

Jouw dak is geld waard.



Inhoudstabel

1	Inleiding	1
2	Groene daken – Meer dan alleen planten	3
2.1	Resultaten	4
2.1.1	Tot 5% stijging in waarde van het gebouw, betere certificatie en minder bouwkundige verplichtingen	4
2.1.2	Tot 83% minder afstroom van regenwater	4
2.1.3	Zonnepanelen helpen extensieve groendaken	5
2.1.4	Halvering van (stads)geluiden binnen en buiten het gebouw	6
2.1.5	Het dakmembraan gaat minstens tweemaal langer mee	7
2.1.6	Tot 50% reductie in jaarlijkse energievraag door een groendak	8
2.1.7	Kijken naar (intensieve) groendaken heeft een significant positief effect op het mentaal welzijn	10
2.1.8	Vermindert het stedelijk hitte-eiland	10
2.1.9	Kan de biodiversiteit met een factor zeven verhogen	10
2.1.10	Diversiteit van planten wordt op lange termijn bepaald door het substraat	11
2.2	Aandachtspunten	12
2.2.1	Geschikt voor een dakhelling van 2% tot 100% (1,15° tot 45°)	12
2.2.2	Extra gewicht tussen de 30 kg en 400 kg (of meer) per m ²	12
2.2.3	Kostprijs tussen de €60 en €250 per m ² (2023)	13
2.2.4	Groendaken moeten voldoen aan brandveiligheidseisen	13
2.2.5	Waterfilters kunnen nodig zijn afhankelijk van type waterhergebruik	14
2.2.6	Wind- en droogtebestendigheid van de beplanting analyseren	15
2.2.7	Schaduw door nabijgelegen gebouwen/groen in rekening nemen	15
2.2.8	Minimaal twee maal per jaar controle	15
2.2.9	Een intensief groendak heeft een grotere worteldruk	15
3	Blauwe daken – Regenwater als kans	16
3.1	Resultaten	18
3.1.1	Geeft extra isolatie het gehele jaar en tot 17°C effect op de gebouwtemperatuur 18	
3.1.2	24% meer plantensoorten mogelijk door toevoegen waterlaag	18
3.1.3	Vanaf 5 cm berging minder stedenbouwkundige verplichtingen	18
3.1.4	Dynamische waterdaken vangen 7 keer meer extreme neerslag op dan een groendak en 60% meer dan een statisch waterdak	19
3.1.5	Meer dan dubbel zoveel evapotranspiratie op warme dagen, goed tegen de hittestress	19
3.2	Aandachtspunten	20
3.2.1	Dakopbouw aanpassen aan het extra gewicht	20

3.2.2	Een waterdak is een beperkte meerkost bij nieuwbouw	20
3.2.3	Waterdicht maken door verkleving	20
3.2.4	Risico op algengroei bij open waterdaken	21
3.2.5	Dynamisch systeem behoeft onderhoud van mechanische onderdelen en software.....	21
3.2.6	Extra aandacht voor bevriezing bij open waterdaken	21
3.2.7	Moeilijker te combineren met technische installaties.....	21
3.2.8	Aandacht voor materialen nodig om chemische vervuiling van het water te voorkomen	21
3.2.9	Aandacht voor het dampscherm en compartimentalisatie van de isolatie nodig bij nulhelling	24
4	Gele daken – Energieopwekking en rendement.....	25
4.1	Resultaten	25
4.1.1	Een groendak kan de stroomproductie van PV-panelen in de zomer met kleine 5% verhogen.....	25
4.1.2	Een permanent open waterdak met drijvende zonnepanelen verhoogt waarschijnlijk de efficiëntie tot 11% en gaat algengroei tegen	27
4.1.3	Verticale dubbelzijdige zonnepanelen in oost-west opstelling maken groendak onderhoud makkelijker. Plantenkeuze beïnvloedt mee de opbrengst	27
4.1.4	Tot 38% minder koellast voor het gebouw door schaduwvorming van PV-panelen.....	28
4.1.5	Combinatie mogelijk tussen het opwekken van elektriciteit, opwarmen van water en koeling van het gebouw met PV/T panelen.....	28
4.1.6	(Semi-)transparante zonnepanelen maken atypische toepassingen zoals panelen op serres mogelijk.....	30
4.1.7	Zonnepanelen met een tracker kunnen 37% meer opbrengen op lange termijn	30
4.1.8	Twee maal per jaar manueel de hellingsgraad van zonnepanelen aanpassen is optimaal i.f.v. werklast en geeft 3% extra opbrengst.....	31
4.1.9	De optimale hellingsgraad voor zonnepanelen in functie van wind, stof en temperatuur ligt tussen de 25° en 30°.....	32
4.1.10	De optimale vaste hellingsgraad voor zonnepanelen in functie van zonnestroom ligt in Roeselare op 43° zuidelijk gericht.....	32
4.1.11	Zuidelijke oriëntatie van zonnepanelen genereert het meeste stroom, Oost-West opstelling zorgt voor hoger zelfverbruik en minder nood aan opslag en Zuidoost-Zuidwest opstellingen geven het meeste onafhankelijkheid	32
4.2	Aandachtspunten	34
4.2.1	Extra gewicht op het dak	34
4.2.2	Veiligheidsaspect kan sociale functies bemoeilijken	34
4.2.3	Maximaliseer het lokaal gebruik van de elektriciteit	34
4.2.4	Kies de afstand tussen groen en zonnepaneel zorgvuldig	34
4.2.5	Verwijder regelmatig stof op zonnepanelen om 5% verlies te vermijden	35
4.2.6	Verticale windmolens hebben de voorkeur maar opgepast voor trillingen	35

4.2.7	Stem de richting van zonnepanelen en -boilers zorgvuldig af op het gebruikersprofiel.....	36
4.2.8	Denk aan alternatieve financiering	36
5	Rode daken – Creativiteit en beleving op hoogte	37
5.1	Resultaten	37
5.1.1	Stadslandbouw heeft een afzetmarkt via gerichte marketing	37
5.1.2	Groene daken bieden vergelijkbare welzijnsvoordelen als grondgroen, met esthetiek vaak hoger gewaardeerd dan ecosysteemdiensten	38
5.1.3	Water zien en horen met 50 dB op een toegankelijk dak kan het mentaal welzijn verhogen met 67%.....	39
5.2	Aandachtspunten	40
5.2.1	Veiligheid voor bezoekers.....	40
5.2.2	Stadslandbouw op een dak geeft specifieke uitdagingen	40
6	Concrete voorbeelden	41
6.1	Kantoorgebouwen.....	41
	Voorbeeld 1. Retentie- en dakpark - Westwing Park, Roeselare, BE	41
	Voorbeeld 2. Bezoekbaar retentiedak voor personeel – Agristo, Wielsbeke, BE	42
	Voorbeeld 3. 700 m ² polderdaktuin - Word Trade Center, Den Haag, NL.....	43
	Voorbeeld 4. 11000 m ² water- en tuindaken – Walterboscomplex, Apeldoorn, NL	44
	Voorbeeld 5. Dakterras met recreatie – Hoofdkantoor All Sports, Arendonk, BE.....	45
6.2	Woongebouwen	46
	Voorbeeld 6. 3800 m ² retentie- en terrasdak - Roelevard, Roeselare, BE	46
	Voorbeeld 7. 3,4 kWp Bifaciale verticale zonnepanelen op sedumdak – Dilbeek, BE	47
	Voorbeeld 8. 905 m ² dakpark met zwembad – Groenmarkt, Amsterdam, NL.....	48
	Voorbeeld 9. 1000 m ² moerasdak boven parking – De Klapwijkse Pieren, Rotterdam, NL	49
	Voorbeeld 10. 50 m ² groendak met serre - Rijwoning Borgerhout, Antwerpen, BE...50	
	Voorbeeld 11. 7600 m ² verbindende daktuin – De Groene Kaap, Rotterdam, NL	51
6.3	Onderwijs- en jeugdgebouwen	52
	Voorbeeld 12. 750 m ² dakspeelplaatsen met glijbaan– GO! School Tangram, Vilvoorde, BE	52
	Voorbeeld 13. Dakspeelplaats - jongerencampus De Kampus, Vorselaar, BE.....	53
	Voorbeeld 14. Speelruimte kleuterschool – Kindergarten, Zory, POL	54
	Voorbeeld 15. 1150 m ² dakpark – The Student Experience, Amsterdam, NL.....	55
	Voorbeeld 16. 2500 m ² groendak met zonnepanelen - The Munich Technology Centre, München, DE	56
6.4	Landbouwinfrastructuur	57
	Voorbeeld 17. 9300 m ² onderzoeksserre – Agrotopia, Roeselare, BE	57
	Voorbeeld 18. 3000 m ² serres met zonnepanelen - Ferme Etchélécu, Sames, FR.....	58

Voorbeeld 19.	1800 m ² stadslandbouw – PAKT, Antwerpen, BE	59
6.5	Winkelpanden	60
Voorbeeld 20.	3560 m ² belevingsdak en fietsenstallingen – IKEA, Greenwich, GB	60
Voorbeeld 21.	6000 m ² sportdak met cafetaria – Decathlon, Charleroi, BE	61
Voorbeeld 22.	2000 m ² extensief brandveilig groendak – Delhaize, Kortrijk, BE	62
6.6	Zorggebouwen	63
Voorbeeld 23.	8 m ³ wateropslag, zonnepanelen en zonneboilers - Centra mindervaliden, VZW Coupole, Jette, BE	63
Voorbeeld 24.	1000 m ² daktuin – Woonzorgcentrum Zilversterre, Gent, BE	64
6.7	Varia	65
Voorbeeld 25.	99 kWp ultralichte flexibele zonnepanelen - Sports and Wellness Park, Wallenhorst, DE	65
Voorbeeld 26.	500 m ² rooftopbar boven kunstopstelling – Doloris, Tilburg, NL	66
Voorbeeld 27.	26 sociale huurwoningen met biodiversiteits- en zonnedak – Woonstichting ‘thuis, Best, NL	67
Voorbeeld 28.	187 MWh geïntegreerde zonnepalen perron - Station Delft Campus, Delft, NL	68
Voorbeeld 29.	500 m ² onzichtbare waterbuffer onder belevingsdak – Soho House Hotel, Amsterdam, NL	69
7	Becijferde voorbeelden	70
7.1	Groen-blauw retentiedak met zonnepanelen - ‘t Bölke Rooftop in Enschede, NL (Plegt, 2022)	70
7.2	Financiële business case voor het groene dak van de Skaggs Pharmacy Building, Universiteit van Utah, VS (Wu, 2011)	71
7.3	Doorrekening Green Roofs for Public Schools beleid van New York, VS (Green Infrastructure Foundation, 2021)	72
7.4	Doorrekening voordelen zonnepanelen met groen dak - EMSD Headquarters, Hong Kong, CN (Hui S. , 2011)	73
8	Het dakpotentieel in Roeselare bedraagt maximaal 764 ha	74
9	Roeselarenaren aan het woord	76
Getuigenis 1.	Medewerkers van Tandens Tandartsenpraktijk lunchen in de daktuin ...	76
Getuigenis 2.	Ellen geniet vanuit haar bureau van het groen	77
Getuigenis 3.	Robin legde zelf zijn groendak aan	78
Getuigenis 4.	Steenoven zet met groendaken in op een duurzame stedelijke omgeving	79
Figurenlijst		80
Bibliografie		82

1 Inleiding

Daken hebben altijd een bijzondere rol gespeeld in onze geschiedenis. Ze bieden niet alleen beschutting, maar ook ruimte voor innovatie. Denk maar aan de legendarische *Hangende Tuinen van Babylon*, een van de zeven wereldwonderen uit de Oudheid.

Deze indrukwekkende tuinen, gebouwd rond 500 v. Chr., bevonden zich op hooggelegen dakstructuren. Tot wel 25 meter hoog rezen de terrassen, ondersteund door stevige galerijen van steen en baksteen. Waterdichtheid werd verzekerd met lagen bitumen en lood, en diepe grondlagen maakten het mogelijk om zelfs bomen te planten. Een ingenieus irrigatiesysteem bracht water van de rivier naar de hoogste niveaus (Reade, 2000).



Figuur 1 Volgens oude beschrijvingen bestonden de tuinen van Babylon uit terrassen, elk gevuld met weelderige en geurige planten. Bron: National Geographic

Daken zijn dus meer dan functionele constructies, ze kunnen inspirerende plekken zijn waar natuur en technologie samenkomen. *De Hangende Tuinen van Babylon* laten zien dat zelfs in een tijd waarin duurzaamheid geen begrip was, daken al werden omgetoverd tot iets bijzonders.

Net zoals de Babyloniërs hun daken omvormden tot groene oases, biedt jouw dak vandaag talloze mogelijkheden. Denk aan vergroening, energieopwekking of slimme oplossingen. Jouw dak kan dus een meerwaarde zijn!

In deze gids ontdek je hoe je het maximale uit jouw dak haalt aan de hand van wetenschappelijk onderzoek, aandachtspunten en inspirerende voorbeelden. De nadruk ligt hierbij op kwantitatieve inzichten die bouwheren, beleidsmakers en stadsplanners ondersteunen bij renovatie- en bouwprojecten. Een solide businesscase vereist immers een heldere inschatting van kosten én opbrengsten, liefst met concrete cijfers - iets wat vaak ontbreekt binnen dit thema. Daarbij wordt een opsplitsing gemaakt afhankelijk van de functie.

Functionele daken worden gelabeld met verschillende kleuren afhankelijk van het gebruik: groen, blauw, geel, rood, oranje, paars en grijs. In dit document worden de vier voornaamste besproken: groen, blauw, geel en rood. Oranje (wonen), paars (mobiliteit) en grijs (technieken) worden buiten beschouwing gelaten omwille van beperkte toepasbaarheid

en duidelijke evidentie in geval van grijze daken. Er wordt van een multifunctioneel dak gesproken als een dak twee of meer kleurlabels heeft.

Hieronder volgt een korte introductie van de dakfuncties die verder aan bod komen.

Groene daken – Meer dan alleen planten

Groene daken zijn bedekt met planten zoals mos, gras, struiken, en bomen. Ze verminderen hittestress door minder warmte op te nemen in de zomer, wat een verkoelend effect heeft op het gebouw. Daarnaast creëren ze aangename ruimtes voor gebruikers en bevorderen ze de verbinding met de natuur in de stad.

Blauwe daken – Regenwater als kans

Blauwe daken zijn ontworpen om water op te vangen en te bufferen. Ze kunnen gecombineerd worden met groen (vegetatie) of rood (recreatie). Bij hevige regenval houden ze water vast, wat langzaam afgevoerd of hergebruikt kan worden. Door deze functie naar het dak te brengen draagt dit niet enkel bij aan de certificering van het gebouw op vlak van duurzaamheid, maar bespaart het ook ruimte op omliggende gronden.

Gele daken – Energieopwekking en rendement

Gele daken genereren eigen en hernieuwbare energie, zoals elektriciteit via zonnepanelen of windmolens en warm water via zonneboilers. Dit verlaagt de energiekosten en verhoogt de zelfvoorziening, vermindert gasverbruik en verbetert de luchtkwaliteit.

Rode daken – Creativiteit en beleving op hoogte

Rode daken bieden ruimte voor ontspanning, economische activiteiten of recreatie, zoals terrassen, sportvelden, landbouwactiviteiten of zwembaden. Ze optimaliseren schaarse ruimte en kunnen zowel voor gebouwgebruikers als voor het publiek worden aangelegd, waardoor ze een economisch voordeel bieden.



Figuur 2 Dakpark Rotterdam met horeca, moestuinen en parkfunctie. 1,2 km lang, 80 meter breed en 9 meter hoog. 8 hectare park. Geopend in 2013. Bron: TheGreenCities.eu

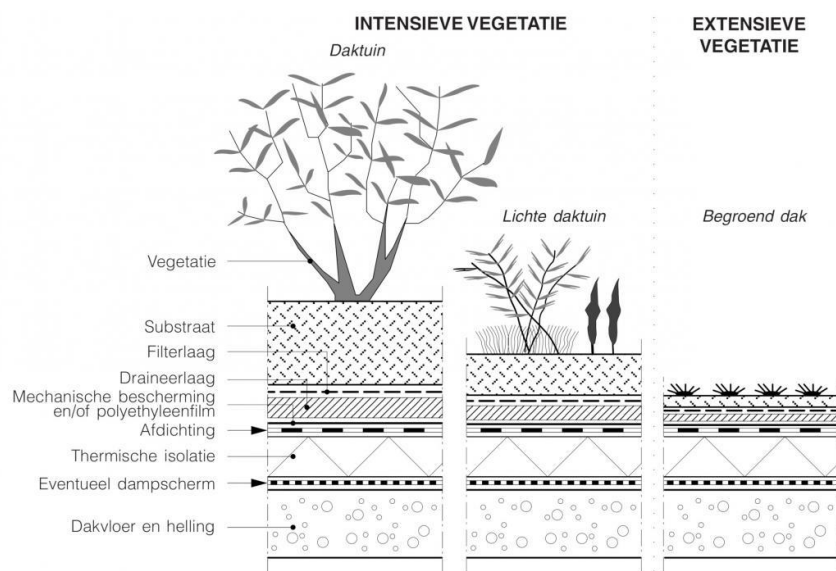
2 Groene daken – Meer dan alleen planten

Groene daken zijn ontworpen om vegetatie te ondersteunen. Ze bestaan uit meerdere lagen, meestal beginnend met een waterdicht membraan, gevolgd door een drainage- en filtersysteem, een groeimedium (substraat) en ten slotte de vegetatie.

Een groen dak kent een brede variatie aan uitvoeringen, gaande van een eenvoudige sedumbedekking (vetplanten) tot een complex ecosysteem zoals een echte daktuin, dakpark of zelf een dakboerderij. Deze variaties vragen een eigen aanpak en hebben andere aandachtspunten. De eigen doelstelling, het budget en de bouwtechnische eigenschappen van de structuur bepalen welke variant mogelijk is.

Groendaken worden ingedeeld in drie types op basis van de vegetatie en de bijhorende substraatlaag: een daktuin, een lichte daktuin en een begroend dak (figuur 3). De hoeveelheid substraat, de laag waarin het groen kan wortelen, bepaalt immers welk type groen er kan staan.

- 1) **Daktuin:** Een uitgebreid intensief groendak met **meer dan 25 cm** substraat waarop grote planten en struiken met een dieper wortelstelsel worden geplant. Ook wel een intensief groendak genoemd.
- 2) **Lichte daktuin:** Een eenvoudig intensief groendak met **10 tot 25 cm** substraat dat toelaat om gazon, lage planten en struiken te gebruiken. Ook wel een semi-intensief groendak genoemd.
- 3) **Begroend dak:** Een extensief groendak met **5 tot 10 cm** substraat dat oppervlakkig wortelende planten zoals mossen, vetplanten en grasachtige planten ondersteunt. Ook wel een extensief groendak genoemd.



Figuur 3 Types groendak. Bron: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf

2.1 Resultaten

2.1.1 Tot 5% stijging in waarde van het gebouw, betere certificatie en minder bouwkundige verplichtingen

Panden in de buurt van groen zijn vaak gewild en hebben doorgaans een hogere waarde. Helaas kunnen groene daken niet dezelfde voordelen bieden op de waarde van het gebouw als de nabijheid van bossen en natuurlijke bosgebieden. Desondanks kunnen uitgebreide groene daken, daktuinen, nog steeds de waarde van onroerend goed verhogen, met percentages tussen de 2% en 5% (Bianchini, 2012).

Niet enkel de waarde van het gebouw kan stijgen, maar ook de bijbehorende certificering. Alsmar meer bouwprojecten streven naar een zo hoog mogelijke certificatie waarbij het duurzaamheidsaspect een belangrijke rol speelt. Bekende voorbeelden hiervan zijn LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) en BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Een groen dak kan bijvoorbeeld een directe positieve invloed uitoefenen op ten minste vier categorieën: overstromingsrisico verminderen, minimaliseren van ecologische impact, verbeteren van ecologie op de site en lange termijn impact op biodiversiteit (Green Roof Organisation Ltd., 2021).

De Vlaamse stedenbouwkundige verordening van 2023 stimuleert het plaatsen van een groendak door andere verplichtingen met betrekking tot infiltratie en buffering te versoepelen. Voor de delen van het dakoppervlak die voorzien zijn van een groendak is de aansluiting op een hemelwaterput bijvoorbeeld niet verplicht. Gebouwen die volledig voorzien zijn van een groendak hoeven dus geen regenwaterput te installeren.

Daarnaast moeten er op de meeste percelen een infiltratievoorziening worden aangelegd. Ook hier kan een groendak helpen om de verplichting te versoepelen. Indien het groendak minimaal 50 l/m² water kan bufferen wordt deze oppervlakte maar voor de helft meegeteld in de nodige infiltratievoorziening. Indien het groendak echter minder dan 50 l/m² kan bufferen wordt de volledige oppervlakte in rekening genomen. Het is niet bepaald hoe die 50 l/m² moet gebufferd worden en dit kan dus via retentiekragen, maar kan evengoed via kiezels bijvoorbeeld. Bij betwisting in geval van controle is het aan de fabrikant of leverancier om dit volume aan te tonen met bijvoorbeeld een technische fiche. Strikt genomen is dat evenwel geen verplicht dossierstuk.

De voordelen op vlak van nodige infiltratievoorziening op het perceel zijn dus enkel geldig bij een minimale opvangcapaciteit van 50 l/m² of een waterhoogte van 50 mm. Let op dat voor een berging van 50 mm water de overloop aanzienlijk hoger dan 50 mm moet worden geplaatst (Vlaanderen, 2023).

2.1.2 Tot 83% minder afstroom van regenwater

Hoewel een groen dak niet specifiek is ontworpen om veel regenwater te bufferen is er afhankelijk van de diepte van het substraat een sterke reductie en vertraging mogelijk van het regenwater dat op het dak valt en vervolgens afstroomt. Een traditioneel dak laat jaarlijks gemiddeld 91% van het regenwater afstromen, terwijl een groendak met een substraatlaag van 15 tot 35 cm dit kan beperken tot slechts 15%. Dit betekent een afname van 83% in vergelijking met een traditioneel dak. Met een gemiddelde substraatlaag van 10 cm is er reeds 50% minder jaarlijkse afstroom (Mentens, 2006).

Simulaties aan de hand van de formules uit tabel 1 tonen ook wat dit op regionaal niveau kan betekenen. Als in de regio Brussel 10% van de daken worden uitgerust met een groendak met 10 cm substraat en er is jaarlijks 821 mm regenval dan wordt 2,7% van dit water in der regio tegengehouden, ofwel 1,7 miljard liter water dat niet afstroomt naar een lagergelegen gebied (Mentens, 2006). Zo kunnen gebouwen met een groendak duidelijk

bijdragen aan zowel de lokale waterhuishouding als stroomafwaarts door daar wateroverlast te verminderen.

Regression equations and proportion of the total variation explained by the regression (R^2) of the annual surface runoff (RO) on the yearly precipitation (P) for various roof types for a given rainfall range

Roof type	Rainfall range (mm)	Runoff (RO, mm year ⁻¹)–rainfall (P , mm) relationship	R^2	N
Non-greened roof	670–918	$RO = 0.81P$	0.99	5
Roof with 5 cm of gravel	644–1347	$RO = 0.77P$	0.99	8
Green roof	554–1347	$RO = 693 - 1.15P + 0.001P^2 - 0.8 \times S$	0.78	125

S equals the depth of the substrate layer (mm). The latter varied between 30 and 380 mm.

Tabel 1 Regressie formules voor regenwater afstroom in functie van substraat. uit Mentens et al. (2006)

Bovendien toont onderzoek dat de diepte van het substraat de belangrijkste factor is in de hoeveelheid regenwater dat wordt tegengehouden. Een extra speciale drainagelaag of steilere groendaken hebben weinig extra effect op hoeveel water er (niet) wordt afgevoerd (Uhl, 2008).

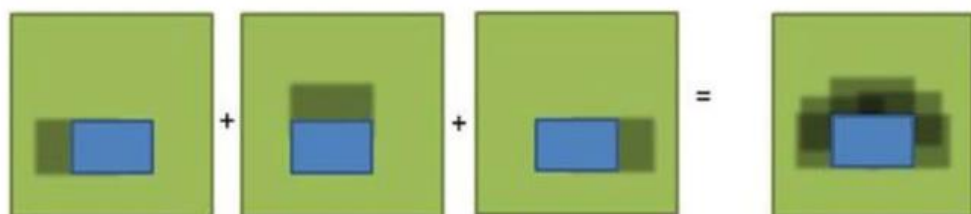
2.1.3 Zonnepanelen helpen extensieve groendaken

Extensieve groene daken zijn barre omgevingen omdat ze doorgaans een ondiepe substraatlaag hebben met een lage beschikbaarheid van water en voedingsstoffen. Bovendien worden ze ook vaak blootgesteld aan hoge windsnelheden. Zonnepanelen kunnen hierbij helpen.

Studies geven aan dat er geen concurrentie is voor dakruimte tussen groene daken en zonnepanelen. Groene daken met zonnepanelen blijken elkaar te versterken. Groen op het dak kan de efficiëntie van zonnepanelen op warme dagen verbeteren door hun koelende effect (zie ook gele daken).

Bovendien ondersteunt de veranderende schaduw van de panelen specifieke plantensoorten die gemakkelijk schaduwrijke zones op daken kunnen koloniseren. Deze veranderende schaduwpatronen worden veroorzaakt door de rotatie van de zon en de interactie van de schaduw doorheen de dag zoals de illustratie op figuur 4. Op zijn beurt zorgt dit voor een hogere biodiversiteit (Schindler, 2016). De overwinteringskans van planten is ook hoger gebleken onder panelen (Bousselot, 2017), wat aangeeft dat panelen ook voordelen kunnen bieden aan groene daken in koude en vochtige klimaten, waar bescherming tegen droogtestress minder nodig is. Daarnaast lijken sedumplanten ook wat langer te bloeien wanneer PV panelen aanwezig zijn boven het groendak (Schindler, 2018).

De aanbevelingen zijn om de panelen (of zonnecollectoren) op 1 meter of hoger boven het extensieve groendak te plaatsen om droogtestress te vermijden en soortmaximalisatie te bekomen. Indien lager geplaatst, zal dit waarschijnlijk de soortendiversiteit verminderen omdat er ook te weinig licht aan de planten geraakt (van der Kolk, 2019).



Figuur 4 Illustratie van schaduw van zonnepanelen op bepaalde momenten van de dag (links) en heterogeen resulterend schaduweffect doorheen de dag (rechts). Bron: Schindler, 2016

2.1.4 Halvering van (stads)geluiden binnen en buiten het gebouw

Stedelijke omgevingen zijn vaak gevuld met geluiden zoals verkeer, sirenes en werkzaamheden. Het menselijk brein reageert slecht op deze geluiden, wat de stressniveaus aanzienlijk verhoogt in vergelijking met natuurlijke geluiden, zoals vogels of stromend water (DiPietro, 2023).

Ten opzichte van een niet-vergroend dak kan een groen dak 10 dB, 20 dB en zelfs meer dan 20 dB omgevingsgeluid dempen in respectievelijk lage, midden en hoge frequenties (Connelly, 2013). Hoewel het misschien niet veel lijkt, voelt een vermindering van 10 dB voor de mens als een halvering van de geluidsintensiteit. Een reductie van 20 dB komt zelfs overeen met een vier keer lagere geluidsintensiteit. Groene daken absorberen dus heel wat geluid en zorgen voor een stillere omgeving, zowel binnen als buiten een gebouw.

Water in het substraat kan de akoestische demping negatief beïnvloeden, zoals bij elk poreus materiaal. Dit geldt vooral voor geluiden met een frequentie tussen 250 Hz en 1250 Hz, waarbij een droog substraat tot 10 dB beter dempt dan een nat substraat. Het dempend effect op de frequentie van gemiddelde verkeersgeluiden blijft wel grotendeels behouden. Voor frequenties van verkeersgeluid wordt verwacht dat het verschil tussen droog en nat substraat afneemt tot 2 dB, waarbij het dempende vermogen van een nat substraat grotendeels behouden blijft. (Van Renterghem, 2024). Een goede drainagewerking speelt dus ook een rol in de demping.

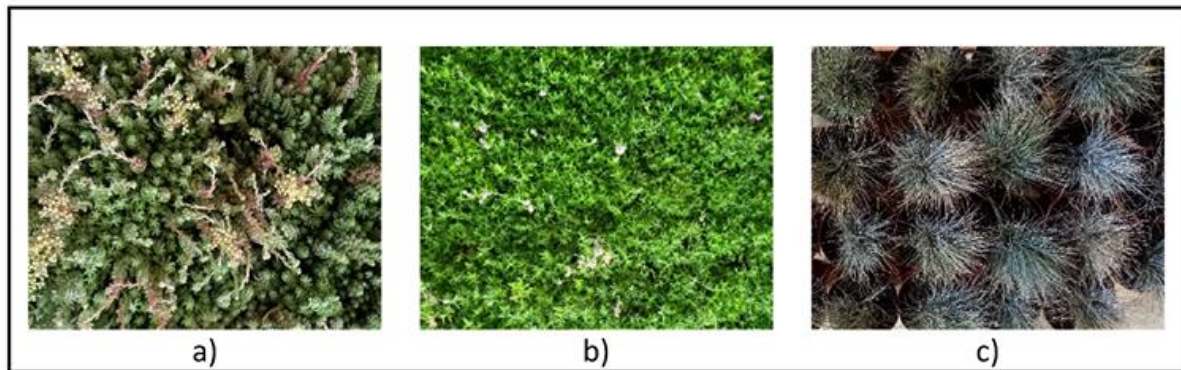
De samenstelling en opbouw van het groendak beïnvloeden de geluidsdemping naar binnen, waarbij bepaalde onderdelen een grotere rol spelen dan andere. De dikte van het substraat maakt bijvoorbeeld veel verschil. Is er maar 2,5 cm substraat, dan zal er weinig extra gedempt worden, maar is er 10 cm substraat (of 60 kg/m²) dan kan dit 7 dB verschil maken. Daarnaast biedt het gebruik van een zwaardere drainagelaag met keien of gravel, in plaats van een lichtgewicht membraan, slechts een beperkte verbetering in demping.

De grootste demping komt van het toevoegen van een laagte van 5 cm opgevuld met minerale wol, wat 13 dB extra demping geeft richting de binnenkant van het gebouw. Een dergelijke holte werkt ook beter bij dikker substraat. Een holte onder een dunne laag substraat zal minder effectief zijn door een groter effect van resonantie (Galbrun, 2017).

Het type substraat lijkt ook een verschil te maken in geluidsdempende kwaliteiten. Een studie uit 2024 vergeleek het effect van twee types substraat met een andere massadichtheid maar gelijk vochtpercentage: speciaal groendak substraat (Siro Roof) met een massadichtheid van 320 kg/m³ en een gewone grond met een massadichtheid van 1300 kg/m³. Hierbij werd aangetoond dat geproduceerd substraat voor groendaken bij elke frequentie hogere absorptiecoëfficiënten heeft dan de gewone grond, met waarden dicht bij 1,0 bij hoge frequenties. Dit effect is waarschijnlijk te wijten aan de lagere dichtheid en grovere korrelstructuur, die geassocieerd worden met een hogere porositeit (Tadeu, 2024).

Bovendien lijken de structuur en densiteit van de planten zelf ook een rol te spelen in de akoestische eigenschappen. Bij een vergelijkende studie tussen muurpeper (*Sedum sediforme*), grote tijm (*Thymus pulegioides*) en blauw zwenkgras (*Festuca glauca*) werd dit duidelijk gemaakt (figuur 5). Voor groene daken en vegetatie gaat hogere diffusie meestal gepaard met betere geluidsreductie, omdat geluidsgolven door de structuur van de planten meer worden verspreid en geabsorbeerd. Dus in dat geval is hogere diffusie doorgaans beter. Het zwenkgras heeft de hoogste diffusie van geluid, terwijl muurpeper de laagste waarden vertoont. Het percentage vegetatiebedekking beïnvloedt zwenkgras en muurpeper dan weer nauwelijks. De diffusie van grote tijm verandert wel naargelang de bedekkingsgraad. Bij lage bedekking is deze vergelijkbaar met muurpeper, maar met

hogere diffusie bij hoge frequenties. Bij 100% bedekking lijkt het gedrag van grote tijm sterk op dat van zwenkgras (Tadeu, 2024).



Figuur 5 a) *Sedum sediforme* b) *Thymus pulegioides* c) *Festuca glauca*. Bron: Tadeu, 2024

Je zou denken dat zonnepanelen het akoestisch dempend effect van een groendak beïnvloeden. Echter, de aanwezigheid van zonnepanelen, 10 cm boven het groene dak, zorgt gemiddeld over alle hoeken (-45° tot 45°) van het paneel niet voor een verslechtering van de geluidsdemping van groendaken voor geluidsgolven die over gebouwen afbuigen. Sterker nog, bij een hoge hellingshoek en wanneer er geen openingen zijn tussen de onderkant van de panelen en het groene dak, zijn er zelf sterke positieve effecten tussen de twee. Met een hellingshoek van 45° wordt theoretisch meer dan 5 dBA extra verkeersgeluidreductie voorspeld bij een groendak met 10 cm kalksteenbasis (Van Renterghem, 2018).

In omgevingen waar geluidsdemping belangrijk is, met name voor de mitigatie van laagfrequent geluid die moeilijker te dempen valt, kan een groendak strategisch ingezet worden om dit aan te pakken. Hierbij kan de keuze van substraatdikte, opbouw van de dakstructuur, slim ingezette zonnepanelen en keuze van beplanting de akoestische eigenschappen van het dak bepalen.

2.1.5 Het dakmembraan gaat minstens tweemaal langer mee

De blootstelling van een dakbedekking aan zon en wind degradeert deze bedekking overheen de tijd. Echter, het is gebleken dat een begroeid dak over het algemeen langer meegaat dan daken die gebruik maken van conventionele dakmethoden en -materialen.

Traditionele materialen gaan typisch vijftien tot twintig jaar mee. Beplante daken kunnen een dakmembraan beschermen tegen degradatie door ultraviolette straling tegen te houden en de uitzetting en krimp van het membraam bij extreme temperaturen te minimaliseren. Het is aangetoond dat de aanwezigheid van groene systemen de levensduur van het dak wel twee tot drie keer langer kan maken dan traditionele systemen. In Duitsland zijn er bijvoorbeeld groendaken die al veertig jaar standhouden (Voelz, 2006).

In Ottawa, Canada, op het National Research Council gebouw werden er verschillende effecten gemeten van een stuk groendak versus een stuk gewoon zwart dak. Het groendak had 15 cm substraat met wilde bloemen en 2% hellingsgraad. In de winter zorgde de sneeuw voor een extra laag isolatie waardoor de effecten op beide daken gelijk waren. Het groendak had vooral effect tijdens de lente en de zomer. Op een dag met buitentemperaturen tot 35°C , bereikte de temperatuur van het dakmembraan slechts 25°C , in tegenstelling tot het zwarte dak dat 70°C haalde. Gedurende het hele jaar vertoonde het zwarte dak een dagelijkse mediaanfluctuatie van 46°C tussen minimum- en maximumtemperatuur, terwijl de daktuin slechts een fluctuatie van $12,5^\circ\text{C}$ kende (Voelz,

2006). Een sterke vermindering van thermische stress en dus goed voor de levensduur van het dak.

2.1.6 Tot 50% reductie in jaarlijkse energievraag door een groendak

Een groen dak vermindert niet alleen het geluidsniveau en de thermische stress op de dakbedekking, maar biedt ook extra isolatie voor het gebouw, wat vooral merkbaar is op warme zomerdagen. Dit zorgt ervoor dat het gebouw minder gekoeld hoeft te worden, wat resulteert in lagere energiekosten. De totale effecten zijn afhankelijk van het klimaat.

Er zijn verschillende studies opgemaakt in Athene (Griekenland), La Rochelle (Frankrijk) en Stockholm (Zweden) met telkens 10 cm isolatie. Er wordt hieronder een onderscheid gemaakt tussen energie nodig om te verwarmen, energie nodig om te koelen en de jaarlijkse energievraag (Jaffal, 2012).

a) Verwarmen

In Athene, La Rochelle en Stockholm werd de gemiddelde binnentemperatuur verlaagd met respectievelijk 2,6°C, 2,0°C en 1,4°C. In La Rochelle had het groene dak geen invloed op de verwarmingsvraag, terwijl in Athene een toename van 1,1 kWh/m² per jaar (8%) werd waargenomen door extra schaduw en verdamping. In het koudere Stockholm leidde het groene dak tot een afname van de verwarmingsvraag met 10,7 kWh/m² per jaar (8%) door de extra isolatie.

b) Verkoelen

De vraag naar koeling daalde sterk in Athene met 13,9 kWh/m² per jaar (52%), en in La Rochelle was de reductie kleiner in absolute cijfers (2,4 kWh/m² per jaar), maar relatief hoger (96%). In Stockholm, waar nauwelijks koelvraag is, had het groene dak geen invloed.

c) Jaarlijkse energievraag

Groene daken verlagen de totale energievraag in alle onderzochte klimaten. De reducties bedroegen 12,8 kWh/m² per jaar (32%) in het mediterrane klimaat van Athene, 2,3 kWh/m² per jaar (6%) in het gematigde klimaat van La Rochelle en 10,7 kWh/m² per jaar (8%) in het koude klimaat van Stockholm.

Het gematigde klimaat van La Rochelle leunt van de drie cases het dichtst aan bij het Belgische klimaat. Voor deze case blijkt de aanwezige dakisolatie een belangrijke impact te hebben op de resulterende energievraag. De studie werd gedaan op een sedumdak met een bodem die bestaat uit een mix van 40% organisch materiaal (compost) en 60% vulkanisch materiaal (pozzolan). Ook hier wordt er een onderscheid gemaakt tussen verwarmingsvraag, koelingsvraag en jaarlijkse totale energievraag (Jaffal, 2012).

a) Verwarmen

Het groendak verminderde de verwarmingsvraag met 48% in vergelijking met een ongeïsoleerd gebouw, voornamelijk door de extra thermische weerstand. Bij een isolatiedikte van meer dan 10 cm werd het effect van het groendak op de verwarmingsvraag verwaarloosbaar.

b) Verkoelen

Het groene dak had ook minder impact op de koelvraag naarmate de isolatiedikte toenam. Vanaf 5 cm isolatie en meer bleef de koelvraag voor het gebouw met conventioneel dak gelijk, terwijl extra isolatie bij groene daken het passieve koeleffect van het dak beperkte. De reductie van de koelvraag door het groendak daalde van 7,0 kWh/m² per jaar (bij geen isolatie) naar 1,4 kWh/m² per jaar (bij 30 cm isolatie). De winst op de koelvraag zakte dus omgekeerd evenredig met de

hoeveelheid isolatie, maar bleef wel altijd lager ten opzichte van een ongeïsoleerd dak.

c) Jaarlijkse energievraag

De reductie op de totale jaarlijkse energievraag veroorzaakt door een groendak neemt af met meer isolatie: van 70,8 kWh/m² per jaar (50%) bij een ongeïsoleerd gebouw tot 0,9 kWh/m² per jaar (3%) bij 30 cm isolatie.

De conclusie is dus dat het effect van een groendak op het reduceren van de energiekosten het grootst is bij renovatie van slechter geïsoleerde gebouwen en minder voor goed geïsoleerde nieuwbouw. De totale reducties zijn afhankelijk van het klimaat. Hoe warmer, hoe groter het positief effect van een groendak.

Een groen dak laat niet enkel de totale energievraag dalen, maar stabiliseert ook langer de temperatuur en verlaagt de piekbelasting van technische installaties. Bijgevolg kunnen groene daken een rol spelen bij de dimensionering van technische installaties en de bijhorende investering. Hoe lager het nodige vermogen van een installatie, hoe lager de kostprijs. Nyuk Hien Wong en collega's berekenden bijvoorbeeld welke groendak configuratie (40% vochtigheid) het meest effect zou hebben op de (piek)energievraag van een commercieel gebouw met vijf verdiepingen in Singapore. Hierbij werden aanzienlijke besparingen gevonden voor een dak van 966 m² (Wong, 2003).

Door te variëren met vegetatie vonden ze dat struiken voorkeur hebben op bomen of gras en dit ideaal bij een bodemlaag van 30 cm. Hiermee werd 15% energie bespaart en 79% minder koelvraag en piekbelasting bekomen. Het effect van struiken was naar alle waarschijnlijk groter door een grotere Leaf Area Index (LAI= bladoppervlakte/grondoppervlak). Bovendien berekenden ze ook door te variëren in substraat dat droge kleigrond de voorkeur had op natte grond en het meest bij een bodemlaag van 90 cm. Hiermee werd er 3% energie bespaart, 64% gereduceerd in koelvraag en 71% reductie in piekbelasting. In al hun berekende variaties kwamen ze op een jaarlijkse energiebesparing tussen de 1% en 15% en een reductie van koelbelasting tussen de 17% en 79%. Als dit werd vertaald naar financiële waarde met een energiekost van 0,125 US\$/kWh in 2003 was dit een besparing van 3625 USD per jaar voor de daktuin met struiken, terwijl een dak met alleen aarde of gras maar maximaal 625 USD per jaar bespaarde (Wong, 2003). Rekening houden met inflatie zou deze daktuin vandaag 4907 EUR besparing per jaar opleveren (Consumentenprijzen; prijsindex 1900 = 100, 2024). Indien de daktuin 40 jaar meegaat en de rente 3% bedraagt, wordt er op het einde van de rit 65.703,15 EUR voor een daktuin met aarde of gras bespaart en 381.093,80 EUR voor de daktuin met struiken. Hierbij zijn de lagere aankoopkosten van een kleiner gedimensioneerde technische installatie nog niet meegerekend.

De keuze van de vegetatie heeft ook invloed op het energieverbruik, met belangrijke factoren zoals de bladoppervlakte index (LAI= bladoppervlakte/grondoppervlak) en de Fractional Vegetation Coverage (FVC= % totale vegetatie incl. wortels, stam, bladen in een gebied). De FVC beïnvloedt sterk hoe goed de vegetatie zonlicht absorbeert en schaduw biedt. Het onderzoek toont aan dat een hogere LAI de binnentemperatuur in de zomer verlaagt en de koelbehoefte vermindert, maar de verwarmingsbehoefte verhoogt indien de bladen blijven hangen in de winter. Dit komt door meer transpiratie en schaduw van de bladeren. Het effect van een hogere LAI wordt kleiner naarmate de waarde stijgt. Bijvoorbeeld, een stijging van de LAI van 0,5 naar 2,0 verlaagt de temperatuur met 0,3°C, terwijl een stijging van 3,5 naar 5,0 de temperatuur met minder dan 0,1°C verlaagt (Jaffal, 2012).

2.1.7 Kijken naar (intensieve) groendaken heeft een significant positief effect op het mentaal welzijn

Er zijn talloze studies die aantonen dat aanwezigheid van natuur en groen het mentaal welzijn van mensen kan verhogen. Een vergroend dak is echter niet altijd (volledig) toegankelijk en vaak zijn extensieve groendaken dat helemaal niet.

Onderzoekers toonden aan dat gewoon naar natuurlijke elementen kijken, zelfs in het midden van een stad, je al goed kan laten voelen. Mensen die meer tijd doorbrengen met het kijken naar groen, zoals bomen en struiken, voelen zich aanzienlijk minder angstig en ervaren hun omgeving als rustiger. Daarentegen voelen mensen die vaker naar grijze omgevingen, zoals gebouwen en beton, kijken zich meer angstig en minder ontspannen. Het kijken naar natuur had geen invloed op hoe slim of blij mensen zich voelden, maar bomen hadden de grootste impact op hoe goed ze zich voelden, vergeleken met gras en struiken. Een intensief dak dat zichtbaar is vanuit het gebouw met meer volumineus groen zal dus meer effect hebben dan een dak met grassen of vetplanten (Fleming, 2024).

2.1.8 Vermindert het stedelijk hitte-eiland

Naast een daling van de temperatuur van de dakbedekking en het gebouw vaart ook de omgevingstemperatuur wel bij het (massaal) introduceren van groendaken.

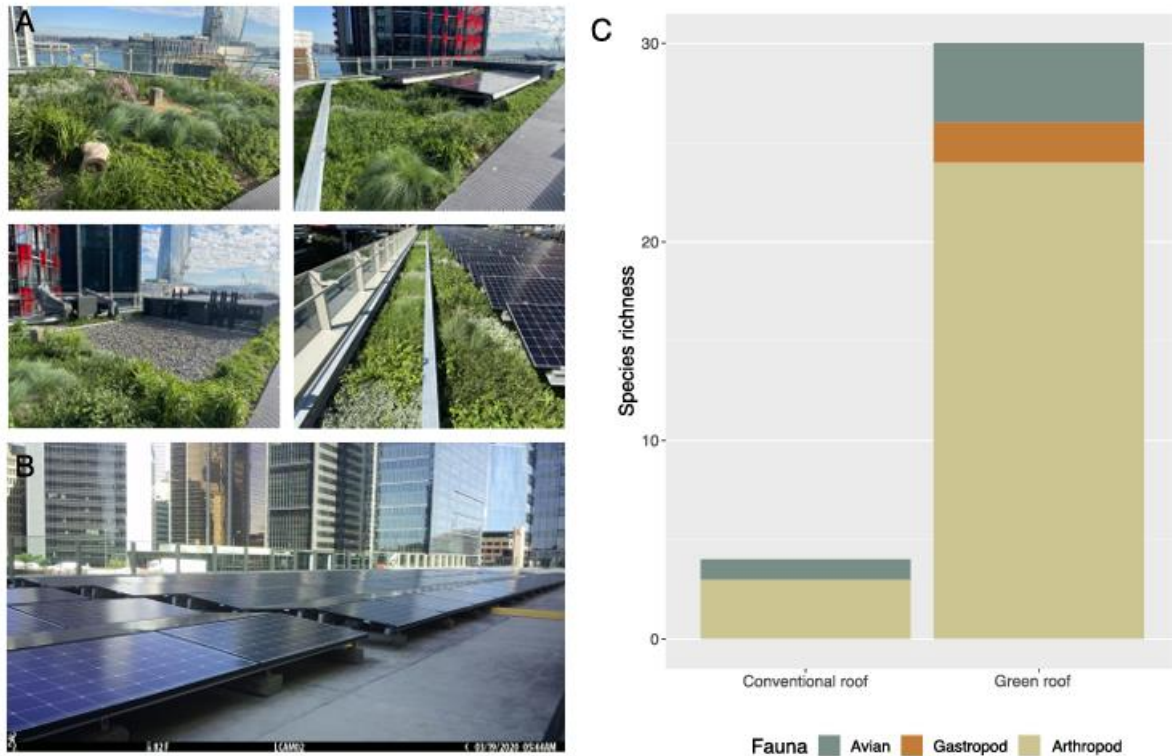
Computersimulaties uitgevoerd in Canada en Duitsland toonden aan dat wanneer 7% van de stadsdaken groen zijn, de zomertemperatuur met 2°C kan dalen (Hui S. C., 2009). Als 1% van het totale landoppervlak van Toronto groene daken zouden zijn, of 6% van het totale dakoppervlak, met een groene dakbedekking van 650 ha, zou de afname van het stedelijke hitte-eiland effect rond de 1 à 2°C liggen (Connolly, 2005).

Dergelijke groendakbedekking zou 26% bedragen van de 2487,62 ha bebouwde oppervlakte in een stad als Roeselare (Roeselare in cijfers, 2023).

2.1.9 Kan de biodiversiteit met een factor zeven verhogen

Dat een groene omgeving meer biodiversiteit ondersteunt is waarschijnlijk een open deur intrappen, maar dit betrouwbaar berekenen is niet evident. Een studie in Sydney slaagde daar recent wel in door twee identieke gebouwen naast elkaar te vergelijken gedurende één jaar. Beiden 25 m hoog, beiden een dak van 1863,35 m². Het enige verschil was de aanwezigheid van het groen dak waardoor andere variabelen nagenoeg uitgesloten zijn. Het ene gebouw had een conventioneel dak met zonnepanelen, het andere een extensief groen dak met zonnepanelen. Het groene deel had 120 mm substraat en bedroeg 1460,7 m² of 78,4% van de totale dakoppervlakte. De zonnepanelen op het groendak bedekten 40,18% van het beplant gebied.

Zoals figuur 6 toont ondersteunde het extensief groendak aanzienlijk meer biodiversiteit dan het conventioneel dak: vier keer zoveel vogelsoorten, meer dan zeven keer zoveel soorten geleedpotigen, en twee keer zoveel soorten slakken. Bovendien trok het zeldzame lokale soorten aan. Dit benadrukt dat groene daken, net als andere groene stadruimtes, ecologisch waardevol kunnen zijn door stedelijke fauna te ondersteunen en bij te dragen aan de functionaliteit van anders soortenarme gebieden (Wooster, 2022).



Figuur 6 a) Vergroend dak met zonnepanelen. b) conventioneel dak met zonnepanelen. c) soortendiversiteit. Bron: Wooster, 2022

2.1.10 Diversiteit van planten wordt op lange termijn bepaald door het substraat

Is het zaadmengsel belangrijker of het substraat in de plantenrijkdom van het extensief groendak? Hiervoor zijn langetermijnstudies nodig en dit werd recent onderzocht in Nederland over een duurtijd van acht jaar (van der Kolk, 2023).

Samengevat blijkt dat bij groen-blauwe daken het gekozen zaadmengsel essentieel is voor de kortetermijnontwikkeling van vegetatie en soortenrijkdom, terwijl de substraatsamenstelling bepalend is op de lange termijn. Voor nieuwe groen(-blauwe) daken in onze klimaatzone wordt een substraat aanbevolen van minimaal 6 cm diep indien het de bedoeling is om gesloten vegetatie te bekomen. Om overheersing van grassen te vermijden, is het optimaal om 30% dicht organisch materiaal te voorzien, bij voorkeur lokaal verzamelde grond om de groei van inheemse planten te stimuleren, en 70% lichtgewicht materiaal, zoals puimsteen.

2.2 Aandachtspunten

Groene daken hebben heel wat voordelen, maar er zijn aandachtspunten waar rekening mee gehouden moet worden om het beste uit jouw groen dak te halen.

2.2.1 Geschikt voor een dakhelling van 2% tot 100% (1,15° tot 45°)

Een groendak wordt vaak op een plat dak gelegd, maar dit is geen noodzakelijke voorwaarde. Dit kan ook op een schuin dak zoals getoond op figuur 7. Een minimaal hellingspercentage is nodig om het water af te voeren. De Gids van Duurzame Gebouwen Brussel maakt een onderscheid afhankelijk van het type groendak (Leefmilieu Brussel, 2024).

- **Extensief begroend dak tot 10 cm substraat:** Geschikt voor platte daken en daken met een helling tot 45°. Bij een helling boven 8,5° (15%) wordt onderhoud moeilijker. Bij een helling boven 35° (19%) zijn speciale verankeringen nodig zodat het dak niet afschuift.
- **Lichte daktuin tot 30 cm substraat:** Kan op platte daken of hellende daken tot 30° worden aangelegd. Bij een helling boven 8,5° (15%) wordt toegang voor onderhoud lastig en is recreatief gebruik moeilijk.
- **Daktuin met meer dan 30 cm substraat:** Alleen geschikt voor platte daken met een helling van 1° tot 6° (2 tot 10%).



Figuur 7 Schuin groendak in de Navez-wijk Schaerbeek. Bron: Yvan Glavie

2.2.2 Extra gewicht tussen de 30 kg en 400 kg (of meer) per m²

Substraat, regenwater en vegetatie introduceren op een dak weegt wel wat. Hoeveel hangt af van het type groendak. Binnen elk type zijn er nog heel wat variaties mogelijk. Hieronder enkele richtlijnen overgenomen uit de Gids Duurzame Gebouwen van Brussel (Leefmilieu Brussel, 2020).

- **Extensief begroend dak tot 10 cm substraat:** 30 tot 100 kg/m²
- **Lichte daktuin tot 30 cm substraat:** 100 tot 400 kg/m²
- **Daktuin met meer dan 30 cm substraat:** meer dan 400 kg/m²

De lichtste uitvoering kan je soms al op bestaande daken toepassen zonder dat je de dakconstructie hoeft aan te passen. In de realiteit zullen extensieve daken wellicht meer richting de vermelde bovengrens gaan. Uit afstemming met de Roeselaarse groendakspecialist Naturoof blijkt namelijk dat om tot een kwalitatief resultaat te komen je al snel 6 cm substraat nodig hebt, wat 90 kg/m² extra gewicht geeft wanneer verzadigd. Samen met een drainageplaat en beschermdoek komt dit op 105 kg/m² verzadigd gewicht voor een standaard kwalitatief extensief pakket.

Het is dus aan te bevelen om dit vooraf goed te laten controleren door een bouwkundig adviesbureau. Daktuinen wegen heel wat meer en hiervoor is vaak een ombouw nodig van de dakconstructie. Dit laatste kan enkel met een vergunning.

2.2.3 Kostprijs tussen de €60 en €250 per m² (2023)

De prijs van een groendak hangt af van verschillende factoren, zoals de grootte van het dak, het type substraat, de plantensoorten, de complexiteit van de installatie en de geografische locatie. Daarom werd gekozen om cijfers te zoeken die gemiddeldes weerspiegelen via de 2023 Batibouwbeurs.

In 2023 varieerden de gemiddelde kosten van een groendak tussen 60 en 250 euro per m², wat hoger is dan die van een traditioneel dak. Opnieuw wordt een onderscheid gemaakt op basis van type groendak (Batibouw +, 2023).

- **Begroend dak:** tussen 60 en 120 euro per m².
- **Lichte daktuin:** tussen 120 en 200 euro per m²,
- **Daktuin:** tussen 150 en 250 euro per m²

Dezelfde organisatie geeft aan dat de kosten aanzienlijk kunnen variëren door:

- **Type substraat:** Een licht, ondiep substraat is vaak, maar niet altijd, goedkoper dan een dieper, zwaarder substraat.
- **Soort planten:** De prijs varieert afhankelijk van de planten. Succulenten zijn bijvoorbeeld duurder dan kruidachtige planten.
- **Complexiteit van de installatie:** Eenvoudige installaties met gemakkelijke toegang zijn goedkoper dan complexe installaties die moeilijk toegankelijk zijn of speciale apparatuur vereisen.
- **Geografische locatie:** Arbeids- en materiaalkosten verschillen per regio, wat de totale kosten aanzienlijk kan beïnvloeden.

2.2.4 Groendaken moeten voldoen aan brandveiligheidseisen

In België bepaalt het Koninklijk Besluit van 20 mei 2022, in voege sinds 1 juli 2022, de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de gebouwen moeten voldoen. Hier zijn ook groendaken in meegenomen. Hieronder een beknopte samenvatting (Belgisch Staatsblad, 2022):

- Industriegebouwen mogen alleen extensieve groendaken hebben (max. 10 cm substraat).
- De bouw en inrichting van een groendak moet het ontstaan, de ontwikkeling en voortplanting van brand voorkomen, de veiligheid van de aanwezigen waarborgen en het ingrijpen van de brandweer vergemakkelijken.
- De substraatlaag is minimum 3 cm dik. Hierop zijn uitzonderingen mogelijk.
- Indien de substraatlaag een dikte heeft van minder dan of gelijk aan 10 cm, bevat het substraat maximum 20% organische stoffen (in massapercentage). Hierop zijn uitzonderingen mogelijk.

- De groendaken worden opgedeeld in compartimenten met een maximale lengte van 40 meter. Aan weerskanten van de grens van het compartiment is de hoogte van de omliggende vegetatie lager dan of gelijk aan de grens van de omliggende vegetatie. Vegetatie langs vensters, ventilators, buizen, koepels... wordt ook korter gehouden.
- Een strook langs een compartiment of in een opening waar geen vegetatie mag zijn moet gerealiseerd worden in materialen van minimum brandklasse A2FL-s2.

2.2.5 Waterfilters kunnen nodig zijn afhankelijk van type waterhergebruik

Regenwater wordt vaak hergebruikt in gebouwen, bijvoorbeeld voor sanitaire toepassingen. Wanneer een groendak wordt aangesloten op dit systeem, kan het de eigenschappen van het water beïnvloeden, met verkleuring als het meest bekende effect. Deze verkleuring ontstaat doordat het water door het substraat stroomt. Minder bekend is dat ook een gewoon plat dak verkleuring in regenwater kan veroorzaken, vaak door de aanwezigheid van organisch materiaal.

Doordat het water door het substraat gaat is er wel een filterende werking. In testomgevingen werden de meeste polluenten gereduceerd door het groendak, maar kan bemesting wel een impact hebben op de uiteindelijke kwaliteit zoals verhoging van fosfor en koperwaarden (Gregoire, 2011). Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat een filtratie- en desinfectieproces nodig is in het groendaksysteem voordat het regenwater hergebruikt kan worden. Dit is ook aangeraden bij gewone regenwateropvang. Afhankelijk van het doel van het water kunnen andere waterzuiveringsprocessen vereist zijn (Schatzmayr Welp Sá, 2021).

Een voorbeeld hiervan is het nieuwe cultuurcentrum in Deinze, dat een indrukwekkend groendak heeft. De bouwheer heeft ervoor gekozen het afgevoerde water op grote schaal te recupereren. Hiervoor werden uitgebreide regenwaterfilters geïnstalleerd, bestaande uit een zandfilter, een actiefkoolfilter, een ontkleuringsfilter op basis van harsen en een UV-filter. In deze installatie wordt het regenwater door verschillende filters geleid, waarbij elke filter steeds kleinere verontreinigingen uit het water verwijdert. Van grovere deeltjes in de zandfilter tot bacteriën en ziektekiemen in de UV-filter (figuur 8). Hierdoor wordt het water zo gezuiverd dat het weer kristalhelder is en veilig hergebruikt kan worden, niet alleen voor de toiletten, maar ook voor diverse andere toepassingen (Waterdoctor, 2019).



Figuur 8 Filtering regenwater cultuurcentrum Deinze. Bron: Waterdoctor.be

2.2.6 Wind- en droogtebestendigheid van de beplanting analyseren

Op daken is er relatief meer wind en zonlicht dan op het grondniveau. Dit kan resulteren in droogte en windstress waardoor er moet worden nagedacht over de beplantingskeuze. Een preventieve maatregel tegen droogte zou de installatie van een irrigatiesysteem kunnen zijn. Daarnaast is het van belang verschillende planten als groepen te clusteren. Een enkele plant in de wind is minder bestand en zal meer bescherming vinden als deze geclusterd wordt met andere vegetatie. Door het plaatsen van bomen en heesters kan er schaduwwerking worden gecreëerd waardoor de omstandigheden voor de onderliggende vegetatie verbeterd wordt. Bij intensieve daken zal er dus ook rekening gehouden moeten worden met de hoogte van de bomen in relatie tot het vangen van wind (ISSO, 2020).

2.2.7 Schaduw door nabijgelegen gebouwen/groen in rekening nemen

Afhankelijk van de soorten beplanting is er een hoeveelheid (direct) zonlicht nodig om aan voedingsstoffen te geraken. Bij de uiteindelijke keuze van type groendak en dus ook type beplanting, moet er rekening gehouden worden met nabijgelegen gebouwen, andere bomen of toekomstige projecten om in te schatten hoeveel zonlicht er op het groendak zal kunnen vallen (ISSO, 2020).

2.2.8 Minimaal twee maal per jaar controle

Bij de plaatsing van een groendak is het verstandig om direct een onderhoudscontract of onderhoudsplan af te sluiten. Het onderhoud hangt af van de oriëntatie van het gebouw en de gekozen vegetatie. Dit onderhoud kan door jezelf worden uitgevoerd of door een gespecialiseerde firma. Hieronder een korte samenvatting van info gegeven door Blauw Groen Vlaanderen (Blauw Groen Vlaanderen, sd):

- **Groei van de vegetatie:** Controleer 1 à 3 keer per jaar of de vegetatie goed groeit en verwijder vegetatie die niet past op het dak. Bomen die uitgroeien op een sedumdak zullen de dakbedekking schaden omdat deze daar niet op voorzien is.
- **Verwijderen van vuil:** Verwijder zwerfvuil en bladeren, haal ongewenste vegetatie (onkruid en zaailingen) weg, plant nieuwe planten waar nodig en vul het substraat aan.
- **Dakafvoer:** Controleer minimaal twee keer per jaar, aan het einde van de herfst en het begin van de lente, of de dakafvoer goed werkt. Voorkom verstoppingen door de inlaten en controleputten schoon te houden.

Een groendak is ontworpen om zo zelfvoorzienend mogelijk te zijn. Het moet regenwater maximaal bergen, of overtollig regenwater moet worden opgevangen in een regenwaterput. Een intensief groendak vraagt afhankelijk van de beplanting meer onderhoud.

2.2.9 Een intensief groendak heeft een grotere worteldruk

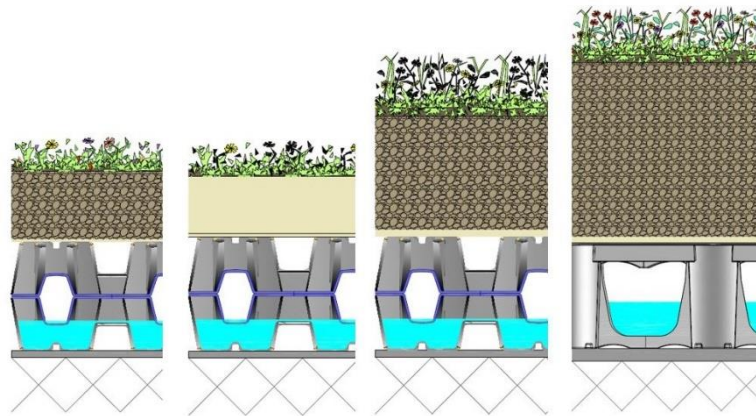
Een bezoekbare daktuin waar bomen, struiken en dergelijke aangeplant zijn om het groen karakter te verhogen, zal een sterker wortelsysteem hebben. Dat wil zeggen dat de wortels van de planten groter en sterker zijn. Een aangepaste wortelwerende dakbedekking is dus essentieel om doorprikken te vermijden.

3 Blauwe daken – Regenwater als kans

Blauwe daken kunnen bij hevige neerslag meer regenwater opvangen dan groene daken en houden het bovendien ook langer vast. Hierdoor krijgen ze ook de naam waterdak of retentiedak. Bij een retentiedak is er boven de waterlaag ook vaak groen aanwezig. De waterlaag kan dienen als extra koeling voor het gebouw, als irrigatie voor het groendak erboven of kan hergebruikt worden in het gebouw eronder. Bovendien hoeft het opvangen van water geen andere functies uit te sluiten. De combinatie met een groendak is misschien het meest vanzelfsprekend, maar ook een dakterras of een parkeerdak kan worden aangelegd.

Een blauw dak kan gesloten of open zijn:

- Een **gesloten** retentiedak werkt met holtes onder het groen waar water in opgeslagen kan worden, bijvoorbeeld door gebruik van kratten zoals op figuur 9.
- Bij een **open** waterdak daarentegen blijft het water zichtbaar zoals op figuur 10.



Figuur 9 V.l.n.r. gesloten retentiedak sedum, - sedum lichtgewicht, - aroma en- biodivers. Bron: Sempergreen



Figuur 10 Open & permanent waterdak Artemis Hotel Amsterdam. Bron: Merlijn Michon

Water op het dak houden kan op drie verschillende manier: statisch, dynamisch of permanent (Amsterdam Weerproof, sd).

- **Statisch:** Het regenwater stroomt langzaam weg via een versmalde afvoer. Terwijl het water op het dak staat, verkoelt het de ruimtes eronder. Op warme dagen warmt het water in een open systeem echter op en verdampt het uiteindelijk, waardoor het verkoelende effect minimaal is (figuur 11).
- **Dynamisch:** Dit type dak beschikt over een besturingssysteem dat inspeelt op weersvoorspellingen. Bij droogte blijft het water staan voor verkoeling, terwijl het bij regen gecontroleerd wordt afgevoerd. Dit zorgt voor een langer koeleffect dan bij een statisch waterdak (figuur 12).
- **Permanent:** Op dit dak staat altijd water, met een verhoogde afvoer om overtollig water weg te laten stromen. Dit type dak biedt constante verkoeling en bevordert biodiversiteit. Indien dit open is kan stilstaand water muggen aantrekken, waardoor preventie nodig is (figuur 10).



Figuur 11 Statisch waterdak. Bron: Amersfoort Rainproof



Figuur 12 Dynamisch Waterdak met sturing. Bron: Bouwwereld.nl

Bovendien kan via een pomp of dankzij de zwaartekracht het water hergebruikt worden en is dit een oplossing voor gebouwen waar er geen of weinig ruimte is voor een ondergrondse of bovengrondse hemelwaterput.

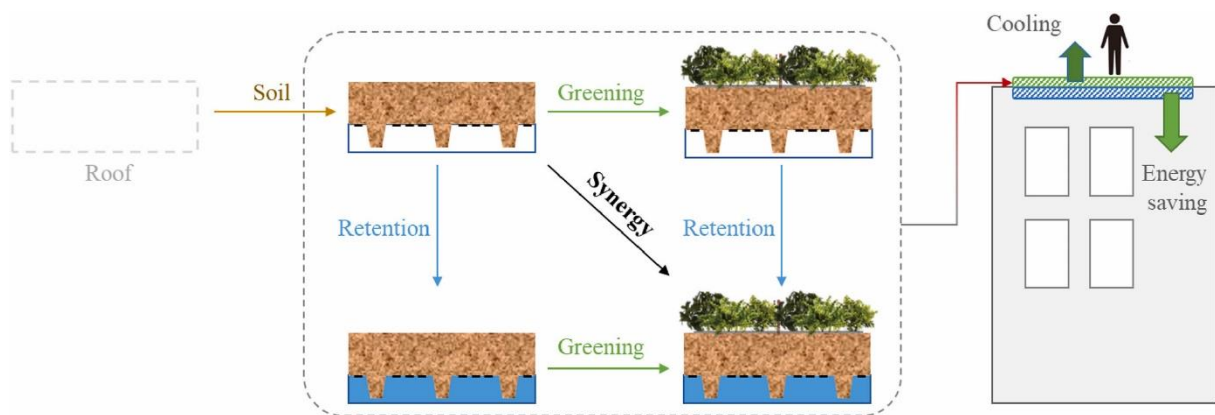
In dit deel wordt enkel het aspect van het toevoegen van een extra laag water in beschouwing genomen. Wanneer dit gecombineerd wordt met bijvoorbeeld een groen dak, kunnen de voordelen en aandachtspunten van een groen dak toegevoegd worden.

3.1 Resultaten

De twee belangrijkste voordelen van blauwe daken zijn de extra koeling van het gebouw en het verminderen van ondergrondse infrastructuur.

3.1.1 Geeft extra isolatie het gehele jaar en tot 17°C effect op de gebouwtemperatuur

Het hoeft niet te verbazen dat het toevoegen van een waterlaag een extra effect heeft op de koeling van het gebouw. Recente studies van groen-blauwe daken tonen dat het groen van het dak vooral een koelend effect had op de omgevingstemperatuur (-7,5°C) en het water vooral extra effect had op de temperatuur van de gebouwstructuur eronder (-17,4 °C) (Yun, 2024). Dit heeft natuurlijk een sterk effect op de nodige koeling van het gebouw en dus de energiefactuur. Indien ze gecombineerd werden, was er ook een synergetische werking waarbij er nog 0,80°C verder werd afgekoeld op omgevingstemperatuur, maar waarbij de koeling van het gebouw licht verminderde met 1,59 °C.



Figuur 13 Synergie tussen groen en blauw dak. Bron: Yun et al. 2024

Bovendien blijkt uit ander onderzoek in Amsterdam dat de waterlaag van een blauw dak het hele jaar door als temperatuurbuffer fungeert, terwijl een groendak dit vooral in de zomer doet. Tijdens warme zomers bleek de waterlaag tot 7°C koeler te zijn dan de substraatlaag van een groendak, met minder temperatuurvariatie gedurende de dag, wat zorgde voor een stabielere binnentemperatuur. Zelfs wanneer de kratten leeg waren, was het er in de winter nog minstens 3°C warmer dan in de substraatlaag (Föllmi, 2023). Een lege holte heeft dus niet enkel een sterk akoestisch effect zoals eerder beschreven maar stabiliseert ook verder de temperatuur van het gebouw eronder.

3.1.2 24% meer plantensoorten mogelijk door toevoegen waterlaag

Heeft het toevoegen van een waterlaag een impact op de soortenrijkdom van een groen dak erboven?

Deze vraag beantwoorden was onder andere ook het doel van de achtjarige studie van Henk-Jan van der Kolk en collega's die eerder aan bod kwam bij groene daken. Ze vergeleken een groen-blauw dak met 6 cm substraat en een gesloten waterlaag van 11 cm met een extensief groendak met 6 cm substraat zonder waterlaag. Hun conclusie was dat de groen-blauwe variant 24% meer plantensoorten ondersteunde dan het extensieve groendak zonder waterlaag (van der Kolk, 2023).

3.1.3 Vanaf 5 cm berging minder stedenbouwkundige verplichtingen

Retentie- en waterdaken hebben het voordeel dat ze water kunnen opslaan. In combinatie met een vegetatielaag kunnen hierdoor bouwkundige verplichtingen wegvallen of

versoepelen. In stedelijke omgevingen, waar de ruimte schaars is, kan het dak dus dienen als een functionele zone voor wateropvang zonder extra grondoppervlak in beslag te nemen.

Gebouwen met groene daken moeten sowieso voor deze delen geen aansluiting hebben op een regenwaterput. Bovendien tellen de oppervlaktes maar voor de helft mee in de nodige infiltratievoorziening wanneer er een minimale opvangcapaciteit is van 50 l/m² (= 5 cm water). Let op dat voor een berging van 5 cm de overloop aanzienlijk hoger dan 5 cm moet worden geplaatst. De manier waarop het water wordt gebufferd wordt niet bepaald en dit kan dus zowel via retentiekragen als bijvoorbeeld een substraat met kiezels. Bij betwisting in geval van controle is het aan de fabrikant of leverancier om dit volume aan te tonen met al dan niet een technische fiche. (Vlaanderen, 2023).

3.1.4 Dynamische waterdaken vangen 7 keer meer extreme neerslag op dan een groendak en 60% meer dan een statisch waterdak

Een vaak te horen kritiek voor retentie- en waterdaken is dat het extra bufferend vermogen bij regenval beperkt is als de buffer al vol was voor de regenbui. Een optionele vegetatielaag gebruikt een deel van dit water, maar er is nog een andere optie om het bufferend vermogen te maximaliseren.

Bij dynamische niveauregeling van de waterlaag reguleert een geautomatiseerde klep het waterniveau en kan het water afvoeren bij verwachte (zwarte) regenval, wat de bufferingscapaciteit op dat moment sterk vergroot.

Dynamische groen-blauwe daken kunnen zo 70-97% van extreme neerslag (>20 mm/uur) opvangen bij gebruik van voorspellingen van het European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), aanzienlijk meer dan conventionele groendaken (12%) of groen-blauwe daken zonder voorspellingen (59%).

Grootschalige toepassing hiervan kan een grote impact hebben. Een studie in Amsterdam laat zien dat dynamische groen-blauwe daken op 13,3% van geschikte daken in pluviale overstromingsgebieden 11% van de regenval kunnen opvangen bij een opvangratio van 84%. Dit onderstreept het potentieel van groen-blauwe daken voor waterbeheer in stedelijke gebieden (Busker, 2022).

3.1.5 Meer dan dubbel zoveel evapotranspiratie op warme dagen, goed tegen de hittestress

Een andere veel voorkomende kritiek op groene daken is dat er zonder irrigatie in de zomer veel droogtestress is. Groen-blauwe daken lossen dit op met een extra waterlaag onder de groene laag. Deze laag slaat regenwater op en voedt de groene laag via capillaire werking. Zoals beschreven hierboven komt dit de biodiversiteit sterk ten goede (van der Kolk, 2023). Vanuit het onderhoudsperspectief zal dat dit dus ook een voordeel zijn.

Bovendien verhogen deze waterlagen de evapotranspiratie (combinatie van transpiratie van de planten en verdamping) op warme dagen (70% versus 30% bij conventionele groendaken), wat helpt om hittestress in een stad verder te verminderen (Busker, 2022).

3.2 Aandachtspunten

Net zoals bij het aanleggen van groendaken zijn er specifieke aandachtspunten verbonden aan het toevoegen van een waterlaag op het dak.

3.2.1 Dakopbouw aanpassen aan het extra gewicht

Het is vanzelfsprekend dat water bergen op het dak een extra gewicht met zich meebrengt. Dit is vooral een belangrijk aspect bij oudere gebouwen. Bij nieuwbouwprojecten zorgt een open standaard waterlaag op het dak (zonder groendak) vrijwel nooit voor extra gewichtsbelasting. Normaal gezien is het mogelijk om standaard 50 l/m² (5 cm of 50 kg/m²) op te slaan (Leefmilieu Brussel, 2024). In België is de norm bij de bouw van een plat dak sinds 2005 60 kg/m² mogelijke belasting (Buildwise, 2005). Dit wordt best bouwtechnisch gecontroleerd.

In combinatie met groendaken of bij diepere waterlagen kan deze drempel wel worden overschreden. Bij een bestaand gebouw is het dus essentieel om de stabiliteit van het dak te controleren, rekening houdend met de extra belasting door water, grind en/of teelaarde.

Ook de drukbelasting op de isolatie vormt een aandachtspunt. Zo lijkt PIR isolatie met een samendrukbaarheidsklasse P3 niet opgewassen tegen een intensieve daktuin die 600 kg/m² kan wegen (Tectum Plus, sd).

Bij het onderzoeken van de mogelijkheden om een retentiedak toe te passen op bestaande bouw, wordt soms de tijdelijke sneeuwbelasting meegenomen in de berekeningen. Deze belasting mag echter worden beschouwd als onderdeel van de variatie in gewicht tussen een leeg en een vol waterdak, op voorwaarde dat er controle is over het afvoeren van water. Dit betekent dat de dakconstructie bij bestaande bouw niet altijd extra hoeft te worden versterkt, aangezien de capaciteit voor tijdelijke sneeuwbelasting benut kan worden (Dakenraad - Platform voor Dak en Gevel, 2024).

Stalen daken vereisen meestal versteviging, terwijl houten dakconstructies meer flexibiliteit bieden, maar hebben voor een intensief groen-blauw dak vaak ook versterking nodig. Betonnen daken hebben de hoogste draagkracht, maar moeten net als andere types altijd worden gecontroleerd op de maximale belasting. Bij nieuwbouw kan een retentiedak vooraf worden geïntegreerd, hoewel dit hogere constructiekosten met zich meebrengt (Dakenraad - Platform voor Dak en Gevel, 2024).

3.2.2 Een waterdak is een beperkte meerkost bij nieuwbouw

Bij nieuwbouw kost een waterdak zonder groen slechts iets meer dan een klassiek dak, maar de uitvoering moet uiteraard zeer zorgvuldig gebeuren. De extra belasting door het opgeslagen water vereist bij een basislaag water geen versterking van de structuur, omdat bij de dimensionering al rekening wordt gehouden met het vergelijkbare gewicht van sneeuw (Leefmilieu Brussel, 2024).

3.2.3 Waterdicht maken door verkleving

Het basisprincipe is een volledig verkleefd waterdicht systeem, waarbij alle lagen van de dakbedekking stevig met elkaar verbonden zijn. Dit voorkomt dat regenwater zich onder de dakbedekking kan verplaatsen. Mechanisch bevestigde dakconstructies of losliggende ballastsystemen brengen een aanzienlijk hoger risico met zich mee en zijn daarom niet geschikt voor intensieve systemen. Alleen bij bestaande daken wordt soms gekozen voor compartimentering als alternatief (Dakenraad - Platform voor Dak en Gevel, 2024).

3.2.4 Risico op algengroei bij open waterdaken

Algengroei komt vooral voor bij open waterdaken, zoals koelingsdaken. Bij retentiedaken (bijvoorbeeld onder een groendak) daarentegen is het water afgesloten van het buitenklimaat en blijft het in beweging, waardoor algen weinig tot geen kans krijgen om te groeien (Bouwwereld, 2018).

3.2.5 Dynamisch systeem heeft onderhoud van mechanische onderdelen en software

Retentiedaken met een dynamische afvoer bevatten bewegende onderdelen die na verloop van tijd kunnen slijten. Daarom is het belangrijk om deze onderdelen een paar keer per jaar te controleren.

Dynamische retentiedaken maken gebruik van software, wat storingsgevoelig kan zijn. Gelukkig voeren deze systemen meestal wekelijks zelftests uit, en eventuele problemen kunnen op afstand worden opgelost (Bouwwereld, 2018).

3.2.6 Extra aandacht voor bevriezing bij open waterdaken

Water dat bevriest zet uit en kan schade veroorzaken. Dit is voornamelijk een gevaar bij open waterdaken waar het water blootgesteld is aan de koude buitenlucht. Indien het water stilstaat zoals bij een open permanent waterdak, dan is de kans op bevriezing het hoogst. Dynamische regelsystemen moeten hierop voorzien zijn, of extra gecontroleerd worden. Ook dakinspectie kan nodig zijn bij vorst (Bouwwereld, 2018).

3.2.7 Moeilijker te combineren met technische installaties

Het toevoegen van een waterlaag op een dak met technische installaties zoals stookplaatsen, luchtkoeling, ventilatie, liftkokers of zonnepanelen maakt het project ingewikkelder, vooral bij bestaande gebouwen (Leefmilieu Brussel, 2024).

3.2.8 Aandacht voor materialen nodig om chemische vervuiling van het water te voorkomen

Een groendak kan organische vervuiling veroorzaken van het water, terwijl een water- of retentiedak het water chemisch kan vervuilen. Chemische stoffen vanuit de dakbedekking komen onvermijdelijk in het water terecht (uitloging) zoals gedetecteerd door Pieter-Jan De Buyck en collega-onderzoekers (De Buyck, 2021). Zij onderzochten zestien vaak gebruikte dakbedekkingen in het labo, waaronder EPDM, PVC, TPO, EVA, PU en bitumen.

De resultaten toonden aan dat metalen variëren van enkele $\mu\text{g/l}$ in de uitloging van synthetische materialen tot 2,5 mg/l zink in de uitloging van EPDM. Cadmium (Cd) en chroom (Cr) werden niet gedetecteerd. Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), zoals naftaleen (tot 4,5 $\mu\text{g/l}$), werden in de meeste uitlogingen aangetroffen. Ook veelgebruikte additieven zoals vlamvertragers en lichtstabilisatoren werden gedetecteerd.

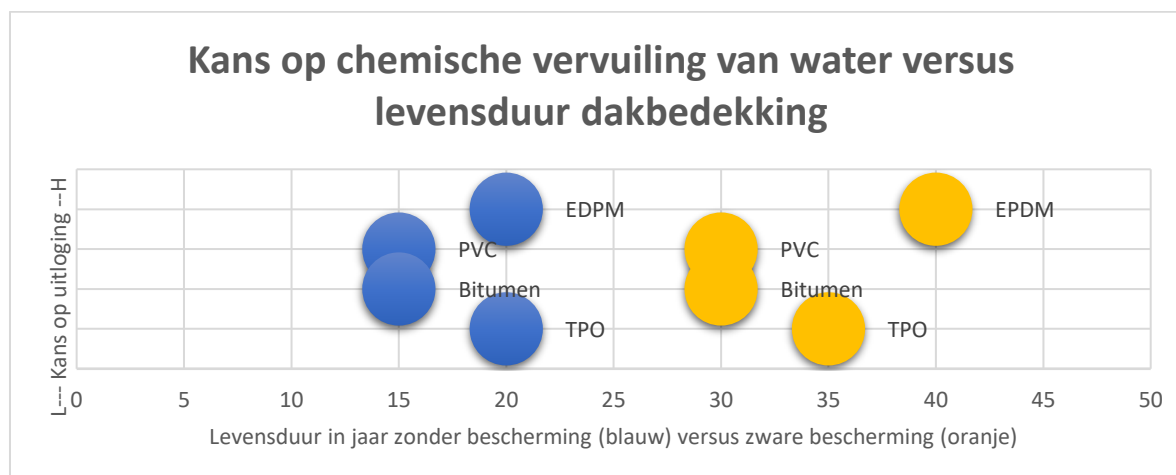
Voor groen(-blauwe) daken is meerlaagse bitumen het meest geschikt en veilig. Er is enkel kans op contaminatie bij vloeibare waterdichtingscoating op basis van PU. Op een dak met waterrecuperatie kies je het best voor een bitumineuze toplaag die afgewerkt is met leischilfers of granulaten. Gebruik je naakte APP-membranen, dan is er risico op bruin en zuur water. Bij de eenlaagse systemen is TPO het minst onderhevig aan uitloging van metalen. Dat wil zeggen dat de vaste stoffen in de dakbedekking niet oplossen in water. In PVC en EPDM zitten weekmakers en andere additieven die het water kunnen vervuilen, wat natuurlijk slecht is voor de planten op het groendak.

Hoewel dit laboratorium onderzoek geen inzicht geeft in de lange-termijn uitloging onder buitenomstandigheden, kwamen EPDM en PU naar voren als de materialen met de hoogste potentiële negatieve invloed op dakafvoer kwaliteit.

Een beknopte samenvatting is hieronder te vinden in tabel 2 (Soprema, sd). Onderstaande samenvattende tabel en vertaling naar de figuur tonen dat TPO en bitumen als dakbedekking gebruiken (figuur 15) niet enkel de minste kans op chemische verontreiniging heeft, maar dat TPO ook een gelijkaardige levensduur heeft als EPDM die het meeste kans heeft op verontreiniging.

	EPDM	PVC	Bitumen	TPO
Chemische vervuiling	Grootste kans op uitloging.	Weekmakers en additieven kunnen water vervuilen.	Goede waterkwaliteit (enkel risico waterdichtingscoating op basis van PU-hars).	Goede waterkwaliteit (minste kans op uitloging).
Levensduur (Marrana, 2017)	20 jaar voor membranen zonder bescherming, 40 jaar voor membranen met zware bescherming.	15 jaar voor membranen zonder bescherming, 30 jaar voor membranen met zware bescherming.	15 jaar voor de bovenste laag, 25 jaar voor membranen met zware bescherming, Indien twee lagen: 30 jaar voor de onderste laag bij zelfbeschermende membranen en membranen met lichte bescherming.	20 jaar voor membranen zonder bescherming, 35 jaar voor membranen met zware bescherming.

Tabel 2 Samenvatting uitloging chemische stoffen dakbedekking



Figuur 14 Kans op chemische vervuiling water versus levensduur dakbedekking

Deze conclusies zijn natuurlijk een belangrijke factor als je het water wil hergebruiken in een moestuin of in het gebouw. Besteed daarom de nodige aandacht aan de selectie van bouwmaterialen naast de prijs. Hiervoor zijn een aantal productrichtlijnen opgesteld die hieronder nog eens zijn samengevat (Informed, 2023).

1. **Gebruik thermoplastische polyolefine (TPO) membranen:** TPO-membranen bevatten de minste chemische risico's en zijn een veilige keuze voor dakbedekking.

2. **Vermijd polyvinylchloride (PVC):** Standaard PVC bevat grote hoeveelheden orthofothalaat-weekmakers die kunnen uitloggen. Nieuwere PVC-varianten (zoals KEE) zijn verbeterd, maar bevatten vaak nog PVC en vereisen gevaarlijke productieprocessen. Kies daarom liever voor TPO.
3. **Kies mechanisch bevestigde of geballaste systemen:** Vermijd volledig verkleefde systemen waar mogelijk, aangezien zowel oplosmiddel- als watergebaseerde lijmen risico's met zich meebrengen. Mechanische bevestiging of ballast voorkomt de noodzaak van lijmen.
4. Indien lijmen nodig zijn, **geef voorkeur aan watergebaseerde opties:** Watergebaseerde lijmen bevatten minder schadelijke stoffen dan oplosmiddelgebaseerde alternatieven. Controleer ook het gehalte aan vluchtige organische stoffen (VOC) en kankerverwekkende bestanddelen in lijmen.
5. **Vermijd halogeenvrije vlamvertragers:** Vraag expliciete informatie over de gebruikte vlamvertragers. Kies voor niet-gehalogeneerde opties, aangezien halogene vlamvertragers schadelijker zijn voor mens en milieu.
6. **Mijd siliconencoatings en PFAS-houdende coatings:** Siliconencoatings bevatten persistente, bioaccumulerende stoffen zoals cyclische siloxanen. Coatings met PFAS, zoals PVDF, kunnen schadelijk zijn voor ecosystemen en de menselijke gezondheid. Vraag altijd bevestiging dat coatings geen PFAS bevatten.
7. Bij asfalt-gebaseerde dakbedekking, **kies gemodificeerde bitumenmembranen:** Deze bevatten minder asfalt dan traditionele BUR-systemen, wat het risico op blootstelling aan kankerverwekkende stoffen verlaagt.
8. **Vermijd PMMA en gespoten polyurethaanschuim:** Deze materialen brengen aanzienlijke gezondheids- en milieugevaren met zich mee en worden daarom afgeraden.



Figuur 15 Spaans dak met mechanische bevestigde meerlaagse TPO bedekking op een stalen ondergrond sinds 1999. Nog steeds performant na meer dan 20 jaar. Bron: holcimelevate.com

3.2.9 Aandacht voor het dampscherm en compartimentalisatie van de isolatie nodig bij nulhelling

Op een traditioneel plat dak wordt er normaal gezien rekening gehouden met een hellingsgraad van 2% om het water te laten afstromen en niet te laten stagneren. Plasmvorming kan immers enkele nadelen hebben zoals extra gewicht, esthetische ongemakken of het aantasten van de oppervlaktelaag.

Bij een waterdak dat bedoeld is om water te bufferen (figuur 16) is een helling niet ideaal omdat dit het gewicht ongelijk verdeelt. Ook bij een retentiedak met groen is een nulhelling vaak gewenst, zodat overal evenveel water beschikbaar is voor het groendak erboven.

Indien een nulhelling wenselijk is, moeten enkele zaken in acht genomen worden. Het dak moet hier expliciet ontworpen zijn, met een extra laag om de dakafdichting te beschermen. Indien het gaat over een waterdak, al dan niet met groen, met een vertraagde afvoer (statisch), dan is dit minder van belang (Buildwise, 2019).

Een nulhelling heeft ook een aantal belangrijke bouwtechnische implicaties. Bij daken zonder helling zal het water ter plaatse blijven. Dit vertraagt de voorbereiding voor de dichtingswerken, aangezien de dakvloer langer moet drogen voor een goede hechting van het dampscherm. Door de mogelijke infiltratie van grote hoeveelheden water, moeten extra voorzorgen getroffen worden om lekken te voorkomen. Het dak moet worden gecompartmenteerd door de isolatie in zones van 100 tot 200 m² te verdelen via een verbinding tussen het dampscherm en de dakafdichting. Deze gecompartmenteerde zones moeten duidelijk op de as-builtonplannen staan en het dampscherm moet volledig aan de ondergrond gehecht worden (Buildwise, 2019).



Figuur 16 Open permanent waterdak. Walterboscomplex. Apeldoorn. Nederland. Bron: Neutelings-Riedijk Architects

4 Gele daken – Energieopwekking en rendement

Daken die worden gebruikt voor het opwekken van lokale en hernieuwbare energie, zoals windenergie, zonne-energie en thermische energie, krijgen een gele functiekleur. Deze daken voorzien de directe en/of indirecte omgeving van groene stroom, waardoor de vraag naar externe elektriciteitsproductie afneemt. Hierdoor worden gebouwen (deels) zelfvoorzienend, wat verschillende voordelen biedt:

- **Lagere energierekening:** De energie die op het dak wordt opgewekt, kan direct in het gebouw worden gebruikt waardoor minder energie van het net nodig is.
- **Hogere waarde van het gebouw:** Het opwekken van lokale hernieuwbare energie verbetert het duurzaamheidslabel van het gebouw, waardoor de waarde van het gebouw stijgt.
- **Betere luchtkwaliteit:** Fossiele brandstoffen verbranden om warmte op te wekken geeft bijna altijd luchtvervuiling. Dit vermijden of verminderen resulteert in een betere luchtkwaliteit rondom het gebouw.

Er zijn verschillende oplossingen voor het opwekken van energie op daken, zoals zonnepanelen, zonneboilers (zonnecollectoren) en kleine windturbines. Gecombineerde systemen die zowel zonne- als windenergie opwekken zijn ook beschikbaar en kunnen naast (en boven) bestaande HVAC-systemen worden geïnstalleerd. In stedelijke gebieden worden voornamelijk zonnepanelen geplaatst, terwijl in het buitengebied daken ook geschikt kunnen zijn voor kleinschalige windturbines, hoewel de energetische opbrengst voor deze laatste beperkt is.

Zonnecollectoren gebruiken zonne-energie om water op te warmen voor gebruik in de keukens, badkamer en soms voor de verwarming van het huis. De warmte wordt opgeslagen in een boiler. Dit systeem verschilt van zonnepanelen, die elektriciteit opwekken. Bij beperkte dakruimte is het doorgaans verstandig eerst zonnepanelen te installeren voor stroomopwekking. Als er daarna nog ruimte over is, zijn zonnecollectoren een goede manier om gas te besparen. Verschillende oplossingen samen op één dak zijn dus perfect mogelijk. Bovendien bestaan er ook panelen die beide doen.

4.1 Resultaten

4.1.1 Een groendak kan de stroomproductie van PV-panelen in de zomer met kleine 5% verhogen

Op een warme zonnige zomerdag kan een dak, vooral een plat dak, temperaturen van wel 70°C bereiken (Voelz, 2006). Echter, boven 28°C omgevingstemperatuur en 25°C paneeltemperatuur begint een zonnepaneel in efficiëntie te verliezen (Ubertini, 2003). Het Massachusetts Institute of Technology (MIT) berekende zo ook dat de globale opwarming van de aarde een mediaan verlies van rendement zal hebben van 15 kWh/kWp voor zonnepanelen. Sommige regio's zelf tot 50 kWh/kWp (Peters, 2019). Toegepast op een stad als Roeselare met 78 MWp geïnstalleerd vermogen midden 2024 (goed voor 78 GWh elektriciteit per jaar) geeft deze opwarming tussen 2000 en 2100 een reductie van jaarlijkse zonnestroom van 1,2 GWh of 1,5%.

Zo kan een paneel dat getest werd op 25°C met een temperatuur coëfficiënt van 0.40% en op een dak ligt met 28°C omgevingstemperatuur in een PV-rek, al 13.2% minder energie opwekken dan wanneer het koeler zou zijn (Solar Calculator, sd).

Een zonnepaneel koelen kan dus interessant zijn om de productie van zonnestroom in warme zomers op peil te houden. Er zijn verschillende manieren om dit te doen.

Eén manier is bijvoorbeeld om er water op te sproeien, en dus te koelen. Een experiment toonde dat hierbij al 15% efficiëntiewinst werd geboekt (Meral, 2011). Deze aanpak is echter niet praktisch noch de beste besteding van schaars water in de zomer. Als dat gebeurt met leidingwater dat doorgaans 8°C à 10°C heeft, kan de grote temperatuurschok op het paneel bovendien barsten in het glas veroorzaken.

Een andere én betere manier is een combinatie van zonnepanelen met een groen(-blauw) dak (figuur 17). De oppervlaktetemperaturen van het groene dak en de bodemtemperaturen worden verlaagd door de schaduw van de panelen, en een hoger efficiëntie van het zonnepaneel wordt bereikt door de koeling eronder. Een duidelijke win-win. Hierdoor produceert het paneel tot 4,3% meer stroom (Hui S. , 2011). In Amsterdam deden ze een full-scale test op twee identieke appartementsgebouwen met op elk gebouw 23,78 kWp zonnepanelen, geplaatst op 32 cm boven het (groen) dakoppervlak. Het ene gebouw had een groen-blauw sedum dak met 6 cm substraat en minimum 50 mm water retentie in kratten, beschikbaar voor de planten. Het andere gebouw had een gewoon bitumen dak. Ze kwamen tot vergelijkbare resultaten met 4.4% efficiëntie winst voor het groen-blauwe dak ten opzichte van een bitumen dak (van der Roest, 2023).

Zonnepanelen met daaronder een groen dak zorgen voor 3,36% lagere omgevingstemperatuur en 17% lagere paneeltemperatuur in vergelijking met zonnepanelen zonder groen dak. Daarenboven speelt de afstand tussen het groendak en de PV-panelen een belangrijke rol. Studies tonen dat indien de afstand tussen groen en paneel 70 cm bedraagt, er 11% meer winst te halen is in elektriciteitsproductie dan als de afstand tussen groen en paneel slechts 10 cm is, dit vooral door de extra luchtbeweging die mogelijk is (Arenandan, 2022). Eerder in deze studie werd ook aangetoond dat een afstand van minimaal één meter tussen het groen en het paneel de plantendiversiteit sterk verhoogt omdat er dan voldoende licht en water aan de planten komt.

Het combineren van planten met zonnepanelen verhoogt niet alleen de efficiëntie van de panelen door de temperatuur te stabiliseren, maar planten lijken ook meer stabiel licht te reflecteren dan een wit dak, dat vaak vervuild raakt. Hierdoor komt er meer zonlicht (indirect) op de zonnepanelen, wat de stroomproductie bevordert (Schindler, 2016).



Figuur 17 Groendak met zonnepanelen. Bron: American Organic Energy

4.1.2 Een permanent open waterdak met drijvende zonnepanelen verhoogt waarschijnlijk de efficiëntie tot 11% en gaat algengroei tegen

Op een permanent open waterdak zouden ook drijvende PV (FPV) panelen kunnen geplaatst worden. De assumptie is hier dat de specifieke voordelen van FPV ook gelden voor PV op een waterdak. Waarschijnlijk zal dit in realiteit afhangen van de hoeveelheid water beschikbaar op het dak. Op moment van schrijven is er weinig specifiek onderzoek naar de voordelen en randvoorwaarden voor zonnepanelen op een waterdak. Daarom wordt algemeen onderzoek van de voordelen van FPV gebruikt om de hypothese te ondersteunen.

Drijvende zonnepaneelsystemen (FPV) werken doorgaans met lagere temperaturen dankzij het verdampende koeleffect van het water, wat de efficiëntie van de panelen verhoogt. Aluminium frames versterken dit effect door de koelere temperatuur van het water over te brengen, waardoor de panelen nog verder afkoelen. Sommige studies geven aan dat FPV's gemiddeld zo'n 11% efficiënter zijn dan grondgebonden installaties. De mate van koeling hangt af van het ontwerp, de drijvende constructie en omgevingsfactoren, maar in het algemeen hebben FPV-systemen een lagere temperatuur dan conventionele zonneparken (Pouran, 2022). Bovendien zorgt het afdekken van het water met panelen voor minder verdamping waardoor het langer een verkoelend effect zal hebben op de zonnepanelen en het gebouw (Luyao, 2017). Een case studie in Chili toonde ook dat wanneer PV panelen het wateroppervlak van een meer met ten minste 40% bedekte er significant minder algengroei werd vastgesteld (Haas, 2020).

4.1.3 Verticale dubbelzijdige zonnepanelen in oost-west opstelling maken groendak onderhoud makkelijker. Plantenkeuze beïnvloedt mee de opbrengst

Het integreren van zonnepanelen op een groendak brengt een uitdaging met zich mee: het onderhoud van het groen wordt complexer. Bovenstaande studies toonden ook dat de zonnepanelen best op 70 cm tot 100 cm boven het groendak geplaatst worden in functie van extra stroomproductie en biodiversiteit. Deze panelen moeten bovendien altijd verzwaard worden om ze windveilig te maken. Al deze zaken samen zorgen ervoor dat de combinatie niet altijd wenselijk of mogelijk is op een nieuw of bestaand groendak.

In Noorwegen ontwikkelde de firma Over Easy Solar in 2022 lichtgewicht bifaciale verticale zonnepanelen die deze problemen oplossen. Dat zijn zonnepanelen met twee kanten die rechtstaan in plaats van liggen. Deze oplossing is reeds uitgerold in België met eerste projecten in onder andere Dilbeek (figuur 18).



Figuur 18 Over Easy Solar panelen met sedumdak. Bron: Solar Batteries

Bifaciale verticale zonnepanelen kunnen aan beide zijden licht opvangen en optimaal gebruik maken van een oost-west oriëntatie. Bovendien vragen ze geen mechanische verankering noch ballast wat bijdraagt aan een installatiegewicht van slechts 11 kg/m² (Over Easy Solar, sd).

Dergelijke systemen bieden voordelen ten opzichte van conventionele zonnepanelen zoals eenvoudiger onderhoud, lagere installatiekosten, minder ballast, minder impact van vuil en sneeuw (figuur 19) en minder reflectie, wat ze ideaal maakt voor stedelijke gebieden (Weijer, 2024).



Figuur 19 Verticale zonnepanelen bij sneeuwval - Oostenrijk. Bron: Over Easy Solar

Uit een Zwitsers onderzoek blijkt bovendien dat de opbrengst van een oost-west opstelling met bifaciale zonnepanelen ook beïnvloed wordt door de type beplanting en substraat. In de opstelling met zilverbladerige planten en lichtere gravel ten opzichte van een opstelling met groenbladerige planten en normaal substraat werd de elektriciteitsopbrengst met 17% verhoogd. Hierdoor leverde de opstelling bijna dezelfde prestaties als een zuidwaarts gericht monofaciaal referentiepaneel (Baumann, 2018).

4.1.4 Tot 38% minder koellast voor het gebouw door schaduwvorming van PV-panelen

Groene en blauwe daken brengen verkoeling in het gebouw en stabiliseren de temperaturen. Onderzoek toonde aan dat schaduw van zonnepanelen de plafondtemperatuur van een gebouw tot 2,5°C verlaagt vergeleken met onbehandelde daken. Door de schaduwvorming dringt er overdag minder warmte het gebouw binnen. Deze eigenschappen verminderen de jaarlijkse koellast met 5,9 kWh per vierkante meter (38%) zonder de verwarmingsbehoefte te beïnvloeden.

's Nachts fungeren de panelen ook als isolatie, waardoor de plafonds warmer blijven. Alles samen leidt dit tot energiebesparingen, minder thermische spanningen op het dak en meer comfort voor de bewoners, vooral in oudere gebouwen (Dominguez, 2011).

4.1.5 Combinatie mogelijk tussen het opwekken van elektriciteit, opwarmen van water en koeling van het gebouw met PV/T panelen

Zonnepanelen maken elektriciteit uit zonnestralen en worden zoals bovenstaand beschreven minder efficiënt naargelang ze meer opwarmen. Waarom deze warmte niet gebruiken en de efficiëntie van de zonnepanelen waarborgen?

PV/T-systemen combineren zonnepanelen en thermische collectoren, waardoor ze efficiënter zijn in elektriciteit- en warmteproductie. Het water koelt de zonnepanelen

waardoor de efficiëntie van elektriciteitsopwekking verhoogt en de warmte wordt gebruikt voor sanitair warm water of gebouwverwarming (figuur 20).

PV/T-systemen worden nog niet op grote schaal toegepast vanwege enkele belangrijke uitdagingen. De esthetiek van de systemen maakt integratie in gebouwen vaak onaantrekkelijk, wat de acceptatie beperkt. Daarnaast is er een gebrek aan transparantie over de kosten, waardoor een goede kosten-batenanalyse lastig is. Het ontwerp en de efficiëntie vereisen verdere optimalisatie, vooral voor gebouwgeïntegreerde toepassingen. Tot slot zijn sommige systemen technisch complex en duurder dan conventionele zonne-energiesystemen. Om de adoptie te vergroten, zijn technische en economische innovaties essentieel (Noxpanco, 2020). Toch verdienen deze hogere investeringen zich terug tussen de 7,5 en 10 jaar (Abdin, 2021).

PV/T-systemen bieden aanzienlijke voordelen die bijdragen aan hun potentieel als duurzame energieoplossing. Ze combineren elektrische en thermische energieopwekking in één systeem, met gecombineerde efficiëntie die kunnen oplopen tot meer dan 90%. Door warmte af te voeren wordt de elektrische efficiëntie met 10-20% verhoogd, terwijl de thermische efficiëntie tot 84% kan bedragen. Deze systemen besparen tot 50% aan ruimte door de integratie van functies en kunnen warm water produceren tot 90°C, geschikt voor verschillende toepassingen. Bovendien benutten PV/T-systemen thermische energie die anders verloren gaat, wat de totale energieopbrengst maximaliseert. Recente innovaties richten zich op technologieën zoals nanovloeistoffen, faseveranderingsmaterialen (PCM) en warmtepompen om de prestaties verder te verbeteren (Noxpanco, 2020).

Water- en luchtgebaseerde systemen blijven populair vanwege hun eenvoudige integratie en hoge efficiëntie, terwijl geconcentreerde PV/T-systemen vooral geschikt zijn voor industriële toepassingen (Noxpanco, 2020).



Figuur 20 Inblik in een 420W PV/T-paneel Volthera EVO 2023. Bron: Solar Magazine

Deze systemen zijn natuurlijk ook afhankelijk van het weer. Dit kan zorgen voor extra energiebehoefte in de winter en mogelijke overschotten in de zomer. Voor dit verschil kan opslag een antwoord bieden.

4.1.6 (Semi-)transparante zonnepanelen maken atypische toepassingen zoals panelen op serres mogelijk

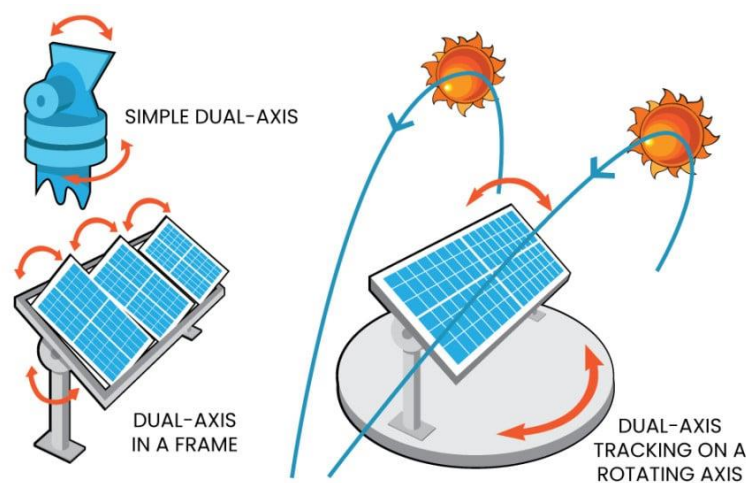
Traditionele zonnepanelen worden meestal op daken geïnstalleerd waar geen licht hoeft doorheen te komen. Semi-transparante zonnepanelen bieden de mogelijkheid om ook zonne-energie op andere plekken op te wekken. Deze doorzichtige panelen zijn ideaal voor toepassingen zoals serres, overkappingen, carports en andere glazen constructies.

Transparante zonnepanelen kunnen zelfs glas vervangen in bepaalde situaties. Dankzij hun lichtere materiaalgebruik zijn ze vaak eenvoudiger te plaatsen dan traditionele zonnepanelen. Een simulatie met de groei van tomaten toont aan dat het gebruik van een organisch type zonnepaneel met 9.4% paneelopbrengst en 24.6% gemiddelde lichtdoorlaat in plaats van standaardpanelen de tomaten opbrengst in gewicht met 46% verhoogde (Dipta, 2022). De planten worden beschermd, groeien goed en de teler kan de zonnestroom gebruiken.

4.1.7 Zonnepanelen met een tracker kunnen 37% meer opbrengen op lange termijn

Een zonnepaneel brengt het best op wanneer de lichtstralen loodrecht (90°) binnenkomen. Echter, doorheen de dag, en de seizoenen, varieert de positie van de zon en is de hoek van deze lichtstralen en bijhorende opbrengst veranderend. In een ideale situatie zou je de zonnepanelen dus continue moeten richten naar de zon. Dit kan je ofwel manueel of motorisch doen, en op één as, of op twee assen.

Onderzoek uit Brazilië toont aan dat een zonvolgsysteem in twee richtingen (horizontaal en verticaal, figuur 21) de energieopbrengst van zonnepanelen aanzienlijk verhoogt, met gemiddelde maandelijkse winst tussen 17,2% en 31,1% ten opzichte van een vast paneel. Op sommige dagen kan het zelf kortstondig oplopen tot een extra 30 % tot 45% toont ander onderzoek uit Jordanië (Abu-Khader, 2008). De grootste voordelen werden behaald op zonnige dagen en tijdens de zomermaanden, terwijl de winst lager was bij bewolkt of regenachtig weer. Rond de middag was het verschil minimaal, maar in de ochtend en namiddag leverde de tracker duidelijk meer energie op. Overheen 152 dagen was de gemiddelde winst ten opzichte van een vast paneel 23,74%. Doordat het energieverbruik van de motoren (<1 W per dag) laag bleef in het onderzoek kon het systeem efficiënt en rendabel zijn.



Figuur 21 Dubbele as trackers voor zonnepanelen. Bron: Sinovoltaics.com

Bovendien toont dit onderzoek ook aan dat als de investeringskost voor een systeem in twee richtingen te hoog is, je best werkt met een horizontaal volgsysteem en niet met een verticaal systeem. Een horizontaal volgsysteem rond een verticale as met een optimale vaste helling benadert het bovenstaand extra effect door dubbele tracking het meest (Jacobson, 2018). Slimme alternatieve oplossingen in Azië (figuur 22) met één as en met drie automatische vaste posities doorheen de dag brachten een gelijkaardig resultaat met 25% tot 37% extra opbrengst op lange termijn, maar met gelijkaardige installatiekosten als een vast systeem op het dak (Huang, 2013).



Figuur 22 Testen met éénassig systeem en 3 automatische vaste posities. Bron: Huang, 2013

4.1.8 Twee maal per jaar manueel de hellingsgraad van zonnepanelen aanpassen is optimaal i.f.v. werklast en geeft 3% extra opbrengst

Een automatisch volgsysteem vraagt natuurlijk een grotere investering, vraagt onderhoud en is complexer. In plaats van duurdere zonnetrackers te gebruiken waarmee zonnepanelen automatisch de zon volgen, toont ander onderzoek overheen Europa dat er ook een manuele ingreep mogelijk is om extra opbrengst van zowel zonnepanelen als zonneboilers te bekomen. Ze onderzochten verschillende, goedkopere methoden voor handmatige hoekaanpassing op maandelijkse, halfjaarlijkse en seizoensgebonden aanpassing.

Een vaste jaarlijkse hellingshoek is een eenvoudige oplossing, maar leidt niet tot de maximale energieopbrengst. Door de hoek op maandelijkse, halfjaarlijkse of seizoensgebonden basis te optimaliseren, kan de hoeveelheid invallende zonnestraling aanzienlijk worden verhoogd.

De methode die het meest opbrengt is een maandelijkse aanpassing van de hellingshoek, wat tot 7% meer zonne-energie kan opleveren in Europa, afhankelijk van de breedtegraad. Dit vereist echter regelmatige handmatige aanpassingen, wat in de praktijk niet altijd haalbaar is. Een goed alternatief is een halfjaarlijkse aanpassing, waarbij de hoek twee keer per jaar wordt gewijzigd op basis van de warmere en koudere seizoenen (20 maart tot 22 september en 23 september tot 19 maart). Deze methode levert bijna evenveel extra energie op als de seizoensgebonden aanpassing (vier keer per jaar), maar met minder moeite. Hoe hoger of lager de latitude, hoe minder effect, net zoals bij tracking.

Uit de studie blijkt dat op 50° latitude, de positie van België, een maandelijkse aanpassing 5% winst oplevert, een seizoensgebonden aanpassing 3,5% winst en een halfjaarlijkse aanpassing 3%. In België is een werkbare aanpassing dus ook een halfjaarlijkse manuele aanpassing die bijna evenveel opbrengst als per seizoen een aanpassing doen.

Bij het bepalen van de optimale hellingshoek kunnen eenvoudige empirische modellen, zoals die van C. Martin en El-Kassaby, gebruikt worden. Deze modellen bieden nauwkeurige resultaten zonder de complexiteit van geavanceerde zonnestraling-simulaties (Machidon, 2023).

4.1.9 De optimale hellingsgraad voor zonnepanelen in functie van wind, stof en temperatuur ligt tussen de 25° en 30°

De hoek waaronder zonnepanelen worden geplaatst, is cruciaal voor zowel hun rendement als hun levensduur. Een goede hellingshoek zorgt ervoor dat de panelen zoveel mogelijk zonlicht opvangen, maar het draait om meer dan alleen energieopbrengst. Andere factoren zoals windbelasting, stofophoping, temperatuur en schaduw spelen een even grote rol.

Een hogere hellingsgraad heeft een aantal voor- en nadelen. Hoe meer helling, hoe minder stof er blijft liggen en hoe meer koelend effect van de wind. Echter, wanneer het paneel meer dan 25° helling heeft, verminderen deze extra voordelen. Bovendien zijn de kosten voor de dragende structuur lager als de helling groter wordt.

Belangrijk is ook dat wanneer de hellingsgraad verhoogt, de panelen meer wind vangen en de levensduur van de panelen verlaagt. Boven de 30° worden deze extra effecten echter marginaal. Bovendien warmt het paneel meer op wanneer het meer zon krijgt, wat de levensduur ook kan beïnvloeden. Als laatste zorgt een grotere hellingsgraad ook voor extra schaduwvorming en reduceert dus hoeveel oppervlakte van het dak je kan benutten voor het opwekken van zonnestroom (Vokony, 2018).

4.1.10 De optimale vaste hellingsgraad voor zonnepanelen in functie van zonnestroom ligt in Roeselare op 43° zuidelijk gericht

Voor maximale zonnestroom varieert een vaste hellingshoek mee met de latitude van de locatie. Zo is in Zuid-Slovakije bijvoorbeeld 34,5° (Bozikova, 2021) optimaal, voor Saint-Hubert in België 35°, voor Stockholm in Zweden 41° en Athene, Griekenland, 29° (Jacobson, 2018).

Een gedetailleerder model die ook weerpatronen in rekening neemt toont dat afhankelijk van het seizoen deze optimale helling nog sterk kan variëren. In Roeselare is dit bijvoorbeeld voor de zomer 35°, lente 43°, herfst 54° en winter 64° wanneer zuidelijk gericht. Doorheen het jaar bekomt dit model een optimale vaste helling voor Roeselare van 43° (Robinson, 2024).

Ook blijkt dat een optimale hellingshoek meer bepalend is voor de uiteindelijke opbrengst dan de exact beste oriëntatie als er een keuze moet gemaakt worden (Barbón, 2022).

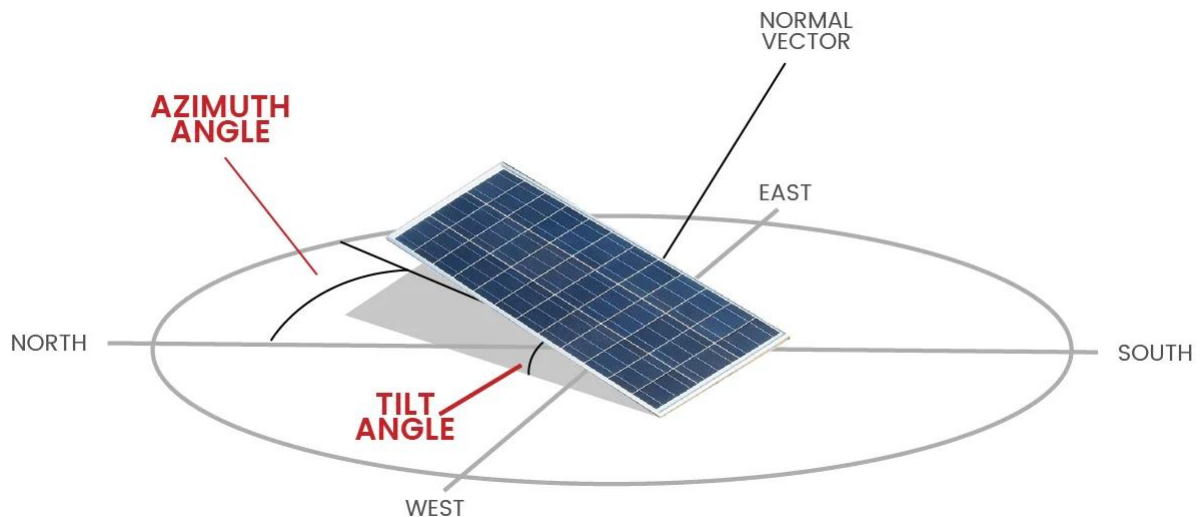
4.1.11 Zuidelijke oriëntatie van zonnepanelen genereert het meeste stroom, Oost-West opstelling zorgt voor hoger zelfverbruik en minder nood aan opslag en Zuidoost-Zuidwest opstellingen geven het meeste onafhankelijkheid

Naast de hellingsgraad (tilt) is ook de orientatie (Azimuth) belangrijk (figuur 23). Zonnepanelen die naar het oosten en westen zijn gericht, worden steeds interessanter als alternatief voor de traditionele zuidelijke oriëntatie (of noordelijke op het zuidelijk halfrond). Uit onderzoek blijkt zelfs dat deze oriëntaties financieel voordeliger kunnen zijn, zelfs als er een injectievergoeding geldt. Dit komt doordat de kosten van zelfverbruikte zonne-energie steeds verder dalen, terwijl stroom van het net juist duurder blijft.

Gedurende drie jaar hebben ze in Hannover, Duitsland, per minuut de zoninstraling gemeten op verschillende hellingshoeken en oriëntaties. Wat blijkt? Zuidgerichte panelen

wekken daar overdag de meeste stroom op. Maar als je kijkt naar efficiënt energiegebruik, dan doen oost-west combinaties het beter: die zorgen voor een hoger zelfverbruik. Wil je juist zo onafhankelijk mogelijk zijn van het net? Dan zijn zuidoost-zuidwest combinaties de beste keuze, al leveren ze jaarlijks 5–6% minder stroom op.

Het mooie is dat oost- en westgerichte systemen niet alleen voordelig zijn voor de eigenaar. Ze helpen ook om pieken in de stroomproductie rond het middaguur te verminderen, waardoor het elektriciteitsnet minder wordt belast. Daarnaast besparen ze op de hoge kosten van energieopslag, ongeacht wie die opslag beheert (Mubarak, 2019).



Figuur 23 Tilt versus Azimuth. Bron: Kuga.com.au

4.2 Aandachtspunten

Ook voor energiedaken zijn er een aantal aandachtspunten.

4.2.1 Extra gewicht op het dak

Net zoals bij een groen en blauw dak komt er met zonnepanelen, een zonneboiler of een windmolen extra belasting op het dak en moet het daarop voorzien zijn. Om bestand te zijn tegen windstoten is voor zonnepanelen ook nog vaak ballast nodig. Bij een combinatie van zonnepanelen met groen kan het gewicht van het groen reeds voldoende zijn als ballast.

Vooraf oudere daken zijn vaak niet voorzien op het plaatsen van (veel) zonnepanelen. Er bestaan lichtgewicht zonnepanelen van 5,5 kg/m² tot zonnepanelen van 25 kg/m², tel hierbij nog de ballast op van 20 à 50 kg/m² om tot het totaalgewicht te komen (Nationaal Dakenplan).

Het gewicht van zonneboilers wordt bepaald door de technische installatie evenals het volume water dat erin opgewarmd wordt. Laat dus altijd eerst een grondige studie uitvoeren en pas indien nodig de dakstructuur aan of ga op zoek naar lichtere oplossingen.

4.2.2 Veiligheidsaspect kan sociale functies bemoeilijken

Bij installaties die gebouwen van energie voorzien, moet rekening gehouden worden met een aantal veiligheidsvoorschriften inzake spanning, statische elektriciteit etc. Net zoals dit bij andere vergelijkbare elektrische installaties (motoren, generatoren...) het geval is, wordt de voorkeur gegeven aan het vermijden van probleemsituaties.

Enkel personeel met de juiste opleiding mag in dergelijke gevallen in de buurt van de elektrische installatie komen. Dit maakt een combinatie met sociale of andere functies, waarbij toegang tot het dak nodig is, echter minder praktisch.

4.2.3 Maximaliseer het lokaal gebruik van de elektriciteit

Om het eigen voordeel te maximaliseren is het belangrijk dat de energie zoveel mogelijk wordt opgewekt op het moment dat deze nodig is, of verbruikt wanneer deze wordt opgewekt. Hiervoor wordt zowel het gebruiksprofiel van de afnemer als de voorspelde energieopwekking in kaart gebracht, zodat deze zo goed mogelijk op elkaar kunnen worden afgestemd.

Wanneer dit niet of slechts beperkt mogelijk is en de profielen bijgevolg te sterk van elkaar afwijken, kan de implementatie van de onderzochte energieopwekking minder interessant blijken dan aanvankelijk werd verwacht. Energieopslag kan hier een antwoord bieden.

4.2.4 Kies de afstand tussen groen en zonnepaneel zorgvuldig

Zoals bovenstaand beschreven speelt de afstand tussen het groendak en horizontale zonnepanelen een belangrijke rol. Dit zowel voor onderhoud, maximale koeling en het stimuleren van de biodiversiteit.

Het plaatsen van het paneel op 70 cm boven de groenlaag levert 11% meer elektriciteitsopbrengst op dan wanneer het op 10 cm hoogte wordt geplaatst. Een afstand van 70 cm tot 100 cm wordt aanbevolen (Arenandan, 2022). Verticale panelen kunnen dan weer het onderhoud van het groendak sterk vergemakkelijken. Bij deze laatste wordt de keuze van type groen belangrijker.

4.2.5 Verwijder regelmatig stof op zonnepanelen om 5% verlies te vermijden

Naast de temperatuur beïnvloeden vuil en stof eveneens de efficiëntie van een zonnepaneel. De mate waarin dit gebeurt verschilt per paneel maar je kan rekening houden met een efficiëntieverlies van 5% door vuil en stof. Als je de panelen regelmatig schoonmaakt, zullen ze dus beter presteren (Solar Calculator, sd).

4.2.6 Verticale windmolens hebben de voorkeur maar opgepast voor trillingen

De rendabiliteit van kleinere windmolens op een dak staat ter discussie. Berekeningen tonen dat de terugverdientijd op moment van schrijven vaak oploopt tot 20 jaar, wat ook vaak de levensduur is van de windmolen (Wind-Energie.be, sd). Omwille van ecologische redenen kan je deze natuurlijk wel plaatsen. Vaak hebben steden als Roeselare een beleidskader voor kleine, middelgrote en grote windturbines. Ga dus altijd eerst ten rade bij de vergunningverlenende overheid.

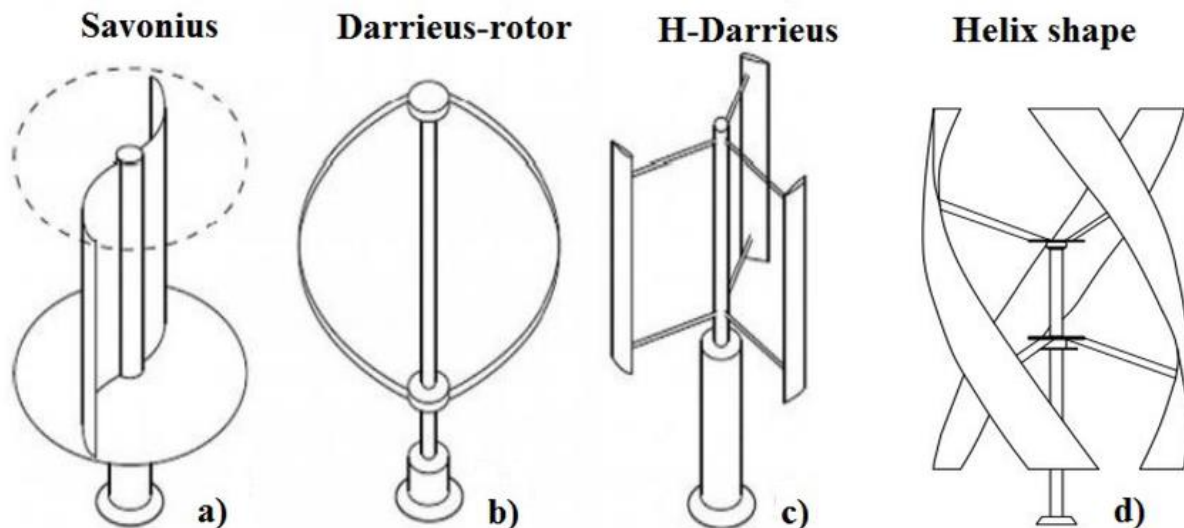
Als er toch wordt beslist te investeren in een kleine windturbine op het dak zijn er aandachtspunten. Hieronder een samenvatting.

Een windmolen kan horizontaal zijn of verticaal. Grote windmolens zijn vaak horizontaal, maar voor kleine toepassingen en lokaal gebruik van de elektriciteit hebben verticale windturbines de voorkeur. Ze zijn minder gevoelig voor turbulente stroming en er is geen noodzaak om de turbine in lijn met de windrichting te plaatsen, zoals het geval is bij horizontale turbines. Bovendien hebben deze verticale molens een kleinere akoestische impact vergeleken met horizontale molens (Castellani, 2019).

Er zijn twee grote groepen verticale windmolens: Savonius en Darrieus systemen (figuur 24). De Savonius modellen (a) zijn simpel, goedkoop, hebben hoog koppel maar zijn minder efficiënt. Daarnaast hebben de Darrieus modellen (b-d) een hogere efficiëntie maar lager startkoppel. Soms worden ook hybrides ontwikkeld die proberen het beste van beide modellen te combineren.

Bij windmolens op het dak zijn trillingen doorheen het gebouw een belangrijk aandachtspunt. Deze kunnen immers significant worden. Wanneer aandacht wordt geschonken aan het design kan dit (deels) opgelost worden. Onderzoek met een Darrieus Helix-rotor (d), een ontkoppelaar en een houten dakconstructie toont dat de trillingen in dat geval met 90% in sterkte afnemen op de meeste frequenties. Het hout zelf dempt, evenals de ontkoppelaar.

Aangezien de ontkoppelaar van de studie enkel in staat was de trillingen die parallel zijn aan de x- of y-as efficiënt te dempen, kan een uitgebreidere ontkoppelaar geïmplementeerd worden om ook torsie- en buigbewegingen mogelijk te maken. Op deze manier zou het dempende effect in meer richtingen vergroot worden (Castellani, 2019).



Figuur 24 Verschillende soorten verticale windmolens. Bron: Castellani, 2019

4.2.7 Stem de richting van zonnepanelen en -boilers zorgvuldig af op het gebruikersprofiel

Door zonnepanelen op woningen iets naar het zuidwesten te draaien produceren ze meer elektriciteit op de momenten dat deze het meest nodig is: in de avonduren, wanneer mensen thuis zijn en meer elektrische apparaten gebruiken. De lichte daling in de totale energieproductie wordt gecompenseerd doordat de opgewekte elektriciteit precies op het juiste moment beschikbaar is.

Wanneer zonnecollectoren specifiek worden gebruikt voor verwarming en verlichting—vooral in de vorm van beglazing, zoals ramen—is het juist gunstiger om ze iets naar het oosten te richten. Voor een aangenaam warm huis en warm water gedurende de dag is met name de ochtendzon van belang (Energy Education, 2015).

4.2.8 Denk aan alternatieve financiering

Veel investeringen in energieopwekking verdienen zichzelf terug. Toch kan de initiële kost te hoog zijn om zelf te dragen. Denk daarom aan alternatieven. Er zijn heel wat partijen op de markt die maar al te graag jouw (groot) dak benutten om energie op te wekken. Er zijn verschillende modellen mogelijk van voorfinancieren tot huren. Een vaak gebruikte werkwijze is dat je het dak ter beschikking stelt waarbij een derde partij de investering maakt. Daarna levert ze stroom (deels) aan jou aan een vast tarief. Dit tarief is normaal gezien een heel stuk lager dan de commerciële netprijzen. Hierdoor doe je voordeel zonder de investering te moeten dragen. Na een vastgelegde periode worden de zonnepanelen dan vaak ook jouw eigendom. Informeer je goed bij verschillende partijen.

5 Rode daken – Creativiteit en beleving op hoogte

In veel steden is open ruimte schaars waardoor het voorzien van functies bemoeilijkt wordt. Een on- of onderbenut dak komt vaak niet als eerste oplossing naar boven. Er kunnen nochtans veel sociale, ecologische en economische activiteiten plaatsvinden op een dak.

Rode daken kunnen worden ingericht met voorzieningen zoals speelplaatsen, sportaccommodaties, bars en restaurants, waardoor ze bruisende ontmoetingsplekken worden die de sociale cohesie versterken. Ze bieden dus een oplossing voor ruimtegebrek in steden door publieke ruimtes naar boven uit te breiden. Hierdoor wordt er ook extra verharde oppervlakte vermeden, wat dan weer goed is voor de waterhuishouding.

Economisch gezien openen rode daken de deur naar nieuwe zakelijke kansen. Bedrijven kunnen voorzieningen zoals cafés en sportfaciliteiten op hun dak plaatsen, wat de aantrekkingskracht en waarde van de locatie vergroot. Voor zowel particulieren als bedrijven kan een rood dak dus een unieke ruimte worden die bezoekers en bewoners aantrekt en extra waarde biedt.

5.1 Resultaten

Rode daken kunnen heel breed ingezet worden met tal van mogelijke functies: een toegankelijke daktuin of toegankelijk gemaakt waterdak, recreatie, horeca, landbouw...

Al deze mogelijke functies behandelen zou te ver gaan. Hieronder wordt ingegaan op de mogelijkheden van stadslandbouw en de effecten van het toegankelijk maken van een blauw en/of groen dak. De eerder beschreven voordelen en aandachtspunten van groene, blauwe en gele daken blijven natuurlijk ook geldig indien er een rode kleur aan toegevoegd wordt.

5.1.1 Stadslandbouw heeft een afzetmarkt via gerichte marketing

Een mogelijke functie op het dak is stadslandbouw, wat economische waarde toevoegt aan het gebouw, sociale cohesie bevordert en een lokale voedselbron biedt, zoals in Antwerpen (figuur 25).



Figuur 25 PAKT Antwerpen stadslandbouw op het dak. Bron: CommonsLab

Om dit economisch succesvol te maken moeten consumenten deze producten natuurlijk verkiezen. Uit Amerikaans onderzoek blijkt dat consumenten met sterke of zwakke percepties over natuurlijkheid gemiddeld genomen niet veel verschillen in hun productvoorkeuren. Consumenten die biologische productie en stedelijke landbouw als natuurlijk beschouwen hebben echter wel sterke voorkeuren voor lokaal voedsel. Dit suggereert dat stedelijke boerderijen aanzienlijk kunnen profiteren door zich te richten op consumenten die veel waarde hechten aan biologische productie en stadslandbouw zien als een natuurlijke manier van voedselproductie (Printezis, 2017).

Uit verder Amerikaans onderzoek blijkt dat de meeste mensen stadslandbouw wel linken met percepties zoals organisch, lokaal, gemeenschap, familie, landbouw en duurzaamheid. Veelvoorkomende positieve associaties waren onder andere vers, lokaal en groen. Ondanks de overwegend positieve indrukken werden ook enkele negatieve associaties gerapporteerd, zoals de perceptie van hoge kosten, mogelijke ziektes en vervuiling. Deze negatieve associaties waren echter minder talrijk in vergelijking met de positieve (Grebitus, 2020).

Het benadrukken van de positieve aspecten van stedelijke landbouw, zoals de versheid en het lokale aspect kan dus bijdragen aan een gunstiger perceptie en een grotere bereidheid bij consumenten om stedelijke landbouw te accepteren. Het accentueren van deze voordelen kan dus een effectieve strategie zijn om de acceptatie en steun voor stedelijke landbouw te vergroten (Grebitus, 2020).

5.1.2 Groene daken bieden vergelijkbare welzijnsvoordelen als grondgroen, met esthetiek vaak hoger gewaardeerd dan ecosysteemdiensten

Bovenstaand werd reeds aangehaald dat het louter kijken naar intensieve groendaken een significant positief effect heeft op het mentaal welzijn (Fleming, 2024). Maar hoe is de beleving van een toegankelijk groendak ten opzichte van toegankelijk groen op grondniveau?

Australisch onderzoek toont dat het toegankelijk maken van een goed ingericht groendak hetzelfde effect heeft op bezoekers als groene ruimtes op grondniveau. Meer concreet onderzochten ze een publiek toegankelijk dak op een universiteitscampus met een gecombineerde oppervlakte van 1.200 m². Op dat dak is een volwaardige tuin aangelegd, zijn er verhoogde grasvelden en is er een verharde open ruimte.

Bezoekers gebruikten het dak vooral om te ontspannen en voor sociaal contact, terwijl beweging een minder frequente activiteit was. Verder gaven degenen die het groene dak minstens éénmaal per week of vaker bezochten, een significant groter sociaal welzijn en een sterkere binding met de plek aan dan degene die minder frequent kwamen. Wanneer de bezoekers minimaal 30 minuten op het groene dak bleven werd een groter sociaal welzijn gerapporteerd.

Deze bevindingen hebben dus implicaties voor stedelijke en landschapsontwerpers, aangezien ze onthullen dat groene daken vergelijkbare sociale en plaatsgebonden voordelen hebben als die in de literatuur over groene ruimtes op grondniveau worden waargenomen (Dang, 2022).

Speelt het type groen een rol bij de beleving? Deze vraag werd onderzocht door wetenschappers uit Portugal. Ze bestudeerden welk type groen(dak) nu het meeste voorkeur geniet bij gebruikers. Hun studie bracht verschillende zaken naar boven. Ten eerste ontbreekt het bij de meeste mensen aan degelijk bewustzijn en kennis over de natuur, natuurlijke processen en hun onderlinge samenhang. Hierdoor wordt de rol van

specifieke vegetatie slecht begrepen. Uit resultaten blijkt dat de nadruk vaker ligt op de hoeveelheid vegetatie dan op de kwaliteit ervan.

Ten tweede tonen de resultaten aan dat stedelijke ontwerpen die uitblinken in kwaliteit, gebruiksgemak en toegankelijkheid hoger worden gewaardeerd. Dit komt overeen met eerder onderzoek, waarin wordt gesteld dat de frequentie van gebruik van stedelijke groene ruimtes samenhangt met hun toegankelijkheid en natuurlijke uitstraling. De bevindingen laten zien dat deze kenmerken belangrijker worden geacht dan het leveren van ecosysteemdiensten bij het beoordelen van voorkeuren voor groene ruimtes. Het maakt daarbij weinig verschil of deze groene ruimtes zich op de grond bevinden of op groene daken.

De resultaten van deze Portugese studie tonen dus zowel positieve als negatieve aspecten. Positief is dat mensen weinig verschil maken tussen een groene ruimte op de grond en een groendak. Dit ondersteunt stedelijke ontwikkeling en investeringen in groene daken. Negatief is dat de resultaten wijzen op een toenemende vervreemding tussen mensen en de natuur. Deze vervreemding begint bij een esthetische waardering van natuur als een soort "decor" en gaat voorbij aan de functies van ecosystemen en de afhankelijkheid van de mensheid van de diensten die deze leveren (Silva, 2023).

5.1.3 Water zien en horen met 50 dB op een toegankelijk dak kan het mentaal welzijn verhogen met 67%

Een waterdak kan zowel (zichtbaar) open als gesloten zijn. Om een rode functiekleur toe te voegen moet het dak toegankelijk zijn. Het waterdak toegankelijk maken kan een visuele en auditieve impact hebben. Hieronder worden beide besproken.

Er is veel onderzoek gebeurd naar het effect van zichtbaar groene ruimtes op het mentaal welzijn, maar minder naar het effect van zichtbare blauwe ruimtes. Een uitgebreide studie uit het Verenigd Koninkrijk trachtte hierop een antwoord te geven.

Ze toonde aan dat mensen van verschillende leeftijden, geslacht, etniciteit en opleiding hoger mentaal welzijn ervaren na een bezoek aan kanalen en rivieren, vergeleken met andere locaties. Bovendien bleek dit effect langdurig.

Het onderzoek legde een relatie bloot, maar geen causaal verband. Dit ondersteunt echter wel een mogelijk causaal verband tussen het bezoeken van waterwegen en verbeterd mentaal welzijn (Bergou, 2022). Als een (grote) blauwe ruimte bijdraagt aan een verhoogd welzijn heeft een (groot) toegankelijk open waterdak naar alle waarschijnlijkheid ook een positief effect op het mentaal welzijn.

Verder is er ook onderzoek gebeurd naar geluid van stromend water en het effect daarvan op het mentaal welzijn. Een studie op studenten bewijst dat het horen van bronwatergeluid stress en emotionele stoornissen significant verbeterde met 21,60% tot 67,34%. Er werden verschillende geluidsniveaus getest en hierbij kwam naar voor dat een bronwatergeluid van 50 dBA twee- tot driemaal meer effect had dan andere geluidsniveaus. Er werd ook vastgesteld dat één minuut blootstelling genoeg was om veranderingen te meten. Deze bevindingen helpen bij het ontwerpen van geluidsomgevingen voor welzijn en herstel op daken (Zhang, 2025).

Het toegankelijk maken van een waterdak en het toevoegen van specifieke elementen kan dus verder helpen om de bezoekerservaring te verbeteren.

5.2 Aandachtspunten

Voor rode daken zijn er evenzeer aandachtspunten. Gezien de grote variatie aan mogelijke functies worden er slechts enkele besproken. Uiteraard komen de aandachtspunten uit vorige secties terug indien er op het rood dak ook een groene, blauwe of gele functie is.

5.2.1 Veiligheid voor bezoekers

De beschikbare dakoppervlakte wordt best zoveel mogelijk gebruikt voor verschillende doeleinden. Zo wordt de schaarse oppervlakte maximaal ingezet. Een combinatiedak met bijvoorbeeld een bezoekbare tuin en een stuk energieopwekking is niet ondenkbaar.

Gelijkstroomcircuits van zonnepanelen, hoge stroomsterkte voor warmtepompen of bewegende onderdelen van windmolens vergen de nodige veiligheidsmaatregelen bij een bezoekbaar dak. Waar (bal)sport wordt georganiseerd op het dak spreekt het voor zich dat benetting of andere maatregelen nodig zijn om de veiligheid van zowel de sporters als de gebruikers rond het gebouw te garanderen.

5.2.2 Stadslandbouw op een dak geeft specifieke uitdagingen

Onderzoek uit Toronto toont dat er specifieke uitdagingen zijn bij het starten, uitbaten en verkopen van voedselproductie op een dak.

Enkele van deze uitdagingen zijn het vinden of aanpassen van het dak, het regelen van gebruiksrechten met verhuurders en financierders, en het verkrijgen van de benodigde vergunningen. Veiligheidsaspecten, zoals structurele belasting en hekwerk, moeten eveneens worden gewaarborgd.

Andere uitdagingen omvatten het aanleveren van aarde en water op het dak, het integreren van bijkomende structuren zoals schuren en zitplaatsen, en het regelen van fysieke toegang voor kwekers. Er moet ook rekening worden gehouden met publieke toegang, technische kennis voor dakgroei, en de specifieke groeiomstandigheden onder invloed van zon, wind en sneeuw.

Deze lijst van uitdagingen illustreert dat het realiseren van een dak met voedselproductie een complex proces is, met zowel infrastructuur- en technische vraagstukken als regelgevende en teeltgerelateerde aandachtspunten (Nasr, 2015).

6 Concrete voorbeelden

6.1 Kantoorgebouwen

Voorbeeld 1. Retentie- en dakpark - Westwing Park, Roeselare, BE

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Westwing Park, Roeselare, België
Type	Ondergrondse parking met dakpark
Details	De toren heeft een kleine voetafdruk maar een grote kelder met 109 parkeerplaatsen. Waterbeheer toren: Regenwater wordt naar een hemelwaterput geleid voor hergebruik in sanitair. De rest van het water wordt via 2400 m² retentiekragen op de kelderafdekking (onder het groendak en verharding) gebufferd: 9 cm watervoorraad in de kratten om via capillaire werking in het substraat te dringen en 4,5 cm vrije ruimte als waterbuffer (+/- 104.000 liter) dat vertraagd wordt geloosd naar de gracht via een knijpleiding. Waterbeheer parkeergebouw: idem als bij de toren. Hierbij wordt 2/3 gevuld voor de gevelbeplanting, de andere ruimte dient als buffer en loopt over in gewone kratten die vertraagd lozen in de gracht. Certificatie: Mede door deze ingrepen werd de Westwing Tower het eerste kantoorgebouw in West-Vlaanderen met de hoogste certificatie binnen BREEAM.



Figuur 26 Westwing Park. Bron: Naturoof



Figuur 27 Westwing Park. Bron: Naturoof

Voorbeeld 2. Bezoekbaar retentiedak voor personeel – Agristo, Wielsbeke, BE

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Agristo, Wielsbeke, België
Type	Hoofdkantoor
Details	Het dak van Agristo in Wielsbeke is getransformeerd tot een innovatief retentiedak dat waterbeheer en groenvoorziening combineert. Gelijkvloers: Voorzien voor groene en functionele inrichting. Eerste verdieping: 2.200 m² bezoekbare daktuin aangelegd met een retentiesysteem. Waterretentiesysteem: Vlakke dakconstructie zonder helling naar afvoeren. Retentieboxen van 85 mm hoog, die 80 liter water per m² vasthouden. Irrigatiesysteem overbodig door continue wateropslag. Substraat: 34 cm dik als groeimedium. Grotere heuvels aangelegd voor diepere wortelgroei. Totaal substraat: 1.500 m³ Sociaal dak: Het dak dient als een sociale ruimte voor werknemers, met voorzieningen zoals bankjes, looppaden en groene zones. Bevordert ontspanning en sociale interactie.



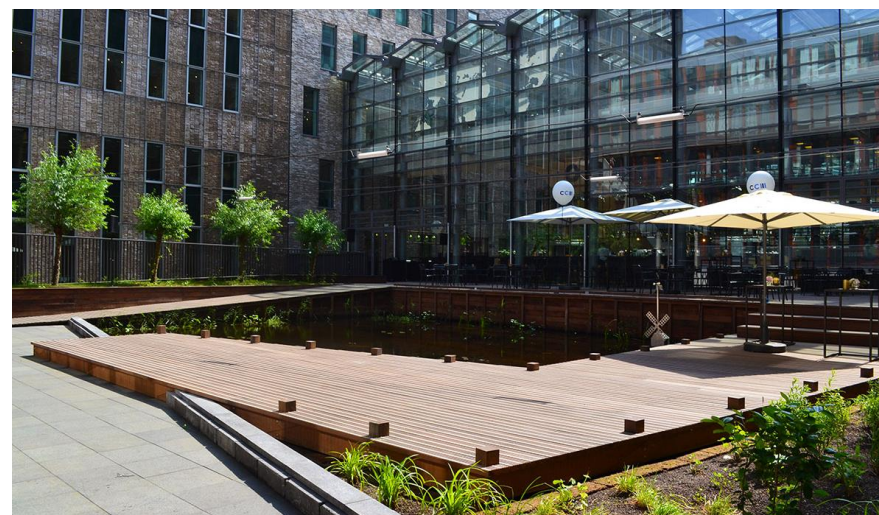
Figuur 28 Agristo Wielsbeke. Bron: Naturoof



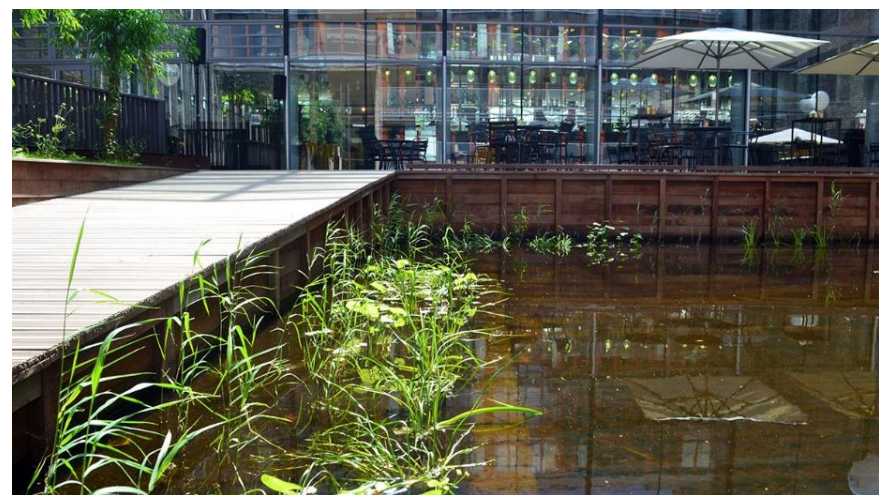
Figuur 29 Agristo Wielsbeke. Bron: Naturoof

Voorbeeld 3. 700 m² polderdaktuin - Word Trade Center, Den Haag, NL

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	World Trade Center, Den Haag, Nederland
Type	Kantoorruimte
Details	Dak van de parkeergarage bij het World Trade Center werd omgevormd tot een binnenplaats met vijver. Aqua Flow Systeem: Geavanceerd systeem van Dakdokters dat regenbuien detecteert via Buienradar. Waterniveauregulatie: Het systeem verlaagt automatisch het waterniveau vóór een regenbui om extra regenwater te kunnen opvangen. Polderdaktuinoppervlak: Totaal 700 m², waarvan 420 m² wateroppervlak. Wateropslag: Regenwater wordt tijdelijk opgeslagen in de polderdaktuin voor later gebruik met een dakstuw. Afvoersysteem: Bij overcapaciteit wordt overtollig water via een dijksysteem gecontroleerd naar het riool afgevoerd.



Figuur 30 World Trade Center, Den Haag. Bron: dakdokters.nl



Figuur 31 World Trade Center, Den Haag. Bron: dakdokters.nl

Voorbeeld 4. 11000 m² water- en tuindaken – Walterboscomplex, Apeldoorn, NL

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☐ Rood
Locatie	Walterboscomplex, Apeldoorn, Nederland
Type	Kantoren met ondergrondse garage
Details	Tussen 2004 en 2006 onderging het 40 jaar oude Walterboscomplex een grondige renovatie en werd het uitgebreid met twee torens. Het complex wordt omringd door een laagbouw met daktuinen en een waterretentiedak van 11.000 m² op het verzonken gebouw, dat dienstdoet als een spiegelende vijver en de natuurlijke basis vormt voor de campus. Watercapaciteit: 5 miljoen liter. Diepte waterlaag: 30-70 cm afhankelijk van regenval. Circulatiesysteem: 160 m lang, gebruikt water voor koeling van het gebouw, toiletspoeling en brandbestrijding. Isolatie: FOAMGLAS®, volledig waterdicht en thermisch stabiel. Waterbeheer: Regenwater wordt effectief opgevangen en hergebruikt voor koeling, toiletspoeling en brandbestrijding. Koeling: Waterbuffer stabiliseert temperaturen. Esthetiek: Roestvrijstalen dakstructuren met 'draak'-print" als lichtkoepels boven het water.



Figuur 32 Walterboscomplex, Apeldoorn. Bron: NRC.nl



Figuur 33 Walterboscomplex, Apeldoorn. Bron: Post65

Voorbeeld 5. Dakterras met recreatie – Hoofdkantoor All Sports, Arendonk, BE

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	All Sports, Arendonk, België
Type	Hoofdkantoor
Details	Bij de aanleg van het dakterras is een veelzijdige buitenruimte gecreëerd. Materialen: Keramische tegels voor een strakke, duurzame vloer met een esthetische uitstraling. Houten terras voor warmte en comfort, ontspanning en sociale activiteiten. Groene elementen: Zorgvuldig geïntegreerd extensief groen dat esthetisch en functioneel bijdraagt aan het ontwerp. Recreatie: Basketbalveld, petanquebaan, zitplaatsen. Harmonie en samenhang: Naadloze overgang tussen de verschillende elementen. Veelzijdigheid: Geschikt voor diverse activiteiten. Gebruiksvriendelijkheid: Combinatie van ontspanning, sport en natuur op één plek. Erkenning: Winnaar “Logistics Building of the year 2024”.



Figuur 34 All Sports. Arendonk. Bron: Naturoof



Figuur 35 All Sports. Arendonk. Bron: Naturoof

6.2 Woongebouwen

Voorbeeld 6. 3800 m² retentie- en terrasdak - Roelevard, Roeselare, BE

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Roelevard, Roeselare, België
Type	Appartementsgebouw en commerciële panden
Details	De groendaken van in totaal 3.800 m², met een mix van extensieve, semi-intensieve en intensieve beplanting, dragen bij aan een duurzamer stadsbeeld en bieden zowel esthetische als ecologische voordelen. De groendaken zijn niet bedoeld voor recreatief gebruik maar de terrassen sluiten erop aan. Dakterras: Gedeeltes van het dak zijn ingericht als terras, met een panoramisch uitzicht op de stad en omliggende groendaken. Groene zones: Vier groene zones zijn aangelegd op de afdekkelder en zijn voorzien van planten die water uit het retentiesysteem gebruiken. Waterstromen: Hemelwater van hogere daken stroomt via lagere daken naar retentiekragen. Retentiekragen: Deze kragen vangen water op en geven het geleidelijk af aan de vegetatie, wat zorgt voor efficiënt watergebruik. Regenputten: Bij volle retentiekragen stroomt overtollig water naar regenputten in de kelder, wat het waterbeheer optimaliseert.



Figuur 36 Roelevard. Bron: Steenoven



Figuur 37 Roelevard. Bron: Era

Voorbeeld 7. 3,4 kWp Bifaciale verticale zonnepanelen op sedumdak – Dilbeek, BE

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☐ Rood
Locatie	Dilbeek, België
Type	Bestaande woning
Details	Een Belgische woning in Dilbeek combineerde in 2024 een bestaand groendak met zonne-energie zonder concessies te doen aan het groen of het onderhoudsgemak. De installatie heeft een vermogen van 3,4 kWp en bestaat uit 17 modules van elk 200 W. Per module zijn er 4 latjes van elk 50 W. Zonnepanelen: Lage, verticale bifaciale panelen zorgen voor minder windimpact, een efficiënte oost-west oriëntatie, en een hogere omrekenfactor (1,1 versus 0,88 voor standaard panelen). Groendak: Reflecteert en absorbeert zonnestralen, wat een hogere zonne-opbrengst oplevert. Het groendak koelt de omgeving door regenwaterverdamping, wat de efficiëntie van de panelen verder verhoogt. Opbrengst: Hoewel slechts 4 panelen per 2,4 m² mogelijk zijn vanwege de ruimte voor groen, levert de synergie tussen het groen en de panelen een hogere kWh-opbrengst op. Lichtgewicht: Het ballastvrije systeem (11 kg/m²) gecombineerd met een lichtgewicht groendak (40 kg/m²) past op vrijwel elk plat dak.



Figuur 38 Bifaciale verticale zonnepanelen op sedumdak. Bron: Solar Batteries



Figuur 39 Bifaciale verticale zonnepanelen op sedumdak. Bron: Solar Batteries

Voorbeeld 8. 905 m² dakpark met zwembad – Groenmarkt, Amsterdam, NL

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Groenmarkt, Amsterdam, Nederland
Type	Herenhuis met bedrijfsruimten en stadsappartementen
Details	Een daktuin met duinlandschap, compleet met terras, strandpaviljoen en zwembad. Een ontmoetingsplek voor bewoners die bijdraagt aan verkoeling, hemelwateropvang en biodiversiteit. Waterberging: Dak voorzien van extra hoge opstand en infiltratiekratten om maximaal 5 cm water op het dak te houden. Weersensoren: Twee afvoeren uitgerust met sensoren om waterniveau te beheren bij naderende hevige regenval; kleppen openen automatisch om waterpeil te verlagen. Beregening: Installatie aanwezig om extreme droogte te bestrijden. Vegetatie: 905 m² beplant met meer dan 5.000 planten. 29 soorten, o.a. zeldzame duinplanten zoals kruisbladgentiaan en blauwe zeedistel. Bijen en vlinders: Planten zoals slangenkruid en bleke hemelsleutel zijn toegevoegd vanwege hun aantrekkingskracht op bijen en vlinders. Duinbeleving: Vegetatie aangelegd met een knipoog naar duinen; bomen (grove dennen) bewust scheef geplaatst om windinvloeden te simuleren.



Figuur 40 Groenmarkt Amsterdam. Bron: Het Parool



Figuur 41 Groenmarkt Amsterdam. Bron: de Architect

Voorbeeld 9. 1000 m² moerasdak boven parking – De Klapwijkse Pieren, Rotterdam, NL

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☐ Rood
Locatie	De Klapwijkse Pieren, Rotterdam, Nederland
Type	Dak van parkeergarage bij appartementencomplex
Details	Op het dak van een parkeergarage bij een appartementencomplex langs de Klapwijkseweg te Berkel en Rodenrijs is een moerasdak van +/- 1000 m² aangelegd op 4 meter hoogte. Moerasdakconstructie: Dak bedekt met een laag van lava en substraat, geschikt voor waterplanten. Pompsysteem: Geïnstalleerd voor de circulatie van water door de tuin. Watertuin: Direct grenzend aan het appartementencomplex, voorzien van een vlonder met bloembak zodat bewoners en bezoekers maximaal kunnen genieten. Groene bijdrage: Zowel de watertuin als de binnentuin versterken de groene uitstraling van het gebouw.



Figuur 42 De Klapwijkse Pieren Rotterdam. Bron: wurck.nl



Figuur 43 De Klapwijkse Pieren Rotterdam - Moersdak plan. Bron: wurck.nl

Voorbeeld 10. 50 m² groendak met serre - Rijwoning Borgerhout, Antwerpen, BE

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Borgerhout
Type	Renovatie rijwoning
Details	Renovatie Helmstraat 86, Borgerhout. 50 m² extra buitenruimte met micro-stadslandbouw en een biodiversiteitsdak om van te genieten. Technologie: Passieve ventilatie via centrale trap als schouw in combinatie met serre, geen screens nodig. Regenwaterrecuperatie voor irrigatie. Circulariteit: Hergebruikte materialen. Serrevloer is oude vloer van de woning. Biodiversiteitsdak: Extensief groendak, opbouwgewicht 150 kg/m², met wilde bloemen. Uitdagingen: Isolerende plaat nodig in de winter. Extra stabiliteitswerken vanwege het dakgewicht van de serre (300-350 kg/m²). Verankering van de serre op het dak gezien grote potentiële winddruk. Milieu: Groendak met sedums en kruiden en serre teelt tomaten, pepers, aardbeien. Kosten: Serre €2500, groendak €50/m², zelf geplaatst. Planten: Tomaten, pepers, kruiden in de serre, sedum en wilde bloemen op het dak.



Figuur 44 Rijwoning Borgerhout. Bron: Gazet van Antwerpen



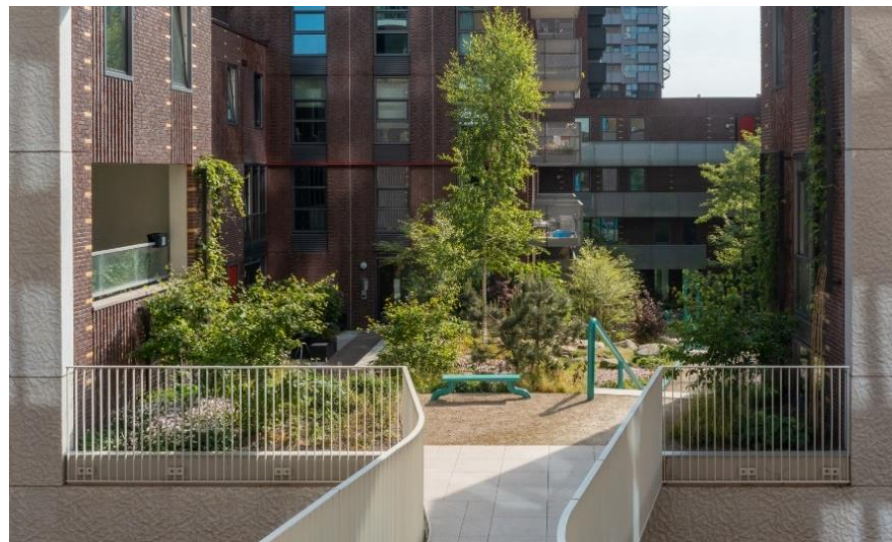
Figuur 45 Rijwoning Borgerhout. Bron: Het Laatste Nieuws

Voorbeeld 11. 7600 m² verbindende daktuin – De Groene Kaap, Rotterdam, NL

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Katendrecht, Rotterdam, Nederland
Type	Wooncomplex
Details	De Groene Kaap is een innovatief wooncomplex met vijf woontorens en eengezinswoningen, verbonden door 7.600 m² semipublieke daktuinen (80% van het dakoppervlak). Het project focust op vergroening, biodiversiteit en natuurinclusief bouwen. Toegang: Daktuinen en wandelroutes zijn toegankelijk voor bewoners en stadsbewoners. Groene verbindingen: Bruggen op 30 meter hoogte verbinden woontorens en daktuinen tot een stadslandschap op hoogte. Biodiversiteit & rewilding: Stimuleert natuurlijke processen en biedt een groene oase in de stad. Dakconstructie: Meerlaagse basis met waterbufferingspakketten voor regenwaterbeheer. Beplanting: Diverse planten dragen bij aan biodiversiteit en een prettige leefomgeving. Waterbeheer: Het dak is opgebouwd uit een meerlaagse structuur met waterbufferingssystemen, waaronder kratten voor regenwateropvang, zelfs op niet-beloopbare daken. Onderscheiding: Winnaar van de 'Dak van het Jaar Award 2021' voor het multifunctionele en groene ontwerp dat stadsnatuur versterkt.



Figuur 46 De Groene Kaap, Rotterdam. Bron: AD



Figuur 47 De Groene Kaap, Rotterdam. Bron: Lola

6.3 Onderwijs- en jeugdgebouwen

Voorbeeld 12. 750 m² dakspeelplaatsen met glijbaan– GO! School Tangram, Vilvoorde, BE

Functie	☐ Groen ☐ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Broekplein, Vilvoorde, België
Type	Basis- en middenschool
Details	GO! School Tangram in Vilvoorde benut daken slim met multifunctionele ontwerpen voor 240 leerlingen van 2,5 tot 14 jaar. Er is nu 155 m² basket- en voetbalveld en er werd op deze manier 600 m² speelplaats toegevoegd. Speelplaatsen: Dakniveaus ingericht als veilige en functionele speelplaatsen. Glijbaan verbindt dak met begane grond voor speelse toegankelijkheid. Multifunctionaliteit: Combinatie van recreatieve en educatieve zones. Ontworpen voor intensief gebruik zonder in te boeten op veiligheid. Duurzaamheid: Stabiele constructie geschikt voor belasting door kinderen en speeltoestellen. Veiligheid: Extra aandacht voor veilige omheining. Inspirerende omgevingen: Ruimtes ontworpen om creativiteit en ontspanning te stimuleren. Beweging geïntegreerd in het dagelijkse schoolleven.



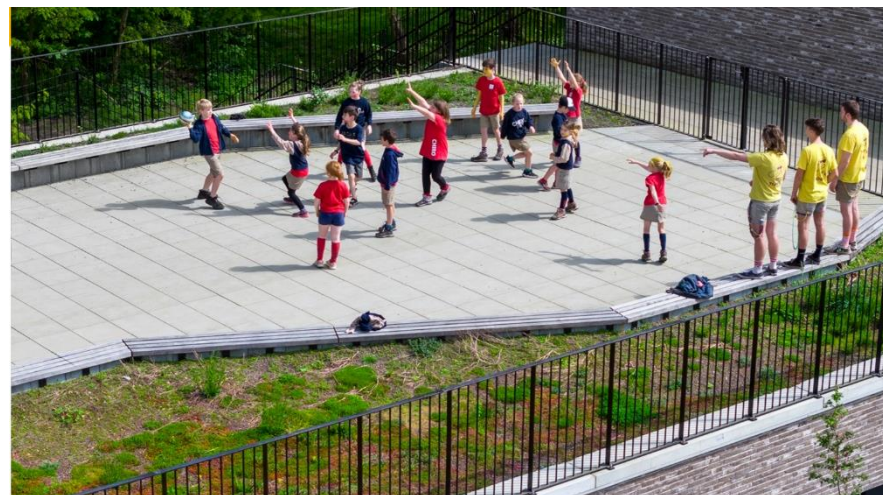
Figuur 48 GO! School Tangram. Bron: Zoontjes.nl



Figuur 49 GO! School Tangram. Bron: Zoontjes.nl

Voorbeeld 13. Dakspeelplaats - jongerencampus De Kampus, Vorselaar, BE

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☒ Rood
Locatie	De Kampus, Vorselaar, België
Type	Kleuterschool en jeugdcampus
Details	De daken van de nieuwe kinder- en jongerencampus in Vorselaar worden multifunctioneel ingezet. Deze aanpak bevordert een educatieve en aangename omgeving voor alle gebruikers van de campus. Speelruimte: Er is een dakspeelplaats voor de lagere school en jeugdverenigingen, wat bijdraagt aan een groene en speelse omgeving. Toegankelijkheid: Een toegang over het gebouw wordt voorzien, waardoor verschillende ingangen mogelijk zijn. Duurzaamheid: Het ontwerp legt nadruk op ontharding en integratie van groen, met aandacht voor een stimulerende leer- en speelomgeving aan de rand van het bos en verweven met het dorp. Waar mogelijk zijn zonnepanelen gelegd.



Figuur 50 De Kampus Vorselaar. Bron: Zoontjes.nl



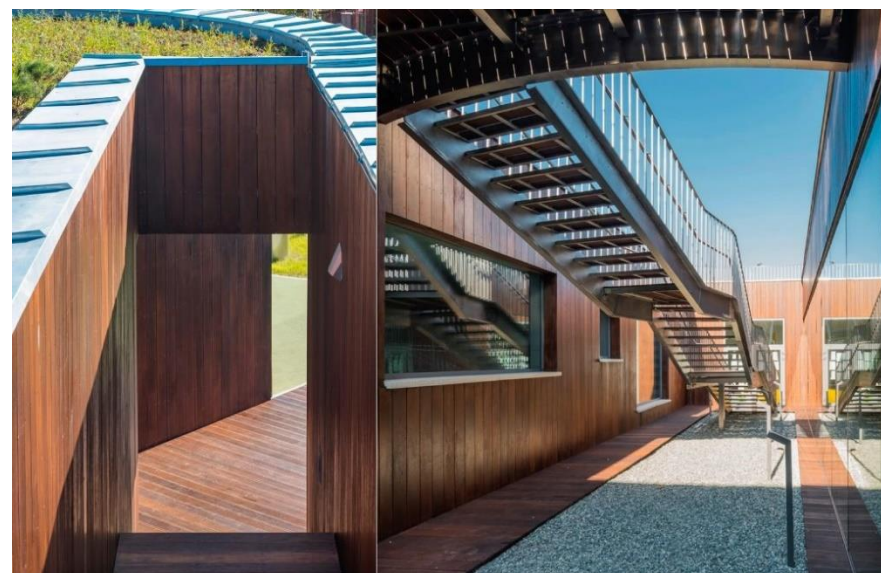
Figuur 51 De Kampus Vorselaar. Bron: Zoontjes.nl

Voorbeeld 14. Speelruimte kleuterschool – Kindergarten, Zory, POL

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Zory, Polen
Type	Nieuwbouw kleuterschool
Details	Het driehoekige perceel is bijna volledig bebouwd, met weinig speelruimte voor 125 kinderen op de grond. Het dak biedt de oplossing. Speeltuín: Het dak is ontworpen als een golvend, groen landschap waar kinderen veilig kunnen spelen en leren. Het creëert een extra ruimte voor activiteiten in een stedelijke omgeving met beperkte ruimte. Groene architectuur: Het dak is bedekt met gras en beplanting, waardoor het bijdraagt aan isolatie, vermindering van de stedelijke hitte-eilandeffecten en een duurzamere omgeving. Integratie met het landschap: Door de golvende vorm sluit het dak naadloos aan op het omringende terrein, waardoor het gebouw minder opvalt in de omgeving en een natuurlijke uitstraling krijgt. Veiligheid en toegankelijkheid: Het dak is toegankelijk en ontworpen met veiligheidsmaatregelen, zoals zachte oppervlakken en lage hellingen, die geschikt zijn voor jonge kinderen.



Figuur 52 Kindergarten, Polen. Bron: Metalocus



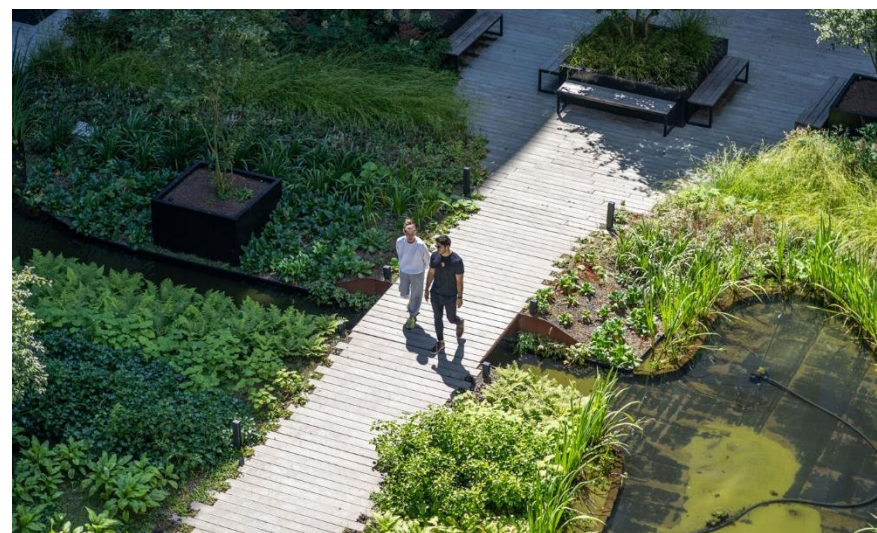
Figuur 53 Kindergarten, Polen. Bron: NewAtlas.com

Voorbeeld 15. 1150 m² dakpark – The Student Experience, Amsterdam, NL

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	The Student Experience, Amsterdam, Nederland
Type	Studentencomplex
Details	Het 'Student Experience' complex aan de Minervahaven in Amsterdam biedt huisvesting aan 600 internationale studenten en beschikt over een innovatieve daktuin op de binnenplaats. Deze binnentuin, opgeleverd in 2020, beslaat 1.150 m² en kan tot 105.000 liter regenwater opvangen. Binnentuinontwerp: Omkaderd met een rondloop van ongeveer 2 meter, groen en organisch ingericht. Vijver: Grote vijver met waterplanten, ondersteund door pomptechniek. Beplanting: 5 bomen (2 grote, 3 kleine) en een schaduwbeplantingsplan. Pad: Slingert door de tuin, met bankjes op diverse plekken. Toegangsplein: Kleine overkapping en pleintje bij de ingang. BREAAM Certificeringsoplossing: Nectarhoudende beplanting op de bovendaken tussen het sedum geplaatst vanwege beperkt zonlicht in de binnentuin. Zo kon er toch aan de certificeringsvoorwaarden voldaan worden. Producten: Polderdak met regeltechniek, vijverpomp, schellevis betonbanden (200 x 15 cm), overkapping, en zitbankjes.



Figuur 54 The Student Experience, Amsterdam. Bron: dakdokters.nl



Figuur 55 The Student Experience, Amsterdam. Bron: dakdokters.nl

Voorbeeld 16. 2500 m² groendak met zonnepanelen - The Munich Technology Centre, München, DE

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☐ Rood
Locatie	The Munich Technology Centre, München, Duitsland
Type	Innovatie- en ondernemerscentrum
Details	Het groendak met zonnepanelen beslaat een totale oppervlakte van 2.500 m². Constructie: Elk zonnepaneel is bevestigd op een Solar Base Plate van 2 m². Het systeem gebruikt de Floraset® FS 50 en is voorzien van een beschermmat (SSM 45) om de dakconstructie te beschermen. Energie-efficiëntie: Het groendak zorgt voor lagere oppervlaktetemperaturen dan een kale of met grind bedekte dakbedekking, wat de prestaties van de zonnepanelen verbetert. Valbeveiliging: Het geïntegreerde valbeveiligingssysteem zorgt voor veilige toegang, vooral langs de randen waar de zonnepanelen zijn geplaatst. Groendak: Het gebruikt een extensieve vegetatieopbouw ("Sedum Carpet"), die naast isolatie ook watermanagement en biodiversiteit bevordert. Deze combinatie van zonne-energie en groendakoptimalisatie levert een duurzame oplossing op die de beschikbare ruimte en energieopbrengst maximaliseert.



Figuur 56 The Munich Technology Centre, München. Bron: ZinCo Green Roof Systems



Figuur 57 The Munich Technology Centre, München. Bron: ZinCo Green Roof Systems

6.4 Landbouwinfrastructuur

Voorbeeld 17. 9300 m² onderzoeksserre – Agrotopia, Roeselare, BE

Functie	☐ Groen ☐ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Agrotopia, Roeselare, België
Type	Dak van de groentenveiling
Details	Agrotopia is Europa's grootste publieke onderzoeksgebouw voor stedelijke voedselproductie gelegen op het 13 meter hoge dak van de REO Veiling. Waterbeheer: 2.500 m³ regenwateropslag in de grondsilo's. Hergebruik van restwater na reiniging. Energiebesparing: Tot 40% efficiënter dan traditionele kassen. Dakconstructie: Staal- en glasconstructie Glasoppervlak: Circa 6.000 m² Isolatie: Hoge thermische isolatiewaarde om energieverlies te beperken. Stedelijke inpassing: Verbindt stad, landbouw en logistiek visueel en functioneel. Erkenning: O.a. winnaar categorie 'Completed Buildings: Production, Energy and Recycling' (2022) op het World Architecture Festival. Educatief centrum: Jaarlijks duizenden bezoekers voor stadslandbouweducatie. Productiecapaciteit: Tot 20 ton groenten per jaar.



Figuur 58 Agrotopia. Roeselare. Bron: Architectura



Figuur 59 Agrotopia. Roeselare. Bron: META

Voorbeeld 18. 3000 m² serres met zonnepanelen - Ferme Etchélécu, Sames, FR

Functie	☐ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☐ Rood
Locatie	Ferme Etchélécu, Sames, Frankrijk
Type	Serres voor aardbeien
Details	De semi-transparante zonnepanelen beschermen de gewassen tegen weersinvloeden en optimaliseren de lichtdoorlatendheid, wat resulteert in de productie van "energiepositieve" aardbeien. Oppervlakte: 3.000 m² Piekvermogen: 190 kWp Jaarlijkse energieproductie: circa 260 MWh, voldoende voor ongeveer 50 huishoudens Aantal aardbeienplanten: 15.000 Bescherming van gewassen: De panelen bieden schaduw en bescherming tegen extreme weersomstandigheden, wat leidt tot een verlenging van het teeltseizoen met twee maanden. Waterbeheer: Regenwater wordt opgevangen voor irrigatie, wat bijdraagt aan duurzaam watergebruik. Energieopbrengst: De opgewekte elektriciteit wordt gebruikt voor eigen verbruik en het overschot wordt geïnjecteerd op het net.



Figuur 60 Ferme Etchélécu. Sames, Frankrijk. Bron: Insolight.ch



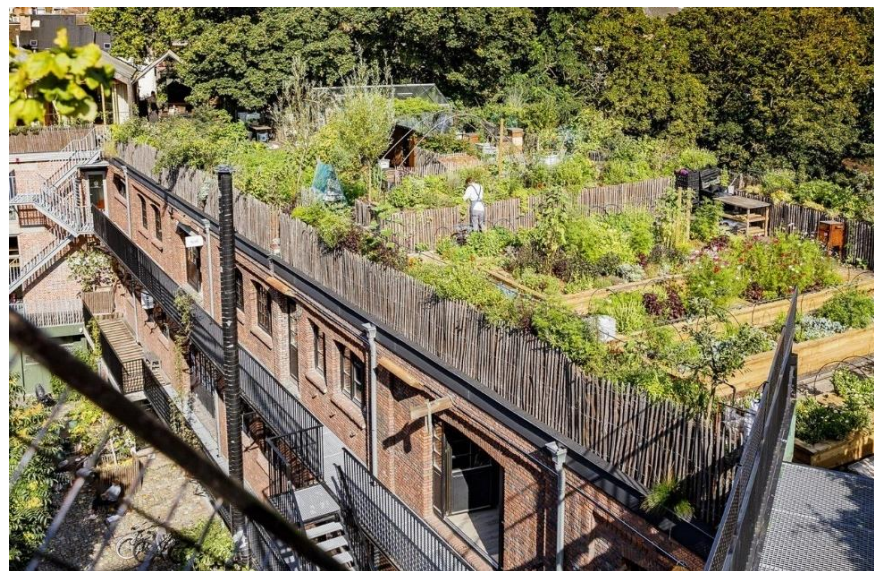
Figuur 61 Ferme Etchélécu. Sames, Frankrijk. Bron: freshplaza.fr

Voorbeeld 19. 1800 m² stadslandbouw – PAKT, Antwerpen, BE

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☒ Geel ☒ Rood
Locatie	PAKT, Antwerpen
Type	Ondernemerscentrum, sport, wellness en horeca
Details	De dakboerderij van Volle Grond, gelegen op de PAKT-site in Antwerpen, is een groene oase van 1.800 m² die stadslandbouw, waterbeheer en gemeenschapsbeleving combineert. Zonnepanelen: 200 m² zonnepanelen voor de bedrijven onder de daken. Biodiversiteit: Meer dan 100 eetbare gewassen, waaronder groenten, fruit, kruiden en bloemen. Dakdieren: De boerderij herbergt diverse dieren zoals kippen, bijen en vissen, die een integraal onderdeel vormen van het ecosysteem. Waterbeheer: Regenwaterrecuperatie en circulaire technieken om de teelten te irrigeren, wat duurzaam watergebruik bevordert. Community: Meer dan 150 dakboeren tuinieren samen, delen kennis en experimenteren onder professionele begeleiding. Educatie en inspiratie: Jaarlijks worden meer dan 3.000 bezoekers geïnspireerd door dakwandelingen en rondleidingen, waarbij ze leren over stadslandbouw en duurzame praktijken. Evenementen en vergaderingen: De dakhuisjes kunnen worden gehuurd voor vergaderingen en evenementen.



Figuur 62 Volle Grond. PAKT Antwerpen. Bron: VRT



Figuur 63 Volle Grond. PAKT Antwerpen. Bron: GVA

6.5 Winkelpanden

Voorbeeld 20. 3560 m² belevingsdak en fietsenstallingen – IKEA, Greenwich, GB

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☒ Rood
Locatie	IKEA, Greenwich, Verenigd Koninkrijk
Type	Winkel en fietsenstallingen
Details	Het IKEA-warenhuis heeft een groot toegankelijk dak van 3.500 m². Daarnaast zijn er 7 fietsenstallingen met extra groene daken, samen 60 m². Dak hoofdgebouw: $\frac{3}{4}$ zonnepanelen en $\frac{1}{4}$ voor groen en beleving met een paviljoen voor evenementen. Verhoogde plantenbedden voor stadslandbouw. Bestrating en kunstgras voor activiteiten. Afgeschermdede delen voor wilde bloemen en dierenleven. Het hele jaar toegankelijk tijdens openingstijden. Wekelijkse yoga klassen voor de gemeenschap en medewerkers en organisatie van workshops voor scholen. Daken fietsenstallingen: Dikkere substraatlaag voor meer wilde bloemen. Bijengaten in houten panelen, gabionmanden voor ongewervelden, geïntegreerde vogelnestkasten. Vooraf opgebouwd in Essex voor betere worteling en overleving. Verbetert biodiversiteit, straatbeeld en IKEA's duurzame ambities. Extra koeling: geschat op 4,5 kWh/m² koeling in de zomer door het groendak. Certificering: De winkel kreeg het BREAM label "Outstanding".



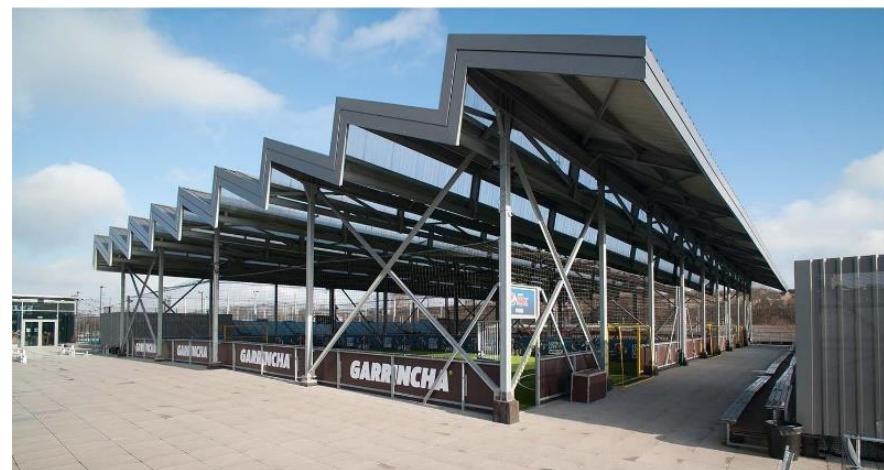
Figuur 64 IKEA Greenwich hoofdgebouw. Bron: Zoontjens.nl



Figuur 65 IKEA Greenwich fietsenstallingen. Bron: livingroofs.org

Voorbeeld 21. 6000 m² sportdak met cafetaria – Decathlon, Charleroi, BE

Functie	☐ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☒ Rood
Locatie	Decathlon, Charleroi, België
Type	Winkelcomplex
Details	In 2019 opende Decathlon een innovatief complex in Charleroi met 6000 m² dakbenutting. Sportfaciliteiten: Het dak biedt ruimte aan vijf padelbanen en vijf minivoetbalvelden, met wekelijkse bezoekersaantallen van +/- 2.000 mensen. Drie van de minivoetbalvelden zijn overkapt wat bescherming biedt tegen weersinvloeden. De cafetaria maakt het compleet. Zonnepanelen: De overkapping is voorzien van 746 zonnepanelen die jaarlijks ongeveer 200 MWh elektriciteit opwekken. Constructie: Het dak is opgebouwd uit prefab betonelementen en een overkapping van 35 x 51 meter gemaakt van thermisch verzinkt staal. De transparante polycarbonaatpanelen in de overkapping laten natuurlijk licht door en creëren een open gevoel voor sporters. Innovatie: Het dak combineert sport en hernieuwbare energie met een esthetische architectuur die verwijst naar het industriële verleden van Charleroi. Het ontwerp integreert functionaliteit en duurzaamheid op een efficiënte manier in een stedelijke omgeving.



Figuur 66 Decathlon Charleroi met overkapping. Bron: Infosteel



Figuur 67 Decathlon Charleroi zonder overkapping. Bron: Kingspan

Voorbeeld 22. 2000 m² extensief brandveilig groendak – Delhaize, Kortrijk, BE

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☐ Geel ☐ Rood
Locatie	Delhaize, Kortrijk, België
Type	Supermarkt
Details	Na 52 jaar ging de oude Kortrijkse Delhaize met een parking op het dak tegen de vlakte en maakte in 2019 plaats voor een nieuwbouw met groendak en ondergrondse parking. Oppervlakte: 2.000 m² groendak + 826 m² grind. Functionaliteit: Grindstroken zorgen voor brandcompartimentering. Techniek: Ongeveer 1 km aluminium profielen scheiden grind en groen.



Figuur 68 Groendak Delhaize Kortrijk. Bron: Naturoof



Figuur 69 Groendak Delhaize Kortrijk. Bron: Naturoof

6.6 Zorggebouwen

Voorbeeld 23. 8 m³ wateropslag, zonnepanelen en zonneboilers - Centra mindervaliden, VZW Coupole, Jette, BE

Functie	☐ Groen ☒ Blauw ☒ Geel ☐ Rood
Locatie	Jette, België
Type	Nieuwbouw centra mindervaliden
Details	Het project betreft de bouw van twee gebouwen voor de opvang van 15 zeer afhankelijke personen met autisme: een 'Verblijfscentrum' met 3 appartementen voor 5 personen, en een 'Dagcentrum' waar de begeleide activiteiten plaatsvinden. Wateropslag: Het dak bevat een opslagcapaciteit van 8 m³ regenwater om het afvloeiend regenwater te vertragen en gecontroleerd af te voeren. Het systeem maakt gebruik van een verhoogd afvoerpunt met een overloop van 5 cm en rijen gaten die het debiet reguleren. Het dak is een alternatief voor infiltratiegeulen of extra volume voor de recuperatietank. Zonnepanelen: Er is 42 m² aan zonnepanelen geïnstalleerd om duurzame energie op te wekken. Zonneboilers: Voorzieningen zoals wachtaansluitingen en een strategisch geplaatste verwarmingsketel maken toekomstige integratie van zonneboilers mogelijk zonder extra kosten.



Figuur 70 Project Coupole. Jette. Bron: Gids Duurzame Gebouwen Brussel



Figuur 71 Project Coupole. Jette. Bron: bruciel.brussels

Voorbeeld 24. 1000 m² daktuin – Woonzorgcentrum Zilversterre, Gent, BE

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Gent, België
Type	Woonzorgcentrum
Details	Het woonzorgcentrum 'Zilversterre' in Gent heeft diverse groene daken en een toegankelijke daktuin gerealiseerd. Toegankelijke daktuin: Op de bovenste verdieping is een daktuin aangelegd met meerstammige bomen, twee gazons en zones met vaste planten en bloeiende accenten. Sedumdaken: Op de eerste, tweede en derde verdieping zijn enkele daken voorzien van sedumbepplanting. Binnentuin: Er is een binnentuin gecreëerd bovenop de ondergrondse garages, uitgerust met zitbanken en een speels waterelement, wat zorgt voor een aangename en ontspannende omgeving voor de bewoners. Veiligheidsvoorzieningen: Rondom de daktuin is een balustrade geplaatst, die gebruikmaakt van het substraatpakket als ballast. Dit systeem vereist geen perforaties in de dakdichting, waardoor de kans op lekken minimaal is en er minder aandacht nodig is voor detailafdichtingen.



Figuur 72 WZC Zilversterre, Gent. Bron: Naturoof



Figuur 73 WZC Zilversterre, Gent. Bron: Naturoof

6.7 Varia

Voorbeeld 25. 99 kWp ultralichte flexibele zonnepanelen - Sports and Wellness Park, Wallenhorst, DE

Functie	☐ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☐ Rood
Locatie	Sports and Wellness Park, Wallenhorst, Duitsland
Type	Dak sportgebouw
Details	Het Sports and Wellness Park in Wallenhorst wekt sinds 2022 meer dan de helft van zijn energieverbruik zelf op, ondanks een plat dak dat ongeschikt werd geacht voor glasmodules. Gewicht: De panelen zijn slechts 2 mm dik en wegen ongeveer 1/3 van traditionele glasmodules. Ze zijn dus geschikt voor daken met beperkte draagkracht. Materiaal: Gemaakt van silicium zonnecellen en ingekapseld in glasvezel en ETFE-kunststof, zodat ze flexibel, uv-bestendig en schokbestendig zijn. Dankzij een speciale oppervlaktebehandeling optimaliseren ze de lichtopbrengst en benaderen ze het rendement van traditionele glasmodules. Installatie: Direct op het dakoppervlak gelijmd, zonder noodzaak voor zware onderconstructies, wat de installatie vereenvoudigt en trillingvrij maakt. Capaciteit: 230 panelen, elk met een vermogen van 430 Wp en een totale capaciteit van 99 kWp. Energieopbrengst: Samen met een 22 kW batterijopslagsysteem kan de installatie naar schatting tot 60% van de energiebehoefte van het sportcentrum dekken, wat neerkomt op ongeveer 80 MWh per jaar.



Figuur 74 FFS Sportsite Wallenhorst. Bron: Wirtschaft aktuell



Figuur 75 FFS Sportsite Wallenhorst. Bron: PV Europe

Voorbeeld 26. 500 m² rooftopbar boven kunstopstelling – Doloris, Tilburg, NL

Functie	☐ Groen ☐ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Spoorzone, Tilburg, Nederland
Type	Voormalig postkantoor
Details	Doloris is een unieke combinatie van een kunstzinnig doolhof in een voormalig postkantoor, het "Meta Maze", en een spectaculaire rooftopbar. Het dakterras biedt bezoekers een panoramisch uitzicht over de skyline van Tilburg, waar men kan genieten van diverse drankjes en internationaal streetfood. Het dakterras beslaat circa 500 m². Toegang: De rooftopbar is toegankelijk voor het publiek via de interne trappen en liften van het gebouw. Multifunctioneel gebruik: Het dak is ontworpen voor diverse horecadoeleinden en kan flexibel worden ingericht voor verschillende evenementen. Unieke ervaring: Bezoekers kunnen zowel het Meta Maze verkennen als ontspannen op de rooftopbar, wat een mooie combinatie van kunst en recreatie biedt.



Figuur 76 Doloris Tilburg. Bron: de Volkskrant



Figuur 77 Doloris Tilburg. Bron: Brabants Dagblad

Voorbeeld 27. 26 sociale huurwoningen met biodiversiteits- en zonnedak – Woonstichting 'thuis, Best, NL

Functie	☒ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☐ Rood
Locatie	Best, Nederland
Type	Bestaande sociale huurwoningen
Details	Op het dak van 29 bestaande sociale woningen in Best is een innovatief prefab systeem geïnstalleerd dat groene daken combineert met zonnepanelen en nestkasten. Groenvoorziening: Inheemse kruiden en planten zijn toegevoegd om de biodiversiteit te vergroten. Waterbeheer: De groene daken bufferen regenwater, verminderen wateroverlast en hittestress. Elk huis is uitgerust met een regenton, wat bijdraagt aan wateropvang en hergebruik. Zonnepanelen: Zorgen voor energieopwekking en dragen bij aan een duurzamer energieverbruik. Gewichtsverdeling: Er is rekening gehouden met het gecombineerde gewicht van de groene daken, zonnepanelen en andere elementen zoals de warmtepompen. Ecologische voorzieningen: Voor vleermuizen, zoals de laatvlieger, zijn specifieke nestkasten aangebracht in de dakranden en overstekken. Visuele verbetering: De groene daken geven de wijk een aantrekkelijker uiterlijk met positieve feedback van de bewoners.



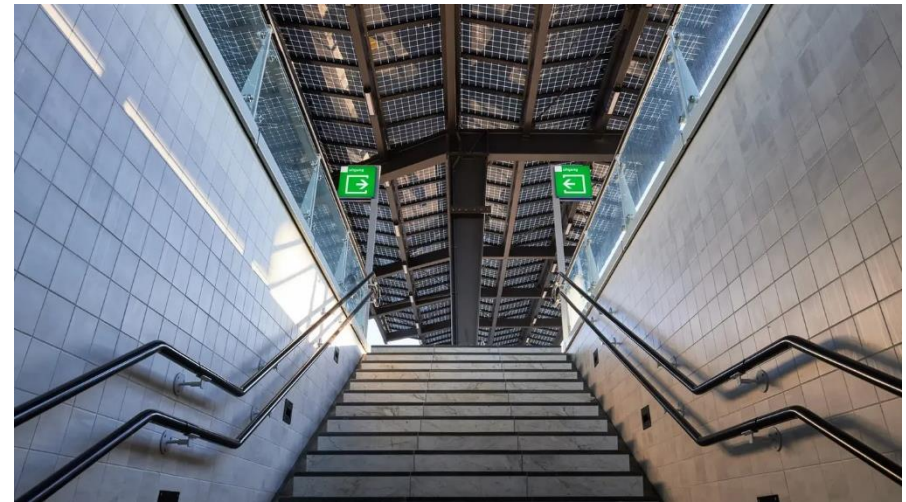
Figuur 78 Woonstichting 'thuis. Bron: ROEF



Figuur 79 Woonstichting 'thuis. Bron: ROEF

Voorbeeld 28. 187 MWh geïntegreerde zonnepalen perron - Station Delft Campus, Delft, NL

Functie	☐ Groen ☐ Blauw ☒ Geel ☐ Rood
Locatie	Delft Campus, Delft, Nederland
Type	Stationsgebouwen en perronkappen
Details	Na twee jaar renoveren is het eerste energieneutrale station van Nederland sinds 2021 een feit. Dankzij de iconische perronkap met geïntegreerde zonnepanelen levert dit station net zoveel energie op als dat het verbruikt. Zonnepanelen: De 810 zonnepanelen op de overkapping moeten gemiddeld 187 MWh/jaar opbrengen.



Figuur 80 Station Delft Campus. Bron: Solar Magazine



Figuur 81 Station Delft Campus. Bron: prorail.nl

Voorbeeld 29. 500 m² onzichtbare waterbuffer onder belevingsdak – Soho House Hotel, Amsterdam, NL

Functie	☒ Groen ☒ Blauw ☐ Geel ☒ Rood
Locatie	Soho House, Amsterdam, Nederland
Type	Renovatie Members' club & hotel
Details	Soho House Amsterdam combineert 900 m² aan luxe met innovatieve klimaatadaptatie. Op het dak kunnen gasten ontspannen op ligstoelen, genieten van een cocktail aan de bar of een duik nemen in het panoramische zwembad. Maar onder deze luxe schuilt een slim systeem dat bijdraagt aan de waterhuishouding van de stad. Daklandschap: 150 m² intensieve groene daktuin, 130 m² extensief sedumdak, 320 m² betegelde terrassen, 190 m² houten vlonders. Substraat tussen de 15 en 40 cm. Wateropslag: 500 m² dak met 65 mm diepe verborgen retentieruimte. Opslag van 60 l/m². Vertraagde afgifte van 30.000 liter water over 48 uur. Strakke planning: De volledige daktuin werd binnen zes weken aangelegd. Logistieke uitdagingen: Materialen werden per torenkraan omhoog gehesen en handmatig verwerkt in een dicht bebouwd gebied. Optimale samenwerking: Aannemers, dakdekkers, groenexperts en installateurs werkten simultaan op het dak.



Figuur 82 Soho House Amsterdam. Bron: Superfuture



Figuur 83 Soho House Amsterdam. Bron: Soho House

7 Becijferde voorbeelden

7.1 Groen-blauw retentiedak met zonnepanelen - 't Bölke Rooftop in Enschede, NL (Plegt, 2022)

De studie van het groen-blauw dak op 't Bölke in Enschede (1.326 m², 7 daken) vergelijkt dergelijk type dak met conventionele daken. Doel: stedelijke overstromingsrisico's verminderen onder extreme omstandigheden (70 mm/uur, 160 mm/2 dagen, natte zomers). Groen-blauwe daken combineren waterbeheer, energiebesparing en duurzaamheid, wat ze ecologisch en economisch aantrekkelijk maakt. Ze bevorderen stedelijke klimaatadaptatie en duurzaamheid. Parameters zoals totale verdamping, afvoer en waterretentie worden gemeten om de hydrologische efficiëntie te beoordelen.

Kosten

- **Installatiekosten:** Een volledig groen-blauw dak kost €90 per m², bestaande uit een retentiesysteem (€40 per m²) en substraat met vegetatie (€50 per m²).
- **Onderhoudskosten:** Jaarlijks onderhoud kost ongeveer €1 per m².

Opbrengsten

- **Energiebesparing:** Besparing van €0,40 tot €1,50 per m² per jaar voor koeling en jaarlijkse besparing van €2,30 per m² voor verwarming.
- **Levensduur:** Groen-blauwe daken gaan 40-55 jaar mee, terwijl conventionele daken een levensduur van 20 jaar hebben.
- **Vastgoedwaarde:** De vastgoedwaarde kan stijgen met 2-5%.

Resultaten

- **Waterretentie:** Groen-blauwe daken hebben een retentie van 87%, vergeleken met 35% voor conventionele daken.
- **Verdamping:** 20% meer verdamping bij blauwe-groene daken, wat verkoeling en hitte-eilandreductie bevordert.
- **Afvoer:** Afvoer wordt met 50-60% gereduceerd bij extreme neerslag.
- **Break-even:** De terugverdientijd van het groen-blauw systeem in combinatie met zonnepanelen is 13 jaar, vergelijkbaar met die van alleen zonnepanelen, dankzij gedeelde kosten en verhoogde efficiëntie.

De combinatie van een groen-blauw dak met zonnepanelen is financieel interessant. Dit laat toe bepaalde kosten te delen en de efficiëntie van de panelen te verhogen. Hierdoor wordt de terugverdientijd van het groen-blauw systeem sterk versneld.



Figuur 84 Bölke Enschede. Bron: Centrumkwadraat

7.2 Financiële business case voor het groene dak van de Skaggs Pharmacy Building, Universiteit van Utah, VS (Wu, 2011)

De studie analyseert de financiële haalbaarheid van een groen dak met een 40-jarige kosten-batenanalyse, vergeleken met conventionele zwarte en reflecterende daken.

Kosten

- **Installatiekosten:** De investering in een groen dak met 30 cm substraat bedraagt \$300.000, inclusief materialen, installatie en onderhoud in het eerste jaar. Conventionele daken zijn goedkoper maar gaan minder lang mee, terwijl reflecterende daken iets duurder zijn, met betere energie-efficiëntie maar zonder voordelen zoals waterbeheer of duurzaamheid.
- **Onderhoudskosten:** Jaarlijks onderhoud van het groene dak wordt geschat op \$1.000 - \$1.500. Conventionele daken hebben vergelijkbare onderhoudskosten, maar compenseren dit niet met bijkomende voordelen.

Opbrengsten

- **Energiebesparing:** 12,4% op koellasten in de eerste twee jaar, oplopend tot 14,2% vanaf jaar drie met volle vegetatie. Gemiddelde jaarlijkse besparing: \$8.000-\$10.000. Het dak biedt ook bescheiden verwarmingsbesparing in koude maanden.
- **Levensduur:** 40-50 j. in vergelijking met 15-20 j. voor een conventioneel dak. Kostenbesparing door minder frequent vervangen: \$200.000 - \$300.000 over 40 j.
- **Indirecte opbrengsten:** Het groene dak vangt regenwater op, vermindert stedelijke waterafvoerkosten, draagt bij aan een lagere lokale temperatuur en verlaagt daarmee indirect de energiekosten in de omgeving.

Resultaten

- **Netto Contante Waarde (NPV):** Het groene dak heeft een positieve NPV van \$38.926,06 over 40 jaar (discontovoet 2,8%), dankzij energiebesparingen en lagere vervangingskosten. Totale voordelen: \$662.231,21. Ter vergelijking: een reflecterend dak heeft een NPV van -\$25.620 en een conventioneel dak -\$155.668.
- **Return on Investment (ROI):** De ROI bedraagt 100% over 40 jaar.
- **Break-even:** Het omslagpunt (break-even) wordt bereikt na 27 jaar, waarna de financiële voordelen significant zijn.

De case toont aan dat een groen dak op lange termijn financieel en milieutechnisch rendabel is, terwijl de effectieve NPV door niet-gekwantificeerde indirecte voordelen waarschijnlijk nog hoger uitvalt.



Figuur 85 Skaggs Pharmacy Research Building Utah

7.3 Doorrekening Green Roofs for Public Schools beleid van New York, VS (Green Infrastructure Foundation, 2021)

Het Public School Green Rooftop Program (H.R. 1863) investeert \$500 miljoen over vier jaar in groene daken op openbare scholen, met als doelen het creëren van multifunctionele buitenruimtes, aanpakken van milieuproblemen (zoals hitte-eilandeffect en CO₂-uitstoot), en het bevorderen van gelijkheid in milieubelaste gemeenschappen.

Kosten

- **Kapitaalinvestering:** €277 miljoen (\$300 miljoen) voor de aanleg van 1,3 miljoen m² groene daken (930.000 m² extensief, 93.000 m² intensief met voedselproductie, 280.000 m² intensief zonder voedselproductie).
- **Onderhoudskosten:** €148 miljoen (\$160 miljoen) over 50 jaar.

Opbrengsten

- **Scholen:** €349 miljoen (\$378 miljoen) door lagere energiekosten, verlengde daklevensduur en opbrengsten uit voedselproductie.
- **Gemeenschap:** €244 miljoen (\$264 miljoen) door verbeterd stormwaterbeheer, reductie van het hitte-eilandeffect, verbeterde luchtkwaliteit, verhoogde biodiversiteit, en CO₂-compensatie.
- **Milieutechnisch:** behoud van 582 miljoen liter regenwater, de compensatie van 537 ton CO₂, en een energiebesparing van 10,7 miljoen kWh.
- **Jobcreatie:** over 50 jaar 28.570 arbeidsjaren, waaronder 5.570 directe en 23.000 indirecte, met €132 miljoen aan installatiekosten voor arbeid, 80 vaste onderhoudsbanen per jaar, en 3.977 onderhoudsarbeitsjaren.
- **Indirect:** Groene daken bevorderen educatie in groene technologie, stimuleren lokale economieën en verbeteren de leefbaarheid in stedelijke gebieden.

Resultaat

- Netto voordeel voor scholen en de gemeenschap: €170 miljoen (\$183 miljoen) over 50 jaar met jaarlijks rendement van 7,3% en een jobcreatie van 14.700 VTE arbeidsplaatsen.

Deze combinatie van directe en indirecte voordelen maakt groene daken een financieel aantrekkelijke en maatschappelijk waardevolle investering.



Figuur 86 Greenwich Village School New York. Bron: MBB Architects

7.4 Doorrekening voordelen zonnepanelen met groen dak - EMSD Headquarters, Hong Kong, CN (Hui S. , 2011)

Deze case uit Hongkong onderzoekt de integratie van groene daken en zonnepanelen op bestaande gebouwen om duurzame stadsontwikkeling te bevorderen door energiebesparing, milieuwinst en verbeterde systeemefficiëntie.

Kosten

- **Installatie:** Sedumdak in combinatie met bestaand dak met PV-panelen op 80% van het dak. 6.300 m² en 350 kWp PV installatie. Exacte kost onbekend.

Opbrengsten

- **Energiebesparing:** Groene daken verminderen de jaarlijkse energievraag van het gebouw met 235.116 MJ (65.310 kWh), wat neerkomt op een kostenbesparing van HK\$ 63.351 per jaar.
- **Efficiëntieverhoging zonnepanelen:** Koeling door groene daken verhoogt de efficiëntie van zonnepanelen van 12% naar 13%, wat een extra stroomopbrengst oplevert van 27.510 kWh per jaar of HK\$ 26.685.

Resultaten

- **Thermische voordelen:** Vermindering van bodem- en oppervlaktetemperatuur met 4-5°C.
- **Energieopbrengst:** Geïntegreerd systeem levert 8,3% meer energie dan standalone zonnepanelen.
- **Milieuwinst:** Vermindering stedelijke hittestress, verbetering luchtkwaliteit en lagere stofniveaus op panelen.

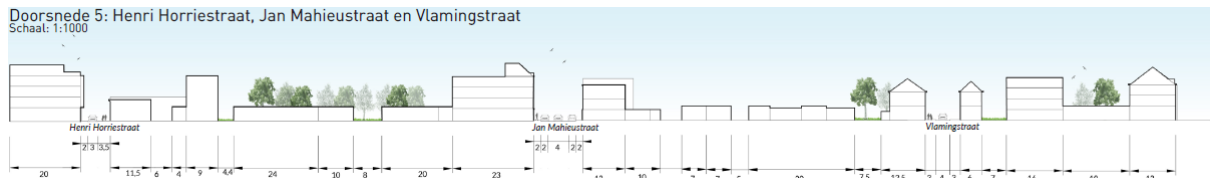
De integratie van groene daken en zonnepanelen verbetert energie-efficiëntie, verlaagt koelkosten en biedt substantiële milieuwinst, waarmee het een waardevolle investering is voor duurzame stadsontwikkeling.



Figuur 87 Origineel PV Roof systeem EMSD headquarters, Hong Kong. Bron: foe.org.hk

8 Het dakpotentieel in Roeselare bedraagt maximaal 764 ha

Een centrumstad als Roeselare heeft uiteraard stevig wat daken beschikbaar, al dan niet gebruikt. Deze komen in verschillende vormen, lengtes en hellingsgraden zoals onderstaande snede van het centrum toont (figuur 88). Om in te schatten wat het potentieel is wordt een eerste analyse gemaakt die later verfijnd wordt.



Figuur 88 Daksnede Henri Horriestraat, Jan Mahieustraat en Vlamingstraat. Bron: Eva de Grood

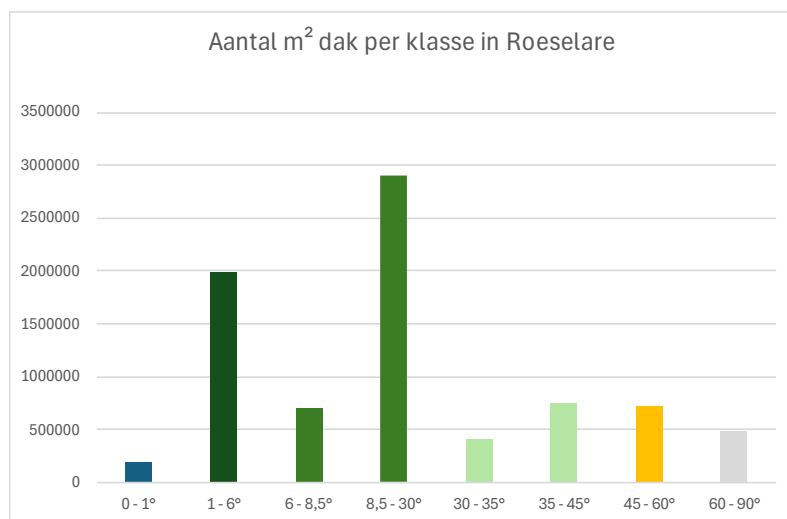
De totale grondoppervlakte van de stad bedraagt 6039,88 hectare waarvan 41% bebouwd is en waarvan 657,56 hectare oppervlakte is voor bedrijven (Stad Roeselare, 2023). Een eerste analyse van 2024-luchtfoto's (15x15 cm resolutie) laat zien dat er 811,94 hectare dakoppervlakte is – 23,5% meer dan de bebouwde bedrijfsgrond – nadat trappen, loopbruggen, garagetoegangen en zichtbare onderkelderingen werden uitgesloten.

Een diepere analyse, die geen rekening houdt met stabiliteit of huidige invulling, toont dat deze Roeselaarse dakoppervlakte uitgesplitst is in verschillende hellingsgraden en verschillende gebouwtypes (figuur 89). Er is bijna 19 hectare dak met minder dan 1° helling geschikt voor waterbuffering, 200 hectare tussen 1° en 6° voor toegankelijke daktuinen, 360 hectare tussen 6° en 30° voor lichte daktuinen, en 115 hectare tussen 30° en 45° voor extensieve groendaken. Bovendien is er ongeveer 72 hectare dak met meer dan 45° helling, nog geschikt voor energieopwekking. De overige 6% is te stijl (> 60°) voor gebruik, behalve voor klimgroen.



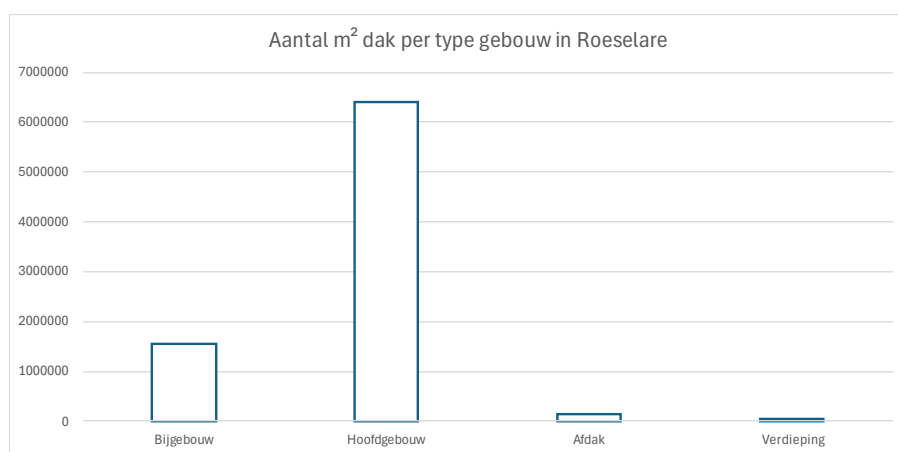
Figuur 89 Eerste kartering hellingsgraden Roeselaarse daken met inkleuring volgens mogelijke functie

Zonder deze laatste categorie blijft er 763,71 hectare bruikbare dakoppervlakte over – 28 keer Sterrebos of 2 maal de binnenring van de stad. Figuur 90 toont een samenvatting met funktiekleuren, zoals in figuur 89: blauw voor water, donkergroen voor mogelijke daktuinen, medium groen voor lichte daktuinen, lichtgroen voor extensieve daktuinen, geel voor zonnepanelen/boilers en grijs voor nagenoeg onbruikbare oppervlakken.



Figuur 90 Oppervlakte Roeselaarse daken in hellingsgraden volgens mogelijke functie

Verder toont een eerste analyse dat deze dakoppervlakte komt van verschillende types gebouwen: hoofdgebouwen, bijgebouwen, afdaken en verdiepingen. Veruit de grootste totale oppervlakte komt van hoofdgebouwen (80%) zoals getoond in figuur 91.



Figuur 91 Dakoppervlakte van Roeselare in types gebouwen

De cijfers geven een theoretisch maximum zonder onderscheid te maken tussen gebruikte en ongebruikte daken, zonder rekening te houden met oriëntatie en zonder te analyseren hoe aaneengesloten deze oppervlaktes zijn. Noordgerichte daken zijn bijvoorbeeld door beperkte zonnestraling minder geschikt voor groene of gele functies en vele kleine en aparte stukjes dak maken investeringen minder interessant. Deze beperkingen kunnen later worden aangepast om een praktische bovengrens en gerichte potentieelzones vast te stellen. Bovendien zal het algoritme nog verder verfijnd moeten worden.

Zelfs als deze correcties gebeuren blijft het potentieel in Roeselare naar alle waarschijnlijkheid heel groot: in 2022 werd slechts 7,51% van het zonne-energiepotentieel op de daken benut (Vlaams Energie- & Klimaatagentschap, 2022).

Hierna worden enkele getuigenissen gebracht door Roeselarenaren die reeds één of meerdere functiekleuren toepasten op hun dak.

9 Roeselarenaren aan het woord

Getuigenis 1. Medewerkers van Tandens Tandartsenpraktijk lunchen in de daktuin

Xavier Demeulemeester over de daktuin op Tandens Tandartsenpraktijk: “Onze daktuin ligt boven op de praktijkruimtes van onze tandartsenpraktijk Tandens, naast een dakterras met keramische tegels. Zowel de daktuin als het terras worden door onze medewerkers gebruikt tijdens de pauzes. In 2017 hebben we de daktuin aangelegd op het bestaande platte dak, met een totale oppervlakte van ongeveer 250 m². Omdat we het dak optimaal wilden benutten, moesten we wel goed rekening houden met het maximale draaggewicht van 275 kg/m².

We kozen voor een groendak vanwege het veelzijdige ruimtegebruik. Door de tuin op het dak te plaatsen, konden we het perceel veel efficiënter gebruiken voor vergaderingen en evenementen. We hebben gekozen voor een semi-intensieve beplanting met een combinatie van gazongras, struiken en hogere vegetatie. Aan de randen van de daktuin werd een brede grindstrook voorzien. Het onderhoud van deze beplanting is vergelijkbaar met dat van een traditionele tuin, met ongeveer een 6-tal onderhoudsbeurten per jaar.”

- Type: multifunctioneel dak (groen & rood)
- Oppervlakte: 250 m²
- Bovenop de praktijkruimtes van een tandartspraktijk
- Aangelegd door Naturoof in 2017
- Kostprijs: € 200/m²



Getuigenis 2. Ellen geniet vanuit haar bureau van het groen

Ellen Aernout getuigt: “Onze woning kreeg in 2017 een flinke make-over, inclusief een nieuwe uitbreiding. Bij die renovatie hebben we er meteen voor gekozen om op het nieuwe gedeelte een groen sedumdak aan te leggen. Waarom ik enthousiast ben over ons groendak?

Allereerst is het een prachtig gezicht. Vanaf ons bureau kunnen we nu dagelijks genieten van een mooi groen uitzicht. Maar er is meer! Het groendak fungeert als natuurlijke isolatie, waardoor de woning gezellig warm blijft in de winter en lekker koel in de zomer. Tot slot beschermt het ons dak ook tegen de grillen van de natuur, zoals brandende zon en extreem weer, wat de levensduur aanzienlijk verlengt.

Bovendien vergt het bijna geen onderhoud. Eenmaal per jaar halen we het onkruid weg en geven we het een boost met wat sedummeststof. Dat is voldoende! Ik ben ervan overtuigd dat een groendak een geweldige toevoeging is aan elk huis. Het is niet alleen mooi en duurzaam, maar het vraagt ook amper inspanning om ervan te genieten. Ik zou het iedereen aanraden!”

- Type: groen dak
- Oppervlakte: 21 m²
- Uitbouw van rijwoning
- Samen aangelegd met Naturoof in 2017



Getuigenis 3. Robin legde zelf zijn groendak aan

Robin Wallegghem doet zijn verhaal: "Het groendak op de oefenruimte van mijn moeders kinepraktijk is 38 m² groot en bedekt het volledige platte dak. Op het gelijkvloers van de rijwoning zit de praktijk, de twee verdiepingen daarboven worden verhuurd. De woning werd gerenoveerd in 2016 en toen kwam er een aanbouw bij waarop nu het groendak ligt. Ondanks de beperkte grootte is alles wat mogelijk is, benut. Het idee ontstond toen ik als jobstudent bij Naturoof werkte, een bedrijf gespecialiseerd in de aanleg en onderhoud van groendaken.

Met een verkoelend effect in de zomer en een esthetische upgrade voor het uitzicht, biedt het groendak meerdere voordelen. Het vertraagt de waterafvoer in natte periodes, waardoor het bijdraagt in de strijd tegen wateroverlast en de belasting op het rioleringsstelsel beperkt. Ons extensief sedumdak is niet bedoeld voor intensief gebruik, maar andere groendakopties kunnen bijvoorbeeld een terras bevatten.

Het verschil tussen een extensief en intensief groendak ligt in het gebruik: extensief is niet bedoeld om te gebruiken of op te lopen, terwijl intensief wel als tuin kan dienen. Sedum, droogtebestendige vetplantjes uit het Middellandse zeegebied, vormen de basis van ons groendak, bloeien mooi in de zomer en zijn zeer onderhoudsvriendelijk.

Ik heb het groendak zelf aangelegd en dat was eigenlijk niet zo moeilijk. Samen met m'n vader en grootvader hebben we er een dag werk aan gehad. Belangrijke eerste stap is wel dat je de stabiliteit en sterkte van je dak steeds vooraf moet laten controleren door een architect of ingenieur. Voor een mooi groendak moet je na de aanleg ongeveer twee jaar geduld hebben met de groei van de planten."

- Type: groen dak
- Oppervlakte: 38 m²
- Uitbouw van rijwoning
- Zelf aangelegd in september 2023
- Kostprijs: € 1.600 – € 2.000



Getuigenis 4. Steenoven zet met groendaken in op een duurzame stedelijke omgeving

Bram Messiaen, projectmanager bij Steenoven, licht toe: “Bij Steenoven, een ontwikkelaar in Roeselare, leggen we momenteel de laatste hand aan het innovatieve project Roelevard, samen met ION. Als projectmanager ben ik sinds 2017 verantwoordelijk voor Roelevard, vanaf de bouwaanvraagfase tot aan de oplevering.

Roelevard combineert 81 appartementen met 5.900 m² kantoorruimte en 600 m² voor retail en horeca. Het project bestaat uit twee gebouwen: Lux, een 46 meter hoge toren met 4 bouwlagen kantoren en daarboven 45 appartementen. Bronze varieert van drie tot vijf bouwlagen, met kantoren op het gelijkvloers en 36 appartementen erboven.

De plannen zijn ontworpen door de architectenbureaus Snøhetta en B2Ai Architecten, waarbij bewust is gekozen voor groendaken. Dit vanwege de ruime dakoppervlakken en de wens van de Stad Roeselare om zoveel mogelijk groen te integreren in het project.

We voorzien groen zowel op maaiveldniveau in volle grond, op de afdek kelder als op de daken zelf. Dit met een totale oppervlakte van 3.800 m² aan groendak, verdeeld over 1.700 m² op maaiveldniveau en 2.100 m² op de daken.

De groendaken zijn een combinatie van extensief, semi-intensief en intensief, met beplanting zoals struiken en bomen, wat meer onderhoud vergt dan extensieve beplanting zoals mos of sedum. Op de daken van Bronze staan bijvoorbeeld hazelaars. Hoewel deze daken niet bedoeld zijn voor recreatief gebruik, dragen ze bij aan een esthetisch aantrekkelijk geheel en helpen ze het hitte-eilandeffect te verminderen. Daarnaast genieten bewoners van hogere verdiepingen van een mooi uitzicht op de groene terrassen.

In grote ontwikkelingen zien we de laatste jaren een toenemend belang van groen en duurzaamheid. Roelevard was een van de eerste projecten waarin we zó sterk hebben ingezet op dat groen karakter, maar dat is inmiddels standaard geworden in onze projecten.”

- Type: groen-blauw dak
- Oppervlakte: 3800 m²
- Bovenop kelder en daken van appartementen, kantoorruimte, horeca en retail
- Aangelegd door Naturoof in 2023-2024



Figurenlijst

Figuur 1 Volgens oude beschrijvingen bestonden de tuinen van Babylon uit terrassen, elk gevuld met weelderige en geurige planten. Bron: National Geographic	1
Figuur 2 Dakpark Rotterdam met horeca, moestuinen en parkfunctie. 1,2 km lang, 80 meter breed en 9 meter hoog. 8 hectare park. Geopend in 2013. Bron: TheGreenCities.eu.....	2
Figuur 3 Types groendak. Bron: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf.....	3
Figuur 4 Illustratie van schaduw van zonnepanelen op bepaalde momenten van de dag (links) en heterogeen resulterend schaduweffect doorheen de dag (rechts). Bron: Schindler, 2016.....	5
Figuur 5 a) Sedum sediforme b) Thymus pulegioides c) Festuca glauca. Bron: Tadeu, 2024.....	7
Figuur 6 a) Vergroend dak met zonnepanelen. b) conventioneel dak met zonnepanelen. c) soortendiversiteit. Bron: Wooster, 2022	11
Figuur 7 Schuin groendak in de Navez-wijk Schaarbeek. Bron: Yvan Glavie	12
Figuur 8 Filtering regenwater cultuurcentrum Deinze. Bron: Waterdoctor.be	14
Figuur 9 V.l.n.r. gesloten retentiedak sedum, - sedum lichtgewicht, - aroma en- biodivers. Bron: Sempergreen.....	16
Figuur 10 Open & permanent waterdak Artemis Hotel Amsterdam. Bron: Merlijn Michon ..	16
Figuur 11 Statisch waterdak. Bron: Amersfoort Rainproof.....	17
Figuur 12 Dynamisch Waterdak met sturing. Bron: Bouwwereld.nl.....	17
Figuur 13 Synergie tussen groen en blauw dak. Bron: Yun et al. 2024	18
Figuur 14 Kans op chemische vervuiling water versus levensduur dakbedekking	22
Figuur 15 Spaans dak met mechanische bevestigde meerlaagse TPO bedekking op een stalen ondergrond sinds 1999. Nog steeds performant na meer dan 20 jaar. Bron: holcimelevate.com	23
Figuur 16 Open permanent waterdak. Walterboscomplex. Apeldoorn. Nederland. Bron: Neutelings-Riedijk Architects.....	24
Figuur 17 Groendak met zonnepanelen. Bron: American Organic Energy	26
Figuur 18 Over Easy Solar panelen met sedumdak. Bron: Solar Batteries	27
Figuur 19 Verticale zonnepanelen bij sneeuwval - Oostenrijk. Bron: Over Easy Solar	28
Figuur 20 Inkijk in een 420W PV/T-paneel Volthera EVO 2023. Bron: Solar Magazine.....	29
Figuur 21 Dubbele as trackers voor zonnepanelen. Bron: Sinovoltaics.com.....	30
Figuur 22 Testen met éénassig systeem en 3 automatische vaste posities. Bron: Huang, 2013	31
Figuur 23 Tilt versus Azimuth. Bron: Kuga.com.au	33
Figuur 24 Verschillende soorten verticale windmolens. Bron: Castellani, 2019	36
Figuur 25 PAKT Antwerpen stadslandbouw op het dak. Bron: CommonsLab	37
Figuur 26 Westwing Park. Bron: Naturoof	41
Figuur 27 Westwing Park. Bron: Naturoof	41
Figuur 28 Agristo Wielsbeke. Bron: Naturoof.....	42
Figuur 29 Agristo Wielsbeke. Bron: Naturoof.....	42
Figuur 30 World Trade Center, Den Haag. Bron: dakdokters.nl.....	43
Figuur 31 World Trade Center, Den Haag. Bron: dakdokters.nl	43
Figuur 32 Walterboscomplex, Apeldoorn. Bron: NRC.nl	44
Figuur 33 Walterboscomplex, Apeldoorn. Bron: Post65	44
Figuur 34 All Sports. Arendonk. Bron: Naturoof.....	45
Figuur 35 All Sports. Arendonk. Bron: Naturoof.....	45
Figuur 36 Roelevard. Bron: Steenoven.....	46
Figuur 37 Roelevard. Bron: Era.....	46
Figuur 38 Bifaciale verticale zonnepanelen op sedumdak. Bron: Solar Batteries	47
Figuur 39 Bifaciale verticale zonnepanelen op sedumdak. Bron: Solar Batteries.....	47
Figuur 40 Groenmark Amsterdam. Bron: Het Parool.....	48

Figuur 41 Groenmarkt Amsterdam. Bron: de Architect	48
Figuur 42 De Klapwijkse Pieren Rotterdam. Bron: wurck.nl	49
Figuur 43 De Klapwijkse Pieren Rotterdam - Moersdak plan. Bron: wurck.nl	49
Figuur 44 Rijwoning Borgerhout. Bron: Gazet van Antwerpen	50
Figuur 45 Rijwoning Borgerhout. Bron: Het Laatste Nieuws	50
Figuur 46 De Groene Kaap, Rotterdam. Bron: AD	51
Figuur 47 De Groene Kaap, Rotterdam. Bron: Lola	51
Figuur 48 GO! School Tangram. Bron: Zoontjes.nl	52
Figuur 49 GO! School Tangram. Bron: Zoontjes.nl	52
Figuur 50 De Kampus Vorselaar. Bron: Zoontjes.nl	53
Figuur 51 De Kampus Vorselaar. Bron: Zoontjes.nl	53
Figuur 52 Kindergarten, Polen. Bron: Metalocus	54
Figuur 53 Kindergarten, Polen. Bron: NewAtlas.com	54
Figuur 54 The Student Experience, Amsterdam. Bron: dakdokters.nl	55
Figuur 55 The Student Experience, Amsterdam. Bron: dakdokters.nl	55
Figuur 56 The Munich Technology Centre, München. Bron: ZinCo Green Roof Systems	56
Figuur 57 The Munich Technology Centre, München. Bron: ZinCo Green Roof Systems	56
Figuur 58 Agrotopia. Roeselare. Bron: Architectura	57
Figuur 59 Agrotopia. Roeselare. Bron: META	57
Figuur 60 Ferme Etchéléc. Sames, Frankrijk. Bron: Insolight.ch	58
Figuur 61 Ferme Etchéléc. Sames, Frankrijk. Bron: freshplaza.fr	58
Figuur 62 Volle Grond. PAKT Antwerpen. Bron: VRT	59
Figuur 63 Volle Grond. PAKT Antwerpen. Bron: GVA	59
Figuur 64 IKEA Greenwich hoofdgebouw. Bron: Zoontjes.nl	60
Figuur 65 IKEA Greenwich fietsenstallingen. Bron: livingroofs.org	60
Figuur 66 Decathlon Charleroi met overkapping. Bron: Infosteel	61
Figuur 67 Decathlon Charleroi zonder overkapping. Bron: Kingspan	61
Figuur 68 Groendak Delhaize Kortrijk. Bron: Naturoof	62
Figuur 69 Groendak Delhaize Kortrijk. Bron: Naturoof	62
Figuur 70 Project Coupole. Jette. Bron: Gids Duurzame Gebouwen Brussel	63
Figuur 71 Project Coupole. Jette. Bron: bruciel.brussels	63
Figuur 72 WZC Zilversterre, Gent. Bron: Naturoof	64
Figuur 73 WZC Zilversterre, Gent. Bron: Naturoof	64
Figuur 74 FFS Sportsite Wallenhorst. Bron: Wirtschaft aktuell	65
Figuur 75 FFS Sportsite Wallenhorst. Bron: PV Europe	65
Figuur 76 Doloris Tilburg. Bron: de Volkskrant	66
Figuur 77 Doloris Tilburg. Bron: Brabants Dagblad	66
Figuur 78 Woonstichting 'thuis. Bron: ROEF	67
Figuur 79 Woonstichting 'thuis. Bron: ROEF	67
Figuur 80 Station Delft Campus. Bron: Solar Magazine	68
Figuur 81 Station Delft Campus. Bron: prorail.nl	68
Figuur 82 Soho House Amsterdam. Bron: Superfuture	69
Figuur 83 Soho House Amsterdam. Bron: Soho House	69
Figuur 84 Bölke Enschede. Bron: Centrumkwadraat	70
Figuur 85 Skaggs Pharmacy Research Building Utah	71
Figuur 86 Greenwich Village School New York. Bron: MBB Architects	72
Figuur 87 Origineel PV Roof systeem EMSD headquarters, Hong Kong. Bron: foe.org.hk	73
Figuur 88 Daksnede Henri Horriestraat, Jan Mahieustraet en Vlamingstraat. Bron: Eva de Grood	74
Figuur 89 Eerste kartering hellingsgraden Roeselaarse daken met inkleuring volgens mogelijke functie	74
Figuur 90 Oppervlakte Roeselaarse daken in hellingsgraden volgens mogelijke functie	75
Figuur 91 Dakoppervlakte van Roeselare in types gebouwen	75

Bibliografie

- Abdin, Z. (2021, 02 23). A Survey on Applications of Hybrid PV/T Panels. *Energies*, p. 14.
- Abu-Khader, M. M. (2008, April). Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 864-873.
- Amsterdam Weerproof. (n.d.). *Waterdaken*. Retrieved from Amsterdam Weerproof: <https://weerproof.nl/maatregelen/waterdaken/>
- Arenandan, V. (2022, September). Efficiency enhancement in energy production of photovoltaic modules through green roof installation under tropical climates. *Ain Shams Engineering Journal. Volume 13, Issue 5*.
- Barbón, A. (2022, January 1). Analysis of the tilt and azimuth angles of photovoltaic systems in non-ideal positions for urban applications. *Applied Energy* 305.
- Batibouw +. (2023). *Hoeveel kost een groendak? Prijs per m² in 2023*. Retrieved from Batibouw +: <https://www.batibouwplus.be/nl/hoeveel-kost-een-groendak--prijs-per-m2-in-2023>
- Baumann, T. (2018). Performance analysis of vertically mounted bifacial PV modules on green roof system. *35th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. Brussels.
- Belgisch Staatsblad. (2022, mei 20). *20 MEI 2022. - Koninklijk besluit tot wijziging van het koninklijk besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de gebouwen moeten voldoen*. Retrieved from Federale Overheidsdienst Justitie: <https://www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/2022/05/20/2022032282/staatsblad>
- Bergou, N. (2022, August 31). The mental health benefits of visiting canals and rivers: An ecological momentary assessment study. *PLoS ONE* 17(8).
- Bianchini, F. (2012, December). Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Building and Environment*, pp. 152-162.
- Blauw Groen Vlaanderen. (n.d.). *Groendaken*. Retrieved from Blauw Groen Vlaanderen: <https://blauwgroenvlaanderen.be/professionals/maatregelen/groendaken/#:~:text=Voor%20uitgebreide%20groendaken%20beperkt%20het,waar%20nodig%2C%20vul%20substraat%20aan.>
- Bousselot, J. (2017). Photovoltaic array influences the growth of green roof plants. *Journal of Living Architecture Vol 4 Number 3*, pp. 9-18.
- Bouwwereld. (2018, november 26). *Wat is een retentiedak en welke systemen zijn er?* Retrieved from Bouwwereld: <https://www.bouwwereld.nl/bouwtechniek/wat-is-een-retentiedak-en-welke-systemen-zijn-er/>
- Bozikova, M. (2021, September 27). The Effect of Azimuth and Tilt Angle Changes on the Energy Balance of Photovoltaic System Installed in the Southern Slovakia Region. *Applied Sciences*.
- Buildwise. (2005, Juni). Een nieuwe norm ter bepaling van de sneeuwbelasting. *WTGB-Contact nr 6*, p. 8.

- Buildwise. (2019). Kunnen waterretentiedaken zonder helling uitgevoerd worden? *WTCB-Contact*.
- Busker, T. (2022, January 1). Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. *Journal of Environmental Management*, Volume 301.
- Castellani, F. (2019, May 22). Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use. *Machines* 7, p. 35.
- Connelly, M. (2005). *Green roof research in British Columbia – An Overview*, In *Proceedings of the Greening Rooftops for Sustainable Communities*. Washington.
- Connelly, M. (2013, mei 16). Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs. *Applied Acoustics* 74, pp. 1136–1143.
- Consumentenprijzen; prijsindex 1900 = 100*. (2024, 02 08). Retrieved from Centraal Bureau voor de Statistiek: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/71905ned>
- Dakenraad - Platform voor Dak en Gevel. (2024, januari 21). *Permanent water op het dak*. Retrieved from Dakenraad: <https://www.dakenraad.nl/permanent-water-op-het-dak/>
- Dang, H.-A. N. (2022, November 10). Social Impact of Green Roofs. *Frontiers in Built Environment*, pp. 76-94.
- De Buyck, P.-J. (2021, November). Roof runoff contamination: Establishing material-pollutant relationships and material benchmarking based on laboratory leaching tests. *Chemosphere*, Volume 283.
- DiPietro, D. J. (2023, September 28). Nature and City Sounds Influence Physiological and Psychological makers in college students. *OBM Integrative and Complementary Medicine*.
- Dipta, S. S. (2022, December 15). Estimating the potential for semitransparent organic solar cells in agrophotovoltaic greenhouses. *Applied Energy*. Vol. 328.
- Dominguez, A. (2011, 09 01). Effects of solar photovoltaic panels on roof heat transfer. *Solar Energy* 85, p. 9.
- Energy Education. (2015). *Solar Panel Orientation*. Retrieved from Energy Education: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_panel_orientation
- Fleming, W. (2024, June 04). The nature gaze: Eye-tracking experiment reveals well-being benefits derived from directing visual attention towards elements of nature. *People and Nature*, pp. 1469-1485.
- Föllmi, D. (2023, December). Influence of blue-green roofs on surface and indoor temperatures over a building scale. *Nature-Based Solutions*, Vol. 4.
- Galbrun, L. (2017, May). Sound insulation of lightweight extensive green roofs. *Building and Environment*, vol. 116, pp. 130-139.
- Grebitus, C. (2020, June 12). Consumers' Perception of Urban Farming—An Exploratory Study. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
- Green Infrastructure Foundation. (2021). *Green Roofs on Public Schools: An Exceptional Infrastructure Investment*. Green Infrastructure Foundation.
- Green Roof Organisation Ltd. (2021). *The GRO Green Roof Code*. Surrey, England: Green Roof Organisation Ltd.

- Gregoire, B. G. (2011, June). Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, Vol. 37, Issue 6, pp. 963-969.
- Haas, J. (2020, February 15). Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion and Management*. Vol. 206.
- Hoffmann, F. M. (2018, January). Monthly profile analysis based on a two-axis solar tracker proposal for photovoltaic panels. *Renewable Energy*. Vol. 115., pp. 750-759.
- Huang, B.-J. (2013). Improving Solar PV System Efficiency Using One-Axis 3-Position Sun Tracking . *Energy Procedia*. Vol. 33, pp. 280-287.
- Hui, S. (2011). Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In *Proceedings of Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability*, (pp. 1.1-1.10). Hong Kong.
- Hui, S. C. (2009). *Study of Thermal and Energy Performance of Green Roof Systems. Final Report*. Hong Kong: Department of Mechanical Engineering, University of Hong Kong.
- Informed. (2023, July 13). *Low-Slope Membrane Roofing Product Guidance*. Retrieved from Informed: <https://informed.habitablefuture.org/product-guidance/14-roofing>
- ISSO. (2020). *Praktijkboek Multifunctionele Groene Daken en Gevels*.
- Jacobson, M. Z. (2018, April 4). World Estimates of PV Optimal Tilt Angles and Ratios of Sunlight Incident Upon Tilted and Tracked PV Panels Relative to Horizontal Panels . *Solar Energy. Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University*.
- Jaffal, I. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, Vol 43, pp. 157-164.
- Leefmilieu Brussel. (2020, Februari 12). *Intensief en semi-intensief groendak*. Retrieved from Gids Duurzame Gebouwen: <https://gidsduurzamegebouwen.brussels/intensief-semi-intensief-groendak>
- Leefmilieu Brussel. (2024, Augustus 17). *Retentiedaken*. Retrieved from Gids Duurzame Gebouwen: <https://gidsduurzamegebouwen.brussels/retentiedaken>
- Leefmilieu Brussel. (2024, Januari 22). *Toelaatbare helling van het groendak*. Retrieved from Gids Duurzame Gebouwen: <https://gidsduurzamegebouwen.brussels/groendak-realiseren/toelaatbare-helling-groendak>
- Luyao, L. (2017). Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems. *Energy Procedia* 105, pp. 1136-1142.
- Machidon, D. (2023, April 21). Tilt Angle Adjustment for Incident Solar Energy Increase: A Case Study for Europe. *Sustainability* .
- Marrana, T. (2017, February). Lifecycle Cost Analysis of Flat Roofs of Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 143, No. 6.
- Mentens, J. (2006, August 30). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, pp. 217-226.
- Meral, M. (2011, June). A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 2176-2184.

- Mubarak, R. (2019, November 28). Why PV Modules Should Preferably No Longer Be Oriented to the South in the Near Future. *Energies*.
- Nasr, J. (2015). Rooftops as productive spaces: planning and design lessons from Toronto. *Localizing Urban food strategies. Farming Cities and performing rurality*. (pp. 374-380). Torino: 7th International Aesop Sustainable Food Planning Conference.
- Nationaal Dakenplan. (n.d.). *Handreiking Groen-Gele daken*.
- Noxpanco, M. (2020, October 12). A Review of the Recent Development of Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems and Their Applications. *Future Cities and Environment*. Vol 6., pp. 1-16.
- Over Easy Solar. (n.d.). *Verticale zonnepanelen voor platte daken – een lichtgewicht oplossing met een betere levensduurwaarde*. Retrieved from Over Easy Solar: <https://www.overeasy.no/nl/flat-roof-solar>
- Peters, I. M. (2019). The Impact of Global Warming on Silicon PV Energy Yield in 2100. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Plegt, S. (2022). *Hydrological performance of smart blue-green roofs by means of EPA SWMM*. Enschede: University of Twente.
- Pouran, H. M. (2022). Environmental and technical impacts of floating photovoltaic plants as an emerging clean energy technology. *iScience*. Vol. 25 Issue 11.
- Printezis, I. (2017, 1st Quarter). Importance of Perceived “Naturalness” to the Success of Urban Farming. *Choices*, p. 32.
- Reade, J. (2000). Alexander the Great and the Hanging Gardens of Babylon. *Iraq*. Vol. 62, pp. 195-217.
- Robinson, A. (2024, September 21). *Solar PV Analysis*. Retrieved from Solar PV Analysis of Roeselare, Belgium: <https://profilesolar.com/locations/Belgium/Roeselare/>
- Roeselare in cijfers*. (2023). Retrieved from Roeselare in cijfers: <https://roeselare.incijfers.be/mosaic/dashboard/ruimtegebruik>
- Schatzmayr Welp Sá, T. (2021, June 21). Assessing rainwater quality treated via a green roof system. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 24, pp. 645-660.
- Schindler, B. (2016, September). Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. *Israel Journal of Ecology and Evolution* 62, pp. 68-73.
- Schindler, B. (2018, August 06). Green roof and photovoltaic panel integration: Effects on plant and arthropod diversity and electricity production. *Journal of Environmental Management*.
- Sidek, M. (2017, April). Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control. *Energy*. Vol. 124, pp. 160-170.
- Silva, C. M. (2023, March 17). Green Spaces over a Roof or on the Ground, Does It Matter? The Perception of Ecosystem Services and Potential Restorative Effects. *Sustainability*.
- Solar Calculator. (n.d.). *Solar panel efficiency*. Retrieved from Solar Calculator: <https://solarcalculator.com.au/solar-panel-efficiency/>

- Solar Calculator. (n.d.). *The effect of temperature on solar panel performance*. Retrieved from Solar Calculator: <https://solarcalculator.com.au/solar-panel-temperature/>
- Soprema. (n.d.). *Water recupereren met retentiedak: welke dakbedekking nodig?* Retrieved from Soprema: <https://www.soprema.be/nl/article/conseil/water-recupereren-met-retentiedak-welke-dakbedekking>
- Stad Roeselare. (2023). *Ruimtegebruik*. Retrieved from Roeselare in cijfers: <https://roeselare.incijfers.be/mosaic/dashboard/ruimtegebruik>
- Tadeu, A. (2024, August 15). Acoustic absorption, scattering, and diffusion provided by green roof systems. *Building and Environment*, Vol. 262.
- Tectum Plus. (n.d.). *PIR-isolatie niet geschikt voor intensief groendak*. Retrieved from Tectum Group: <https://www.tectumgroup.be/nieuws/pir-isolatie-niet-geschikt-voor-intensief-groendak>
- Ubertini, S. (2003, October). Performance estimation and experimental measurements of a photovoltaic roof. *Renewable Energy*. Vol. 28. Issue 12, pp. 1833-1850.
- Uhl, M. (2008). Green roof storm water retention–monitoring results. *11th International Conference on Urban Drainage*. Edinburgh, Scotland, UK.
- van der Kolk, H.-J. (2019). Hoogstaande zonnecollectoren faciliteren hoge plantendiversiteit op groendak. *De Levende Natuur*, Volume 120, pp. 189-192.
- van der Kolk, H.-J. (2023, January). Substrate composition impacts long-term vegetation development on blue-green roofs: Insights from an experimental roof and greenhouse study. *Ecological Engineering*.
- van der Roest, E. (2023, August 6). Increasing solar panel output with blue-green roofs in water-circular and nature inclusive urban development . *Building and Environment* 244.
- Van Renterghem, T. (2018). Improving the noise reduction by green roofs due to solar panels and substrate shaping. *Building Acoustics*, Vol. 25 (3), pp. 219-232.
- Van Renterghem, T. (2024, August 7). Influence of rainfall on the noise shielding by a green roof. *Building and Environment* 82, pp. 1-8.
- Verticale zonnepanelen op groendak: beste van twee werelden*. (2024, 06 26). Retrieved from Renovatie Totaal: <https://www.renovatietotaal.nl/2024/06/26/verticale-zonnepanelen-op-groendak-beste-van-twee-werelden/>
- Vlaams Energie- & Klimaatagentschap. (2022, Oktober). *Evolutie van de benuttingsgraad van het zonnepotentieel van de Vlaamse daken, met opsplitsing per provincie en gemeente*. Retrieved from Energiekaart: https://assets.vlaanderen.be/raw/upload/v1670256246/Zonnepanelen_benuttingsgraad_daken-20210430_1_nsnsvu.xlsx
- Vlaanderen. (2023, 10 02). *Groendak*. Retrieved from Vlaamse Codex: <https://codex.vlaanderen.be/Zoeken/Document.aspx?DID=1038166¶m=inhoud&ref=search&AVIDS=>
- Voelz, J. (2006). *The characteristics and benefits of green roofs in urban environments*. Davis: University of California.
- Vokony, I. (2018, December). On Selecting Optimum Tilt Angle for Solar. *International journal of renewable energy research*. Vol.8. No. 4.

- Waterdoctor. (2019, December 15). *Filtering van regenwater uit een groendak*. Retrieved from Waterdoctor: <https://www.waterdoctor.be/realisaties/filtering-regenwater-groendak/>
- Weijer, H. (2024, juni 26). *Verticale zonnepanelen op groendak: beste van de twee werelden*. Retrieved from Renovatie Totaal: <https://www.renovatietotaal.nl/2024/06/26/verticale-zonnepanelen-op-groendak-beste-van-twee-werelden/>
- Wind-Energie.be. (n.d.). *Windmolens voor particulieren*. Retrieved from Wind-energie.be: <https://www.wind-energie.be/windmolen-particulier>
- Wong, N. (2003). The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 353-364.
- Wooster, E. (2022, January). Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Building and Environment*, Vol 207 Part A.
- Wu, T. (2011). Economic Benefits for Green Roofs: A Case Study of the Skaggs Pharmacy Building, University of Utah. *Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics*, Volume 6, pp. 122-138.
- Wu, T. (2011). Economic Benefits for Green Roofs: A Case Study of the Skaggs Pharmacy Building, University of Utah. *Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics*, Volume 6, pp. 122-138.
- Yun, S. (2024, October 15). Do blue-green roofs yield optimal thermal performance? Synergy analysis of the combination of green roofs and water retention layer. *Journal of Building Engineering*, Vol. 95.
- Zhang, N. (2025, January 15). Effects of spring water sounds on psychophysiological responses in college Students: An EEG study. *Applied Acoustics*. Volume 228.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Burgemeester Kris Declercq
Grote Markt 1
8800 Roeselare

Beleidsverantwoordelijke

2de schepen Michèle Hostekint

Tekst

Pieter Vandenbroucke, programmaregisseur & beleidsmedewerker Klimaat, Energie & Duurzaamheid

Publicatiedatum

13 februari 2025

PDF is beschikbaar op <https://www.klimaatswitch.be/>. Herplaatsing op andere websites is niet toegestaan.

Contact

1788@roeselare.be



Benieuwd naar wat de Stad Roeselare nog
zoal doet? Surf snel naar **klimaatswitch.be**

