10 jaar erna is deze teruggeschoefd naar 0,4 en de nieuwe BENG-norm komt overeen met een EPC-eis van 0,2. De gebouwprestatie-eisen zijn dus begin dit jaar weer een iets strenger geworden. Dit allemaal in het teken van de verduurzaming van de leefomgeving.

Waar de EPC-waarde in één cijfer werd uitgedrukt, kon een slechte score op één aspect goed worden gemaakt met een hoge score op een ander aspect. Dat is bij de BENG niet meer mogelijk, waar er eisen worden gesteld aan drie indicatoren. Hierdoor komt er meer aandacht voor het ontwerp van gebouwen, het energieverbruik en eisen die worden gesteld aan energie uit hernieuwbare bronnen (Euser, 2018).

De BENG-norm is onderverdeeld in 3 indicatoren:

1. De hoeveelheid energie die nodig is voor de verwarming en koeling van een gebouw.
2. De maximale hoeveelheid fossiele brandstof die nodig is voor de verwarming van een gebouw.
3. Het aandeel hernieuwbare energie van het totale energieverbruik. (Nieman, 2020)

Voor deze studie is vooral de 3^{de} indicator relevant. Deze indicator impliceert het gebruik van hernieuwbare energiebronnen. Voor woongebouwen moet dit aandeel minimaal 40% zijn (afhankelijk van de precieze verhouding tussen het gebruiks- en het verliesoppervlak) (Nieman, 2020). De BENG-norm geldt voor alle nieuwbouw waarbij een vergunningaanvraag moet worden gedaan. Het aandeel hernieuwbare energie kan opgewekt worden door een vorm van duurzame energieopwekking (zonnepanelen) of duurzame warmteopwekking (bijvoorbeeld warmtepompen).

Provinciaal en gemeentelijk - RES

Deze BENG-norm is landelijk gedragen en geldt als leidende ontwikkeling in de bouw. Alhoewel de BENG-norm niet direct aanstuurt op het plaatsen van PV-panelen wordt hier op regionaal en gemeentelijk niveau wel sterk op ingespeeld. Regionaal wordt dit opgepakt door de RES-regio's. De RES (Regionale Energie

strategie) is een directe uitwerking van het klimaatakkoord uit 2019. Met de RES wordt Nederland onderverdeeld in 30 regio's die ieder hun eigen energietransitie-strategieën moeten vastleggen. Een definitief rapport over hoe de energietransitie eruit komt te zien ligt er nog niet. De regio's kregen de tijd tot 1 maart 2021, maar deze deadline is door de uitbraak van het corona-virus verschoven naar 1 juli 2021. Wel hebben de regio's in hun eigen concept RES aangegeven hoe ze de energietransitie inzien en willen faciliteren.

De RES-regio's Rotterdam-Den Haag, U16 (bevat Utrecht) en Noord-Holland-Zuid (bevat Amsterdam) spelen in hun concept RES al sterk in op het benutten van de daken voor PV-panelen. Het U16 ontwerp RES heeft als doel gesteld om 0,5 tWh grootschalige zon op het dak te realiseren per 2030. Hiernaast hebben ze de ambitie uitgesproken om een publiekrechtelijke bevoegdheid te creëren voor het verplichten van zon op het dak bij nieuwbouw en bestaande bouw. De regio Rotterdam-Den Haag stelt in haar concept RES om in 2030 op 40% van de totale potentie van kleinschalige zonne-energie in de regio te zitten, wat neerkomt op bijna 0,8 tWh. De gemeente Amsterdam heeft in haar eigen Concept RES uitgesproken minstens 0,4 tWh aan zonne-energie op te kunnen wekken op 'grote' daken per 2030. Hiernaast heeft de gemeente Amsterdam ook in de Routekaart Amsterdam Klimaatneutraal uitgesproken de helft van de binnenstedelijke daken te willen benutten met PV-panelen.

De gemeente Eindhoven en haar overkoepelende RES-regio Metropoolregio Eindhoven blijft achter in het concreet maken van de ambitie en plannen in hun concept RES. Hier zijn nog geen concrete doelen van te vinden.

Gemeentelijk

Een andere relevante ontwikkeling komt vanuit de gemeente Amsterdam. Deze wilde tegelijkertijd met de invoering van de nationale BENG-norm haar eigen verscherpte BENG-norm publiceren. Amsterdam heeft als doel gesteld als stad de duurzaamste stad te willen zijn en koploper in de energietransitie, en heeft daarom het idee van de aangescherpte BENG-norm geïntroduceerd. Hierin wilde de gemeente o.a. de BENG 3 norm, het aandeel hernieuwbare energie, strenger maken door het huidige minimum van 40% hernieuwbare energie voor woongebouwen verhogen naar 80% voor gebouwen kleiner dan 70 meter, en 70% voor gebouwen groter dan 70 meter. Dit is een significante stijging in het aandeel hernieuwbare energie. Het idee is echter afgeketst omdat de gemeente deze eisen niet kan opnemen in de bouwverordening. Amsterdam is nog steeds voornemens om de duurzaamste stad te worden en zal proberen de aangescherpte BENG-normen per 2022 alsnog in te voeren (Gemeente Amsterdam, 2021).

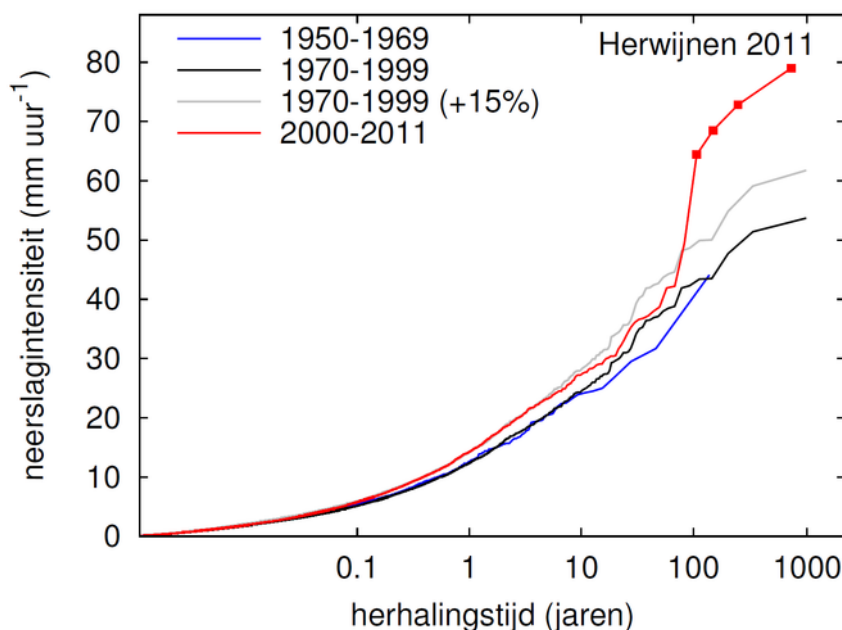
Samengevat

Schaalniveau	Beleidsdocument	Concrete ambitie of eis gerelateerd aan de studie
Nationaal	Energieprestatie – BENG (2021)	Aandeel hernieuwbare energie van $\geq 40\%$ op woongebouwen
RES Noord-Holland Zuid	Concept RES Amsterdam (2020)	400 MW (380 GWh) zonne-energie in 2030 op 'grote' daken in Amsterdam
RES Metropoolregio Eindhoven	Concept Regionale Energiestrategie Metropoolregio Eindhoven (2020)	Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie
RES Rotterdam Den Haag	Concept Energiestrategie Regio Rotterdam-Den Haag (2020)	Als regio zetten we voor 2030 in op 40% van de totale potentie, waarmee de inzet komt op 784 GWh (bijna 0,8 Twh) aan op te wekken kleinschalige zonne-energie.
RES U16	Regio U16 Ontwerp RES (2020)	"Alle nieuwbouw heeft zonnepanelen en dit is zoveel mogelijk geïntegreerd in het ontwerp"
Gem. Amsterdam	Losstaande ambitie: Niet vastgelegd in beleid	Aandeel hernieuwbare energie van $\geq 80\%$ op woongebouwen tot 70 m & $\geq 70\%$ op woongebouwen hoger dan 70 m

Tabel 3: Samenvatting beleidsmatige ontwikkelingen lokale energieopwekking

2.3 Conclusie

Betreffende waterberging streven veel van de onderzochte partijen naar 60mm/m² (of liter/m²) waterbergend vermogen dat minimaal 24 uur vastgehouden kan worden. Zowel de gemeente Eindhoven als de gemeente Amsterdam hebben in hun beleidsdocumenten expliciet 60 mm/m² vermeld, in het Convenant Klimaatadaptief Bouwen, ondertekend door zowel Rotterdam als Den Haag, wordt een waterberging van 50 mm/m² beoogd en de gemeente Rotterdam heeft in haar Rotterdams weerwoord urgentiedocument laten weten de ambitie te hebben in 2022 waterberging van 70 mm/m² verplicht te maken. Het gemiddelde van 60 mm/m² is echter geen willekeurig getal. Grafieken van het KNMI tonen aan dat deze buien een herhalingstijd hebben van honderd jaar. Dit betekent dat een regenbui waarbij in korte tijd 60 mm hemelwater valt per vierkante meter eens in de honderd jaar voorkomen (zie figuur 6). De keuze voor 60 mm waterberging is voor veel gemeentes hierdoor te verklaren, en deze gemeentes hopen hiermee het grootste risico voor wat betreft wateroverlast af te dekken.



Figuur 6: Regenintensiteit vs Herhalingstijd (KNMI, 2021)

Betreffende lokale energieopwekking is het wel duidelijk dat de PV-panelen een plekje krijgen in het toekomstbeeld in de stad. Zoals verwacht zien veel overheidsorganisaties de ontwikkelingen van PV-panelen als een interessante en zal hier de komende tijden volop in geïnvesteerd worden. Het is niet uit te sluiten dat in een aantal jaren de verplichting gemaakt wordt om PV-panelen mee te nemen in het ontwerp van de daken bij renovaties of nieuwbouw. Voor nu is het wel te verwachten dat bij de meeste binnenstedelijke hoogbouwprojecten er zeker vraag naar de PV-panelen zal zijn om zelfvoorzienend te worden met energie.

2.4 Wat betekent dit voor de tool?

Het beleidsmatige kader heeft twee doeleinden. Allereerst helpt het hoofdstuk het vraagstuk voor lokale waterberging en energievoorzieningen in een brede beleidsmatige context te begrijpen. Waarbij het in het verdere onderzoek duidelijk is met welke vragen we bij Merosch te maken hebben, en om welke getallen we het hebben bij (on)voldoende waterberging. Maar nog concreter zal dit beleidsmatige kader voor de tool direct tot input worden verwerkt. In de tool zit een tabel met daarin een overzicht van de beleidsmatige trend op nationaal niveau (60mm/m²) en de eisen die de gemeenten Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht, Eindhoven stellen aan lokale waterberging. Deze tabel biedt ruimte voor verdere uitbreiding in de toekomst. Waar nu de ambities en doelen voor de G-4 (+1) steden onderzocht zijn kan deze lijst in de toekomst, door een onderzoek naar het beleid van kleinere gemeenten, worden uitgebreid en daarmee ook als informatiebibliotheek dienen.

3 Fysieke kaders voor inpassing maatregelen

Om uiteindelijk tot een praktisch bruikbare tool te komen is het belangrijk om de fysieke kaders van het inpassingsvraagstuk scherp te hebben. Vragen die hierbij opkomen zijn: “Wat is benodigde ruimte voor een PV-installatie of waterberging?”, “Welke voorzieningen zijn met elkaar ruimte-combineerbaar, en op welke manier?” en “Wat draagt de maatregel cijfermatig bij aan de ambities?” Allereerst zal in dit hoofdstuk de onderzochte gevelvoorzieningen worden geïntroduceerd en toegelicht. Hierop volgt een paragraaf over de fysieke mogelijkheden en beperkingen voor de voorzieningen, en het hoofdstuk wordt afgesloten met de cijfermatige toelichting voor de onderzochte voorzieningen.

3.1 Dak meest kansrijk voor energieopwekking en waterberging

Wanneer we te maken hebben met het inpassingsvraagstuk van de voorzieningen op de buitenschil van het gebouw heeft in praktijk het dak vaak de voorkeur boven de gevel of andere buitenruimtes. Het dak biedt vanwege de vaak kale en vlakke oppervlakte en goede bereikbaarheid voor onderhoud ideaal podium voor de voorzieningen. Dit zorgt voor gemak bij het plaatsen en onderhouden van de voorzieningen, maar heeft ook financiële voordelen. Zeker in vergelijking met de gevel, waar de kosten bij het plaatsen van PV-panelen op binnenstedelijke hoogbouw twee tot drie keer hoger is dan bij het plaatsen van de panelen op het dak (onderhoudskosten nog buiten beschouwing gelaten) (Janszen, 2021). Niet alleen de manier van installeren is anders; het plaatsen en ballasten van de PV-panelen op het dak vergeleken met het hijsen en schroeven van de panelen in de gevel, maar ook de bereikbaarheid en veiligheid voor werknemers is ingewikkelder. Daarnaast ontstaat, vanwege de verticale eigenschap van de gevel, een rendementsverlies van 20-30% ten opzichte van een plat dak. Dit maakt voor PV-panelen dat het dak de meest logische keuze is voor de inpassing.

Voor waterberging is de gevel helemaal geen optie. Los van het financiële aspect, is er geen mogelijkheid om op de gevel een significante hoeveelheid water te bergen. Allereerst is er geen vorm van gevel geïntegreerde retentiekragen of een alternatief met gelijksoortige waterbergingspotentie op de markt. Andere, minder omvangrijke alternatieven voor waterberging in de gevel komen in de vorm van een trapsgewijze vertraging van hemelwater naar het riool. Voor de doelstelling van 60mm/m² is de bijdrage van zo’n installatie te klein om mee te rekenen. Daarnaast wordt dit niet op woontorens of dergelijke grote gebouwen toegepast.

Waterbergingsmaatregelen zijn dus minder geschikt op de gevel. Dit heeft alles te maken met de verticale/aflopende eigenschap van de buitengevel. Waar zwaartekracht is, zal water altijd onderweg zijn naar beneden, tenzij een oppervlak een helling heeft van 0 graden is het moeilijk om waterberging te creëren. Op het dak is groen nog een alternatieve vorm van waterberging waarin een significante hoeveelheid water geborgen kan worden. Hoewel groen op de gevel goed mogelijk is en in de praktijk vaker voorkomt (zie figuur 7), is het te bergen water in deze gevels te verwaarlozen (Klapwijk, 2021). In deze gevallen biedt groen als klimaatadaptieve voorziening een antwoord op *city heat stress* of als bijdrage aan de lokale biodiversiteit, of dient het voor het optisch comfort ten opzichte van een kale gevel.



Figuur 7: De groene gevel aan het Europese distributiecentrum van Nike in Laakdal, België (via [Bouwwereld.nl](https://www.bouwwereld.nl))

In dit hoofdstuk zal de gevel niet verder onderzocht worden. De tool waar dit onderzoek naartoe werkt zal de projectambities berekenen met de beschikbare dakoppervlakte. Hierbij is belangrijk te vermelden dat er dus wel een mogelijkheid is om PV-panelen op de gevel te plaatsen, maar dat dit voor het onderzoek niet relevant is en als escape moet worden gezien, mocht het dakoppervlak te weinig mogelijkheden bieden.

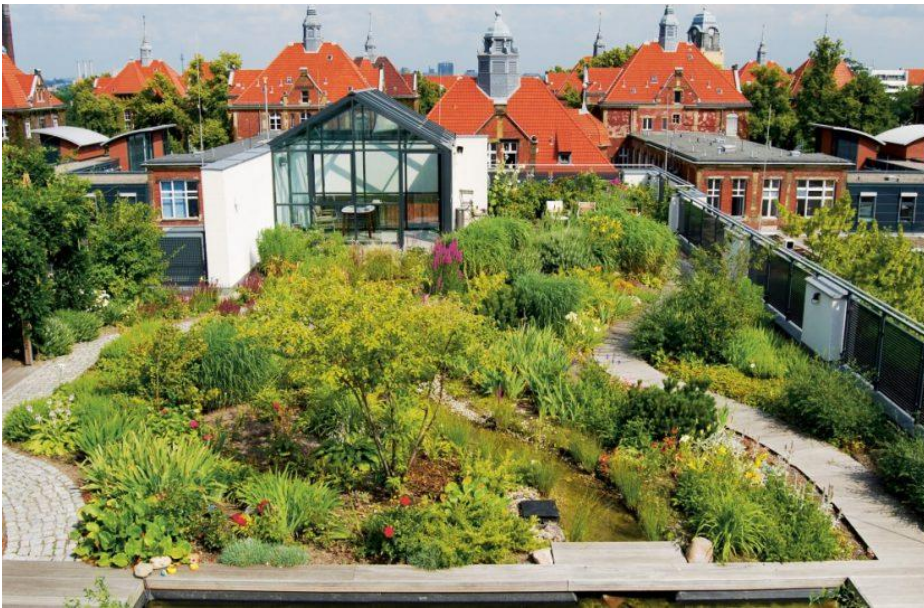
3.2 Onderzochte dakvoorzieningen

Terwijl de markt blijft innoveren en er steeds meer opties voor waterberging en energieopwekking ontstaan, is in dit onderzoek gekozen voor de populairste manieren van waterberging en energieopwekking. Dit zijn: polderdaken, intensief & extensief groen, waterdaken als vormen van waterberging en PV-panelen als vorm van energieopwekking.

3.2.1 Waterberging

Intensief groen

Een intensief groendak is een relatief zwaar groendak dat intensief onderhouden moet worden. Dit type groendak wordt vaak toegepast op daken met een sociaal doeleinde en moet een 'tuinachtige' indruk geven. De beplanting op een intensief groendak is een stuk groter dan bij een extensief groen dak en moet optisch comfort bieden. Omdat deze beplanting groter is, is er vaak een dikke substraat laag (= de kunstmatige bodem waarop de planten groeien) nodig. De dikte van deze laag bepaalt hoeveel water het dak kan bergen. De dikte van de gehele installatie (substraat laag met filtermat, drainagelaag en bescherming laag) is gemiddeld tussen de 15 en 25 cm (Rainproof Amsterdam, 2021). Vaak wordt er voor een intensief groendak gekozen bij daktuinen of balkons.



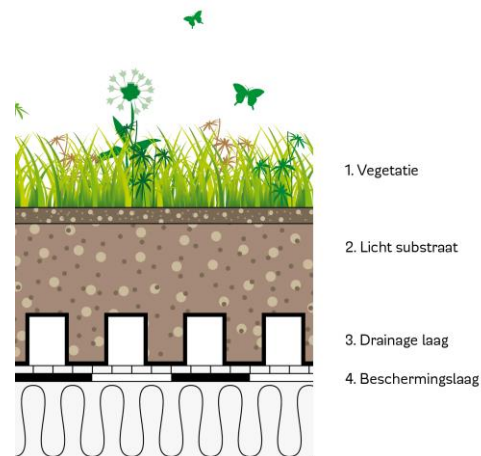
Figuur 8: Een intensief groendak in de vorm van een sociaal daktuin (via duurzameschuurkalender.nl)

Extensief groen

Een extensief groendak is een relatief licht groendak dat slechts een paar keer jaarlijks onderhouden hoeft te worden. Dit type dak wordt vaak toegepast om hittestress te verminderen of om biodiversiteit te stimuleren. Bovendien draagt deze ook bij aan het optisch comfort voor de bewoner. Een extensief groendak is met een dikte van 10 tot 15 cm relatief dun en bestaat voornamelijk uit kleine vetplantjes (Rainproof Amsterdam, 2021). Daken waar een extensief groendak wordt toegepast worden vaak niet gebruikt voor sociale doeleinden. Omdat de plantjes bij dit dak kleiner zijn is de substraat laag ook dunner. Hierdoor wordt er minder water geborgen vergeleken met een intensief groendak.



Figuur 9: Een extensief groendak op een verder ongebruikt dak (via dakdokters.nl)



Figuur 10: De opbouw van een extensief groendak (via rainproof.nl)

Polderdak (retentiekragen)

Een polderdak is dak met daarop een verzameling retentiekragen. Deze retentiekragen zijn speciaal ontworpen stevige kratten waarop andere voorzieningen geplaatst kunnen worden zoals een (groene) daktuin of zonnepanelen. Het waterbergende vermogen van een polderdak zit in de retentiekragen. Hemelwater kan in grote mate worden opgeslagen in deze kratten en in verloop van tijd gereguleerd worden afgevoerd. Als er naast retentiekragen meerdere voorzieningen op het polderdak staan is het echter wel van belang dat genoeg hemelwater naar de retentiekragen kan worden afgevoerd.



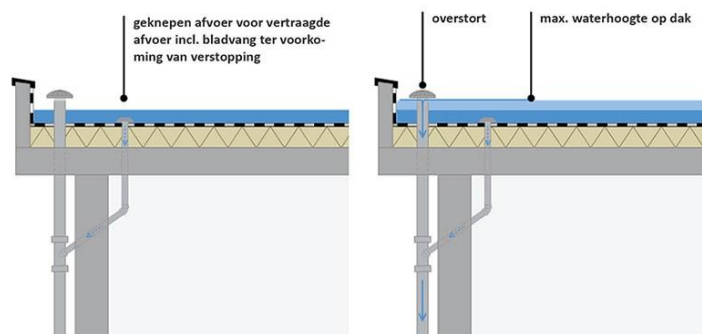
Figuur 11: Retentiekragen op het dak van een parkeergarage in Gravenlo (via ipcon.nl)

Open waterdak

Naast de polderdaken bestaande uit retentiekragen is er ook nog het open waterdak. Dit waterdak, vaak overwogen wegens de esthetische meerwaarde, is uitgerust met een waterdichte daklaag en een verhoogde waterdichte dakrand. Op deze manier ontstaat er een 'bak' waarin water geborgen wordt (zie figuur 13). In vele gevallen van een open waterdak staat er een standaard laag water in de bak. Bij regenbuien kan het hemelwater tijdelijk bij het standaard water opgevangen worden in deze bak, via een constructie wordt het overtollige water via een statische afvoer afgevoerd naar het riool. Het te bergen water in een open waterbak is afhankelijk van de standaard waterlaag en het hoogteverschil tot de maximale waterhoogte.



Figuur 12: Waterdak boven een parkeergarage (via rainproof.nl)



Figuur 13: De werking van het waterdak (via rainproof.nl)

3.2.2 Energieopwekking

PV-panelen

PV-panelen (of zonnepanelen) zijn over het algemeen bekende installaties. De kracht van PV-panelen is dat deze relatief schone zonne-energie kunnen omzetten in elektriciteit. Zonnepanelen zijn relatief lichte installaties die op twee manieren aan een dak kunnen worden geïnstalleerd. Te weten, A: door een bepaald ballast vast te maken aan deze panelen waardoor deze vast komen te zitten, dit kan in de vorm van grind of een dikke substraat-laag. En B: om het paneel vast te schroeven aan het dak. Deze manier van installeren wordt echter niet geprefereerd vanwege de kans op (water)schade. PV-panelen worden vaak als 'niet-mooi' ervaren en staan daarom meestal niet op daken met een sociaal doeleinde.

3.3 Mogelijkheden en beperkingen

Met de schaarse ruimte aan de buitengevel van het gebouw is het belangrijk ook te onderzoeken of de gebouwvoorzieningen als waterberging en energieopwekking gecombineerd kunnen worden. Op deze manier kan de buitenruimte efficiënter benut worden.

Mogelijkheden en beperkingen op het dak: Polderdak

In eerste instantie heeft een polderdak bijna geen ruimtelijke beperkingen, de kratten zijn van dakrand tot dakrand aan te leggen. Bovendien zijn de retentiekragen erg stevig en vereisen weinig onderhoud. Er zijn al vele voorbeelden van daken met retentiekragen waarop groen, PV-panelen of een leefbare buitenruimte op de retentiekragen gestapeld worden (zie figuur 14). Retentiekragen zijn dus voor vele daken een goede manier om aan de waterbergingsambities te voldoen. De waterafvoer kan op twee manieren geregeld worden: statisch en dynamisch. Een statische waterafvoer wordt vaak geregeld via een Drossel. Dit mechanisch afstelbare apparaat zorgt dat het water vertraagd afgevoerd wordt naar het riool. De gebruiker kan zelf instellen hoe snel of langzaam dit gebeurt. Een gebruikelijke afvoertijd is 24 uur. Een Drossel wordt vaak toegepast wanneer er verder geen nut wordt gehaald uit het opgeslagen schone water. Een dynamische afvoer werkt slimmer. Dit afvoertype is op de hoogte van de waterstand in de retentiekragen en kan dit gereguleerd afvoeren. Bijvoorbeeld een aantal uur voor een nieuwe regenbui. Omdat het hemelwater schoon water is, kan het door een dynamische afvoer ook benut worden voor andere doeleinden, zoals bewatering van het groen of als spoelwater voor wc's. Dit is in Nederland niet gebruikelijk vanwege het goedkope kraanwater.

De enige beperking aan de polderdaken is dat het (tijdelijk) opslaan van hemelwater erg zwaar is, en niet alle daken berekend zijn op deze extra ballast. Bij een retentiekraat van 15 cm hoog kan al 0.14 m³ water (=140 liter) opgevangen worden. Om voor het gemak 140 liter om te rekenen naar kilogram met 1 liter = 1 kg, komt dit al neer op een extra ballast van minimaal 140 kg/m². Het is dus voor waterberging belangrijk om al vroeg in de VO-fase dit te bespreken en hier rekening mee te houden tijdens de ontwerpfase.



Figuur 14: Daktuin Soho house Amsterdam. Een sociale ontmoetingsplek gebouwd op retentiekragen (via deenkroenengolf.nl)

Mogelijkheden en beperkingen op het dak: Intensief groen

Een intensief groen dak wordt vaak geplaatst in combinatie met een sociale buitenruimte. Het optisch comfort en de klimaatadaptieve meerwaarde (vermindering hitte stress, toename biodiversiteit) zorgt ervoor dat een intensief groendak perfect aansluit bij een sociale buitenruimte. Omdat het hier gaat om grotere planten die vaak meer ruimte en zon nodig hebben en deze intensieve groendaken veelal in combinatie met leefbare ruimtes worden toegepast, is een combinatie met PV-panelen niet voor de hand liggend. De hogere beplanting zal in deze zon wegnemen voor de PV-panelen, en dit kan leiden tot een lager energierendement of, de beplanting zal niet genoeg zon krijgen om te overleven. Een intensief groendak is dan wel weer goed te combineren met waterberging. De beplanting kan middels plantenbakken (figuur 14), of direct op deze kratten worden gezet. Als deze voorzieningen direct op elkaar worden gezet hebben ze ook profijt van elkaars aanwezigheid. Het overbodige hemelwater loopt door het groen naar de waterberging, en via een dynamische afvoer kan dit water later weer gebruikt worden voor de irrigatie van het groendak. Dit laatste is vooral in het buitenland een interessante optie wegens de hogere prijs van kraanwater. In Nederland is een

systeem van het terugwinnen van water voor irrigatie vaak financieel onvoordelig. Als laatst heeft de aanwezigheid van waterberging ook als voordeel dat de substraat-laag van het groendak minder dik hoeft te zijn (Vlijm, Webinar Klimaatadaptieve Kavel Optigrün, 2021).

Een andere optie om een intensief groendak te benutten is uit het belang voor biodiversiteit in de stedelijke omgeving. Met een intensief groendak kan veel gevarieerd worden met plantensoorten die elk verschillende insecten of vogels aantrekken. Wanneer het doel van een intensief groendak is om zo veel mogelijk biodiversiteit aan te trekken, gaat dit vaak niet samen met een sociale buitenruimte. Afhankelijk van de diersoorten en insecten die beoogd wordt om aan te trekken wordt de samenstelling bepaald. Hierin speelt ook de hoogte van het biodak een rol. Idealiter worden deze daken op 40 meter hoogte gebouwd (Vlijm, Webinar Klimaatadaptieve Kavel Optigrün, 2021).

Eveneens als bij het polderdak ontstaat hier ook weer het probleem van extra ballast. Een intensief groendak is de zwaarste dakvoorziening en er zal al vroeg in de VO-fase rekening moeten worden gehouden met de extra ballast van een intensief groen dak. Afhankelijk van de dikte van de substraat laag en de plantsoorten is het gewicht vanaf 100kg/m².

Mogelijkheden en beperkingen op het dak: Extensief groen

Extensief groendak is in de meeste gevallen goed te installeren op een dak. Het is een stuk lichter dan intensief groen vanwege de dunnere substraat laag. Ook biedt een extensief groendak de mogelijkheid het te combineren met PV-panelen. Extensief groen wordt het idealiter toegepast op daken zonder sociaal doeleinde, waar het groen als voorziening geldt om water te bergen en hittestress te verminderen (Vlijm, 2021). Bij een dak met een sociaal doeleinde wordt in de praktijk voorkeur gegeven aan een grotere variëteit aan planten, wat een extensief groendak niet kan bieden wegens haar dunne substraat laag en specifieke laag-onderhoud vetplanten. Omdat het extensief groendak weinig onderhoud vereist, en vaak op ongebruikte daken ligt is de combinatie met een polderdak goed mogelijk. De installatie en werking tussen de twee voorzieningen is gelijk aan de opzet van een intensief groen/polderdak. Ook hier kan de substraat-laag van het groen verdund worden als het in combinatie werkt met retentiekraften.

Een extensief groendak biedt ook potentie tot de combinatie van groen met PV-panelen. Omdat zowel groendaken als PV-panelen afhankelijk zijn van de zon, zijn hier wel aanpassingen nodig in de installatie. Zo is het niet mogelijk de PV-panelen direct op het groen te plaatsen, en is het ook niet mogelijk om de PV-panelen in de gebruikelijke 'dome-opstelling' te plaatsen met een oost-west opstelling (zie figuur 16). Dit zou resulteren in een te grote schaduwplek waar groen niet kan overleven. Om groen en PV te combineren zijn twee factoren erg belangrijk: de opstelling en oriëntatie van PV-panelen. Allereerst is een profitabele combinatie alleen mogelijk als de PV-panelen in zuidelijke opstelling geplaatst zijn. Dit wil zeggen dat de PV-panelen (vaak met een invalshoek van 15 graden) naar het zuiden toe gekanteld zijn. Zodoende valt er genoeg rendement uit de PV-panelen te halen en is er om de panelen heen voldoende ruimte voor groen om te groeien. Vervolgens is het belangrijk dat de zonnepanelen op een juiste hoogte en afstand van elkaar worden geplaatst. Een minimale hoogte van 20 cm vanaf het substraat tot het laagste punt van het paneel is nodig om een goede luchtstroming onder de panelen te waarborgen (Vlijm, Webinar PV & Groen, een opgewekt verhaal!, 2021). De minimale afstand tussen de panelen is afhankelijk van de opstelling van de PV-panelen. In een zuid opstelling zoals in figuur 15 te zien is, is de minimale afstand 50 cm tussen de panelen in. Wanneer uitgegaan wordt van een andere windrichting-oriëntatie of een andere opstelling, waarbij de zonnepanelen met de rug naar elkaar toe liggen geldt: afstand tussen de lage kanten is 50 cm en de afstand tussen de hoge kanten is 80 cm (Vlijm, Webinar PV & Groen, een opgewekt verhaal!, 2021).

Als laatst is het wettelijk verplicht aan de dakrand een vegetatievrije zone aan te houden voor de begaanbaarheid van het dak, de waterafvoer van overtollig water, de veiligheid en als voorziening tegen opwaaiing. De, door de Nederlandse Dakdekkers Associatie, geadviseerde breedte van de vegetatievrije zone is 800 mm (NDA, 2018). Gebruikelijk is een afstand van 1,5 tot 2 meter omdat bij de dakrand ook strenge regelgeving speelt rond de valbeveiliging.



Figuur 15: De combinatie van groen en PV aan de weesperzijde in Amsterdam (via solarsedum.nl)

Mogelijkheden en beperkingen op het dak: Open waterdak

Het open waterdak is, betreffende mogelijkheden, de minst flexibele van de onderzochte voorzieningen. Het waterdak kan geen ruimte delen met andere voorzieningen, en neemt in de meeste gevallen waar het is toegepast het gehele dakoppervlak in. Hierbij heeft het geen afstand tot de dakrand, waardoor wel makkelijker gerekend kan worden. Voor het open waterdak geldt dat de dakoppervlak gelijk is aan het oppervlak voor het open waterdak. De naam 'open waterdak' spreekt eigenlijk al van de voornaamste fysieke beperking. Omdat het water open is, is het niet mogelijk het op dezelfde vierkante meter te combineren met groen of PV.

Mogelijkheden en beperkingen op het dak: PV-panelen

In de voorgaande kopjes zijn de mogelijkheden en beperkingen van PV in combinatie met de andere voorzieningen al reeds behandeld. Deze paragraaf zal daarom verder ingaan op de ruimtelijke afwegingen van de panelen. Zoals eerder is beschreven worden de panelen altijd naar de zon toe opgesteld. Vanwege de geografische locatie van Nederland op het noordelijke halfrond bevindt de zon zich altijd in het zuiden (komt zuidoost op en gaat zuidwest onder). PV-panelen staan hierom vaak naar het zuiden toe gericht. In deze opstelling vangen de panelen de meeste zonuren op een dag en draaien ze een hoog rendement. Echter is tegenwoordig de trend om de panelen in een dome-opstelling te plaatsen waarin deze in dakvormige opstelling tegen elkaar liggen (Janszen, 2021). Dit is qua zonne-uren wellicht minder efficiënt, de panelen liggen in een dome-opstelling namelijk oost-west georiënteerd, maar wel het meest ruimte efficiënt en daarmee biedt deze opstelling de mogelijkheid meer energie te winnen per vierkante meter. Wanneer er gekeken wordt om het dak maximaal te gebruiken voor zonnepanelen is de dome-opstelling het meest voor de hand liggend. Wanneer het dak niet vol hoeft te liggen met zonnepanelen wordt de efficiëntie belangrijker gevonden en liggen de zonnepanelen naar het zuiden toe georiënteerd. Wanneer deze naar het zuiden liggen wordt de dome-opstelling niet gehanteerd maar komen er parallelle rijen van zonnepanelen die allemaal naar het zuiden toe zijn gedraaid. Deze opstelling biedt zoals beschreven dan ook de mogelijkheid om de ruimte te combineren met extensief groen. Voor beide opstellingen geldt dat het te combineren is met een polderdak.



Figuur 16: PV-panelen in een dome-opstelling (via triplesol.nl)

3.4 Cijfermatige toelichting

Alle onderzochte voorzieningen dragen op hun eigen manier bij aan de klimaat adaptieve en mitigerende ambities van een project. Onderstaand staat de cijfermatige toelichting bij deze voorzieningen. In de cijfermatige toelichting worden de volgende getallen meegenomen: a) waterbergend/energieopwekkend vermogen, b) oppervlakte enkele unit (relevant voor PV), c) minimale afstand tot dakrand, d) gewicht indicatie per m² (of per unit), en e) kostenindicatie per m² (of per unit).

3.4.1 Waterbergende voorzieningen

Polderdak

Voor de retentiekragen in een polderdak geldt dat deze in twee diktematen komen: 85 mm en 150 mm. Het waterbergend vermogen voor een retentiekraat van 85 mm bedraagt tot en met 80 liter/m² (of 80 mm/m²) en het gewicht komt neer op een vast getal van ca. 5,6 kg/m² plus het variabele gewicht oplopend tot 80kg/m² extra (ervan uitgaande dat 1L=1kg) (Optigruen, 2021). Het grotere formaat retentiekraat van 150mm heeft een waterbergend vermogen tot en met 140 liter/m² (of 140 mm/m²) en het heeft een vast gewicht van ca. 12 kg/m² plus een variabel gewicht van tot 140 kg/m² (opnieuw ervan uitgaande dat 1L= 1kg) (Optigruen, 2021). Wat betreft de fysieke inpassing zijn beide retentiekragen vrij in te passen en hebben geen beperkingen tot de dakrand.

De rekensom “bruto dakoppervlak = netto dakoppervlak = polderdak” kan bij retentiekragen gemaakt worden. De kosten van infiltratiekragen worden geschat rond de € 165/m², onderhoudskosten en constructiekosten buiten beschouwing gelaten (Ministerie van BZK, 2021) .

Intensief groendak

Voor een intensief groendak geldt een vast waterbergend vermogen vanaf 70 liter/m² intensief groen. Met een geheel intensief groendak is hiermee een significante hoeveelheid water te bufferen. Het is echter niet helemaal realistisch om dit getal over het gehele dak te gebruiken, gezien intensief groen vaak niet het gehele dak bestrijkt. In de praktijk wordt intensief groen veelal in combinatie met een daktuin toegepast, en op de daktuin (het leefbare gedeelte van de tuin) zelf wordt geen water geborgen. Het is daarom belangrijk een kengetal in de vorm van een percentage te creëren die de ratio intensief groen tot netto dakoppervlak weergeeft. Dit, op zichzelf, is een nieuwe studie en valt niet onder dit onderzoek. In de tool zal een ratio van 50% gebruikt worden betreffende het aandeel intensief groen op het netto dakoppervlak. Er is voor 50% gekozen na deskresearch naar intensief groene daktuinen projecten van het hoveniersbedrijf Ginkel Groep. Betreffende gewicht heeft een intensief groendak al snel een gewicht vanaf de 200 kg/m² (Dakdokters, sd). Ook hier kan onderscheid gemaakt worden tussen het intensief groene deel van een daktuin en het leefbare deel, echter heeft ook het leefbare deel te maken met veel variabel gewicht van mensen en tuinmeubels. Hierom zal in de tool minimaal 200 kg/m² gebruikt worden.

De reden dat er in voorgaande alinea veelal uitgegaan wordt van een netto dakoppervlak, is omdat er veel wet- en regelgeving bestaat omtrent de afstand tussen het dakterras/daktuin tot de dakrand. Het bruto dakoppervlak is het kale dakoppervlak zoals op de bouwtekeningen, en het netto dakoppervlak wordt berekend door hiervan het ‘onbruikbare’ deel af te trekken (= de verplichte afstand tussen voorziening en dakrand). Het beleid voor dakterrassen verschilt per stad, stadsdeel en/of bestemmingsplan. Zo is in stadsdeel Zuid in Amsterdam de minimale afstand 1,3 meter, moet in stadsdeel West 2 meter aangehouden worden, en wordt men in stadsdeel Nieuw-West doorverwezen naar het bestemmingsplan (Dakterras Amsterdam, sd). Omdat het zo locatie-specifiek is, wordt er in de tool vastgehouden aan een afstand van 2,5 meter. Deze afstand dekt de minimale afstand voor de meerderheid van de gemeente en is in lijn met de relatief lange afstand die de gemeente Utrecht aanhoudt in haar beleid (3 meter aan de voorzijde, 2 meter aan de achterzijde) (Gemeente Utrecht, 2015). De kosten van een intensief groendak zijn erg afhankelijk van het type beplanting die geplaatst wordt op het dak. Vaak beginnen de kosten bij € 150/m² (Klapwijk, 2021).

Netto dakoppervlak =

(Lengte dak – (verplichte afstand tot dakrand x 2)) x (Breedte dak – (afstand voorziening tot dakrand x 2))

Extensief groendak

Het waterbergend vermogen van een extensief groendak zit tussen de 15 en 25 liter/m², afhankelijk van de gebruikte plantsoort. In tegenstelling tot een intensief groendak bedekt het extensief groendak wel het complete netto dakoppervlak. De gewichtsbalkast dit type groen is ongeveer 80 kg/m² (Rainproof Amsterdam, sd).

Ook met een extensief groendak heb je als ontwikkelaar te maken met een afstand tot de dakrand. Omdat dit niet om een leefbare ruimte gaat, is deze wat kleiner ten opzichte van het intensieve groene dak. De afstand tot de dakrand bedraagt 50 cm en deze moet, tegen opwaaiing, verplicht met grind of steen gevuld worden (Vlijm, 2021). De kosten van een extensief groendak beginnen bij € 90/m² (Dakdokters, sd).

Open waterdak

Het waterbergend vermogen van een waterdak is erg afhankelijk van de afstand tussen de standaard waterlaag, en de maximale waterhoogte op het dak. Elke 10 millimeter verschil hiertussen is gelijk aan 10 liter waterbuffer. Omdat deze afstand per open waterdak anders is, is het moeilijk hier in de tool een vaste waarde aan te hangen. Wel is er informatie beschikbaar over de gemiddelde waterstand op een open waterdak van 60 mm (klimaatklaar.nl, 2021) en een waterbuffer limiet van 15 mm (Rijksoverheid, sd). Daarom is er gekozen de gebruiker 2 opties te geven: 1) Maximaal: 15 mm verschil tussen standaard waterlaag en maximale waterhoogte (15 liter waterberging), en 2) eigen invoer niet hoger dan 15 mm (indien de kennis hiervoor aanwezig is). Omdat enkel het water gewicht meebrengt op een open waterdak kan er van een gemiddeld gewicht uitgegaan worden van 60 kg/m² (ervan uitgaande dat 1L= 1kg).

Net als bij de retentiekragen kan de rekensom “bruto dakoppervlak = netto dakoppervlak = oppervlakte van open waterdak” gemaakt worden De kosten van een waterdak worden geschat op € 10/m², onderhoudskosten en constructiekosten buiten beschouwing gelaten (Ministerie van BZK, 2021).

3.4.2 Energieopwekkende voorzieningen

Bij de energieopwekkende voorzieningen wordt onderscheid gemaakt tussen een oost-west opstelling en een zuid-opstelling. PV-panelen in een zuid-opstelling wordt enkel toegepast als op hetzelfde dak ook (extensief) groen wordt toegepast. In elke andere omstandigheid wordt de voorkeur gegeven aan het hogere rendement van de oost-west opstelling.

Zuid opstelling

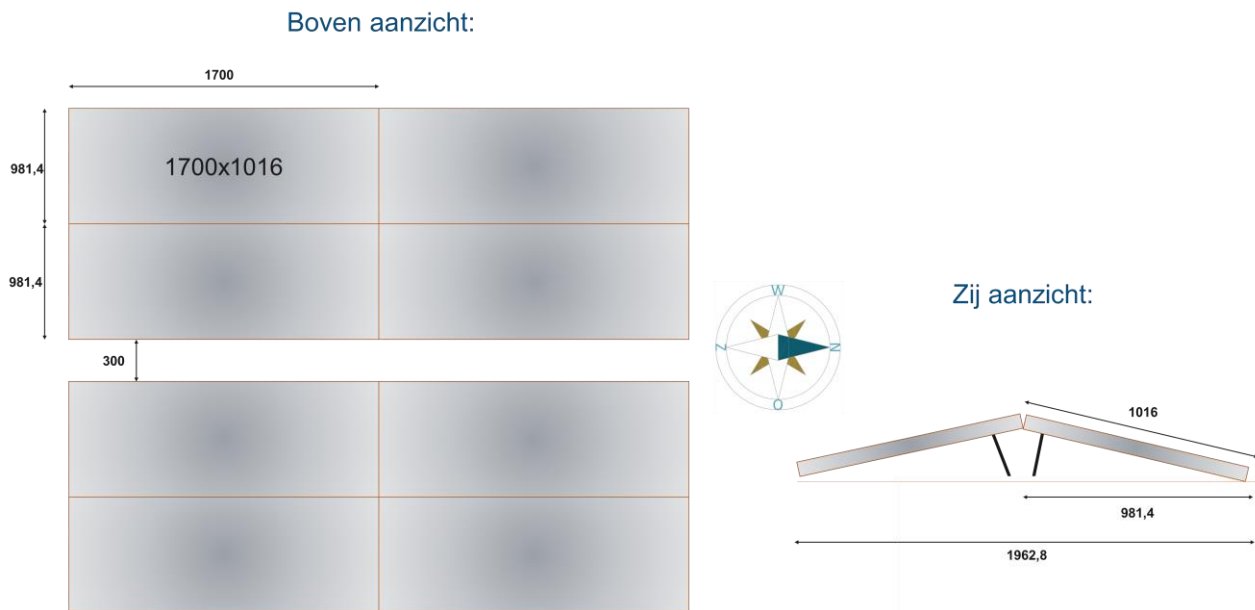
PV-panelen in een zuid opstelling zijn 955 mm x 2000 mm groot in een hellingshoek van 35 graden. Een zonnepaneel neemt een oppervlakte in van 782,3 mm x 2000 mm. Omdat PV-panelen in een zuid opstelling enkel worden geplaatst op een groen dak zit er een herhalingsafstand in van minimaal 500 mm tussen de panelen. Met deze afstand is er genoeg ruimte voor de zon om ook het onderliggende groen te bereiken, en kan het groen overleven. In totaal is er per PV-paneel een ruimte benodigd van 1282,3 mm x 2000 mm. De afstand van het groen tot de dakrand bedraagt minimaal 50 cm. Voor PV is deze afstand minimaal 100 cm (Stam, 2021).



Figuur 17: Blauwdruk van de zuidopstelling

Oost-west opstelling (ofwel 'dome' genoemd)

PV-panelen in een oost-west opstelling zijn 1051 mm x 1700 mm groot in een hellingshoek van 15 graden. Omdat deze opstelling uit gaat van een twee zonnepanelen met de rug naar elkaar toe wordt de oppervlakte per 2 zonnepanelen berekend. Een 'dome' (dus twee zonnepanelen) neemt een oppervlakte in van 2032 mm x 1700 mm. De herhalingsafstand tussen de domes in is minimaal 300 mm. De totale oppervlakte van een dome + herhalingsafstand komt neer op 2332 mm x 1700 mm. Afhankelijk van de hoogte van de dakrand wordt de afstand tussen dakrand en voorziening bepaald. Wanneer de dakrand gelijk of groter is dan 150 cm is deze afstand 50 cm tot de dakrand. Wanneer deze dakrand kleiner is dan 150 cm is deze afstand 100 cm (Stam, 2021).

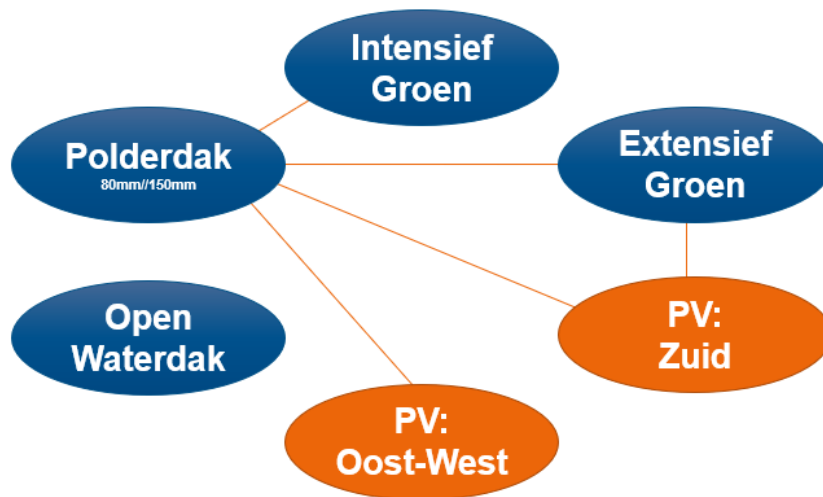


Figuur 18: Blauwdruk van de oost-west opstelling

Intern gebruikt Merosch kengetallen voor het berekenen van de kosten van PV-panelen. Voor panelen in een oost-west opstelling komen de investeringskosten neer op € 260/m² (€ 2 per WattPiek, 130 WattPiek per m²). Het gewicht van een enkele PV-paneel bedraagt 20 tot 25 kg (Janszen, 2021). Vervolgens worden de PV-panelen met grind of tegels belast van 20-50 kg/m² (Weber, 2016).

3.4.3 Combinaties

Zoals eerder in dit hoofdstuk naar voren kwam zijn bepaalde voorzieningen in ruimte te combineren. De matrix in figuur 19 geeft de mogelijke combinaties weer.



Figuur 19: Combinatie mogelijkheden matrix dakvoorzieningen

Intensief groen + Polderdak

Intensief groen heeft een waterbergend vermogen van 70 liter/m² met een dekking van 50% over het netto dakoppervlak. Omgerekend is dit gemiddeld 35 liter/m² waterberging op het netto dakoppervlak. In combinatie met een 85 mm of 150 mm polderdak komt hier respectievelijk 80 of 140 liter/m² waterberging bij op het bruto dakoppervlak. Aandachtspunt bij deze combinatie is de maximale gewichtsbelasting op de constructie. Het is bij deze combinatie cruciaal hier al vroeg in de ontwerpfase rekening mee te houden.

Extensief groen + Polderdak

Extensief groen heeft een waterbergend vermogen van ±20 liter/m² op het netto dakoppervlak. In combinatie met een polderdak kan hier 80 of 140 liter/m² aan worden toegevoegd op het bruto dakoppervlak. Ook hier staat door de combinatie van de twee voorzieningen een significante hoeveelheid gewicht op het dak. Het is bij deze combinatie ook cruciaal hier vroeg in de ontwerpfase rekening mee te houden.

PV: Oost-West + Polderdak

Vanuit klimaat adaptief en mitigerend oogpunt is deze combinatie ideaal. De twee voorzieningen ontnemen elkaar geen ruimte en dragen cijfermatig veel bij aan de invulling van de projectambities. Ook hier, omdat we te maken hebben met waterberging, is de gewichtsbelasting op het dak niet te negeren en zal dit vroeg in het project aangekaart moeten worden.

Extensief groen + PV: Zuid

Omdat we hier te maken hebben met de combinatie extensief groen en zonnepanelen wordt er standaard gekozen voor de zuid-opstelling. Ten opzichte van de oost-west opstelling wordt hier wel een stuk van de mogelijke energieopwekking potentie ingeleverd. Daartegenover staat echter wel de aanwezigheid van groen en een waterbergend vermogen van ±20 liter/m². Hiernaast zorgt de aanwezigheid van groen voor een langere levensduur van het dak en een hoger rendement op de zonnepanelen (Janszen, 2021).

Extensief groen + PV: Zuid + Polderdak

Deze voorzieningscombinatie is vanuit duurzaam oogpunt het beste. Het extensief groen + polderdak combinatie zorgt voor voldoende waterberging van 100 tot 160 liter/m² (afhankelijk van de retentiekragen grootte) en vermindert de hitte stress. Het enige waar je op inlevert is op het PV-rendement ten opzichte van de oost-west opstelling. Ook met dit dak is de gewichtsbelasting hoog. Hier moet vroeg in de ontwerpfase rekening mee gehouden worden.

Een compleet cijfermatig overzicht van de voorzieningen en de combinaties is in de bijlage terug te vinden.

3.5 Wat betekent dit voor de tool?

Voor de tool is het van belang dat deze een berekening kan maken op basis van de gekozen dakvoorzieningen. Dit hoofdstuk voorziet de tool van de cijfermatige en ruimtelijke mogelijkheden van de voorzieningen. Wanneer de gebruiker straks de dakoppervlakte invoert, en hierbij uit de dakvoorzieningen kiest zal de tool berekenen in hoeverre dit bijdraagt aan de projectopgave/ambities. De tool zal het bruto dakoppervlak doorrekenen naar een netto dakoppervlak, om vervolgens het totaal aantal gerealiseerde PV-panelen, het procentuele aandeel groen en de gemiddelde liter/m² waterberging te berekenen op basis van de gekozen voorzieningen en de kennis die is vergaard in dit hoofdstuk.

4 Eisen toolontwerp

Om de tool binnen de werkwijze van Merosch praktisch bruikbaar te laten functioneren zal deze moeten aansluiten bij de eisen en wensen van de potentiële gebruikers (de Merosch werknemers in dit geval). In het begin van de ontwerpfase zijn deze eisen en wensen voornamelijk gerelateerd aan de werking en de in- en output van de tool. Naarmate het ontwerpproces vordert worden de eisen en wensen specifiek en meer gefocust op de details. Om al deze gebruikersvragen vast te leggen biedt het Programma van Eisen (PvE) hulp. Hierin worden, naarmate het ontwerp vordert, alle eisen en wensen van de potentiële gebruiker vastgelegd. Zo ontstaat er een overzicht van al deze wensen en eisen en kan de tool, bij opgave, ook getoetst worden op succes.

4.1 Aanpak

Om tot een volwaardig PvE te komen is de betrokkenheid van de stakeholders belangrijk. In het geval van deze praktisch bruikbare tool zijn dit de Merosch werknemers die in de schetsontwerpfase veelal te maken hebben met het vraagstuk van waterberging en energieopwekking, en zijn het de werknemers in de ontwerpfase die te maken hebben met overambitieuze projecten, daar waar deze tool voor moet gaan waken. Met deze eis in het achterhoofd is een vijftal medewerkers uitgenodigd voor verdere betrokkenheid. Dit zijn: Runa Lentz, Margriet Vlot en Menno Schokker van het onderzoeksteam, en Peter Stam en Niels Aantjes van het ontwerpteam.

Het ontwerpproces is onderverdeeld in 3 fasen, elke afgesloten met de oplevering van een nieuw toolconcept. De eerste fase begon met het presenteren van de toolblauwdruk (zie hoofdstuk 5) in het teamoverleg. Hierover waren de deelnemers vrij om feedback te leveren en waar nodig het toolontwerp in de vroege fase te sturen in de gewenste richting. De tweede fase begon wederom met een teamoverleg waar de deelnemers input konden leveren op het toenmalige toolconcept. Met de oplevering van het tweede toolconcept (en daarmee ook het begin van de derde fase) zijn deze collega's in een-op-een overlegmomenten voor een laatste maal benaderd en hebben zij hun laatste input kunnen leveren aan het toolontwerp.

Naarmate het realisatieproces vorderde zijn de suggesties en feedbackpunten uit deze overlegmomenten specifiek en kritischer geworden om tot een volledig toolontwerp te komen. De terugkoppeling uit de overlegmomenten is verzameld en vastgelegd in het PvE. Zodoende komt deze overeen met de eisen en wensen van de stakeholders en kan deze dienen als validatie voor het succes van de tool bij oplevering.

4.2 Programma van Eisen

De eisen en wensen in het PvE zijn onderverdeeld in drie onderwerpen: randvoorwaarden, functionele wensen en gebruikerswensen.

- **Randvoorwaarden**

In de randvoorwaarden worden de algemene voorwaarden vastgelegd die voorafgaand aan het ontwerpproces bekend zijn. Dit zijn vele harde eisen die betrekking hebben op de randzaken van de tool, zoals bijvoorbeeld wet- en regelgeving, of toolprogramma eisen.

- **Functionele wensen**

De functionele wensen bepalen de in- & uitvoer en de werking van de tool. Deze wensen worden opgesteld voorafgaand en tijdens het ontwerpproces.

- **Gebruikerswensen**

Tot slot blijven de gebruikerswensen over. Deze voorwaarde, opgesteld in samenwerking met de potentiële gebruikers, vertalen de eisen/wensen van deze gebruikers over het resultaat en de gebruiksvriendelijkheid van de tool.

- Uitbreiding en onderhoud

Per conditie in het PvE wordt onderscheid gemaakt tussen een eis en een wens. Met een eis wordt een cruciale conditie voor het slagen van de tool benoemt. Het behalen van deze eis is van groot belang voor het slagen van de tool. Een wens daarentegen wordt gezien als een extra. Voor de werking van de tool is het niet cruciaal, maar het draagt bij aan het succes.

Randvoorwaarden	Eis of wens?
De tool is bruikbaar in de schetsontwerp fase (SO-fase) van een project	Eis
De gebruiker wordt ondersteunt in het integrale inpassingsvraagstuk van energie, water en groen op de buitenschil van het gebouw	Eis
De tool dient te worden ontworpen in Microsoft Excel	Wens
De tool houdt rekening met projecteisen en -wensen	Wens
De tool is op meerder Merosch-bekende casussen succesvol getest	Eis

De eerste vier voorwaarden zijn gerelateerd aan de hoofdvraag van deze studie; *hoe wordt de tool praktisch bruikbaar?* In andere woorden: hoe valt deze tool binnen de huidige werkwijze van Merosch? Deze vraag is ook gesteld in een van de wekelijkse overlegmomenten met bedrijfsbegeleider Runa Lentz. Hieruit zijn de bovenste vier voorwaarden gekomen. Allereerst is het van belang dat deze toepasbaar is in de fase waarin het probleem zich voordoet: De SO-fase, en dat deze invulling doet aan de vraag vanuit Merosch voor een rekentool die ondersteunt bij ambitieberekeningen op de buitenschil van het gebouw. Vervolgens is de wens dat de tool in een (bij Merosch) bekend programma wordt geïmplementeerd, hier is gekozen voor Excel vanwege de ervaring bij zowel de onderzoeker als de toekomstige gebruiker van het programma. De laatste wens in dit cluster is dat de tool op een manier ook een berekening kan maken van de haalbaarheid van de projectambities, waarbij de ambities op het gebied van waterberging, groen en PV als input kan worden gegeven, en de tool de haalbaarheid hiervan doorberekend en resultaat biedt.

Functionele wensen	Eis of wens?
Het ontwerp biedt de mogelijkheid in de toekomst uitgebreid te worden met nieuwe dakvoorzieningen en varianten	Wens
Het ontwerp biedt een uitbreidmogelijkheid om ook het waterbergend vermogen van de complete kavel toe te voegen en hiermee een totale berekening kan maken	Wens
De tool houdt rekening met ruimte belemmerende technische voorzieningen (zoals glasbewassing of liftopbouw)	Wens
De tool kan zowel via de oppervlakte het aantal PV-panelen berekenen, als ook andersom (met als input het aantal gewenste PV-panelen)	Wens
Het is mogelijk in de tool de grootte van de PV-panelen aan te passen	Eis
Het is mogelijk zelf de factoren dakrand-afstand en PV-afstand in te stellen indien wenselijk	Eis
De tool maakt mogelijk met meerdere daken tegelijkertijd te rekenen	Eis
Om de gebruiker te begeleiden voorziet de tool de gebruiker met voorberekende daktypes waaruit de gebruiker kan kiezen als invulling van het dak	Wens
De gebruiker krijgt de mogelijkheid om met meerdere parameters de ambitie van een dak in te stellen	Eis
De tool berekent het aantal (potentieel) gerealiseerde PV-panelen, en rekent dit door naar WattPiek per m ²	Eis
De tool berekent het (potentieel) te bergen water in mm/m ²	Eis
De tool berekent het (potentiële) aandeel groen over het totale dakoppervlak	Wens
De tool kan een kostenindicatie geven aan de hand van de gekozen dakvoorzieningen	Wens
De tool waarschuwt de gebruiker wanneer het aanwezige gewicht constructionele gevolgen heeft	Wens
De output geeft een indicatie van het ongebruikte vloeroppervlak	Wens

Het eerste cluster voorwaarden is gericht op de overdracht van de tool na afloop van de scriptie. Met de twee voorwaarden zijn de belangrijkste wensen van de overdracht afgedekt. Allereerst zal de tool buiten de

mogelijkheid ook een gebruiksaanwijzing leveren voor uitbreiding van de daktypes en varianten om deze zo ook up-to-date te houden. En als tweede is de wens binnen Merosch om deze tool op termijn te kunnen verbreden naar; óf een tool om complete kavelberekeningen te kunnen maken, óf een tool om een nog meer integrale berekening te kunnen maken van het dak, waarmee de dakinstallaties en/of biodiverse meerwaarde van groen ook in de tool verwerkt zitten.

Het tweede cluster voorwaarden is gerelateerd aan het gebruik en de werking van de tool, en moet de functionaliteit waarborgen. Deze reeks voorwaarden is afkomstig uit het teamoverleg als directe wensen en eisen vanuit de potentiële gebruiker. De eerste vijf voorwaarden spreken voor zich en hoeven niet verder worden toegelicht. De vierde voorwaarde stelt dat de gebruiker voorzien moet worden van een aantal daktypes waaruit deze een keuze kan maken, in plaats van zelf een vrije invulling te doen van het dak. Zodoende moet de tool de gebruiker begeleiden in het invullen van het dak en hoeft de gebruiker geen expert te zijn van PV-panelen, groen en waterberging om de tool te kunnen gebruiken. De laatste eis moet waarborgen dat er meerdere factoren zijn die invloed kunnen uitoefenen op het ambitieniveau. Hiermee wordt bedoeld dat de gebruiker niet alleen voor zonnepanelen of waterberging kan kiezen, maar ook invloed heeft op de omvang en densiteit van de gekozen dakvoorziening.

Het derde cluster aan voorwaarden is gerelateerd aan de output van het model. Voorafgaand aan het eerste toolontwerp is de output in grote lijnen vastgesteld. Deze heeft betrekking op de vijf belangrijkste pijlers: PV-panelen, groen, water, kosten en gewicht. In een later overleg met Peter Stam is ook het idee voorgesteld om het overige ongebruikte vloeroppervlak door te rekenen en aan de gebruiker te vertonen. Zodoende ontbeert de gebruiker geen enkele kennis na het invullen van de invoervelden.

Gebruikswensen	Eis of wens?
De resultaten worden in volledige getallen weergegeven	Wens
In de tool zit een handleiding waarbij zowel het toolgebruik als de daktypes en varianten worden uitgelegd	Eis
De tool moet 'fool-proof' zijn (dubbele of verkeerde waardes leiden niet tot fouten)	Eis
Via de termen, traditioneel, ambities en conservatief geeft de tool de mate van ambitie aan bij de invulling van dakvariant	Wens
In de tool wordt onderscheid gemaakt tussen eenvoudige en gedetailleerde input, waardoor de gebruiker ook een snelle berekening kan maken zonder hiermee veel tijd te verliezen.	Wens
In de tool zelf zit ook de nodige uitleg bij de verschillende parameters	Wens
Het is voor de gebruiker duidelijk welke velden als invoer gelden, en welke niet	Eis
De invoervolgorde is voor de gebruiker eenvoudig te volgen	Eis
De snelle invoer en resultaten worden in één overzichtelijke tab weergegeven	Eis
De tool maakt gebruik van de Merosch huiskleuren om velden te categoriseren en de tool overzichtelijk te houden	Wens

Het eerste cluster vertegenwoordigt de gebruiksvriendelijkheid eisen en wensen. Deze voorwaarden zijn samengesteld vanuit de een-op-een overlegmomenten met de potentiële gebruikers. Doel van deze voorwaarden is om eenheid en duidelijkheid in de tool te garanderen. Bijvoorbeeld door middel van het gebruiken van een dezelfde termen bij het benoemen van de verschillende ambities, of door het gelijktrekken van de verschillende eenheden in de resultaten. Verder spelen deze gebruikswensen in op de gebruiksvriendelijkheid door het opvragen van een handleiding en verdere uitleg binnenin de tool. Zodoende zou de tool ook toegankelijk moeten worden voor gebruikers zonder ervaring in het gebied van waterberging en PV-panelen.

Het tweede cluster aan gebruikswensen garandeert de kwaliteit in de opmaak van de tool. Dit is te bereiken door middel van het gebruiken van een selecte groep kleuren (in dit geval de Merosch huiskleuren), het overzichtelijk presenteren van de resultaten en creëren van een logische volgorde in de tool.

4.3 Wat betekent dit voor de tool?

Het PvE dient als basis waarna de tool ontwikkeld wordt. Zoals eerder beschreven wordt het PvE gebruikt om alle randvoorwaarden voorafgaand aan het toolontwerp scherp te hebben. In meerdere teammeetings die hebben geleid tot dit programma konden de toekomstige gebruikers hun eisen en wensen uitspreken over de werking van de tool en de randvoorwaarden hieromheen. Deze informatie is samengevat en in het PvE verwerkt. Bij onzekerheid in de ontwerpfase kan altijd gerefereerd worden naar dit PvE. Bij oplevering van de laatste conceptversie van de tool zal gereflecteerd worden op dit PvE en kan de tool, waar nodig, aangescherpt worden.

5 Blauwdruk voor ontwerp en werking van de tool

In dit laatste hoofdstuk wordt beschreven hoe de studie de resultaten uit het literatuur- en praktijkonderzoek verwerkt tot een toolontwerp. Deze totstandkoming van de eindtool wordt stap voor stap uitgewerkt. Na het presenteren van de eindtool in hoofdstuk 5.2 wordt via twee casestudies de validiteit van de tool onderbouwd. De projecten in deze casestudy zijn Merosch projecten die affiniteit hebben met deze studie omdat in deze projecten het inpassingsvraagstuk van energie en water relevant was. Het afsluitende hoofdstuk 5.4 toont de gevoeligheidsanalyse die is toegepast op het eindtool om deze “foolproof” te maken.

5.1 Ontwerpproces tool

5.1.1 Schematische weergave 1e toolontwerp

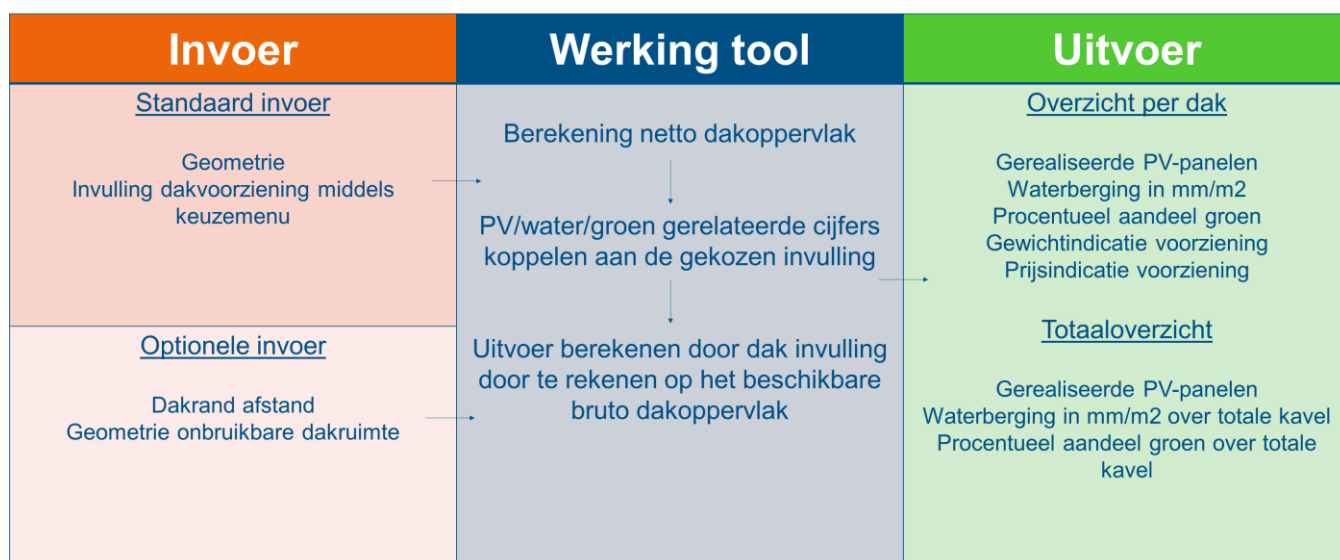
Na afronding van het wet- en regelgeving onderzoek en het afnemen van de eerste interviews begon de start van het praktisch bruikbare tool-realiseringsproces. Deze laatste fase werd afgetrapt met het 1^e teamoverleg met de potentiële eindgebruikers binnen Merosch, te weten: Runa Lentz, Margriet Vlot, Menno Schokker en Niels Aantjes. Dit teamoverleg trapte het ontwerpproces af en had middels een brainstormsessie het doel om allereerst de deelnemers (dus de potentiële eindgebruikers) direct te betrekken bij realisatieproces, en ook om deze vanaf het begin de kans te geven input te leveren in de ontwerpfase van de eindtool.

Dit teamoverleg werd gestart met een introductie van deze studie, waarbij de resultaten van het vooronderzoek gepresenteerd werden, en werd een conceptueel model uitgetekend van de beoogde werking van de tool. Hierna was het aan de deelnemers om input te leveren en te discussiëren over het toekomstig gebruik en de potentie van de tool. De belangrijkste gespreksonderwerpen in dit overleg waren: 1) Wat is er al bekend over de invulling van het dak in het vroege stadium van een project, 2) Op welke manier kan deze tool ondersteunen in de schetsontwerpfase, en 3) Wat moet er vervolgens uit de tool komen? Met deze vragen kon een waardevolle interne discussie plaatsvinden waarmee het conceptueel model verder vormgegeven werd.

De belangrijkste uitgangspunten in dit teamoverleg staan hieronder samengevat:

- De gebruiker heeft over het algemeen te weinig kennis over groendaken, waterberging en PV-panelen om zelf een ideale samenstelling te maken van het dak. Met model moet de gebruiker daarom van varianten voorzien.
- Naast de standaard invoer ‘geometrie’ en ‘invulling dakvoorziening’ moet de tool ook rekening houden met dakrandafstand en andere ruimte beperkende dakinstallaties zoals glasbewassing, ventilatie en liftopbouw.
- Extra dak ballast ten gevolge van de voorzieningen is een erg relevant thema in de gebouwontwikkeling en moet al vroeg met de constructeur worden besproken. De tool kan van meerwaarde zijn de gebruiker een gewicht indicatie van te geven ten gevolge van de gekozen dakvoorzieningen.

Naar aanleiding van deze waarde discussie in het teamoverleg is een schematische weergave opgesteld van de werking van de tool (zie figuur 20). Deze weergave is als leidraad gebruikt voor de uitwerking van het 1^e toolconcept. Na oplevering en reflectie van het 1^e toolconcept is het schematische weergave in een later stadium aangepast zoals te lezen is in hoofdstuk 5.1.3.



Figuur 20: Schematische weergave 1e toolontwerp

5.1.2 1^e toolontwerp

Het eerste toolontwerp was in zijn werking relatief eenvoudig. Met 3 invoervelden kon de gebruiker de geometrie van het dak vastleggen, een invulling doen van dit dakoppervlak en de afstand bepalen van de voorzieningen tot de dakrand. De opmaak en gebruiksvriendelijkheid was in de ze fase nog niet aan bod. De interface van de tool is te zien in figuur 21.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1					Afmetingen							
2	Kolom1	Lengte	Breedte	Oppervlakte (Min 12 m2)	Selecteer daktype	Afstand voorziening tot dakrand				Bruto dak opp.	0	
3	Dak 1				Geen doeleinde					Netto dak opp.	0	
4	Dak 2				Geen doeleinde							
5	Dak 3				Geen doeleinde					Gerealiseerde panelen	0	
6	Dak 4				Geen doeleinde					Waterberging in liters	0	
7	Dak 5				Geen doeleinde					Waterberging in mm/m2 bruto dak opp	#DELING.DOOR.0!	
8	Dak 6				Geen doeleinde					Absolute hoeveelheid groen in m2	0	
9	Dak 7				Geen doeleinde					Procentuele hoeveelheid groen t.o.v. bruto dakopp	#DELING.DOOR.0!	
10	Dak 8				Geen doeleinde							
11	Dak 9				Geen doeleinde							
12	Dak 10				Geen doeleinde							
13	Dak 11				Geen doeleinde							
14	Dak 12				Geen doeleinde							
15	Dak 13				Geen doeleinde							
16	Dak 14				Geen doeleinde							
17	Dak 15				Geen doeleinde							
18	Dak 16				Geen doeleinde							
19	Dak 17				Geen doeleinde							
20	Dak 18				Geen doeleinde							
21	Dak 19				Geen doeleinde							
22	Dak 20				Geen doeleinde							
23												
24												

Figuur 21: Interface 1e toolontwerp

De werking van de tool is opgebouwd in drie stappen:

1. Invulling geometrie

In de kolommen B, C en E is de geometrie van het dakoppervlak te bepalen. De gebruiker krijgt de optie om: óf de lengte en breedte in te vullen, waarmee de tool zelf de oppervlakte berekent, óf direct het oppervlak in te vullen. Hier is onderscheid in gemaakt omdat niet alle daken rechthoekig zijn, maar in vele vormen en varianten komen. Voor de berekening van het netto dakoppervlak (= bruikbare dakoppervlak) van rechthoekige daken wordt het invullen van de lengte en breedte aangeraden. Voor de berekening van het netto dakoppervlak van anders gevormde daken is de directe invulling van het dakoppervlak aangeraden. Wanneer alle drie de velden ingevuld zijn kiest de tool voor het gebruik van de lengte en breedte maten, omdat deze een meer accurate omschrijving geven van het dak geometrie.

2. Invulling daktype

In kolom F krijgt de gebruiker de optie uit een selectie van 11 verschillende daktypes een keuze te maken voor de dakinvulling. Zo kan de gebruiker, zonder daarbij een PV, groen en waterbergingsexpert te hoeven

zijn, een overwogen keuze maken van de dakinvulling. In de introductie tab vooraf worden deze verschillende daktypes en hun klimaat-technische bijdrage toegelicht. De 11 verschillende daktypes zijn:

- **Verhoogd zonnedak**



Figuur 22 (via powermarket.io)

Het verhoogde zonnedak kan worden gekozen voor een dak waar zonne-energie maximaal beoogd benut te worden. De PV-panelen op dit dak staan iets verhoogd boven op het dak waardoor het los staat van ruimtebeperkende dak installaties zoals ventilatie of liftopbouw. Verder heeft dit type dak geen afstand tussen de PV-panelen en niet te maken met een afstand tot de dakrand.

De panelen zijn 101,6 bij 170 cm en claimen daarmee 1,73 m² per paneel.

- **Bereikbaar zonnedak**

Het bereikbaar zonnedak biedt de optie voor meer onderhoud en beweging op het dak. De afstand tussen de zonnepanelen maakt onderhoud en schoonmaak van de zonnepanelen mogelijk.

De panelen op dit zonnedak liggen in de bekende oost/west-opstelling en hebben een standaardafmeting van 196,28 cm bij 170 cm per dome (dus per twee zonnepanelen). Met een standaard dome-afstand van 30 cm claimt één dome 3,85 m² aan dakoppervlak.

- **Sedum-zondak**



Figuur 23 (via Janszon.nl)

Het sedum-zondak combineert groen met PV. Zo biedt dit dak de optie om groen te realiseren, minimaal water te bufferen en energie op te wekken. Klimaat-technisch is dit dak daarom erg aantrekkelijk. Het rendement van de PV-panelen is echter met dit daktype wel minder in vergelijking met de eerdere zonnedaken. Om het groen van genoeg zon te voorzien staan de panelen in een zuid opstelling met 50 cm ertussenin voor zon-inval.

De PV-panelen van een sedum-zondak zijn 78,23 cm bij 200 cm en hebben een PV-afstand van 50 centimeter. De tool houdt daarom rekening met een oppervlakte van 2,56 m² per PV-paneel. Groen is over het gehele dak te plaatsen en bergt 20mm/m² water.

- **85mm polderdak & 150 mm polderdak**

Polderdaken bieden de meest efficiënte manier van waterberging. De retentiekragen zijn direct op het dak te plaatsen en bieden de mogelijkheid voor verdere dakinvulling wegens de stevige aard van het product. De retentiekragen komen in de varianten 85 mm en 150 mm en bergen respectievelijk 80 mm/m² en 140mm/m² water.

Polderdaken bieden echter veel gewichtsbalast, en het plaatsen van een polderdak moet al vroeg in het project met de constructeur besproken worden.

- **Daktuin**



Figuur 25 (via ipcon.nl)



Figuur 26 (via metropolder.com)

Bij daken met een sociaal doeleinde zijn daktuinen populair. Deze mix van sociale buitenruimte en tuin heeft, naast de sociale, biodiverse en heat-stress-reducerende meerwaarde, ook een waterbuffer van ongeveer 70mm/m² groen. Ervanuit gaande dat slechts een deel van een daktuin groen is gaat de tool uit van een waterbergend vermogen van 35 mm/m² daktuin. Deze aanname gaat uit van een bezetting van 50% groen op het dak.

Ook met een daktuin heeft het dak te maken met een significante extra hoeveelheid gewicht. Ook hiervoor moet een constructeur benaderd worden.

- **Daktuin met polderdak**

De optie daktuin met polderdak combineert de voordelen van een daktuin met het waterbergend vermogen van een polderdak. Dit daktype combineert daarmee ook de zwaarste dakvarianten en daarom wordt ook bij dit daktype geadviseerd een constructeur te benaderen alvorens de daktuin met polderdak te adviseren aan de klant.

Wederom ervanuit gaande van een 50% bezetting van groen op een daktuin biedt deze variant een waterbergend vermogen van 115 mm/m² (80mm/m² polderdak & 35mm/m² daktuin)



Figuur 27 (via rainproof.nl)

- **Sedum groendak**



Figuur 28 (via ikgabouwen.be)

Een sedum groendak is niet meer dan een eenvoudig groendak met sedum vetplantjes. Deze type beplanting vereist relatief weinig onderhoud en kan gemakkelijk geplaatst worden op het dak.

Een sedum groendak heeft een waterbergend vermogen van 20mm/m².

- **Polderdak + PV**

Een PV-polderdak combinatie komt in deze tool het beste uit de verf. Dit daktype combineert retentiekragen met PV-panelen en realiseert daarmee zowel genoeg zonne-energie als dat het een grote hoeveelheid water kan bergen.

Met de keuze voor een PV-polderdak combinatie kiest de gebruiker voor een 85 mm retentiekraat met een waterbergend vermogen van 80mm/m², en voor PV-panelen in een oost-west opstelling met de gebruikelijke 196,28cm bij 170cm afmetingen.



Figuur 29 (via nda.nl)

- **Polderdak + Groen + PV**



Figuur 30 (via jonkershoveniers.nl)

De PV-polderdak-groen combinatie combineert het waterbergend vermogen van de retentiekragen met de klimaatadaptieve meerwaarde van het groen en het energieopwekkend vermogen van de PV-panelen en is daarmee klimaat technisch de beste optie. Daartegenover staat wel een enorme extra ballast op het dak waar niet elk dak bestendig tegen is. Er wordt geadviseerd deze optie te bespreken met de constructeur.

De PV-panelen hebben met 78,23 cm bij 200 cm dezelfde afmetingen als bij een sedum-zondak. Het waterbergend vermogen van deze PV-polderdak-groen combinatie is 100 mm/m² (uitgaande van 85mm retentiekragen).

- **Geen doeleinde**

Deze laatste, standaard-ingestelde, optie heeft geen waterbergende, energieopwekkende of groene meerwaarde. Om deze reden staat deze optie standaard geselecteerd en wordt enkel gekozen als het dak geen ruimte biedt voor klimaatadaptieve of mitigerende voorzieningen.

3. Afstand voorziening tot dakrand

De laatste stap is het vastleggen van de afstand die de voorzieningen moeten houden tot de dakrand. Kolom G van de excel-file geeft hiervoor de optie middels een drop-down menu. De gebruiker krijgt de keuzen uit de volgende opties: Minimaal (50 cm groen & PV), Standaard (50 cm groen – 100 cm PV) of Maximaal (200 cm groen & PV). In combinatie met de invoer hier en de ingevulde geometrie wordt het netto dakoppervlak berekend. De netto dakoppervlakte som ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned} \text{Netto dakoppervlak} = \\ & \text{Lengte dak} - (\text{minimaal/standaard/maximaal dakafstand} * 2) \\ & \times \\ & \text{Breedte dak} - (\text{minimaal/standaard/maximaal dakafstand} * 2) \end{aligned}$$

Wanneer de gebruiker enkel alleen de oppervlakte heeft ingevoerd berekend de tool zelf de lengte en breedte van het dak door de wortel functie in Excel te gebruiken. In dit geval ziet deze som er zo uit:

$$\begin{aligned} \text{Netto dakoppervlak} = \\ & (\text{Wortel(oppervlakte)} - (\text{minimaal/standaard/maximaal dakafstand} * 2) \\ & \times \\ & (\text{Wortel(oppervlakte)} - (\text{minimaal/standaard/maximaal dakafstand} * 2)) \end{aligned}$$

Wanneer standaard dakrandafstand wordt geselecteerd door de gebruiker worden er twee netto dakoppervlakken berekend, een voor groen en een voor PV.

Berekening

Na het doorlopen van deze 3 stappen heeft de tool genoeg input om een berekening te doen van de dakinvulling. Voor het berekenen van de uitvoer doet de tool dit op de volgende manieren:

$$\begin{aligned} \text{Waterberging in liters totaal} = \\ \text{Waterberging in mm/m}^2 \text{ behorende bij de gekozen dak invulling} * \text{bruto dakoppervlak} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gerealiseerde PV} = \\ \text{Netto dakoppervlak} / \text{oppervlakte PV behorende bij gekozen zonnedak} \end{aligned}$$

*Totale oppervlakte groen in m² =
Netto hoeveelheid groen behorende bij gekozen dak invulling*

Om vervolgens waterberging terug te rekenen naar mm/m² deelt de tool de totale waterberging in liters door het totale bruto dakoppervlak. Om het aandeel groen te berekenen over de gehele casus deelt de tool ook hier de totale oppervlakte groen in m² door het totale bruto dakoppervlak.

Bij het doorlopen van de eerste drie stappen voorziet de tool de gebruiker direct van resultaten in de kolommen J en K zoals te zien is in figuur 31.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1					Afmetingen						
2	Kolom1	Lengte	Breedte		Oppervlakte (Min 12 m ²)	Selecteer daktype	Afstand voorziening tot dakrand			Bruto dak opp.	1030
3	Dak 1	20	15		85mm polderdak					Netto dak opp.	899
4	Dak 2	50	10		Polderdak + Groen + PV		Standaard (50cm groen - 100cm PV)				
5	Dak 3				180 Verhoogd zonnedak					Gerealiseerde panelen	159
6	Dak 4				50 Daktuin		Maximaal (200cm groen & PV)			Waterberging in liters	68865
7	Dak 5				Geen doeleinde					Waterberging in mm/m ² bruto dak opp	67
8	Dak 6				Geen doeleinde					Absolute hoeveelheid groen in m ²	327
9	Dak 7				Geen doeleinde					Procentuele hoeveelheid groen t.o.v. bruto dakopp	0,32
10	Dak 8				Geen doeleinde						
11	Dak 9				Geen doeleinde						
12	Dak 10				Geen doeleinde						
13	Dak 11				Geen doeleinde						
14	Dak 12				Geen doeleinde						
15	Dak 13				Geen doeleinde						
16	Dak 14				Geen doeleinde						
17	Dak 15				Geen doeleinde						
18	Dak 16				Geen doeleinde						
19	Dak 17				Geen doeleinde						
20	Dak 18				Geen doeleinde						
21	Dak 19				Geen doeleinde						
22	Dak 20				Geen doeleinde						

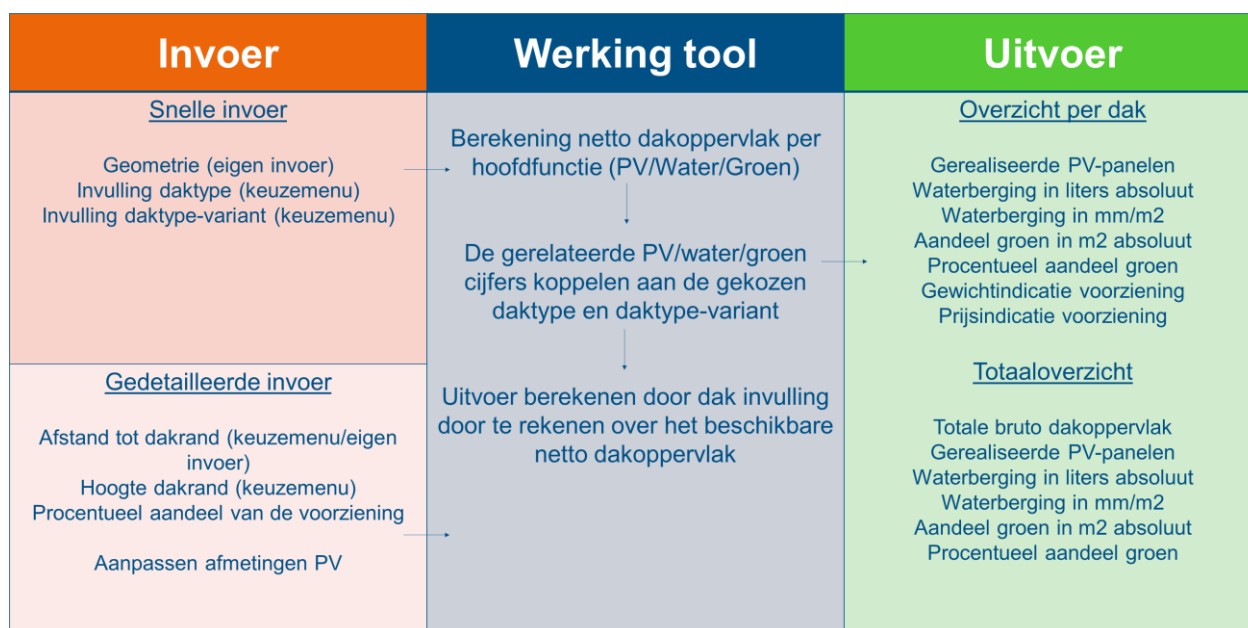
Figuur 31: Interface 1e toolontwerp

5.1.3 Schematische weergave 2^e toolontwerp

Na oplevering van het 1^e toolconcept is een 2^e teamoverleg georganiseerd ter evaluatie en feedback van de tool. Dit teamoverleg werd wederom bijgewoond door de potentiële gebruikers binnen Merosch: Runa Lentz, Menno Schokker, Margriet Vlot en Peter Stam. Met de realisatie van het 1^e toolconcept bood dit drie-kwartier-durende teamoverleg een goede basis voor verdere uitbreiding en detaillering van de tool. De belangrijkste resultaten van dit teamoverleg zijn als volgt:

- De tool moet de mogelijkheid bieden zelf de mate van ambitie vast te leggen. Dit kan bijvoorbeeld mogelijk worden door het bepalen van de afstand tussen de PV-panelen, de afstand tot de dakrand of het aandeel groen op het dak. Zodoende kan de gebruiker ook variëren binnenin een daktype.
- De tool biedt te weinig ruimte voor toekomstige veranderingen in de markt. Hoe kan de gebruiker de PV-afstand aanpassen? Hoe voegt de gebruiker nieuwe maatregelen toe in het model?
- Met het gebruik van de tool zal het ook mogelijk moeten zijn zonder voorkennis de tool te kunnen bieden. Hierin kan de tool middels het gebruik van indicatiewoorden zoals ambitieus, traditioneel en conservatief de gebruiker begeleiden.
- Binnen Merosch worden berekening gemaakt op verschillende manieren, niet iedereen houdt vast aan een aantal panelen, maar kiest eerder voor WattPiek (Wp) of kilowattuur (kWh).

Na het verzamelen van de feedback is de schematische weergave van de tool geüpdatet om hieraan gehoor te geven. Hieronder is de nieuwe schematische weergave te zien die als leidraad diende voor het 2^e toolontwerp.



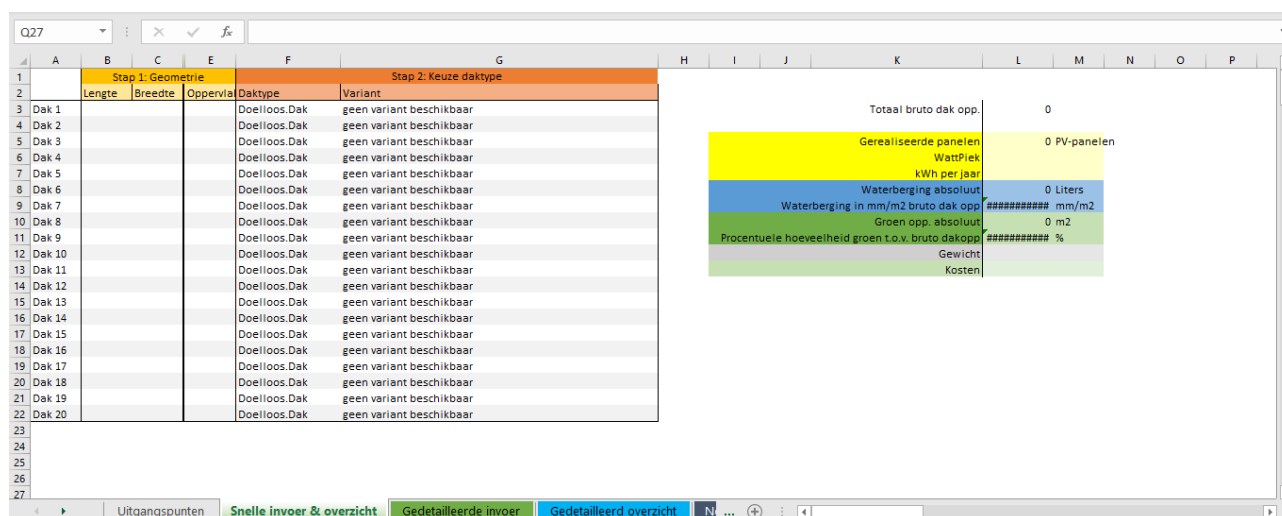
Figuur 32: Schematische weergave 2e toolontwerp

5.1.4 2^e toolontwerp

Ten opzichte van het eerste toolontwerp zijn er een aantal vernieuwingen doorgevoerd. De algehele lay-out van de tool is ingericht voor gebruiksvriendelijkheid en overzicht en ook de functies zijn uitgebreid. Hieronder volgt een overzicht van de vernieuwingen in het tweede toolontwerp ten opzichte van het eerste toolontwerp.

1. Lay-out

Allereerst is het interface van de voorbladen verbeterd. Er is gekozen om de verschillende invoerstappen (stap 1 t/m 4) te onderscheiden middels het gebruik van de bekende Merosch huiskeuren. Zodoende ontstaat meer overzicht en vallen de verschillende stappen makkelijk te categoriseren voor de gebruiker. Verder is de achtergrond van de tool in een effen witte kleur gekleurd om zo min mogelijk af te leiden van de invoer en de resultaten. Deze resultaten zijn op hun beurt ook met kleur gecategoriseerd op PV, water, groen, gewicht en kosten.



Stap 1: Geometrie				Stap 2: Keuze daktype	
Lengte	Breedte	Oppervl	Daktype	Variant	
Dak 1			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 2			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 3			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 4			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 5			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 6			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 7			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 8			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 9			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 10			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 11			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 12			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 13			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 14			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 15			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 16			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 17			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 18			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 19			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 20			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 21			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	
Dak 22			Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	

Totaal bruto dak opp.		0
Gerealiseerde panelen	WattPiek	0 PV-panelen
Waterberging absoluut	kWh per jaar	0 Liter
Waterberging in mm/m2 bruto dak opp.		0 mm/m2
Groen opp. absoluut		0 m2
Procentuele hoeveelheid groen t.o.v. bruto dakopp.		%
Gewicht		
Kosten		

Figuur 33: Interface snelle invoer & overzicht

De invoer zelf is onderverdeeld in twee tabs. De eerste tab is ontworpen voor snelle invoer en snel resultaat (zie figuur 33). Deze kan de gebruiker aanspreken bij eenvoudige schattingen van de mogelijkheden of wanneer deze te weinig kennis heeft om de gedetailleerde invoer gericht aan te sturen. De tweede tab,

gedetailleerde invoer (zie figuur 34 & 35), is ontworpen voor de gebruiker wat gericht te werk wil gaan en een meer nauwkeurig resultaat wil halen uit de tool. Hierin krijgt het buiten de standaard invoer geometrie en keuze daktype ook de optie om de randvoorwaarden en het te gebruiken dakoppervlak te bepalen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																

Figuur 34: Interface gedetailleerde invoer (1/2)

26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																
52																
53																
54																
55																
56																
57																

Figuur 35: Interface gedetailleerde invoer (2/2)

2. Daktype variant ter uitbreiding van daktype invoer

Om de gebruiker bij de invoer van de dakvoorzieningen meer mogelijkheden te geven is de daktypevariant in deze versie van het model toegevoegd. De daktypevariant (figuur 34, kolom G) haakt in op de daktype en geeft de gebruiker de optie zelf het ambitieniveau van de daktype te bepalen. Hier kiest de gebruiker bijvoorbeeld voor 85 mm of 150 mm retentiekraan, kan het de afstand tussen de PV-panelen bepalen of bepaalt het de procentuele aanwezigheid van groen in een daktype. Een complete lijst van de daktypes en de daarbij horende varianten is in bijlage 6 terug te vinden.

Om de minder ervaren gebruiker te ondersteunen in de keuze maken de daktypevarianten gebruik van de indicatiewoorden *ambitieuw*, *traditioneel* en *conservatief*. Een ambitieus daktypevariant houdt in dat deze variant een stap verder doet ten opzichte van de standaard invulling. Dit kan betekenen dat de afstand tussen de PV-panelen minder groot is, en daarmee ruimte ontstaat voor meer PV-panelen, of bijvoorbeeld een hoger volume waterberging. Hiertegenover staat een conservatieve daktypevariant. Een conservatieve variant wil zeggen dat er met de daktypevariant meer ruimte wordt gehouden voor de zekerheid van inpassing (bijvoorbeeld meer ruimte tussen de PV-panelen).

3. Toevoeging hoogte dakrand

De toevoeging van de dakrandhoogte is een relatief kleine aanpassing in het tweede toolconcept. Deze invoeroptie (te vinden onder stap 3: randvoorwaarden in kolom J) is relevant voor de minimale afstand die PV-panelen tot de dakrand moeten houden. Een dakrand hoger dan 1,5 meter heeft als gevolg dat de PV-panelen op 0,5 meter van de dakrand geplaatst mogen worden. Met een dakrand kleiner dan 1,5 meter of geen dakrand is deze afstand 1 meter.

De cellen in kolom J zijn uitgerust met een drop-down menu. Hier krijgt de gebruiker de keuze uit drie opties:

- Onbekend/geen dakrandhoogte
- < 1,5 meter
- $\geq 1,5$ meter

Enkel wanneer de gebruiker voor een dakrandhoogte van $\geq 1,5$ meter kiest heeft het direct gevolgen voor de uitvoer. Dit zou dan betekenen dat het netto dakoppervlak van de PV-panelen iets vergroot is omdat de afstand tot de dakrand beperkt blijft tot 0,5 meter. Wanneer de gebruiker voor een van de eerste twee opties kiest heeft dit geen directe gevolgen voor de uitvoer van de tool en blijft de afstand tot de dakrand 1 meter.

Bij het openen van de tool staan deze cellen standaard op: 'Onbekend/geen dakrand hoogte'.

4. Toevoeging stap 4: te gebruiken dakoppervlak

Om de optie te geven tot een verdere detailleringsslag is 'Stap 4: te gebruiken dakoppervlak' aan de tool toegevoegd (zie de kolommen K, L en M in figuur 34). Deze laatste stap voorziet de gebruiker van de optie om zelf het procentuele aandeel van de voorziening over het netto dakoppervlak te bepalen. De tool berekent bij stap 1 de geometrie van het gebouw, ofwel het bruto dakoppervlak. In stap 3 wordt het netto dakoppervlak voor de voorzieningen berekent middels de dakrandafstand en de dakrand hoogte, en stap 4 bepaalt vervolgens in hoeverre dit netto dakoppervlak benut gewenst te worden voor de drie hoofddoelen: PV, waterberging en groen. De gebruiker geeft dit *te gebruiken dakoppervlak* aan middels het invoeren van een percentage tussen de 0% en 100%. Een invulling van 0% wordt in praktijk echter niet verwacht. Dit zou namelijk indiceren dat de gebruiker 0% van het netto dakoppervlak wenst te gebruiken voor de gekozen dakvoorziening.

Middels het invoeren van het te gebruiken dakoppervlak kan de gebruiker verder de ambitie en mogelijkheden van het dak toetsen. Als de gebruiker kiest voor een neutraal zonnedak en hierbij een te gebruiken dakoppervlak percentage van 100% bij PV invoert, geeft deze hiermee aan het complete dak te willen gebruiken voor PV-panelen en geen ruimte over te laten voor andere dakinstallaties, zoals bijvoorbeeld liftopbouw, ventilatie of glasbewassing. Om hiermee rekening te kunnen houden kan de gebruiker 80% als waarde invoeren, de tool geeft vervolgens in de uitvoer het aantal vierkante meter weer dat 'leeg' is gelaten.

Dit percentage is los in te voeren voor alle drie de belangrijkste voorzieningen: PV, water en groen. Het invoeren van 100% bij alle drie de cellen wil niet zeggen dat het dak van alle drie voorzien wordt. Dit is nog steeds afhankelijk van wat de gebruiker bij 'Stap 2: Keuze daktype' heeft ingevoerd. Als de gebruiker hier enkel voor een polderdak kiest, dan zal de tool geen rekening houden met de invoer bij het *Stap 4: te gebruiken dakoppervlak* PV en Groen percentage. Deze invoervelden zijn in dat geval niet relevant voor de tool. In dit geval kijkt de tool enkel naar het ingevoerde percentage bij Water%.

5. Toevoeging waterdak voorziening

Waar het waterdak eerder in de studie nog buiten de scope viel vanwege slechte ervaringen met onderhoud en een laag waterbergend vermogen, is het waterdak in deze versie van de tool na intern verzoek wel meegenomen.



Het waterdak, zoals eerder omschreven, bergt het water direct op het dakoppervlak. Om het esthetisch effect van het waterdak te waarborgen staat er een permanente waterlaag op het dak. Het waterbergend vermogen is vaak niet groter dan 15mm/m^2 . De tool houdt deze waarde aan voor het waterbergend vermogen.

Zoals eerder ook vermeld zorgt waterberging voor een onvoorziene hoeveelheid ballast op het dak. Zeker ook in het geval van het waterdak is het belangrijk dit moet de constructeur te bespreken.

Figuur 36 (via bouwtotal.nl)

6. Mogelijkheid tot aanpassen PV-afmetingen

Als laatst is het 2^e toolconcept voorzien van de mogelijkheid om de afmetingen van de PV-panelen aan te passen. Zoals in figuur 35 te zien is, zal de gedetailleerde invoer een overzicht geven van de afmetingen van de PV-panelen in een zuid-opstelling, een oost-west opstelling en de afmetingen van het de zonnedak PV-panelen. De gebruiker is vrij deze waarde aan te passen.

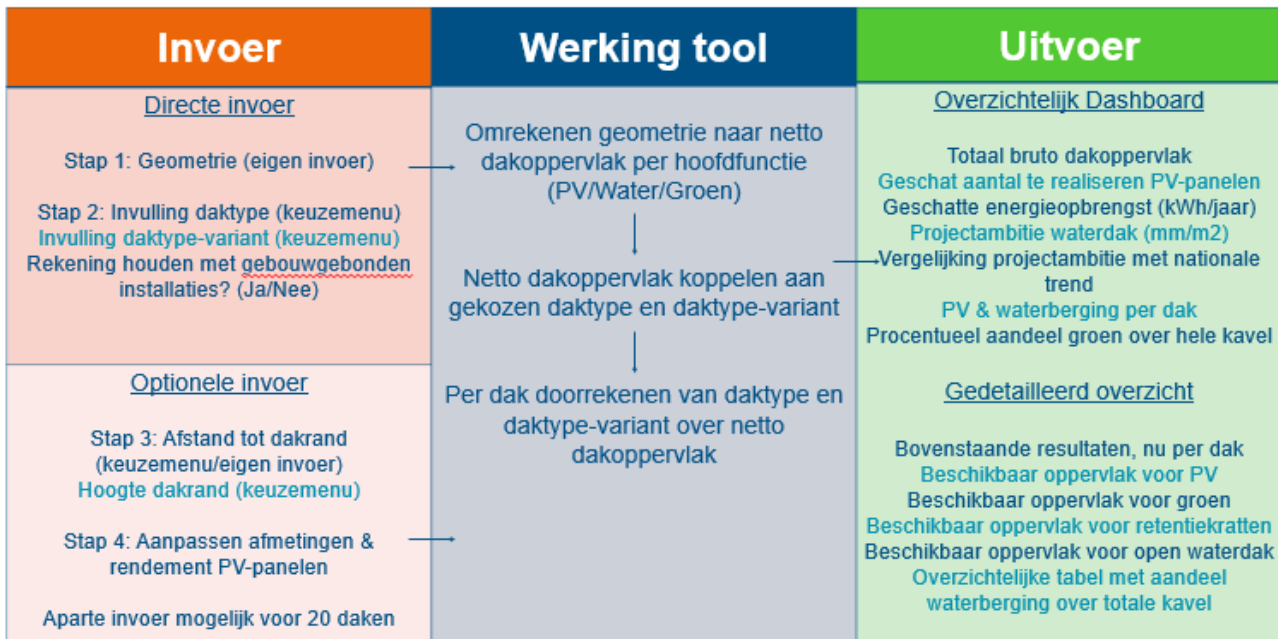
5.2 Eindtool

5.2.1 Schematische weergave eindtool

In vier een-op-een sessies met de potentiële gebruikers hebben deze voor het laatst sturing kunnen geven aan het toolontwerp. In deze sessies is de tool getest en is er vervolgens geëvalueerd op het gebruik en de werking. Hier zijn nog een aantal punten van feedback gekomen. Dit waren de belangrijkste uitgangspunten:

- De keuze voor snelle en gedetailleerde invoer werkt goed, alleen is het onhandig dat deze niet op hetzelfde werkblad staan. Wanneer de gebruiker in de toolversie 2.0 het daktype wil veranderen, terwijl de gebruiker bezig is met de gedetailleerde invoer moet deze telkens van werkblad wisselen. Dit werkt onhandig en kost onnodig tijd.
- Binnen Merosch wordt vastgehouden aan een standaardrendement van 220 Wp per m² zonnepaneel. Echter kan deze waarde per project veel verschillen. De gebruiker zou naast de afmetingen ook het rendement moeten kunnen aanpassen.
- Het is voor de gebruiker onduidelijk wat de gevolgen zijn van stap 4: *'het te gebruiken dakoppervlak'*. In hoeverre een dakinvulling van 100% verschilt van een dakinvulling van 90%, en waarom deze waarde überhaupt aangepast zou worden.
- De resultaten zijn erg statisch. Het presenteren van de data kan makkelijker en gebruiksvriendelijker met het implementeren van grafieken en diagrammen.

Na het uitwerken van deze feedback in een nieuw toolconcept is in afbeelding 37 de schematische weergave voor de definitieve toolversie uitgewerkt. De grootste veranderingen ten opzichte van de vorige versie is het verwerken van stap 4: *'Het te gebruiken dakoppervlak'* in de vraag: "Rekening houden met gebouwgebonden installaties (ja/nee)". Met het beantwoorden van deze vraag berekent de tool vervolgens wat het te gebruiken dakoppervlak is. Als de gebruiker ervoor kiest wel rekening te houden met gebouwgebonden installaties, worden de waarden voor het te gebruiken dakoppervlak aangepast om rekening te houden met deze installaties. Naast deze veranderingen zijn er ook grote aanpassingen gemaakt in de presentatie van de resultaten onder de werkbladen "Dashboard resultaten" en "Gedetailleerd overzicht".



Figuur 37: Schematische weergave eindtool

5.2.2 Finale versie van de eindtool

De laatste versie van het product van deze studie heeft negen werkbladen. Vijf werkbladen zijn zichtbaar voor de gebruiker en zijn de voorkant van het model, de overige vier werkbladen zijn verborgen en worden gebruikt voor de berekeningen. Deze zijn niet relevant voor het gebruik en zijn hierom verborgen voor de gebruiker.

Werkblad 1: De Handleiding

De handleiding dient ter ondersteuning van het gebruik van de tool. In de handleiding staat beschreven voor welk doeleinde de tool dient, hoe de tool gebruikt dient te worden en waar rekening mee gehouden moet worden tijdens het gebruik.

De volledige handleiding is in bijlage 8 te lezen.

Werkblad 2: Daktypes

Werkblad 2 dient ook ter informatie van de gebruiker, maar is cruciaal in het juist interpreteren van de invoer en van de werking van de tool. In werkblad 2 staan in een tabel de daktypes zo helder mogelijk beschreven. Met afbeelding van de voorzieningen, beschrijving van het daktype en cijfermatige toelichting voor de bijdrage in PV-panelen, waterberging en groen, informeert dit werkblad de gebruiker zo goed mogelijk van de invoeropties in het model.

Een overzicht van deze daktypes zoals in werkblad 2 weergegeven is in bijlage 9 te vinden.

Werkblad 3: Invoer

In dit werkblad is de complete invoer van het model te vinden. Waar de invoer voorheen was onderverdeeld in "Snelle invoer" en "Gedetailleerde invoer" is deze in werkblad 3 samengevoegd. De snelle invoer is nog steeds terug te vinden in stap 1 & 2 in dit werkblad en de gedetailleerde invoer bestaat uit de optionele stappen 3 & 4.

Stap 1: Geometrie

	Stap 1: Geometrie		
	Lengte	Breedte	Oppervlakte
Dak 1			
Dak 2			
Dak 3			
Dak 4			
Dak 5			

Figuur 38: Invoer geometrie

In Stap 1: Geometrie worden de tweedimensionale afmetingen van het dak ingevoerd. Dit is op twee manieren mogelijk. Óf via invoer lengte en breedte, óf via invoer oppervlakte. Afhankelijk van of het dak rechthoekig is of niet, moet de keuze gemaakt worden voor een lengte/breedte invoer of directe oppervlakte. Bij een rechthoekig dak met betrouwbare lengte/breedte maten kan de tool een accuratere berekening maken van de dakrandafstand en zullen de resultaten betrouwbaarder zijn. Als enkel de oppervlakte ingevoerd kan worden

(bijvoorbeeld bij ovale of alternatief gevormde daken) doet de tool zelf een schatting van de oppervlakte wat verloren gaat aan dakrand-afstand.

Stap 2: Keuze daktype

Stap 2: Keuze daktype		Stap 2 (vervolg & uitwerking)			
Daktype	Variant	Gebouwgebonden installaties?	PV %	Water %	Groen %
Ntrl.Zonnedak	300mm PV-afstand (traditioneel)	Nee	100%	100%	100%
Daktuin	30% groendekking (Meer sociale ruimte)	Ja	80%	95%	80%
Groen.Zonnedak	500mm PV-afstand (Traditioneel)	Nee	100%	100%	100%
Waterdak	15mm waterberging	Ja	80%	95%	80%
Water.Zonnedak	150mm retentiekraat // 200mm PV-afstand (Ambitueus)	Ja	80%	95%	80%

Figuur 39: Keuze daktype

In stap 2 kiest de gebruiker voor de invulling van het dak. Met een keuze uit een twaalfstal daktypes beschreven in hoofdstuk 5.1, kan de gebruiker zodoende per dak een invulling geven aan de meegegeven tweedimensionale geometrie. Deze daktypes zijn in het model cijfermatig gekoppeld aan drie pijlers; PV (Type PV of geen pv), Waterberging (hoeveelheid in mm/m² of geen), Groen (dekkingsgraad van groen of geen groen). De invoer bij kolom 'Daktype' gaat via een dropdown-menu waar de gebruiker een daktype kan kiezen. Op basis van de invoer bij de kolom 'Daktype' krijgt de gebruiker in de kolom 'Variant' de keuze voor een variant van het daktype. Deze variant geeft de gebruiker de mogelijkheid om een ambitieniveau aan het daktype te stellen. Deze kolom bepaalt bijvoorbeeld de herhalingsafstand van PV-panelen, de grootte van retentiekraan of de mate van aanwezigheid van groen op de daktuin. Een overzicht van het daktype en de daktypevarianten is te vinden in bijlage 5.

Het laatste invoerveld in stap 2 biedt de gebruiker de mogelijkheid rekening te houden met andere gebouwgebonden installaties op het dak zoals ventilatie, liftopbouw of glasbewassing. Wanneer de gebruiker hier voor 'Ja' kiest, neemt het procentuele aandeel van PV & Groen op het netto-dakoppervlak af van 100% tot 80% van de beschikbare ruimte. Voor waterberging is deze afname slechts 5% (van 100% tot 95%). Dit omdat de retentiekraan eenvoudiger in te passen zijn in deze gebouwgebonden installaties. Kiest de gebruiker hier voor 'Nee', dan houdt de tool alleen rekening met de standaard dakrandafstand die de voorzieningen verplicht moeten houden tot de dakrand. Van de beschikbare ruimte die overblijft nemen de voorzieningen 100% in.

(Optioneel) Stap 3: Randvoorwaarden

(Optioneel) stap 3: Randvoorwaarden	
Afstand tot dakrand	Eigen invoer afstar Hoogte dakrand/afst
Ambitueus	< 1,5m
Conservatief	Onbekend/geen
Eigen invoer	0,5 >= 1,5m
Traditioneel	< 1,5m
Eigen invoer	2,5 Onbekend/geen

Figuur 10: Randvoorwaarden

In 'Stap 3: Randvoorwaarden' kan de gebruiker invloed uitoefenen op de afstand die de voorzieningen houden tot de dakrand. Deze afstand is van belang voor de veiligheid van de installateurs en onderhoudswerkers, per project en per dakinvoering verschilt deze afstand. De gebruiker krijgt hier de keuze uit vier opties: Ambitueus, Traditioneel, Conservatief of eigen invoer. De eerste

drie opties zijn gekoppeld aan waarden in de tool zoals te zien is in de dakrandmatrix (figuur 41). En de optie eigen invoer geeft de gebruiker de mogelijkheid om in de kolom rechts van de invoer een eigen dakrandafstand in te voeren.

De kolom 'Hoogte dakrand/afrastering' is relevante input voor de afstand die de PV-panelen verplicht moeten houden tot de dakrand. Wanneer deze hoogte gelijk of hoger is dan 1,5 meter mogen de PV-panelen op 0,5 meter van de dakrand geplaatst worden. Als dit niet het geval is dan staan de PV-panelen op 1 meter afstand. De invoer bij deze cellen zijn wederom gekoppeld aan een dropdown-menu. Het model biedt de volgende opties: 'Onbekend/geen', '<1,5 meter' en '>= 1,5 meter'.

Dakrand afstand Matrix								
		PV kroon	PV oost-w	PV zuid	Sedum Gr	Intensief	Waterber	Waterdak
Ambitieu		0	afhankelijk	1	0,5	2,5	0	0
Traditioneel		0	afhankelijk	1	1	2,5	0	0
Conservatief		0	3	3	3	3	0	0

Figuur 41: Dakrand afstand Matrix

(Optioneel) Stap 4: Aanpassen PV kengetallen

(Optioneel) Stap 4: Aanpassen PV-kengetallen	
Afmetingen kroon PV	
Lengte paneel	1016 mm
Breedte paneel	1700 mm
Invalshoek	0 graden
Oppervlakte PV-paneel	1,73 m ²
Energieopbrengst per m ²	220 Wp
Energieopbrengst per paneel	379,98 Wp
Opbrengstfactor	0,87
Energieopbrengst per paneel	330,58 kWh

Als laatst biedt werkblad 3 de optie de afmetingen en het rendement van de PV-panelen in te zien en aan te passen voor de drie PV-opstellingen in de tool: Kroon PV, Oost-west PV en Zuid PV.

Figuur 11: Afmetingen PV-panelen

De oranje cellen op werkblad 3 zijn cellen die niet aan te passen zijn. De waarde in deze cellen is gebaseerd op een formule en dient daarmee niet aangepast te worden. Een compleet overzicht van werkblad 3 is in de bijlage 10 te vinden.

Werkblad 4: Dashboard resultaten

Het doel van werkblad 4 is om de gebruiker in een oogopslag de belangrijkste resultaten van de berekeningen mee te geven. Deze resultaten zijn in gesprek met Merosch vastgesteld. Dit zijn:

1. Totale bruto dakoppervlak (BDO)
2. Geschatte aantal te realiseren panelen
3. Geschatte energieopbrengst
4. Bergingspotentie in retentiekragen
5. Bergingspotentie in groen
6. Bergingspotentie op waterdak
7. Projectambitie waterberging
8. Absolute oppervlakte groen
9. Procentueel aandeel groen over BDO

Verder biedt werkblad 4 ook nog twee relevante diagrammen. De eerste vergelijkt de waterbergingsambitie met de nationale trend van 60mm/m², en de tweede laat per dak zien hoeveel PV-panelen en mm/m² waterberging er zijn gerealiseerd.

Een compleet overzicht van werkblad 4 is te vinden in bijlage 11.

Werkblad 5: Gedetailleerd overzicht

Werkblad 5 geeft een gedetailleerd overzicht van de resultaten. Per dak is hier inzichtelijk gemaakt welke keuzes bij invoer zijn gemaakt en welke resultaten deze als gevolg hebben opgeleverd. De resultaten in dit werkblad zijn onder te verdelen in 5 categorieën met onder iedere categorie eigen resultaten. Deze staan hieronder opgesomd.

- Overzicht keuze
 - o Uw daktype (direct gekopieerd van invoer)
 - o Uw dakvariant (direct gekopieerd van invoer)

- Gebouwgebonden installaties? (*Direct gekopieerd van invoer*)
- Geometrie
 - Bruto dakoppervlak (m^2)
 - Beschikbaar oppervlakte voor PV (m^2)
 - Beschikbaar oppervlakte voor groen (m^2)
 - Beschikbaar oppervlakte voor waterberging (m^2)
 - Beschikbaar oppervlakte voor een waterdak (m^2)
- PV
 - Aantal PV-panelen (*absoluut aantal*)
 - Energieopbrengst door PV-panelen ($kWh/jaar$)
- Water
 - Waterberging via retentiekatten (*Absoluut aantal liters*)
 - Waterberging via groendak (*Absoluut aantal liters*)
 - Waterberging via waterdak (*Absoluut aantal liters*)
 - Waterberging (mm/m^2)
- Groen
 - Oppervlakte groen (m^2)
 - Procentueel aandeel groen over BDO (%)

Afsluitend aan werkblad 5 is een totaaloverzicht te zien waar de resultaten van de van de daken opgesomd worden. Een compleet overzicht van werkblad 5 is te vinden in bijlage 12.

5.3 Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse van een computationeel model houdt in dat je voor elke invoervariabele van dat model nagaat hoe sterk de waarde(n) van de uitvoervariabele(n) veranderen als gevolg van een kleine verandering ($\pm 10\%$) van de waarde van die invoervariabele ten opzichte van de basis-casus. (TU Delft, 2021). Veelal wordt een gevoeligheidsanalyse ook wel gebruikt in MKBA-analyses. Hierin wordt de validiteit van de effecteninschattingen gecontroleerd door de waarden in het MKBA iets te verhogen of verlagen. Vervolgens kan eenvoudig worden geconstateerd of de waarden wel in verband staan met elkaar.

In dit rekenmodel wordt een gevoeligheidsanalyse om twee redenen toegepast. Allereerst om de fouten in de invoer niet ten koste te laten gaan van het resultaat van de uitvoer. Bijvoorbeeld wanneer de gebruiker bepaalde waarden dubbel invoert (zowel oppervlakte als de lengte en breedte), verkeerd invoert (percentages boven de 100% waar dit niet mogelijk moet zijn) of onmogelijke waarden invoert (negatieve getallen). De gevoeligheidsanalyse zal deze fouten eruit moeten filteren. De tweede toepassing van de analyse is om aan te tonen hoe in- en uitvoer zicht tot elkaar verhoudt. Wat is het gevolg van een aanpassing van $\pm 10\%$ op de invoer, en wat zegt dit over de werking van de tool.

5.3.1 Foute invoer

De tool is volledig beschermd tegen foutieve invoer in de invoervelden. In de vrij in te voeren getallen (oppervlakte of lengte/breedte) is het niet mogelijk getallen lager dan 1 meter in te voeren. Middels data-validatie (een ingebouwde optie in Excel) zijn de cellen beschermd tegen foutieve invoer. Negatieve getallen, nullen en letters kunnen niet ingevoerd worden in de cel. Wanneer dit wel gebeurt krijgt de gebruiker onderstaande foutmelding.

Definieer andere waarde



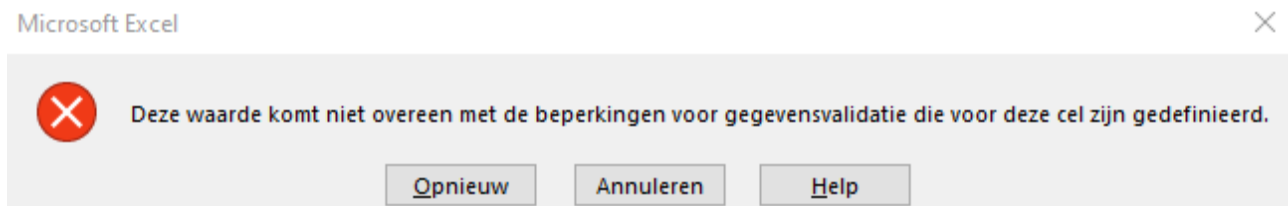
De invoer in deze cel kan niet lager zijn dan 1 meter. Definieer een waarde boven de 1 meter of laat deze cel leeg

OK

Annuleren

Help

Voor het beschermen van de invoer bij het dropdown-menu werkt de tool ook met data-validatie. In deze cellen is het alleen mogelijk de invoer te selecteren die in het dropdown-menu staat. Bij het invoeren van alternatieve waarden krijgt de gebruiker de volgende foutmelding:



De tool is ook voorbereid op invoer van dubbele waarden. Dit is mogelijk bij de invoer van geometrie. Hier kan de gebruiker zowel de lengte en de breedte, als ook de oppervlakte direct invoeren. Echter, wanneer Excel ziet dat alle drie deze invoervelden in gebruik zijn kiest de tool voor de waarden bij lengte en breedte om het netto dakoppervlak te berekenen. Met deze waarden is het namelijk voor de tool eenvoudiger om de oppervlakte van de dakrandafstand te berekenen. Zodoende kan de tool een accuratere berekening maken.

5.3.2 Gevoeligheid PV, Water en Groen op basis van oppervlakte

Het verband tussen in- en uitvoer is voor drie daktypen onderzocht; Ntrl.Zonnedak, Polderdak en Sedumdak. Het Ntrl.Zonnedak is een puur zonnedak waar alleen de PV-cijfers beïnvloed worden en daarmee worden geanalyseerd. Het Polderdak is een voorziening om louter water te bergen. Met een gevoeligheidsanalyse van dit daktype kunnen de cijfers voor waterberging geanalyseerd worden. Het Sedumdak biedt de mogelijkheid de cijfers van groen te analyseren.

Ntrl.Zonnedak

Voor het neutrale zonnedak zijn de drie varianten; Ambitueus, Traditioneel en Conservatief geanalyseerd. Het aantal PV-panelen dat deze variant kan voorzien is berekend met vijf verschillende oppervlaktes. Allereerst de referentieoppervlakte (100m²) en vervolgens de oppervlaktes -20%, -40% +20% en +40% van de referentie. Deze percentages ten opzichte van de referentie moeten aantonen of er in de berekening sprake van een lineaire, exponentiele of andere lijn is.

In tabel 4 is voor alle drie de daktypevarianten een exponentiele groei te zien, ten opzichte van de referentie. Waar de oppervlakte in de referentie met 20% stijgt/daalt zien we een stijging/daling van ongeveer 25% in het aantal te realiseren PV-panelen. Waar de oppervlakte met 40% toe of afneemt zien we zelfs dat deze procentuele toe/afname van PV-panelen 50% is ten opzichte van de referentie.

Dit is te verklaren door de dakrandafstand. In dit voorbeeld zijn alle oppervlakte berekend met een breedte van 10 en een lengte van 6/8/10(referentie)/12/14. Met deze getallen krijg je de oppervlaktes zoals die links in de tabel te zien zijn. Echter met een dakrandafstand van 1 meter aan iedere kant, wordt het netto dakoppervlak (Dit is het dakoppervlak **na** doorrekenen van dakrandafstand) exponentieel groter/kleiner ten opzichte van de referentie. Met een bruto dakoppervlak van 60 (6x10meter) en een dakrandafstand van 1 meter aan iedere zijde, wordt het netto dakoppervlak een vermenigvuldiging van $4 \times 8 = 32\text{m}^2$ (1 meter van iedere dakzijde afhalen == -2 over totale lengte en totale breedte). Met een bruto dakoppervlak van 100 (10x10 meter) en dezelfde dakrandafstand van 1 meter aan iedere zijde, wordt het netto dakoppervlak berekend door een vermenigvuldiging van $8 \times 8 = 64\text{m}^2$ (wederom uitgaande van: 1 meter van iedere dakzijde afhalen = -2 over totale lengte en totale breedte). De verhouding tussen deze twee bruto dakoppervlaktes is -40% (100m² tegenover 60m²) en de verhouding tussen deze twee netto dakoppervlaktes (64m² tegenover 32m²) is -50%. Deze ongelijkheid tussen bruto en netto dakoppervlak is terug te zien in het aantal te realiseren PV-panelen zoals te zien is in de tabel hieronder. Dit verschil uit zich in een exponentiele groei van het aantal zonnepanelen.

Oppervlakte	Ambitieu	Traditioneel	Conservatief
60	17	16	14
80	25	24	22
100	34	32	29
120	42	40	37
120	51	48	44
-40%	0,5	0,5	0,48
-20%	0,74	0,75	0,76
Referentie	1	1	1
20%	1,24	1,25	1,28
40%	1,5	1,5	1,52

Tabel 4: Analysetabel Ntrl.Zonnedak

Polderdak

In tegenstelling tot de zonnedaken is bij een polderdak geen exponentiele, maar lineaire groei te zien ten opzichte van de referentie, en ten opzichte van het bruto dakoppervlak. De afwezigheid van de dakrandafstand bij retentiekragen zorgt dat het bruto dakoppervlak gelijk is aan het netto dakoppervlak. Zodoende bewegen alle getallen lineair mee met het referentiegetal.

Oppervlakte	85mm retentiekraat		150mm retentiekraat	
	Liters	mm/m ²	Liters	mm/m ²
60	4800	80	8400	140
80	6400	80	11200	140
100	8000	80	14000	140
120	9600	80	16800	140
120	11200	80	19600	140
-40%	0,6	1	0,6	1
-20%	0,8	1	0,8	1
Referentie	1	1	1	1
20%	1,2	1	1,2	1
40%	1,4	1	1,4	1

Tabel 5: Analysetabel polderdak

Sedumdak

Bij het sedumdak is hetzelfde effect zichtbaar als bij de PV-panelen. Omdat een groendak ook een standaard dakrandafstand heeft van 1 meter aan iedere zijde zien we hier dezelfde exponentiele groei van het aantal vierkante meter en liters waterberging ten opzichte van de referentie en ten opzichte van het bruto dakoppervlak.

Oppervlakte	Groen	Waterberging	
	m2	Liters	mm/m2
60	32	640	10,67
80	48	960	12
100	64	1280	12,8
120	80	1600	13,33
120	96	1920	13,71
-40%	0,5	0,5	0,83
-20%	0,75	0,75	0,94
Referentie	1	1	1
20%	1,25	1,25	1,04
40%	1,5	1,5	1,07

Tabel 6: Analysetabel sedumdak

5.4 Toetsen van de tool: casestudy

Het opleveren van de definitieve tool biedt ook de mogelijkheid tot het toetsen van de tool in de praktijk. Om de tool zo goed mogelijk te evalueren is intern een casestudy uitgezet op een relevant Merosch-project. De casestudy is uitgevoerd door Merosch-medewerker Sebastiaan Knepper. Knepper, werkend voor de Merosch onderzoekkant, is niet betrokken geweest bij dit onderzoek maar wel een van de potentiële gebruikers. Zodoende is de tool uitgevoerd door een onafhankelijk derde persoon die zonder enige voorkennis de tool kan evalueren.

Knepper is gevraagd na het toetsen van de tool een evaluatieformulier in te vullen om zo zijn oordeel voor het gebruik van de tool te kunnen delen.

5.4.1 Casus

De tool is getoetst met gebiedsontwikkelingsproject Tangent in Heerhugowaard als casus. Het project is in opdracht van de gemeente Heerhugowaard en valt onder De Nijs Projectontwikkeling. Merosch verzorgt voor De Nijs Projectontwikkeling het traject een integrale duurzaamheidsvisie inclusief een duurzaamheidsprogramma van eisen. Merosch integreert hiervoor interne en externe expertise om tot een integrale visie en duurzaamheidsprogramma van eisen te komen. Dit dient als uitgangspunt voor het verdere ontwerp van het gebied en de gebouwen. Daarnaast is Merosch betrokken als installatietechnisch adviseur.



Figuur 12: Gebiedsontwikkelingsproject Tangent (via Merosch.nl)

Dit gebiedsontwikkelingsproject is een goede casus om de tool te toetsen omdat Merosch hier betrokken is geweest aan de voorkant van het project met het bepalen van de ambities in de SO-fase, maar ook als installatietechnisch adviseur in de VO- en DO-fase. Enkele relevante ambities van dit project zijn:

- Op gebiedsniveau zijn alle gebouwen energieneutraal (EPC = 0 of BENG-3 = 100%). De benodigde zonnepanelen worden naar inzicht en wens over het gebied verspreid.
- 69 mm waterberging ter compensatie toevoeging verharding. De toepassing van ondergrondse voorzieningen worden zo veel mogelijk geminimaliseerd.
- Het landschapontwerp wordt geoptimaliseerd op zo min mogelijk hittestress en windhinder met behulp van hittestress en windhinder modellering.
- De openbare ruimte is dusdanig ingericht dat dit kan voorzien in nestelplekken voor minimaal 4 diersoorten (bijv. vogel, vleermuis, insecten, zoogdieren, vissen, reptielen en amfibieën).

5.4.2 Resultaat van de casestudy

Na afloop van de casestudy heeft Knepper het meegestuurde evaluatieformulier ingevuld. Dit formulier stelt de gebruiker een tiental vragen over de eerste indruk, volledigheid, betrouwbaarheid en gebruiksvriendelijkheid van de tool. Op basis van deze pijlers wordt de tool beoordeeld op het succes.

Reflecterende op deze feedback kan gezegd worden dat de tool in de basis compleet is en in huidige staat de Merosch-werknemer kan ondersteunen in de SO-fase van een project. Er zijn nog wel verbeteringen mogelijk en kansen voor uitbreidingen. Zo ziet Knepper nog kansen voor de toevoeging van een kostenindicatie en kennis over biodiversiteit om de tool te optimaliseren.

Onderzoek naar de kosten van de voorzieningen is al gedaan en staat verwerkt in dit rapport. Het implementeren van deze kosten in het model is goed mogelijk. Deze uitbreiding zal na oplevering van de rapportage gerealiseerd worden. In verband met de beperkte onderzoektijd is gekozen de huidige versie niet van een kosten- en gewichtindicatie te voorzien.

In de bijlage is het volledige reflectieformulier, zoals ingevuld door Sebastiaan Knepper, te zien.

5.5 Conclusie

Bij oplevering van dit rapport voldoet de eindtool aan de verwachtingen en eisen van de potentiële gebruikers. Met het uitvoeren van een casestudy en gevoeligheidsanalyse is de betrouwbaarheid van de tool getest. Deze test heeft de tool voldoende doorstaan. In de casestudy is aangegeven dat er ruimte voor verbetering en uitbreiding is en de tool nog geen definitief eindproduct is. De tool voldoet echter in huidige staat voldoende aan de vraag van de Merosch-werknemer en kan in praktijk al van toegevoegde waarde zijn. Hoe het uitbreidingsproces van de tool eruit gaat zien wordt intern binnen Merosch nog doorgezet.

6 Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt: *‘Op welke wijze kan een praktisch bruikbare tool vroegtijdig bijdragen aan het toetsen van de energie- en waterbergingsambities op de buitenschil van nieuwe binnenstedelijke hoogbouw?’*

Om de relevantie aan te tonen en een gevoel te krijgen bij de getallen hieromtrent is een onderzoek uitgezet naar het beleid dat de nationale, regionale en lokale overheidsorganen voeren op het gebied van gebouw gebonden waterberging en energieopwekking door middel van PV-panelen. Uit deze resultaten is gebleken dat waterberging in de G-5 steden als toereikend wordt beoordeeld, als een nieuw te realiseren gebouw of kavel minimaal 60mm/m² water tijdelijk kan bergen en vertraagd afvoeren. Ook is gebleken dat de alhoewel de overheidsorganen op verschillende niveaus sterk inspelen op de groeiende rol van PV-panelen in de stedelijke omgeving, dit niet standaard vereist wordt bij nieuwbouw. De voornaamste reden hiervoor is dat het toepassen van PV-panelen geen noodzaak is voor het behalen van de BENG-norm (de regelgeving omtrent verplichte bijna energie neutrale gebouwen). Dit kan namelijk ook met het toepassen van duurzame warmteopwekking.

Uit een reeks interviews en Webinars is duidelijk geworden dat polderdaken, in- en extensieve groendaken, waterdaken en PV-panelen hedendaags de meest populaire voorzieningen zijn die toepasbaar zijn op de gebouwschil en tegelijkertijd een competente invulling doen van de energie- en waterbergingsambities. In de praktijk is gebleken dat met de esthetisch aantrekkelijkere in- en extensieve groendaken en waterdaken een significante hoeveelheid water tijdelijk gebufferd kan worden (15 tot 70 mm/m²), maar de meest doeltreffende voorziening hiervoor de polderdaken zijn (80 tot 140 mm/m²). PV-panelen zijn vooralsnog de meest efficiënte en rendabele manier van energiewinning op de gebouwschil.

Een cluster interne team overleggen heeft geresulteerd in een afgetekend kader voor het ontwerpproces van de tool. Deze moet de Merosch werknemer ondersteunen middels het berekenen van de energie- en waterbergingsmogelijkheden op het beschikbare dakoppervlak tijdens de schetsontwerpfase van een project. Hierin zal de tool de gebruiker moeten voorzien van een elftal daktypes waaruit de gebruiker, na het invullen van de geometrie, een keuze kan maken voor de invulling van het dak. Vanuit deze invoer (geometrie en daktype) kan de tool een berekening maken van het aantal te realiseren PV-panelen, het te bergen water en het procentuele aandeel groen over het dakoppervlak. De tool is op betrouwbaarheid gecontroleerd door het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse waarin de betrouwbaarheid van de berekeningen is onderzocht. De betrouwbaarheid is ook getoetst door een casestudy op het Tangent project te Heerhugowaard (Merosch bekend project voorbij de SO-fase). De casestudy is uitgevoerd door een Merosch werknemer zonder voorkennis van de tool. De bevindingen van de tool werden als betrouwbaar en hulpvaardig ervaren.

Concluderende op de onderzoeksvraag blijkt dat de tool de Merosch-werknemer vroegtijdig in het project kan ondersteunen door als rekenmodel te fungeren waarbij de gebruiker, zonder al te veel kennis over waterberging, PV-panelen en groen, een gerichte inschatting kan maken van de potentie van een dak of een cluster daken. Met dit model kan de totale potentie van PV-panelen, waterberging en groen op het dak eenvoudig berekend worden. Hiermee kunnen de energie- en waterbergingsambities berekend worden, alsmede vroegtijdig in het project rekening houden met ruimtebeperkende dak installaties. Zodoende kan de tool ook fungeren als brug tussen de schetsontwerp fase (SO-fase) en de voorlopig ontwerpfase (VO-fase).

7 Aanbevelingen en discussie

7.1 Discussie

- Resultaten ook toepasbaar op andere gebouwtypologieën.

Dit onderzoek is gericht op nieuwe binnenstedelijke hoogbouw, en de tool is ontworpen in deze projecten ondersteuning te bieden. Echter is de tool ook toepasbaar op andere dakoppervlakten en is niet gelimiteerd aan het onderzochte gebouwtype. Reden dat de andere gebouwtypologieën niet zijn meegenomen is omdat dit vraagstuk minder relevant kan zijn voor deze gebouwen.

- Validatie van het onderzoek.

Sommige resultaten kunnen als controversieel worden opgevat. Zo wordt in deze rapportage de combinatie van groen met PV geopteerd als invulling aan klimaat-technische ambitie, waar critici beweren dat deze combinatie in praktijk niet te realiseren is.

Het praktijkonderzoek is echter gevalideerd doordat de resultaten tot stand zijn gekomen na interviews met verschillende, soms tegenstrijdige, disciplines. Voor het valideren van de informatie is gesproken met partijen van de verschillende disciplines op het dak; Hoveniers, PV-installateurs of integrale dak-experts. Zodoende is een afgewogen en compleet onderzoeksresultaat tot stand gekomen.

- De tool is niet bedoeld als directe ontwerptool

Op basis van de invoer berekent de tool de potentie voor PV-panelen, het te bergen water en het procentuele aandeel groen. De tool doet deze schattingen op basis van generieke informatie over de omvang en afstand van deze voorzieningen. De resultaten zijn enkel schattingen en bieden geen garantie voor de haalbaarheid van deze ambities in de praktijk.

7.2 Aanbevelingen

- Aanbeveling voor Merosch

De aanbeveling voor Merosch is om deze tool in te zetten tijdens de ambitiebepaling van gebouw- of gebiedsprojecten in de SO-fase. De tool kan hierin ondersteunen door de cijfermatige gevolgen van energieopwekkende en waterbergende projectambities overzichtelijk weer te geven. Ook wordt geadviseerd de tool jaarlijks tot eens in de twee jaar te actualiseren met PV-formaten, rendement en nieuwe waterbergingstechnieken. Vooral waterberging is een opkomend vraagstuk en verwacht ik dat hier in de toekomst meer voorzieningen voor ontstaan.

- Vervolgonderzoek: Meenemen complete kavel

In intern overleg met Merosch collega's is de wens geuit in deze tool het waterbergend vermogen van de hele kavel te kunnen berekenen. Hiervoor zou extra onderzoek gedaan moeten worden naar waterbergend voorzieningen op grondniveau en op alternatieve locaties. Eveneens zou hierbij ook rekening gehouden moeten worden met het bestaande waterbergend vermogen van de kavel. Voor een uitbreiding in deze vorm zou extra onderzoek gedaan moeten worden.

- Vervolgonderzoek: Detailleringsslag gebouw gebonden installaties

De tool houdt momenteel rekening met gebouw gebonden installaties (zoals liftopbouw, ventilatie of glasbewassing) door een vast percentage van het netto dakoppervlak onbenut te laten om ruimte te houden voor deze gebouw gebonden installaties (20% in het geval van PV en groen; 5% in het geval van waterberging). De minimaal benodigde ruimte voor deze voorzieningen is echter nog niet door Merosch

onderzocht en is momenteel nog op schatting ingevuld. Verder onderzoek zou kengetallen voor de oppervlakte van deze installaties moeten ontwikkelen. Zodoende zou ook mogelijk moeten worden per voorziening te selecteren of deze relevant is voor het project en zouden de resultaten nog accurater kunnen worden.

- Vervolgonderzoek: In dit onderzoek is niet onderzocht hoe/of de voorzieningen toepasbaar zijn op schuine daken

In dit onderzoek is specifiek onderzoek gedaan naar aan platte daken. Echter heeft de gebouwontwikkeling in de praktijk hier niet allemaal mee te maken. Een invalshoek van 5 tot 45 graden voor een dak is niet ondenkbaar, ook niet voor hoogbouw. Om de tool geavanceerder te maken zou extra onderzoek moeten plaatsvinden naar de effectiviteit van de onderzochte voorzieningen op daken met een invalshoek groter dan 5 graden (hierna verliezen retentiekraften snel bergingscapaciteit).

Bibliografie

- Bouw adaptief. (2019, Oktober). *Convenant Klimaatadaptief Bouwen Zuid Holland*. Opgehaald van Bouw adaptief: <https://bouwadaptief.nl/leidraad/>
- Dakdokters. (sd). *Groene daken - dakdokters*. Opgeroepen op 05 01, 2021, van dakdokters.nl: <https://dakdokters.nl/groene-daken/>
- Dakterrassen Amsterdam. (sd). *Home*. Opgeroepen op 05 01, 2021, van Dakterrassen Amsterdam: <http://www.dakterrassen.amsterdam/>
- Deltaprogramma RA. (2018). *Deltaprogramma 2018 Doorwerken aan een duurzame en veilige delta*. Den Haag: ministerie van Infrastructuur en Milieu en het ministerie van Economische Zaken.
- Euser, E. (2018, Juni 08). *Alles wat je moet weten over overgang van EPC naar de BENG*. Opgehaald van Bouwadviesshop.nl: <https://bouwadviesshop.nl/overgang-epc-naar-beng/>
- Gemeente Amsterdam. (2021, februari 10). *Gemeente Amsterdam*. Opgehaald van Amsterdam.nl: <https://www.amsterdam.nl/wonen-leefomgeving/beng-nieuwe-manier-bouwen/>
- Gemeente Utrecht. (2015, 03). *Bijlage 6 Dakterrassenbeleid overige gebouwen*. Opgehaald van Gemeente Utrecht: https://www.utrecht.nl/fileadmin/uploads/documenten/7.extern/wob/-2019/2019-199_richtlijn_omgevingsvergunning_dakterrassen/Bijlagen.pdf
- Janszen, T. (2021, Januari 19). Randvoorwaarden PV op het dak. (D. Beumken, Interviewer)
- Kennisportaal Klimaatadaptatie. (2021, Februari 15). *Beleid & programma's - Klimaatadaptatie*. Opgehaald van Klimaatadaptatie Nederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/overheden/>
- Klapwijk, F. (2021, Januari 13). Afstudeeronderzoek Dexter Beumken. (D. Beumken, Interviewer)
- klimaatklaar.nl. (2021). *Maak een waterdak - klimaatklaar.nl*. Opgehaald van klimaatklaar.nl: <https://klimaatklaar.nl/jij/maak-waterdak/>
- KNMI. (2021, februari 19). *KNMI - Regenintensiteit*. Opgehaald van KNMI: <https://www.buro-regen-en-water.nl/regenintensiteit-knmi/>
- Ministerie van BZK. (2021, 02 01). *Maatregelen klimaatadaptief bouwen*. Opgehaald van Rijksoverheid.nl: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/02/01/maatregelen-klimaatadaptief-bouwen>
- MIW. (2021, maart 16). *Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat*. Opgehaald van infomil.nl: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/gebiedsontwikkeling/introductie-proces/>
- NAS. (2016). *Aanpassen met ambitie, Nationale klimaatadaptatie-strategie 2016*. Den Haag: ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- NDA. (2018, Augustus 23). *Nederlandse Dakdekkers Associatie*. Opgehaald van NDA.nl: <https://www.nda.nl/VBB/richtlijn-begroeide-daken/bijlage-f3-dakdetails-aandachtspunten-ontwerp-en-uitvoering/>
- Nieman. (2020). *BENG eis vanaf 01-01-2021*. Opgehaald van Nieman.nl: <https://www.nieman.nl/specialismen/energie-en-duurzaamheid/beng-eis-vanaf-01-01-2021/>
- Optigruen. (2021). *Optigruen WRB 85i*. Opgehaald van Optigruen.nl: https://www.optigruen.nl/fileadmin/2_DATENBLAETTER/NL/Draenelemente/30871-Optigruen-Wasser-Retentionsbox-WRB-85i.pdf
- Optigruen. (2021, Juni 09). *Retentiedaken | Optigruen dakbegroeiing*. Opgehaald van optigruen.nl: <https://www.optigruen.nl/systemen/retentiedak>
- Optigruen. (2021). *Waterretentiebox WRB 150*. Opgehaald van Optigruen.nl: https://www.optigruen.nl/fileadmin/2_DATENBLAETTER/NL/Draenelemente/30318-Optigruen-Wasser-Retentionsbox-WRB-150.pdf
- Rainproof Amsterdam. (2021, 04 30). *Extensieve groene daken | Amsterdam Rainproof*. Opgehaald van Rainproof.nl: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/extensieve-groene-daken>
- Rainproof Amsterdam. (2021, 04 30). *Intensieve groene daken | Amsterdam Rainproof*. Opgehaald van Rainproof.nl: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/intensieve-groene-daken>
- Rainproof Amsterdam. (sd). *Extensieve groene daken | Rainproof Amsterdam*. Opgeroepen op 05 01, 2021, van Rainproof.nl: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/extensieve-groene-daken>
- Rijksoverheid. (sd). *Bouwvoorschriften*. Opgeroepen op 04 30, 2021, van Rijksoverheid.nl: <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bouwregelgeving/inhoud/bouwvoorschriften>
- RVO. (2020, Januari 31). *BENG 3: Aandeel hernieuwbare energie*. Opgehaald van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng/beng-gebouwtype/beng-criteria/beng-3-aandeel-hernieuwbare>

- Stam, P. (2021, 02 03). Afstudeeronderzoek Dexter Beumken. (D. Beumken, Interviewer)
TU Delft. (2021, 05 26). *Gevoeligheidsanalyse - systeemmodellering*. Opgehaald van TUDelft.nl:
<https://sysmod.tbm.tudelft.nl/wiki/index.php/Gevoeligheidsanalyse>
- Vlijm, H. (2021, februari 25). Webinar Klimaatadaptieve Kavel Optigrün. Optigruen. Opgehaald van
<https://www.youtube.com/watch?v=s4gPeK2sO5k>
- Vlijm, H. (2021, februari 11). Webinar PV & Groen, een opgewekt verhaal! Optigruen. Opgehaald van
<https://www.youtube.com/watch?v=7nQjH4AdGWs&t=10s>
- Weber, D. (2016, 05 27). *Gewicht zonnepanelen: alle informatie*. Opgehaald van Zonnepanelen-weetjes:
<https://www.zonnepanelen-weetjes.nl/blog/gewicht-van-zonnepanelen/>

Bijlage

Bijlage 1: Beleidsinventarisatie thema water

Beleidsdocument	Jaar van publicatie	Linkjes 1	Linkjes 2	Linkjes 3	Ambitie relevant voor de studie	Concrete eisen relevant aan de studie
Nationale Klimaatadaptatiestrategie	2016	file:///C:/https://ru			De NAS geeft een overzicht van de belangrijkste klimaatscenario's. Mede op basis van deze urgente klimaatscenario's, zijn de speerpunten van de NAS bepaald. De NAS spoort aan het ontwikkelen van kennis en beleid op het gebied van klimaatadaptatie.	
Deltaprogramma Ruimtelijke adaptie	2018	file:///C:/https://ru	https://ru		Het Deltaplan Ruimtelijke adaptatie is een gezamenlijk plan van gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk om Nederland klimaatbestendig en waterrobuust in te richten. Het Deltaplan versnelt en intensificeert de aanpak van wateroverlast, hittestress, droogte en de gevolgen van overstromingen. In het Deltaprogramma worden 7 klimaatadaptatieve ambities uitgelicht	
Convenant Klimaatadaptief Bouwen	2019	file:///C:/https://bc			Een groot deel van de neerslag (50mm) van een korte hevige bui op privaat terrein wordt op dit terrein opgevangen en vertraagd afgevoerd. De berging is niet eerder dan in 24 uur leeg en is maximaal 38 uur weer beschikbaar, of wordt gestuurd. Hiernaast: In het plangebied treedt geen schade op aan de bebouwing en voorzieningen bij extreem hevige neerslag (1/250 jaar, 90mm/u)	
Handreiking waterrobuust inrichten	2017	file:///C:/			Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie	
Plan gemeentelijke watertaken Utrecht	2016	https://ar			Bij ontwikkelingen waarbij de verharding met meer dan 500 m2 toeneemt, verwachten wij dat de toename gecompenseerd wordt door elders verharding weg te halen of door de aanleg van extra waterberging. De kosten voor de extra waterberging komen voor rekening van de ontwikkelaar, tenzij hierover andere afspraken worden gemaakt.	
Convenant Klimaatadaptief Bouwen	2019	file:///C:/			Zie Provincie Zuid-Holland	
Multifunctionele daken 2019-2020	2019	https://ro			Ambitie: 150.000m2 extra groenblauwe daken. Ambitie: Eisen aan de waterbergings- en verdragscapaciteit voor nieuwe bouwplannen worden opgenomen in regelgeving. Ambitie: Bijna alle gebouwen die vanaf 2022 zijn gerealiseerd en gerenoveerd zijn in staat om 70 mm neerslag op te vangen en vertraagd te verwerken. Meestal binnen de grenzen van het gebouw, en soms in samenwerking met de directe omgeving	
Rotterdams weerwoord urgentiedocument	2020	https://w			Gedateerd artikel, daken voor wateropvang wordt niet als optie gezien	
waterbergingsvisie Den Haag Centrum	2007	https://de				
Convenant Klimaatadaptief Bouwen	2019	file:///C:/			Zie Provincie Zuid-Holland	
Strategie Klimaatadaptie Amsterdam	2020	https://w	https://w	file:///C:/		Daarbij dient minimaal 60 liter hemelwater te worden opgevangen per m2 bebouwd oppervlak en dient deze hoeveelheid hemelwater binnen 60 uur weer te worden afgevoerd met een maximum lozing op het riool van 1 liter per m2 bebouwd oppervlak;
De Eindhovense klimaattoets	2019	https://w				Bij ontwikkelingen met 150 m2 of meer verharding 60mm waterberging per m2 verharding. Bij ontwikkelingen met minder dan 150 m2 verharding 20mm waterberging per m2 verharding.

Bijlage 2: Beleidsinventarisatie thema energie

Beleidsdocument	Jaar van publicatie	Linkjes 1	Linkjes 2	Linkjes 3	Ambities en doelen relevant voor de studie	Concrete eisen relevant aan de studie
Energieakkoord	2013	https://w			Een toename van het aandeel hernieuwbare energie-opwekking naar 14% in 2020, 16% in 2023.	
Energieprestatie - BENG	2020	https://w				Aandeel hernieuwbare energie van ≥ 40% op woongebouwen
Nationale omgevingsvisie	2020	https://w			De afwegingsprincipes van de NOV leiden tot een voorkeur voor zonnepanelen op daken en gevels van gebouwen. Het inpassen op daken en gevels draagt niet alleen bij aan het combineren van functies. Omdat hier al sprake is van bebouwing, zal het introduceren van zonnepanelen op deze plekken doorgaans minder invloed hebben op de kenmerken of identiteit van een gebied.	
Programma Energietransitie		https://w			2040 energieneutraal als provincie. 2023 16% van provinciale energievraag duurzaam.	
Regio U16 Ontwerp RES	2020	https://w			Doel: realiseren van 0,5 TWh grootschalige zon op dak in 2030 in de regio. Ambitie: Een publiekrechtelijke bevoegdheid voor het verplichten van zon op het dak bij nieuwbouw en bestaande bouw	
					Zie gemeente Amsterdam voor RES invulling	
Concept Energiestrategie Regio Rotterdam-Den Haag	2020	https://w			Als regio zetten we voor 2030 in op 40% van de totale potentie, waarmee de inzet komt op 784 GWh (bijna 0,8 TWh) aan op te wekken kleinschalige zonne-energie.	
Concept Regionale Energiestrategie Metropoolregio Eindhoven	2020	https://w			Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie	
Energieplan Utrecht	2015	https://w			"Alle nieuwbouw heeft zonnepanelen en dit is zoveel mogelijk geïntegreerd in het ontwerp"	
					"Rotterdam wil in 2030 koploper zonne-energie zijn. We zetten daarom in op extra interventies, zodat wij in 2030 uitkomen op een opgewekt vermogen van 750 MW". Momenteel is dit 20 MW	
Startnota versnelling Zonne energie	2019	https://da				
Nota duurzaamheid	2019	file:///C:/				
Ontwerp Stedelijk Energieplan	2020	https://de			Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie	
Routekaart Amsterdam klimaatneutraal	2020	file:///C:/			Heeft van alle binnenstedelijke daken benut met PV-panelen	
Concept RES Amsterdam	2020	https://w	https://w	https://w	400 MW (380 GWh) zonne-energie in 2030 op 'grote' daken in Amsterdam	
Q&A BENG Presentatie	2020	file:///C:/file:///C:/				Aandeel hernieuwbare energie van ≥ 80% op woongebouwen tot 70m & ≥ 70% op woongebouwen hoger dan 70m
Klimaatplan 2016 - 2020	2016	https://w			Geen specifieke doelen of ambities relevant voor de studie	

Bijlage 3: Uitwerking interview Arjan Krikke (De ENK)

Verschil tussen een intensieve en een extensieve tuin

- Intensieve tuin wordt toegepast als het dak gebruikt wordt door bewoners of gebruikers van het pand. Vaak te zien op balkon of leefbare daktuinen
 - Erg waterintensief, veel profijt voor projecten met waterberging. Goed in combinatie met waterberging toe te passen
 - Beginprijs rond de € 100 per m², vaak tussen de € 100 en € 250/m² (afhankelijk van type beplanting)
 - Gewicht belasting op het gebouw tussen de 1.000 en 1.500 kg/m², speciale constructie nodig om toe te kunnen passen
 - Intensief beheer (net als normale tuin)
 - Niet in directe combinatie met PV-panelen wegens schaduwen op PV-panelen en vice versa
-
- Extensieve tuin vaker toegepast op ongebruikte daken wegens klimaat technische meerwaarde (vermindering city heat stress, rustig voor het oog)
 - Minder waterintensief, opvang tussen 10/15 liter per m²
 - Lage aanlegkosten, vanaf € 30 per m² tot € 70
 - Gewicht belasting op het gebouw tussen de 50 – 100 kg/m²
 - Gematigd beheer (2-3x per jaar om onkruid te verwijderen)
 - Moeilijker te combineren met PV-panelen, onderhoudskosten aan groen nemen toe. Tegelijkertijd neemt het rendement van de PV-panelen wel toe door koelende werking groen

Toepassing waterberging op de gevel

- Binnen de Enk G&G geen ervaring mee, maar als voorbeeld voor het toepassen de Bosco Verticale toren in Milaan. Groen wordt hier gerealiseerd door middel van balkontuinen. Gebouwen worden op zo'n manier ontworpen dat er balkons genoeg licht krijgen en ruimte bieden voor plantengroei.

Waterafvoer van water vanuit waterberging

Minimale ervaring met zuivere waterberging (enkel Daktuin Soho Amsterdam). In dit geval is gekozen voor een statische afvoer genaamd Drossel. Hiernaast vertelde A. Krikke ook over het innovatieve Smart Flow Control systeem van bedrijf Optigruen. Deze vorm van dynamische afvoer houdt het water vast wanneer de weersvoorspelling geen regen verwacht en loost de hoeveelheid verwachte regenwater vlak voor een nieuwe regenbui.

Bijlage 4: Transcript interview Friso Klapwijk (Dakdokters)

Fysieke kaders van intensieve en extensieve daken.

Extensieve daken varieert van een pakket van een centimeter of 6 tot 15, en het gewicht varieert van een kilo of 50 tot 150. Het onderhoud, daar komt de term vandaan, is extensief, dat past eigenlijk altijd wel. Ga je naar een intensievere daktuin, dan neemt het gewicht toe, neemt de hoogte toe, en daarmee vergt de inpasbaarheid wat meer.

En qua onderhouds- en aanleg kosten, zit daar verschil in?

Ja zeker, de aanlegkosten van een intensief groen dak begint bij € 150/m² en dat kan oplopen tot € 750.000 per m², dat is net afhankelijk van wat de klant vraagt. En bij een extensief groen dak, dat begint bij € 30 en dat loopt op tot €100/m². Deze prijzen zijn met name afhankelijk van de eisen die gesteld worden en de doelstellingen die je hierbij hebt.

Het heeft met verhoudingen te maken, als je weinig PV nodig hebt en relatief veel dakoppervlak, dan is het goed te integreren. Verder is de enige manier om groen & PV goed te kunnen combineren is in een zuid opstellingen van de PV-panelen. Dan is er genoeg ruimte tussen de panelen om groen de kans te geven om te groeien en ook om het onderhoudbaar te laten zijn. Zodra je naar een oost/west opstelling gaat, dan licht het dak gewoon vol, de enige ruimte die je dan overhoudt is nodig voor paden voor onderhoud en dat soort dingen. Of je tilt het PV, met bijvoorbeeld 40 centimeter, op en dan ontstaat er daaronder ruimte waar buizen kunnen lopen, maar ook dan is het niet mogelijk om er groen onder te plaatsen, want groen heeft in de basis gewoon water en licht nodig, dan is water niet zozeer het probleem, maar licht wel. Zonder licht wordt het groen er niet mooier op en is het simpelweg niet te onderhouden. Zonder onderhoudsmogelijkheden wordt het al snel een arme bende.

En met een opstelling waar je de PV-panelen, zeg, anderhalve meter van elkaar scheidt, en daartussenin groen stopt, is dat een mogelijkheid?

Zeker, zeker, absoluut. Maar in de praktijk zien we dan toch dat de hele EPC/BENG eisen en normen het groen op het dak dan verdringt. ... We vinden toch energie opwekken belangrijker dan de hoeveelheid groen die we toevoegen.

In mijn onderzoek kom ik de combinatie van waterberging met PV-panelen maar weinig tegen, en ook op jullie site zie ik deze combi ontbreken. Is dit met een reden?

Dit komt in de realiteit nog wel vaker voor. Bijvoorbeeld in het Kop weespertrekvaart project waar wij laatst bij betrokken waren. In dit project staat naast een rij PV-panelen een grijs druppelvormig object op het grind, deze reguleert het waterniveau van het polderdak onder het grind. Met deze combinatie voldoe je aan je klimaatadaptieve eisen in de vorm van waterberging, en ook aan de PV vereisten. In theorie zou hier nog groen tussen geplaatst kunnen worden, maar dan gaat het echt om een vierkante meter hier en een paar vierkante meter daar, maar dan ga je op een gegeven moment de discussie houden, is het nog wel onderhoudbaar en slaat het nog wel ergens op.

Dit project heeft een dak van 1000 m², hier hebben we 400 m² groen gemaakt en 400 m² PV, en dan houdt je nog aan zo'n 200 m² aan grindstrook over

Waarom is er in dit project dan gekozen voor grind?

Grind voldoet aan de opwaai berekeningen, er zit ook nog een aspect in dat het dak wordt getoetst op het blijven liggen van het oppervlak, en uit die normen komt vaak dat er aan de rand een ballast gewicht moet komen. En een groen dak wordt niet gerekend als ballast, grind en betontegels wel. Dit is ook waarom je in de meterzone langs de dakrand geen groen kan maken. Dus zo hebben we hiervoor gekozen. Maar afsluitend, de combinatie PV en waterberging passen we veel toe.

En hebben jullie het in kop weespertrekvaart project dan gebruik gemaakt van de retentiekragen?

Ja.

En hoe wordt de afvoer geregeld? Is dat statisch of dynamisch? En waarom is er hiervoor gekozen?

Dynamisch, dat heeft twee redenen. De eerste is dat een dynamische afvoer makkelijker aan de eisen van de gemeente voldoet. Daar is de gemeente van Amsterdam al vrij ver in, met een dynamisch systeem hoef

je aan minder eisen te voldoen. En als tweede is dat wij het water nuttig willen gebruiken, en dat is onder andere om het gevelgroen te kunnen bewateren, en dat lukt alleen maar als je weet hoeveel water er is.

Hoe nuttig is het om groen op de gevel te plaatsen? Qua waterberging, maar ook qua kwaliteit van groen?

Je hebt eigenlijk twee manieren om groen op de gevel te kunnen invullen. Je hebt groene gevel systemen die met een voorwand geplaatst worden en je hebt plantenbakken waaruit klimplanten omhoog groeien. Ik denk dat de waarde van groen aan de gevel heel hoog is. Als het gaat om hitte instraling en hitte uitstraling en ook wat je biedt aan de bewoners qua uiterlijk. Alleen de vraag is wel hoe je het doet, en hoe je het qua kosten goed krijgt. Zo'n voorzetgevel systeem kost volgens mij € 600 per m² bij aanleg, en is ook nog vrij gevoelig voor onderhoud. Terwijl als je dat met bakken doet of met klimplanten en dergelijke, dan is dat voor onderhoud veel minder kwetsbaar terwijl je voor een deel hetzelfde resultaat kan bereiken. Dus ik denk dat daar heel veel nog gaat komen, alleen er gaan nu veel discussies over enerzijds daglicht binnen een woning en aan de andere kant de hele warmtehuishouding in een woning, dus als je veel glas maakt omdat je veel daglicht nodig hebt, tegelijkertijd geeft dit glas ook nog veel warmte door naar binnen. Wat je dan kunt doen is daar een plantenbak voor te maken met klimplanten, dat je in de zomer met bladverliezende planten veel warmte kan weghouden, terwijl je in de winter omdat het bladverliezend is nog steeds dezelfde daglichttoetreding hebt. Dat zit op dit moment niet in de modellen, dus het komt ook nooit echt uit een berekening en wordt dus ook om die reden niet zo vaak toegepast. Maar de logica is dan dat je qua koelend effect, zowel met instraling als met verdamping veel effect kunt bereiken. Maar dat zit dus niet in de modellen, en hetzelfde geldt voor groen langs de randen van het dak. De normen rondom dakbedekking zeggen, je zult vormvast ballast gebruiken.

En wat is het waterbergend vermogen van deze varianten?

Dit waterbergend vermogen is vrij beperkt. Alleen wat wij wel veel doen is om het water van het dak te gebruiken om de gevel te bewateren. Dit is te realiseren zonder dat je drinkwater toevoegt.

Is waterberging ook realiseerbaar in aparte plantenbakken op een intensief groendak?

Ja zeker, deze worden ook vaak uitgerust met een buffersysteem om water in te bergen.

We hebben het al kort over waterafvoer gehad, en toen kwam naar voren dat jullie veel met dynamische afvoer werken. Is er ook een scenario waar een statische afvoer geprefereerd wordt?

Statisch kan wel, en dat passen we ook wel eens toe, maar vanuit meerdere redenen is het dynamische vele malen logischer. Het is een optelsom van verschillende dingen. In Amsterdam bijvoorbeeld staat het in de hemelwater verordening vrij expliciet, dat wanneer je dynamisch doet je dan minder waterberging hoeft te creëren omdat je je herhalingstijd kan beïnvloeden. Ten tweede wil je vaak ook gebruik kunnen maken van het opgevangen water en dan zou je toch iets van informatie willen hebben. Het gaat dus niet alleen om het sturen, maar ook informatie zoals: hoeveel water heb je nou eigenlijk. En het derde heeft te maken met de waterdichtheid en de dakbedekking, en dat je met een dynamische afvoer proactief kunt ingrijpen als er iets aan de hand is met de waterstand en dat je het daarna kan later weglopen indien nodig. Het is dus eigenlijk een optelsom van een aantal elementen die ertoe leiden dat wij dynamisch logischer vinden.

Heb je naast de polderdaken en/of retentiekragen ook nog andere manieren van waterberging op dak niveau?

Jaa, er is nog een systeem en dat heet het waterneutraal dak. Maar eerlijk gezegd, ik ben dat nu een paar keer tegengekomen, dat is wel heel erg veel gewicht en ouderwetse methodieken die gebruikt worden. Maar als je het aan mij vraagt zitten er nog wel een paar nadelen aan het systeem. Wat je nu nog wel veel ziet is de combinatie met wadi's in de bodem. Dan heb je toch altijd nog wel een soort retentie in het dak nodig. En daarnaast ook als het grondpakket op het dak dikker wordt, vormt dat ook nog een natuurlijke buffer. Dat zie je dan ook wel, zodra de daktuin groter wordt vormt dat ook nog wel onderdeel van de waterberging.

Friso over de studie:

Er zou eigenlijk een ontwerptool moeten komen van hoe je het dak ontwerpt. Met alle ontluchtingen en pijpen die naar boven komen en de andere doelstellingen die je voor het dak hebt zie je gewoon dat het ontzettend druk wordt, en dat al de normen elkaar overlappen en die zijn gewoon nog niet goed op elkaar afgestemd. De hemelwaterafvoer wordt berekend met de NEN 3150, maar die houdt geen rekening met retentiedaken, dus dat past al niet. Dus dat zie je dan ook met de opwaalberekening van de dakbedekking

die dan ook best bepalend is in hoe je je dak moet inrichten. Dus ja, ik heb helaas het antwoord niet voor je, ik denk alleen wel dat het heel relevant is om een soort manier te vinden hoe je een realistische inschatting kan maken vroeg in het project, met wat kun je wel met het dak, en wat kun je niet. De klimaat adaptieve maatregel met waterberging dat kan altijd, je zal ook altijd iets met zonnepanelen moeten. Maar ja, mijn call hiervoor liep ietsje uit, en dat ging precies over deze vraag. Ik zit in een tender, en daar moet zowel waanzinnig veel PV worden neergelegd, maar ook een hele groene tender worden en natuurlijk moeten we ook aan de rainproof eisen voldoen. De vraag was letterlijk: "Friso, wat is realistisch, wat kan je wel en niet beloven?" Dan kan ik wel op basis van expertise wat roepen, maar het zou mooi zijn als je een modelletje hebt dat je kan zeggen: "Nou als uw eis aan PV-panelen 'X' is, dan heb je zoveel m² PV. Verder heb je 'X' aantal appartementen en daarbij een 'X' aantal ontluchtingen. Elke ontluchting neemt toch een soort ruimte in beslag." En dan tel je hem op en dan moet je uiteindelijk een dakinrichting hebben die richtinggevend is naar de architect. Maar goed, ik zou niet weten hoe je het moet doen.

Ik zal eerlijk zeggen dat ik ook eigenlijk niet heb nagedacht over het ontluchtingssysteem en dat soort dingen. Dus dat is een goede tip.

En dan hebben we ook nog de valbeveiliging. Dus voor het onderhoud wordt het dak ook nog ingericht met een valbeveiliging systeem, en dat hangt ook aan hele strikte normen. Die vergat ik nog even in het enthousiasme.

Is dat voor elk dak verplicht?

Ja tenzij je een borstwering hebt van, zeg, 90 centimeter hoog. Dan hoeft het niet.

Hoe moet ik dit dan voor mij zien? Is dat een hek of een afstand tussen de rand en de PV/beplanting op het gebouw?

Dit kan beide, het kan via een hekje of het gebeurt met lijnbeveiliging dat een meter van de dakrand afstaat zoiets. Het is in dat geval dan niet mogelijk om daarachter of daaronder PV-panelen te plaatsen. Daar is in principe alleen ruimte voor waterberging en/of een sedummat.

Bijlage 5: Transcript interview Tim Janszen (Janszon)

Ik was benieuwd naar de ruimtelijke kaders van een zonnepaneel, hoe groot en hoe zwaar zijn deze?

Daarin is nu een transitie gaande en dat heeft te maken dat er steeds grotere cellen op de markt komen. Traditioneel zijn zonnepanelen 1 meter breed bij 1,65 meter. Nu gaan zonnepanelen naar 1,85 of 2,10 in lengte, en breedte is nu 1,07 of 1,13. En dat heeft directe te maken dat de zonnecellen wat groter zijn geworden.

Oké, en hoe zwaar zijn de zonnepanelen? Hebben jullie daar kengetallen voor?

Ja tussen de 20 en 25 kilo. Ze zijn zo gebouwd dat ze volgens de ARBO door een persoon gedragen mogen worden.

En hoeveel onderhoud vereist een zonnepaneel? Is dit maandelijks? Jaarlijks?

Onderhoud moet je in drie disciplines splitsen. Je hebt het beheren, de visuele controle op roestvorming en dan doe je elektrotechnische metingen. Je hebt ook monitoring, dat is via internet. Kijken of de prestaties kloppen. En dan heb je nog schoonmaak. Een schoonmaak is alleen zinvol in het geval dat je een grootschalige operatie hebt, en dat begint dan bij 500+ panelen. Anders wegen de voorrijkosten niet op tegen de verhoging in rendement.

Hoe oriënteren jullie de zonnepanelen? Is dit altijd in de oost-west opstelling?

Ja het gros van de installaties zetten wij in de oost-west opstelling. Op deze manier kan je het dak het best vullen met PV-panelen en hiermee bespaar je aanleg kosten en heb je de beste ratio in kosten per kWh opwek. Voor het financiële rendement is dit de beste opstelling. Je legt de zonnepanelen altijd mee met de daklijnen. Deze liggen namelijk vrij plat en door het meeleggen aan de daklijn en het aanleggen van de PV in oost-west opstelling kan je het dak het meest efficiënt vullen. Bovendien kunnen de panelen serie geschakeld worden en kom je in aanmerking voor subsidies. Er zijn dus allerlei redenen om de panelen zo neer te leggen en je dak maximaal te vullen.

Helder, hoeveel kost een zonnepaneel eigenlijk?

Een grotere installatie is natuurlijk goedkoper dan een kleine installatie. Laten we uitgaan van een rechttoe-rechtaan systeem van 350+ panelen in een rechthoekig vlak dat kost tegenwoordig 60 cent per wattpiek. Een particulier systeem met panelen op een schuin dak kost 140 cent per wattpiek. Dus dan zie je dat een grote installatie niet eens de helft kost van een particuliere installatie. Aan de andere kant heb je met een klein systeem een ander financieel model. Als je weinig stroom afneemt betaal je relatief veel voor je stroom en kan je ook meer besparen. Dus bedrijven die veel stroom afnemen is de stroom goedkoper en is de besparingspotentieel kleiner dan bij bijvoorbeeld particulieren. Dit is echter heel ingewikkeld met financiële modellen en terugverdientijd.

Ik zag op jullie website ook bij project OT301 te Amsterdam dat jullie ook zonnepanelen plaatsen in combinatie met groen. Nou heb ik in voorgaande interviews met o.a. Friso klapwijk te horen gekregen dat groen en PV niet heel goed samen kan omdat zon en PV beide behoefte hebben aan zon. Hoe kijken jullie daarnaar?

Ja en je hebt het probleem dat je begroeiing veranderd als het in de schaduw staat. Planten hebben de neiging op de zon op te zoeken, en als je daar een zonnepaneel overheen legt dan gaat de beplanting over het paneel heen groeien. Dit betekent dat als je op een groendak dat niet goed gereguleerd is door het type mos, dan moet je 2x per jaar gaan snoeien. Dit is echter niet zo makkelijk omdat je ruimtegebrek hebt door je zonnepanelen. Als je dit alsnog wilt combineren, heb je wel dat door de koelheid van het groen je een hogere zonnepaneel prestatie krijgt. Dit is een paar procent. Je kan tegelijkertijd minder zonnepanelen plaatsen omdat je ook groen de ruimte moet gunnen, dit weegt niet op tegen je rendement winst. Hiernaast zit er nog een concurrerende factor. Het groendak zorgt voor extra gewicht op het dak. Als je eerst het groendak plaatst en daarna je zonnepanelen moet je deze panelen van extra ballast voorzien zodat deze niet wegwaaien. Een gebouw wat al behoorlijk wat gewicht moet dragen van de zonnepanelen krijgt hier ook extra gewicht van het groen en de ballast met grind. Dit gaat niet altijd goed.

In de praktijk is het ook moeilijk om deze te combineren omdat de partij die het groen aanlegt, en de partij die de zonnepanelen aanlegt vaak niet hetzelfde is. De samenwerking hiertussen is vaak niet ideaal.

Zonnepaneel bedrijven hebben vaak als doel om het dak zo vol mogelijk te kunnen aanleggen. In combinatie met groen is dit simpelweg niet mogelijk en dat gaat ten koste van het rendement van de PV-panelen.

Voor mijn beeldvorming, stel je wil het wel proberen, hoeveel ruimte komt er dan tussen de zonnepanelen en hoeveel ruimte is dit normaal?

Als je een groendak goed wilt laten functioneren, en dit is niet mijn specialiteit, dan moeten de panelen op stelten staan en moet er een luchtflow onder de panelen door kunnen waaien. Dan zou je ook niet een oost-west opstelling willen maar een zuid opstelling. Op deze manier kan je maar de helft gebruiken van het dak voor zonnepanelen. Plus dat je montageframe een stuk duurder wordt omdat de zonnepanelen een 20 tot 30 centimeter boven de grond moeten zweven.

Wat is de afstand die jullie normaal hanteren tussen de zonnepanelen in?

Dat hangt ervan af, als jij de zonnepanelen zo ontwerpt dat ze goed toegankelijk zijn. Dan is de afstand van dakje naar dakje (uitgaande van oostwest opstelling) 2,50 meter. En dan hanteer je panelen van 1,82. Dus twee zonnepanelen hanteren dan een oppervlakte van 2,50 meter bij 1,82 meter. En daar zit dan 900 watt op, een paneel is 450 watt. Op die 2,50 maat zitten looppaden van 25 centimeter tussen. Dus dan heb je 25 centimeter en dan weer 2,50 aan paneel en dan weer 25 centimeter. Je hebt dan 10% van het dak wat onbeschadwd is, dit is niet genoeg voor een groendak.

Veel ambitieuze projecten tegenwoordig willen PV op het dak ook combineren met waterberging. Hebben jullie daar ervaring mee?

Ja wij hebben recent op het veiligheidscentrum in Amsterdam oud-west toegepast. Daar maak je dan gebruik van een soort rubberen tegels waar het water in geborgen wordt, en daarbovenop hebben wij dan zonnepanelen geplaatst.

Gaat deze combinatie in praktijk goed samen?

Ik heb geen last van die waterberging. Sterker nog, ik kom nu van een project af waar het dak iets verzakt was. Vervolgens na een regenbui verzamelde al het water hier en hadden wij elektrische schade ondervonden op de PV-panelen. In dit geval zou waterberging deze regenbui opvangen en hebben onze panelen niet direct last van het water. Het enige nadeel is dat je in dit geval de zonnepanelen iets hoger op het dak moet zetten. In dit geval vangen ze meer wind en moet je ze beter vastzetten. Dit kost wel weer extra geld. Voor het beste financiële rendement wil je de zonnepanelen zo plat en laag mogelijk op het dak installeren. Daar past geen groendak bij.

Ik heb wel een suggestie. Als je een groendak wilt combineren met PV-panelen en het financiële rendement niet veel uitmaakt kan je ook kiezen voor zonnepanelen die deels transparant zijn. Deze panelen zijn deels van glas of doorzichtig plastic. Dan liggen de cellen wat verder uit elkaar. Dit is wel een mooi product maar daar ga je alleen geen geld aan verdienen. Je levert met deze cellen 10-20% rendement in en tegelijkertijd zijn je zonnepanelen ook 5x zo duur. Dit kost dus alleen maar geld. Het is echt nog een nichemarkt en hier is momenteel nog te weinig aandacht voor omdat het nog niet rendementvol is.

Ik heb nu nog twee vragen. De eerste is, hoe ga je om met valbeveiliging?

Hier kan ik heel duidelijk in zijn. Partijen denken veel aan de financiële kant. Als je binnen twee meter van de dakrand wilt werken moet je in een harnas. Als je hier panelen wilt plaatsen moet je onderhoud uitvoeren in een harnas en dit kost veel tijd. Wat wij doen, is dat we geen zonnepanelen plaatsen binnen twee meter van de dakrand. Anders wordt het te duur. Als je een paar hekken neerzet met een draad daartussen mag je onbeveiligd onderhoud doen tot twee meter van de dakrand. Dus wat wij doen, wij zetten met paaltjes en een ketting daartussen twee meter vanaf de dakrand af en dan kunnen onze mannen veilig werken. In de meeste projecten adviseren wij de klant om een vallijn te zetten twee meter van de dakrand. En dan zetten wij de panelen in het overgebleven oppervlak. Dan kunnen wij ons onderhoudswerk onbelemmerd uitvoeren.

Laatste vraag: Stel het project vereist zo veel procent groen en dit gaat ten koste van de ruimte die je over hebt voor PV op het dak. Dan moet je hierna kijken naar gevel PV. Weet jij wat verhouding hiervan is van rendement en kosten?

Het makkelijkst is om te kijken naar de instalingschijf voor PV-panelen. Een zuidgevel geeft tussen de 70 en 80 procent rendement. Die doet het nog behoorlijk. Het is alleen een kwestie van de prijs. In de binnenstad heb je vaak te maken met een gevel die er mooi uit moet zien. Dit is niet zo eenvoudig als het inpassen van

de gevel op een stalen industriegebouw. Als je gevel er nog mooi uit moet zien is je gevel al snel twee tot drie keer zo duur. Daarbuiten is het arbeidsintensiever. Een team kan op een plat dak al snel 100 panelen plaatsen op een dag. Als dit op een gevel moet gebeuren en je telkens op en neer moet met een stijger plaats je er maximaal 10 op een dag. De arbeidskosten worden dus ook significant groter. Daarmee is een gevelsysteem al snel duurder dan een plat dak systeem.

Bijlage 6: Overzicht daktype en daktype varianten

In de onderstaande Excel-knipsels staan in het blauw de verschillende daktypes genoteerd. Onder deze blauwe cellen staan de verschillende daktype-varianten genoteerd. Deze daktypes zijn gelabeld van ambitieus tot conservatief. Een ambitieus daktypevariant houdt in dat deze variant een stap verder doet ten opzichte van de standaard invulling. Dit betekent bijvoorbeeld meer zonnepanelen op het dak of een hoger volume waterberging. Hiertegenover staat een conservatieve daktypevariant. Een conservatieve variant wil zeggen dat deze meer ruimte houdt voor onderhoud en zekerheid van inpassing bij de invulling van de voorzieningen.

1: Maximaal zonnedak

Max.Zonnedak

geen variant beschikbaar

2: Neutraal zonnedak

Ntrl.Zonnedak

20 cm PV-afstand (*ambitieu*s)

30 cm PV-afstand (*traditioneel*)

50 cm PV-afstand (*conservatief*)

3: Neutraal zonnedak met waterberging

Water.Zonnedak

85mm retentiekrat // 20 cm PV-afstand (*Ambitieu*s)

85mm retentiekrat // 30 cm PV-afstand (*Traditioneel*)

85mm retentiekrat // 50 cm PV-afstand (*Conservatief*)

150mm retentiekrat // 20 cm PV-afstand (*Ambitieu*s)

150mm retentiekrat // 30 cm PV-afstand (*Traditioneel*)

150mm retentiekrat // 50 cm PV-afstand (*Conservatief*)

4: Sedum groendak met PV-panelen

Groen.Zonnedak

50 cm PV-afstand (*Traditioneel*)

75 cm PV-afstand (*Conservatief*)

100 cm PV-afstand (*Extra conservatief*)

5: Sedum groendak met PV-panelen en extra waterberging

Klimaat.Zonnedak

85mm retentiekrat // 50 cm PV-afstand (*Traditioneel*)

85mm retentiekrat // 75 cm PV-afstand (*Conservatief*)

85mm retentiekrat // 100 cm PV-afstand (*Extra conservatief*)

150mm retentiekrat // 50 cm PV-afstand (*Traditioneel*)

150mm retentiekrat // 75 cm PV-afstand (*Conservatief*)

150mm retentiekrat // 100 cm PV-afstand (*Extra Conservatief*)

6: Polderdak

Polderdak

85mm retentiekrat (*Traditioneel*)

150mm retentiekrat (*Ambitieu*s)

7: Sedum Groendak

Sedumdak

geen variant beschikbaar

8: Daktuin

Daktuin

30% groendekking (*Meer sociale ruimte*)

50% groendekking (*Traditioneel*)

70% groendekking (*Meer groen*)

9: Sedum groendak met waterberging

Sedum.Polderdak

85mm retentiekraat (*Traditioneel*)

150mm retentiekraat (*Ambitieux*)

10: Daktuin met waterberging

Polder.Daktuin

85mm retentiekraat // 30% groendekking (*Meer sociale ruimte*)

85mm retentiekraat // 50% groendekking (*Traditioneel*)

85mm retentiekraat // 70% groendekking (*Meer groen*)

150mm retentiekraat // 30% groendekking (*Meer sociale ruimte*)

150mm retentiekraat // 50% groendekking (*Traditioneel*)

150mm retentiekraat // 70% groendekking (*Meer groen*)

11: Waterdak

Waterdak

Geen extra waterbuffer

15mm waterberging

12: Leeg/voorziening-loos dak

Doelloos.Dak

geen variant beschikbaar

Bijlage 7: Complete cijfermatige onderbouwing daktype en daktypevarianten

Daktype	Variant	Opp per PV	mm waterberging	procentueel aandeel groen
Max.Zonnedak	geen variant beschikbaar	1,73	0	0%
Ntrl.Zonnedak	200mm PV-afstand (ambitieuus)	1,88	0	0%
	300mm PV-afstand (traditioneel)	1,97	0	0%
	500mm PV-afstand (conservatief)	2,14	0	0%
	85mm retentiekrat // 200mm PV-afstand (Ambitieuus)	1,88	80	0%
	85mm retentiekrat // 300mm PV-afstand (Traditioneel)	1,97	80	0%
Water.Zonnedak	85mm retentiekrat // 500mm PV-afstand (Conservatief)	2,14	80	0%
	150mm retentiekrat // 200mm PV-afstand (Ambitieuus)	1,88	140	0%
	150mm retentiekrat // 300mm PV-afstand (Traditioneel)	1,97	140	0%
	150mm retentiekrat // 500mm PV-afstand (Conservatief)	2,14	140	0%
	500mm PV-afstand (Traditioneel)	2,55	20	100%
Groen.Zonnedak	750mm PV-afstand (Conservatief)	3,04	20	100%
	1000mm PV-afstand (Extra conservatief)	3,54	20	100%
	85mm retentiekrat // 500mm PV-afstand (Traditioneel)	2,55	100	100%
Klimaat.Zonnedak	85mm retentiekrat // 750mm PV-afstand (Conservatief)	3,04	100	100%
	85mm retentiekrat // 1000mm PV-afstand (Extra conservatief)	3,54	100	100%
	150mm retentiekrat // 500mm PV-afstand (Traditioneel)	2,55	160	100%
	150mm retentiekrat // 750mm PV-afstand (Conservatief)	3,04	160	100%
	150mm retentiekrat // 1000mm PV-afstand (Extra Conservatief)	3,54	160	100%
Polderdak	85mm retentiekrat (Traditioneel)	0	80	0%
Sedumdak	150mm retentiekrat (Ambitieuus)	0	140	0%
Daktuin	geen variant beschikbaar	0	20	100%
	30% groendekking (Meer sociale ruimte)	0	21	30%
	50% groendekking (Traditioneel)	0	35	50%
Sedum.Polderdak	70% groendekking (Meer groen)	0	49	70%
	85mm retentiekrat (Traditioneel)	0	100	100%
	150mm retentiekrat (Ambitieuus)	0	160	100%
Polder.Daktuin	85mm retentiekrat // 30% groendekking (Meer sociale ruimte)	0	101	30%
	85mm retentiekrat // 50% groendekking (Traditioneel)	0	115	50%
	85mm retentiekrat // 70% groendekking (Meer groen)	0	129	70%
	150mm retentiekrat // 30% groendekking (Meer sociale ruimte)	0	161	30%
	150mm retentiekrat // 50% groendekking (Traditioneel)	0	175	50%
Waterdak	150mm retentiekrat // 70% groendekking (Meer groen)	0	189	70%
Doelloos.Dak	Geen extra waterbuffer	0	0	0%
	15mm waterberging	0	15	0%
	geen variant beschikbaar	0	0	0%

Bijlage 8: Werkblad 1 tool: Handleiding

Waarom?

Dit rekenmodel beoogt de gebruiker in de schetsontwerpfase (SO-fase) te begeleiden in het ontwerp en bij de invulling van de daken bij een binnenstedelijk hoogbouw project. Dit doet het rekenmodel door een intelligente inschatting te doen van de potentie van waterberging en energieopwekking op het dak van binnenstedelijke hoogbouw. Aan de hand van de input 'Geometrie' en 'Daktype-keuze' berekent de tool het aantal te realiseren PV-panelen (en de opbrengst in kWh/jaar), het te bergen water (in mm/m²) en het aandeel van groen op de daken.

Hoe werkt het model?

Om een berekening in dit model te doen doorloopt de gebruiker 2 tot 4 stappen (afhankelijk van het beoogde detailniveau). Deze stappen zijn te vinden in het werkblad "Invoer". De invoervelden in stap 1 en 2 zijn vereist voor het goed functioneren van de tool. Stap 3 en 4 zijn optionele invoervelden en dragen bij aan een gedetailleerder resultaat.

Stap 1: Geometrie

In 'Stap 1: Geometrie' vult u de tweedimensionale afmetingen van het dak in. Dit is op twee manieren mogelijk.

Lengte & Breedte – Voor rechthoekige en vierkante daken biedt de tool de optie om de lengte- en breedtemaat (in meters) van het dak in te voeren. De tool berekent vervolgens zelf het bruto-dakoppervlak. Als u ervoor kiest om de lengte- en breedtemaat in te voeren kunt u het invoerveld 'Oppervlak' leeg houden.

Oppervlak – Voor alternatief gevormde daken biedt de tool de optie om enkel het dakoppervlak (in m²) in te voeren. De tool berekent vervolgens zelf de geschatte grootte van de dakrand-afstand.

Disclaimer: Wanneer zowel de lengte- en breedtemaat, als het dakoppervlak is ingevoerd kiest de tool ervoor de lengte- en breedtemaat te gebruiken als invoer. Met deze informatie kan de tool namelijk een accuratere berekening maken van het netto-dakoppervlak.

Stap 2: Keuze daktype

In 'Stap 2: Keuze daktype' kunt u eenvoudig een invulling doen van het dak door middel van een keuze te maken uit een 12-tal voor-ontworpen samenstellingen van daktype. Wat deze daktypen betekenen, en welke cijfermatige onderbouwing hierbij hoort, is te vinden onder de tab: 'Uitleg Daktype'.

Daktype – Hier kiest u een van de 12 voor-ontworpen daktypes door middel van een dropdown menu. Deze wordt zichtbaar als u de cel aanklikt. Deze cellen staan standaard ingesteld op Doelloos.Dak. Dit wil zeggen dat het dak leeg is en niet bijdraagt aan energieopwekkende/waterbergende ambities.

Variant – Om verder invulling aan het dak te geven moet de gebruiker naast de daktype ook de variant hiervan invoeren. Dit is mogelijk onder het kopje 'Variant'. Het daktype variant bepaalt de intensiteit of het formaat van de gekozen daktype. Dit heeft gevolgen op het waterbergend vermogen, de intensiteit van PV of de aanwezigheid van groen op het dak. Net zoals bij 'Daktype' worden de cellen in 'Variant' gestuurd door een dropdown menu. Dit menu is interactief met de input bij 'Daktype' en bepaalt de daktype varianten op de input bij deze cel.

Disclaimer: De variant past zich **niet** standaard aan wanneer achteraf van daktype wordt gewisseld. Het is daarom belangrijk na het instellen van de daktype direct de daktype variant in te stellen. Wanneer deze input niet op elkaar afgestemd is doet de tool geen berekening van dit dak.

Wilt u rekening houden met gebouw gebonden installaties? – Deze laatste optie laat u de beslissing nemen of u op het dak rekening wilt houden met gebouw gebonden installaties zoals ventilatie, liftopbouw of glasbewassing. Wanneer u hier voor 'Ja' kiest neemt het procentuele aandeel van PV & Groen op het netto-dakoppervlak af van 100% tot 80% van de beschikbare ruimte. Voor waterberging is deze afname slechts

5% (van 100% tot 95%). Dit omdat de retentiekragen eenvoudiger in te passen zijn om deze gebouw gebonden installaties.

Kiest u hier voor 'Nee', dan houdt de tool alleen rekening met de standaard dakrand afstand die de voorzieningen verplicht moeten houden tot de dakrand. Van de beschikbare ruimte die over blijft nemen de voorzieningen 100% in.

(Optioneel) Stap 3: Randvoorwaarden

In 'Stap 3: Randvoorwaarden' kunt u als gebruiker invloed hebben op de afstand die de voorzieningen moeten houden tot de dakrand. Deze afstand is van belang voor de veiligheid van de installateurs en onderhoudswerkers, per project en per dak invulling verschilt deze afstand. Hierom kunt u in de tool deze bepalen door de invulling bij de volgende drie velden.

Afstand tot dakrand – Onder het kopje 'Afstand tot dakrand' kunt u, middels een dropdown menu, de afstand bepalen die de voorzieningen met houden tot de dakrand. Hier krijgt u vier opties: 'Ambitieuze', 'Traditioneel', 'Conservatief' en 'Eigen invoer'. Wat deze opties betekenen voor de afstand is te zien in onderstaande matrix.

Dakrand afstand Matrix								
		PV kroon	PV oost-w	PV zuid	Sedum Gr	Intensief	Waterber	Waterdak
Ambitieuze		0	afhankelijk	1	0,5	2,5	0	0
Traditioneel		0	afhankelijk	1	1	2,5	0	0
Conservatief		0	3	3	3	3	0	0

De laatste optie die ontbreekt in deze matrix: 'Eigen invoer' selecteert u als geen van deze opties naar wens is. Als 'Eigen invoer' geselecteerd is biedt de tool de mogelijkheid om in de kolom ernaast de eigen afstand te bepalen. Deze kolom is altijd zichtbaar als invoerveld, maar de waarde die u hier invoert wordt pas relevant als onder 'Afstand tot dakrand' de optie 'Eigen invoer' wordt geselecteerd.

Hoogte dakrand/Afrastering – De hoogte van de dakrand/Afrastering is relevante input voor de afstand die de PV-panelen verplicht moeten houden tot de dakrand. Wanneer deze hoogte gelijk of hoger is dan 1,5 meter mogen de PV-panelen op 0,5 meter van de dakrand geplaatst worden. Als dit niet het geval is dan staan de PV-panelen op 1 meter afstand. De invoer bij deze cellen zijn wederom gekoppeld aan een dropdown-menu. Hier krijgt u de opties: 'Onbekend/geen', '<1,5 meter' en '>= 1,5 meter'.

(Optioneel) Stap 4: Aanpassen afmetingen PV-panelen

Als laatste krijgt u de optie in de gedetailleerde invoer de afmetingen en invalshoek van de PV-panelen aan te passen voor de drie PV-opstellingen in de tool: Kroon PV, Oost-west PV en Zuid PV. Met deze optie kunt u de afmetingen en de energieopbrengst van de panelen op maat aanpassen. Zie hieronder de standaardwaarden die de tool hanteert.

(Optioneel) Stap 4: Aanpassen PV-kengetallen		
Afmetingen kroon PV		
Lengte paneel		1016 mm
Breedte paneel		1700 mm
Invalshoek		0 graden
Oppervlakte PV-paneel		1,73 m ²
Energieopbrengst per m ²		220 Wp
Energieopbrengst per paneel		379,98 Wp
Opbrengstfactor		0,87
Energieopbrengst per paneel		330,58 kWh
Afmetingen oost-west PV		
Lengte paneel		1016 mm
Breedte paneel		1700 mm
Invalshoek		15 graden
Oppervlakte PV-paneel		1,73 m ²
Energieopbrengst per m ²		220 Wp
Energieopbrengst per paneel		380,6 Wp
Opbrengstfactor		0,85
Energieopbrengst per paneel		323,51 kWh
Afmetingen zuid PV		
Lengte		955 mm
Breedte		1985 mm
Invalshoek		35 graden
Oppervlakte PV-paneel		1,9 m ²
Energieopbrengst per m ²		220 Wp
Energieopbrengst per paneel		418 Wp
Opbrengstfactor		0,95
Energieopbrengst per paneel		397,10 kWh
Waterbergende voorzieningen		
Waterbergend vermogen		
Extensief groen		20 mm/m ²
Daktuin 30% groen		21 mm/m ²
Daktuin 50% groen		35 mm/m ²
Daktuin 70% groen		49 mm/m ²
Daktuin 100% groen (ter referentie)		70 mm/m ²
85mm retentiekragen polderdak		80 mm/m ²
150mm retentiekragen polderdak		140 mm/m ²
Waterdak		15 mm/m ²

Wat komt eruit?

De output van het model is onderverdeeld in twee tabs. Het compacte resultaat is te zien onder de tab 'Dashboard resultaten' en een gedetailleerde samenvatting van de resultaten is te zien in 'Gedetailleerd overzicht'.

<i>Totaal bruto dakoppervlak (BDO)</i>	1780	m ²
<i>Geschatte aantal te realiseren panelen</i>	683	PV-paneel
<i>Geschatte energieopbrengst</i>	221176	kWh/Jaar
<i>Bergingspotentie in retentiekragen</i>	25200	Liter
<i>Bergingspotentie in groen</i>	525	Liter
<i>Bergingspotentie op waterdak</i>	0	Liter
<i>Projectambitie waterberging</i>	14,45	mm/m ²
<i>Absolute oppervlakte groen</i>	7	m ²
<i>Procentueel aandeel groen over BDO</i>	0,003932584	%

Hierboven is het compacte overzicht te zien. Deze geeft een snelle en overzichtelijke blik op de resultaten voor alle daken bij elkaar, aangevuld met een tweetal grafieken. Het gedetailleerde overzicht gaat nog veel dieper op de resultaten in. Deze laat per dak de volgende resultaten zien: Bruto dakoppervlak, door PV benut oppervlak, door groen benut oppervlak, door waterberging benut oppervlak, het aantal gerealiseerde PV-panelen, het hiermee behaalde kWh per jaar, de absolute hoeveelheid waterberging via retentiekragen, de absolute hoeveelheid waterberging via groen, de absolute hoeveelheid waterberging via een waterdak, waterberging in mm/m², de afmetingen van groen op het dak en als laatste de procentuele aanwezigheid van groen op het dak.

Aannames

Bij een max.zonnedak, dakrandafstand altijd 0. Tenzij eigen invoer

Bij een waterdak, dakrandafstand altijd 0. Tenzij eigen invoer

Met retentiekragen, dakrandafstand altijd 0. Tenzij eigen invoer

De zonnepanelen hebben een standaardvermogen van 215 Wp/m²

Het hogere rendement van zonnepanelen ten gevolge van de aanwezigheid van groen is niet meegerekend in dit model. Verwacht is dat dit rendement rond de 8% is.

Legenda kleuren

In de invoervelden is onderscheid te maken tussen twee kleurencombinaties. De eerste tabel visualiseert deze kleurencombinaties goed:

	Stap 1: Geometrie			Stap 2: Keuze daktype		Stap 2 (vervolg & uitwerking)			
	Lengte	Breedte	Oppervlakte	Daktype	Variant	Gebouwgebonden installaties?	PV %	Water %	Groen %
Dak 1				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 2				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 3				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 4				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 5				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 6				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 7				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 8				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 9				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 10				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 11				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 12				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 13				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 14				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 15				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 16				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 17				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 18				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 19				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%
Dak 20				Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	Nee	100%	100%	100%

De licht/donker oranje getinte cellen zijn **geen** invoervelden. In de meeste gevallen hebben deze velden formules eronder en kunnen bij aanpassing onbedoeld verspringen. Mocht dit gebeuren kunt u uw actie ontdoen met de toetsencombinatie CTRL + Z.

De wit/grijs getinte cellen zijn **wel** invoervelden. Hier is de bedoeling dat u de waardes invoert/verandert naar uw preferentie.

Disclaimer: De tabellen in werkbladen 'Dashboard overzicht' en 'Gedetailleerd overzicht' zijn wel wit/grijs gelaten alhoewel dit **geen** invoer is. Deze keuze is gemaakt omdat deze kleurencombinatie prettig oogt. In de resultaat werkbladen is verder ook geen invoerveld.

Bijlage 9: Werkblad 2 tool: Daktype

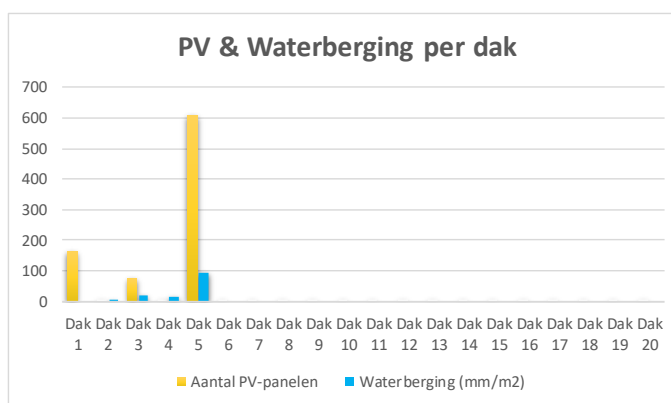
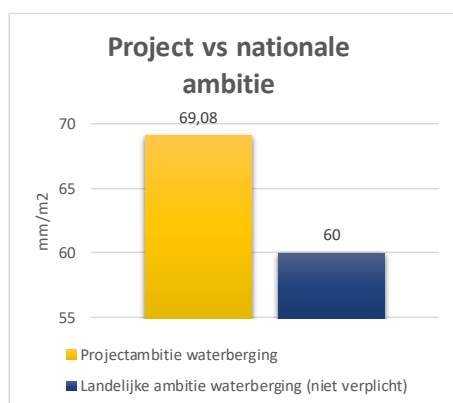
Afbeelding bij daktype	Daktype	Beschrijving daktype	Type PV	Type waterberging	Groen?
	Max.Zonnedak	Een Max.Zonnedak (maximaal zonnedak) is ideaal voor een dak waar zonne-energie maximaal benut beoogt te worden. De PV-panelen op dit dak staan verhoogd boven op het dak waardoor het los staat van ruimtebeperkende dak installaties zoals ventilatie of liftopbouw. Wat een Max.Zonnedak uniek maakt is dat deze geen afstand tussen de PV-panelen en tot de dakrand heeft. Het Max.Zonnedak heeft geen daktype varianten.	Kroon PV Afmetingen : 1700x1016 Oriëntatie : Neutraal Invalshoek : 0 graden Energie : 323,07 kWh per jaar	Geen	Nee
	Ntrl.Zonnedak	Het Ntrl.Zonnedak (neutraal zonnedak) biedt de optie voor meer onderhoud en beweging op het dak. De afstand tussen de zonnepanelen maakt onderhoud en schoonmaak van de zonnepanelen mogelijk. Het Ntrl.Zonnedak heeft drie daktype varianten. Deze varianten bepalen de afstand tussen de zogenaamde 'domes'.	Oost-West PV Afmetingen : 1700x1016 Oriëntatie : Oost-west Invalshoek : 15 graden Energie : 315,65 kWh per jaar	Geen	Nee
 	Water.Zonnedak	Een Water.Zonnedak komt in deze tool het beste uit de verf als water-PV combinatie. Dit daktype combineert retentiekragen met PV-panelen en realiseert daarmee zowel zonne-energie als een significante hoeveelheid waterberging. Aandachtspunt bij deze combinatie is de extra gewichtsbalk op het dak. Het Water.Zonnedak heeft zes daktype varianten. Deze varianten bepalen de omvang van de retentiekragen en de afstand tussen de zogenaamde 'domes'.	Oost-West PV Afmetingen : 1700x1016 Oriëntatie : Oost-west Invalshoek : 15 graden Energie : 315,65 kWh per jaar	Retentiekraat 85mm -> 80mm/m2 150mm -> 140mm/m2	Nee
	Groen.Zonnedak	Het Groen.Zonnedak combineert PV-panelen met sedum groen. Zo biedt dit dak de optie om groen aan te leggen, hiermee water te bufferen en tegelijkertijd energie op te wekken met PV. Klimaat-technisch is dit dak daarom erg aantrekkelijk. Het rendement van de PV-panelen is echter met dit daktype wel minder in vergelijking met de eerdere zonnedaken. Om het groen van genoeg zon te voorzien staan de panelen in een zuid opstelling met minimaal 50 cm ertussenin voor zon-inval. Het Groen.Zonnedak heeft drie daktype varianten. Deze bepalen de afstand tussen de rijen met PV-panelen.	Zuid PV Afmetingen : 1985x955 Oriëntatie : Zuid Invalshoek : 35 graden Energie : 387,19 kWh per jaar	Sedum groen 20mm/m2	Sedum groen
 	Klimaat.Zonnedak	Deze PV-Polderdak-Groen combinatie combineert het waterbergend vermogen van de retentiekragen met de klimaatadaptieve meerwaarde van het groen en het energieopwekkende vermogen van de PV-panelen en is daarmee klimaat technisch de beste optie. Daartegenover staat wel een significante hoeveel gewichtsbalk. Het Klimaat.Zonnedak heeft zes daktype varianten. Deze varianten bepalen de omvang van de retentiekragen en de afstand tussen de rijen met PV-panelen.	Zuid PV Afmetingen : 1985x955 Oriëntatie : Zuid Invalshoek : 35 graden Energie : 387,19 kWh per jaar	Retentiekraat 85mm -> 80mm/m2 150mm -> 140mm/m2 Sedum groen 20mm/m2	Sedum groen
	Polderdak	Polderdaken bieden de meest efficiënte manier van waterberging. De retentiekragen zijn direct op het dak te plaatsen en bieden de mogelijkheid voor verdere dakinvulling wegens de stevige aard van het product. De retentiekragen komen in de varianten 85 mm en 150 mm en bergen respectievelijk 80 mm/m2 en 140mm/m2 water. Het enige aandachtspunt met polderdaken is het bijkomende gewichtsbalk.	Geen	Retentiekraat 85mm -> 80mm/m2 150mm -> 140mm/m2	Nee
	Sedumdak	Een sedum groendak is niet meer dan een eenvoudig groendak met sedum vetplantjes. Deze type beplanting vereist relatief weinig onderhoud en kan gemakkelijk geplaatst worden op het dak. Afhankelijk van de dikte van de substraatlaag wordt het waterbergend vermogen berekend, in deze tool wordt uitgegaan van een standaard waterberging vermogen van 20mm/m2. Het Sedumdak heeft geen daktype varianten.	Geen	Sedum groen 20mm/m2	Sedum groen
	Daktuin	Bij daken met een sociaal doeleinde zijn daktuinen populair. Deze mix van sociale buitenruimte en tuin heeft, naast de sociale, biodiversiteit en heat-stress-reducerende meerwaarde, ook een waterbuffer van ongeveer 70mm per m2 groen. Ook een daktuin heeft het dak te maken met een significante extra hoeveelheid gewichtsbalk. Het daktype Daktuin heeft drie varianten. Deze varianten bepalen de bezettingsgraad van het groen. Hoe meer groen gerealiseerd wordt, des te groter het waterbergend vermogen.	Geen	Daktuin 30% groen -> 21mm/m2 50% groen -> 35mm/m2 70% groen -> 49mm/m2	Intensief groen (daktuin)
 	Sedum-Polderdak	Het Sedum.Polderdak combineert de klimaatadaptieve meerwaarde van groen met het waterbergend vermogen van een polderdak. Zodoende realiseert een sedum polderdak een waterbergend vermogen van minimaal 100mm/m2. Het Sedum.Polderdak heeft twee daktype varianten. Deze varianten bepalen het formaat van de retentiekragen en daarmee de hoeveelheid te bergen water per vierkante meter.	Geen	Retentiekraat 85mm -> 80mm/m2 150mm -> 140mm/m2 Sedum groen 20mm/m2	Sedum groen
 	Polder-Daktuin	De optie Polder.Daktuin combineert de het sociaal/waterbergend aspect van een daktuin met extra waterbergend vermogen in de vorm van een polderdak. Dit daktype heeft een waterbergend vermogen van 101-189 mm/m2. Tegelijkertijd combineert dit daktype ook de twee zwaarste daktype's en kan daarmee moeilijk in te passen zijn. Het Polder.Daktuin heeft zes daktype varianten. Deze bepalen het formaat van de retentiekragen en het aandeel groen op het daktuin.	Geen	Retentiekraat 85mm -> 80mm/m2 150mm -> 140mm/m2 Daktuin 30% groen -> 21mm/m2 50% groen -> 35mm/m2 70% groen -> 49mm/m2	Intensief groen (daktuin)
	Waterdak	Het waterdak, zoals eerder omschreven, bergt het water direct op het dakoppervlak. Om het esthetisch effect van het waterdak te waarborgen staat er een permanente waterlaag op het dak. Het waterbergend vermogen is vaak niet groter dan 15mm/m2. De tool houdt deze waarde aan voor het waterbergend vermogen. Echter heeft niet elk waterdak een waterbufferend vermogen. De keuze om dit wel/niet te doen is te bepalen onder het kopje 'daktype varianten'. Het waterdak heeft twee daktype varianten. Deze bepaalt de aanwezigheid van een waterbuffer op het waterdak.	Geen	Waterdak 0mm/m2 15mm/m2	Nee
	Droevordak	Deze laatste, standaard-ingestelde, optie heeft geen waterbergende, energieopwekkende of groene meerwaarde. Om deze reden staat deze optie standaard geselecteerd en wordt enkel gekozen als het dak geen ruimte biedt voor klimaatadaptieve of mitigerende voorzieningen.	Geen	Geen	Nee

76

Bijlage 11: Werkblad 4 tool: Dashboard resultaten

Samenvatting van de resultaten op basis van de invoer

<i>Totaal bruto dakoppervlak (BDO)</i>	2825 m2
<i>Geschatte aantal te realiseren panelen</i>	847 PV-panelen
<i>Geschatte energieopbrengst</i>	279980 kWh/Jaar
<i>Bergingspotentie in retentiekragen</i>	189525 Liter
<i>Bergingspotentie in groen</i>	4188,8 Liter
<i>Bergingspotentie op waterdak</i>	1425 Liter
<i>Projectambitie waterberging</i>	69,08 mm/m2
<i>Absolute oppervlakte groen</i>	199 m2
<i>Procentueel aandeel groen over BDO</i>	0,070442478 %



Bijlage 12: Werkblad 5 tool: Gedetailleerd overzicht

Gedetailleerd overzicht van de resultaten per dak

Overzicht keuze			Geometrie				PV		Water				Groen		
	Uw daktype	Uw dakvariant	Bruto dakoppervl	Opp. PV	Opp. Groen	Opp Waterberging	Opp. Waterdak	Aantal PV-panelen	kWh/Jaar	Waterberging via rete	Waterberging via groe	Waterberging via water	Waterberging (mm/m2)	m2 groen absoluut	Percentage groen
Dak 1	Ntrl.Zonnedak	300mm PV-afstand (Tra	400	324	0	0	0	164	53319	0	0	0	0	0	0
Dak 2	Daktuin	30% groendekking (1Me	100	0	12,8	0	0	0	0	268,8	0	2,69	3	0,03	0
Dak 3	Groen.Zonnedak	500mm PV-afstand (Tra	225	196	196	0	0	77	30576	0	0	3920	0	17,42	196
Dak 4	Waterdak	15mm waterberging	100	0	0	0	95	0	0	0	0	1425	14,25	0	0
Dak 5	Water.Zonnedak	150mm retentiekrat // 2	2000	1140	0	1353,75	0	606	196083	189525	0	0	0	94,76	0
Dak 6	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 7	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 8	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 9	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 10	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 11	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 12	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 13	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 14	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 15	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 16	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 17	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 18	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 19	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Dak 20	Doelloos.Dak	geen variant beschikbaar	0	0	0	0	0	niet in gebruik	0	0	0	0	0	0	0
Totaal			2825	1660	208,8	1353,75	95	847	279980	189525	4188,8	1425	69,08	199	0,07

Bijlage 13: Feedbackformulier rekenmodel

Feedbackformulier Rekenmodel 'Potentie water & PV dakniveau'

Project: Afstuderen Dexter Beumken

Onderwerp: Testfase rekenmodel 'Potentie water & PV dakniveau'

Datum: 10-06-2021

Projectnummer: 3014

1. Wat is je eerste indruk van het rekenmodel?

Eenvoudig te gebruiken en goed in te vullen. Heldere uitleg. Jammer dat je de hoofdresultaten niet in één keer ziet op het invulblad.

2. Kan je na het lezen van de handleiding goed overweg met het model?

Jazeker, het invullen ging goed. Alleen het heen en weer switchen tussen de type daken was ff zoeken. Maar kan me voorstellen dat na 2 á 3 keer gebruiken dat het model heel snel en eenvoudig kan worden ingevuld.

3. Wat vind je van de gebruiksvriendelijkheid? Denk hierbij bijvoorbeeld aan de indeling, lay-out, gebruik van toelichtingen.

Zie antwoord op vraag 1. Goed in te vullen, maar de hoofdresultaten zou ik liever in één keer willen zien. Dus niet naar een andere tabblad zoeken.

De grafiek het aantal PV-panelen en hoeveelheid waterberging is nice! Lekker duidelijk en goed communiceerbaar.

Als ik een groendak invullen (bv sedum-polder) dan zie ik in de 'dashboard resultaten' geen informatie terug komen over het aantal groen. Dat snap ik niet helemaal. Is dat weggelaten omdat daar niet echt een eis voor is?

4. Heb je op- en/of aanmerkingen op de verschillende daktype/daktype varianten?

Volgens mij heb je ze allemaal te pakken.

5. Zijn er inhoudelijke onderdelen die je mist of graag nog in het model zou willen terugzien?

Wat je terug zou willen zien zijn denk ik kosten (snap als dat lastig is). Dit kun je goed gebruiken als ontwerptool voor tenders, maar ik verwacht toch dat een ontwikkelaar de kosten wil zien.

Daarnaast is het misschien ook een idee om in een grafiek voor één dak de invloed van de verschillende daken te weergeven. Dus het verschil in uitkomsten voor bv een waterdak of een water-zondak.

Misschien bij de uitleg nog aangeven dat de 'duurzaamheid van het dak' van meerdere factoren afhangt (dus niet alleen PV). Daarom deze tool om daar een keuze in te kunnen maken en tot een maximaal duurzaam dak te kunnen komen die geschikt is per locatie?

Als laatst misschien nog het thema biodiversiteit mis ik op het dak. Volgens mij is dat ook één van de overwegingspunten om te kiezen voor een type dak.

6. Zijn de resultaten volgens jou betrouwbaar?

Ja denk ik heel erg. De getallen lijken te kloppen. Misschien nog een bron aangeven in het laatste tabblad?

7. Zou jij dit rekenmodel toepassen in projecten (onderzoeken, adviezen en ontwerpen)? Zo ja, in welke situatie zou je hem toepassen? Zo nee, waarom niet en kan hier iets aan veranderen?

Ja bij een volgende tender (SO-fase) zou ik dit toepassen als. Het enige waar ik dan nog iets meer zekerheid over zou willen, voordat ik advies uitbreng naar de ontwikkelaar, zijn de kosten.

8. Biedt deze tool toegevoegde waarde binnen de projecten van Merosch? Waarom wel of niet?

Jazeker, weer een stukje verder in de integrale duurzaamheidsopgaven voor ons. Elk stukje land wat verbouwd wordt, moeten we kunnen benutten voor duurzaamheid, dus dit helpt weer een stap je!

9. Heb je tips voor tips voor uitbreiding of optimalisatie van de tool?

Zie de puntjes onder punt 5. Opgesomd nogmaals:

- Kosten indicataie
- Iets over biodiversiteit?
- Uitkomst van meerdere varianten in één grafiek (al hoewel de grafiek PV&waterberging per dak ervoor gebruikt kan worden);
- Grafiek waarin je ook iets terug ziet/feedback krijgt over het aantal m2 groen,

10. Vrije ruimte voor overige eigen feedback:

Lekker bezig! Echt mooie tool en zeer goed te gebruiken. Enorm te spreken over. Alle punten zoals hierboven zijn puur voor optimalisatie, maar dat krijg je als er al iets moois staat.



Merosch

Merosch B.V.
Eendrachtsweg 3
2411 VL Bodegraven

T 0172 - 65 12 64
E info@merosch.nl
I merosch.nl

KVK 27311612
BTW NL8224.23.066.B01
IBAN NL80 TRIO 0197 8235 99

Zet koers naar morgen!

