



Blauw Groen Bewust Bouwen

MULTIFUNCTIONELE VEGETATIEDAKEN

Inventarisatie van kengetallen en relevante
normen voor de installatie engineering en
-techniek



Verantwoording

Dit rapport is tot stand gekomen naar aanleiding van het project “Focus op Daken” dat is opgestart door de TVVL Blauw Groen Bewust Bouwen Community. De inventarisatie kengetallen is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (WENR).

Met dank aan de werkgroep die heeft meegekeken met de totstandkoming van dit document.

Het project is financieel mede mogelijk gemaakt door



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Auteur

Joris G.W.F. Voeten
Louden Kremer

Projectbegeleiding

Esmeralda Pondman
Joep Hendriks
Jan-Fokko Haan

Disclaimer

Bij de totstandkoming van dit rapport is alle mogelijke zorgvuldigheid in acht genomen. TVVL aanvaardt geen aansprakelijkheid voor mogelijke fouten en tekortkomingen in dit rapport. Wijzigingen en correcties zijn voorbehouden. Aan het gebruik en/of de uitkomsten van dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend, noch is TVVL aansprakelijk bij enige schade door (al dan niet onjuist) gebruik van gegevens of resultaten uit dit rapport. Alle auteursrechten en andere intellectuele eigendomsrechten met betrekking tot de inhoud en de vormgeving van dit rapport komen toe aan TVVL en worden uitdrukkelijk voorbehouden.

Inhoudsopgave

Inleiding	1
1 Opgave één: Kengetallen van multifunctionele (vegetatie)daken	3
1.1 Classificatie type multifunctionele (vegetatie)daken	4
1.2 Definities:	11
1.3 Verkenning van geïdentificeerde kennishiaten:	16
2 Opgave twee: Inventarisering normen.	21
3 Conclusies	23
4 Aanbevelingen	25
5 Referenties	26
Appendix A: Tabel - Kengetallen multifunctionele (vegetatie)daken	28
Appendix B: Berekening bandbreedte gewichtsbelasting groene daken	29
Appendix C: Gebruikelijke daktypen bij platte daken	31
Appendix D: Toelichting onderzochten normen	33

Inleiding

Uit het enthousiasme van de Techniekdag 2022 is binnen TVVL (Platform voor Mens en Techniek) de Expertgroep Blauw-Groen Bewust Bouwen ontstaan.

De **Blauw Groen Bewust Bouwen Community** werkt aan een toekomstbestendige gebouwde omgeving door het bevorderen van verregaande integratie van diverse oplossingsrichtingen op het gebied van waterbeheer, groene ruimte, natuurinclusiviteit, bouwprestatie – en comfort en de energietransitie. Sinds de blauw-groene revolutie en de verregaande integratie van blauw-groene systemen op, tegen en in gebouwen kan de installatietechniek niet langer los gezien worden van de functies van en vereisten voor een succesvol functioneel-groen geïntegreerd gebouw.

Binnen deze groep wordt kennis ontwikkeld en gedeeld op gebied van multifunctionele vegetatiedaken n.a.v. de hedendaagse ontwikkeling in de wereld van de bouwtechniek. Door de schaars beschikbare ruimte speelt multifunctionaliteit op daken namelijk een sturende rol door functies te integreren zoals energieopwekking, regenwater opvang en hergebruik, grijswaterhergebruik en biodiversiteit. Installatietechniek moet in deze klimaatadaptieve, watersensitieve, natuurinclusieve en energie-efficiënte ontwikkeling van de gebouwde omgeving geen remmende factor zijn, maar juist een facilitator, medeontwikkelaar en versneller, omdat al die nieuwe functies goed ontworpen, gebouwd en voorzien moeten worden van de juiste meet-en regeltechniek.

TVVL heeft aan Wageningen Environmental Research gevraagd om een bundel te maken van bestaande kennis op het raakvlak van de genoemde thema's en de installatietechniek. Deze vraag heeft geresulteerd in twee opgaven die in dit rapport als hoofdstukken gepresenteerd worden.

Leeswijzer

Het **eerste hoofdstuk** beslaat een uiteenzetting in de vorm van een tabel met kengetallen van veertien meest voorkomende typen multifunctionele (vegetatie)daken. Hierin is overzichtelijk data uiteengezet gericht aan specialisten die klimaatadaptieve installatietechniek ontwerpen, bouwen en beheren. De tabel biedt kengetallen variërend van investeringskosten, beplantingsmogelijkheden en biodiversiteitswaarde tot technische aspecten zoals gewichtsbelasting, type dakafvoer en waterretentiecapaciteit, waar van allen een beschrijving in dit rapport is opgenomen. Wanneer bleek dat waardevolle data onvoldoende beschikbaar/onderzocht was is dit genoteerd. De geïdentificeerde kennisvelden waarvan het mogelijk interessant is om in een vervolgonderzoek verder op in te gaan zijn toegelicht.

Vervolgens is in **hoofdstuk twee** een inventarisatie gemaakt van bestaande normen. Hierbij is zowel gekeken naar Nederlandse, Europese als relevante internationale normen en is er in een matrix afgebeeld op wat voor onderwerpen de normen betrekking hebben. Op deze wijze is er af te leiden welke norm je voor welk thema kunt raadplegen is en hoe holistisch de normen eigenlijk zijn.

Disclaimer

In dit rapport worden getallen genoemd die invloed hebben op de constructie en de veiligheid van het gebouw. De getallen die zijn genoemd zijn richtlijnen, samengevat op basis van gegevens uit de literatuur, productdata en best professional judgement en kunnen geenszins direct gebruikt worden in een ontwerp of uitvoering daarvan. Dit rapport, genaamd: *“Multifunctionele Vegetatiedaken: Inventarisatie van kengetallen en relevante normen voor de installatie engineering en -techniek”*, is opgesteld en eigendom van Stichting Wageningen Research, Wageningen Environmental Research (WENR).

Voor alle besproken toepassingen van blauw-groene vegetatie of aanverwante systemen in, op en aan gebouwen dient een constructeur de gewichtsbelasting van het voorgestelde systeem door te rekenen, op basis van de door de leverancier beschikbaar gestelde meest recente productgegevens, en goed te keuren alvorens met de aanleg te beginnen.

Bij de totstandkoming van dit rapport is alle mogelijke zorgvuldigheid in acht genomen. Aan het gebruik en/of de uitkomsten van dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend, noch is Stichting Wageningen Research, Wageningen Environmental Research aansprakelijk bij enige schade door (al dan niet onjuist) gebruik van gegevens of resultaten in dit rapport.



1 Opgave één: Kengetallen van multifunctionele (vegetatie)daken

De tabel met kengetallen van multifunctionele (vegetatie)daken is weergegeven in het bestand "*Kengetallen multifunctionele (vegetatie)daken.xlsx*". Hierin staat per type dak de corresponderende eigenschappen inclusief bronvermeldingen omschreven (zie 1.1 voor classificatie). Een illustratie van de tabel is te vinden in Appendix A. Per kengetal/parameter is een toelichting opgenomen in hoofdstuk 1.2. De kennishiaten die zijn geïdentificeerd zijn opgenomen in hoofdstuk 1.3.

1.1 Classificatie type multifunctionele (vegetatie)daken

Er is een classificatie gemaakt van 14 veel gebruikte multifunctionele (vegetatie)daken om per daktype de kengetallen in een tabel uiteen te kunnen zetten. Per type dak is een illustratie en beschrijving toegevoegd en is de standaard dakopbouw schematisch weergegeven waarop de tabel gebaseerd is. De diktes zijn ter illustratie en niet op schaal.

Daktype:

Illustratie:

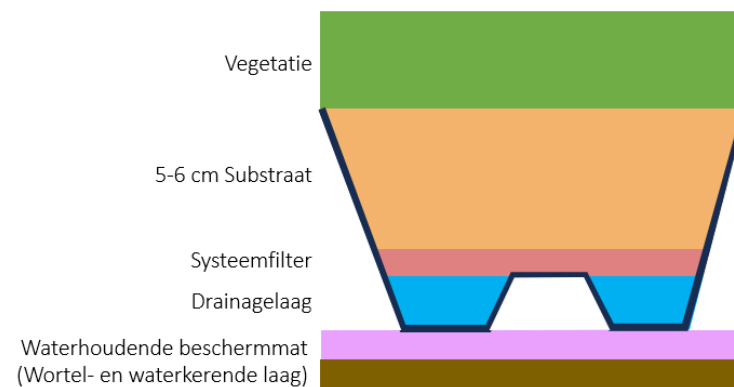
Opbouw:

1. Sedum tray

Een systeem bestaande uit extensieve makkelijk hanteerbare prefab (kant-en-klare) containers, reeds begroeid met een variatie aan Sedum soorten. Het systeem is licht van gewicht en wordt meestal toegepast op kleine oppervlaktes zoals schuren. Dit systeem is door zijn eenvoud zeer geschikt voor doe-het-zelf particulieren, maar heeft een lage retentiecapaciteit (droogtegevoelig). Langs de dakrand wordt het systeem omringd met een grindstrook (SBRCurnet, 2016).



(Kantenklaarhagen.nl, z.d.)

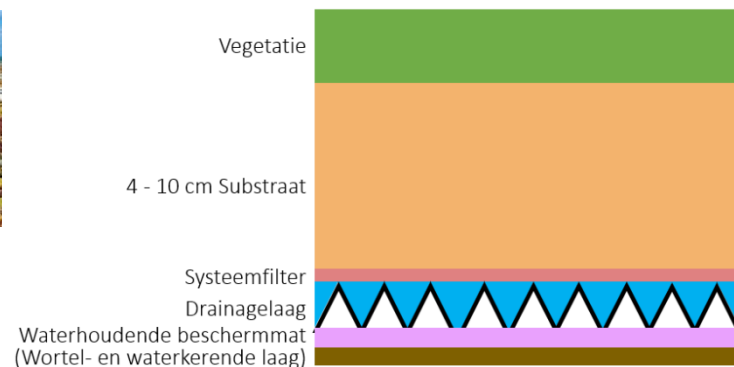


2. Basis sedumdak

Een basis sedumdak bestaat uit een substraatlaag vanaf 4 cm dik. Hierdoor is het slechts mogelijk om een geringe hoeveelheid water op te slaan waardoor de begroeiing bestaat uit meerdere droogteresistente Sedumsoorten. Het is een relatief licht dak uitgaande van de minimale substraatlaagdikte en wordt meestal toegepast op minder draagkrachtige daken. Veel voorkomend is de omvorming van een conventionele losliggende dakbedekking met grindballast (ca. 80-90kg/m²) naar een nieuwe geschroefde wortelwerende dakbedekking met een basis Sedumdak. Langs de dakrand wordt het systeem omringd met een grindstrook (SBRCurnet, 2016).



(Optigrün, z.d.-a)



Daktype:

Illustratie:

Opbouw:

3. Groen dak (5-45°)

Betreft een vegetatiedak zonder drainagelaag dat op een dak met een lichte (5°) tot zware (45°) hoek geplaatst kan worden. Afhankelijk van de steilheid van het dak moet een vorm van versteviging geïmplementeerd worden in de substraatlaag. Dit kan bijvoorbeeld door de integratie van kunststof elementen, geotechnische netten of een antislipsysteem (Optigrün, z.d.)

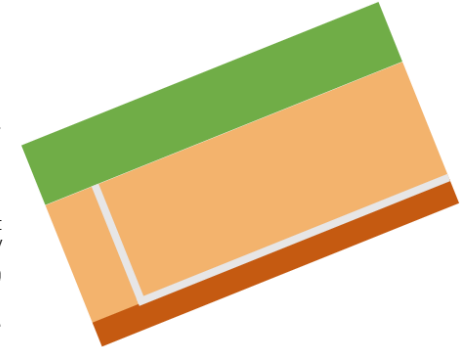


(Optigrün, z.d.-g)

Vegetatie

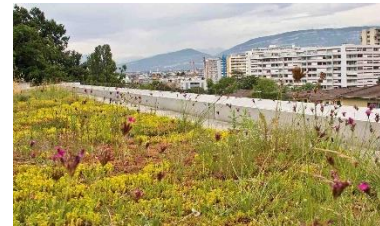
8-10 cm Substraat
(+construction board/safetynet/
antislip systeem)

Water absorberende
drainage- en beschermingsmat



4. Geïrrigeerd groen dak

Een irrigatiesysteem kan gebruikt worden om ook vegetatie dat minder goed resistent is tegen droogte te laten groeien op daken. Door een druppelirrigatiesysteem in (of op) de substraatlaag aan te brengen kan de exacte hoeveelheid water toegevoegd worden die de planten nodig hebben (Zinco, z.d.-c). Hierdoor kan de substraatlaag minimaal blijven wat de totale gewichtsbelasting beperkt. Met irrigatie kan er ook een meerjarige grassen en kruiden vegetatie gerealiseerd worden met een hogere biodiversiteitswaarde en natuurlijker aanzicht. De bron van het irrigatiewater blijft een aandachtspunt: drinkwater is daarin geen duurzame optie.



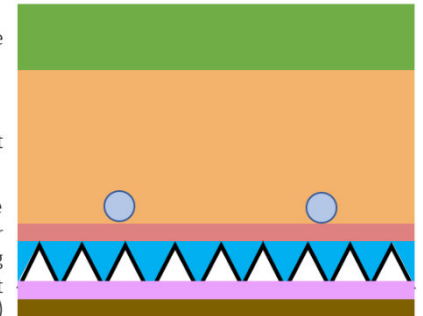
(Zinco, z.d.-c)

Vegetatie

8 cm Substraat

Druppelirrigatie
Systeemfilter
Drainagelaag

Waterhoudende beschermmat
(Wortel- en waterkerende laag)

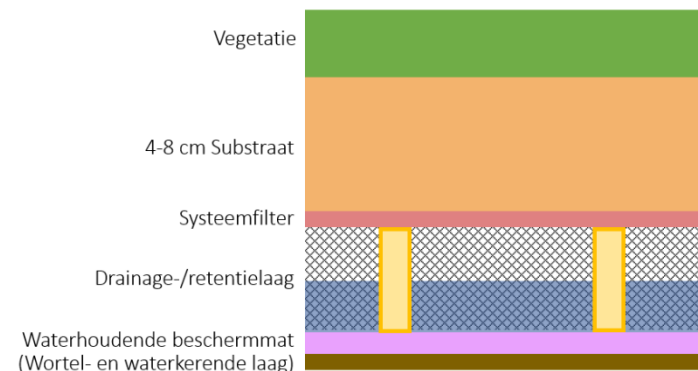


5. Blauw-groen dak

Een blauw-groen dak creëert water retentie in kratten onder de substraatlaag. Succesvolle systemen kunnen via capillaire werking, zonder gebruik van pompen of energie, water uit voorraad terug naar het substraat voeren waardoor er een lokale waterkringloop ontstaat. Dit functioneert tegelijk als buffer om tijdens regen het rioleringsysteem te ontlasten (SBRCurnet, 2016). Door de introductie van blauwgroene capillair geïrrigeerde systemen, koppelen we de functie van het waterbergen los van de substraatlaagdikte en leggen we de waterbergende functie in de retentie-/drainagelaag (Cirkel, Voortman, Van Veen, & Bartholomeus, 2018). Hiermee is het mogelijk om met veel minder dikke substraatlagen, hogere beplanting te realiseren. Uit onderzoek blijkt dat een 4 cm substraat kan, maar dat de meest biodiverse resultaten ontstaan bij een laagdikte van 6 of nog beter 8 cm substraat. Door te variëren met de instelbare waterhoogte in het retentiesysteem en de substraatdikte kan de ontwerper binnen de opgegeven maximale gewichtsbelasting blijven en kiezen voor meer substraat of juist meer retentiecapaciteit.



(Optigrün, z.d.-b)

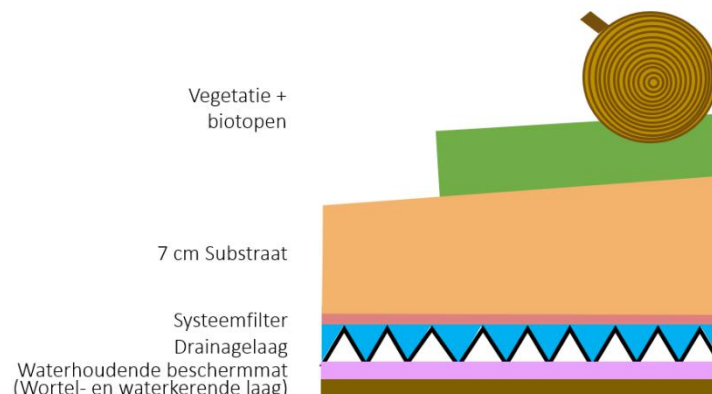


6. Biodivers-groen dak

Het aanbrengen van verschillende habitattypes kan de biodiversiteit doen vergroten. Op een extensief dak kan bijvoorbeeld ruimte worden gecreëerd voor biodiversiteit 1) door te variëren met de substraathoogtes, 2) met plekken zonder vegetatie (zand of grind) om te dienen als schuilplaats/broedplaats voor grondgebonden insecten, 3) permanente natte gebieden als waterbron voor insecten en kleine vogels, 4) specifieke planten- en bloemensoorten als voedingsbron en tot slot 5) insectenhotels/dood hout/riet/steen stapels als verblijfplaats. De biotopen kunnen gescheiden worden door een biotoopbegrenzing wat bestaat uit een wortelwerende- en een water absorberende beschermende laag (Zinco, z.d.-a). Verschillende ingrepen hebben mogelijk plaatselijk een hogere gewichtsbelasting tot gevolg. Plaatsing op meer draagkrachtige delen van het gebouw (boven kolommen of draagmuren) kan strategisch een keuze zijn om meer mogelijk te maken, maar iedere maatregel moet in het ontwerp dus gecontroleerd en worden door de **constructeur**.



(Zinco, z.d.-a)



Daktype:

Illustratie:

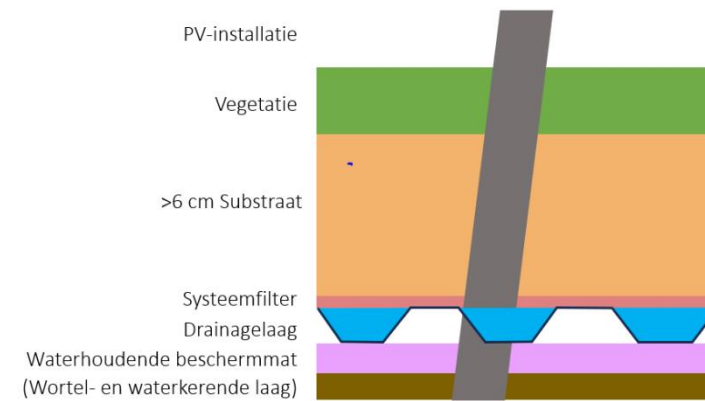
Opbouw:

7. Groen-pv dak

Ook wel een groen-geel dak genoemd. Uit literatuur blijkt dat door de verkoelende werking van het groen, de opbrengst van de PV panelen 6-12% per jaar kan toenemen, vergeleken met zwart bitumen daken (Van Der Roest, Voeten, & Cirkel, 2023). In Nederland specifiek is dit onderzocht in TKI Project Urban-PhotoSynthesis, en was de meeropbrengst 4,4% per jaar ("TKI Watertechnologie", 2023). De vegetatielaag bestaat uit verschillende soorten sedums die ook in de schaduwperiode onder de pv-panelen kunnen groeien. (Optigrün, z.d.-i). De pv-stellage wordt afhankelijk van de opstelling, hoogte en locatie óf verankerd in de dakconstructie of in een geïntegreerd kunststofsysteem geballast met de substraatlaag. .



(Optigrün, z.d.-i)

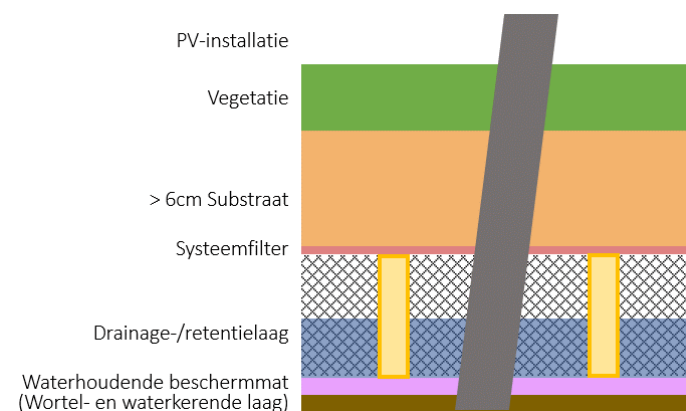


8. Blauw-groen-pv dak

Een blauw-groen-pv dak creëert water retentie onder de substraatlaag met daarop een pv-installatie. Ook bij dit type is in Nederland een meeropbrengst van 4,4% extra elektriciteit per jaar realistisch ("TKI Watertechnologie", 2023). Speciaal ontworpen retentiesystemen kunnen via capillaire werking passief irrigeren waardoor er een lokale waterkringloop ontstaat. Dit functioneert ook als buffer om tijdens hevige wateroverlast het rioleringsysteem te ontlasten. Door de introductie van blauw-groene capillaire geïrrigeerde systemen, koppelen we de functie van het waterbergen los van de substraatlaagdikte en leggen we de waterbergende functie in de retentie-/drainagelaag. Hiermee is het mogelijk om met veel minder dikke substraatlagen, veel hogere en biodiversere beplanting te realiseren (Cirkel, Voortman, Van Veen, & Bartholomeus, 2018). De pv-stellage wordt afhankelijk van de opstelling, hoogte en locatie óf verankerd in de dakconstructie of in een geïntegreerd kunststofsysteem geballast met de substraatlaag.



(Livingroofs, 2019)



Daktype:

Illustratie:

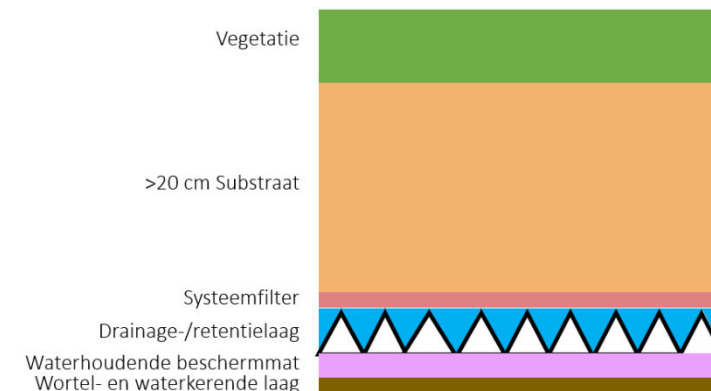
Opbouw:

9. Daktuin

Een daktuin of dakterras is een intensief (vegetatie-)dak met een recreatiefunctie zoals een terras, een speelplek of een gazon. Op deze manier is de functioneel bruikbare ruimte van het pand uit te breiden. Een geschikte toegang tot het dak is belangrijk, evenals een goedgekeurde randbeveiliging voor mensen met daarvoor geschikte hekken, glazen schermen of een voldoende hoge borstwering. Door de diepe substraatlaag kunnen er grotere vegetatietypen groeien zoals heesters of zelfs boompjes (bij substraat van >35cm) (Zinco, z.d.-d).. Vanwege het gewicht van het substraat, de mogelijke verhardingen en de betreding door mensen, vergt een daktuin een dakconstructie met hoge belastingcapaciteit. Kan ook met water-retentiesysteem met capillaire werking worden aangelegd.



(Zinco, z.d.-d)

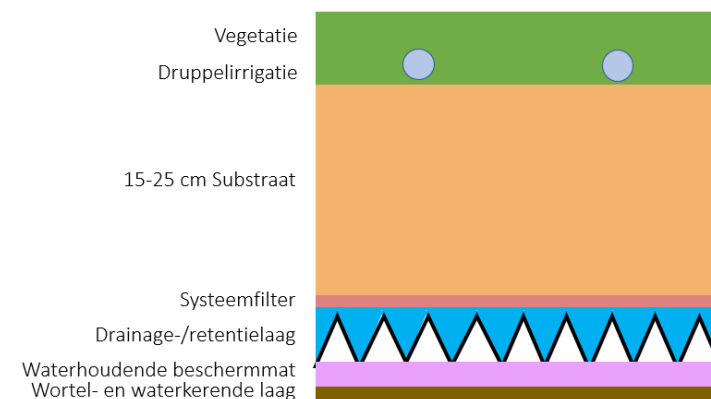


10. Geïrrigeerde daktuin

Door irrigatie aan te leggen wordt de waterbalans nauwkeurig ingeregeld waardoor met een minder zware substraatlaag de gewichtsbelasting verminderd kan worden ten opzichte van een daktuin zonder irrigatie. Hierdoor is dit dak geschikter voor daken die een lagere maximale drukbelasting hebben en nog beter bestand tegen mogelijke droogteschade (Zinco, z.d.-e).



(Zinco, z.d.-e)



Daktype:

Illustratie:

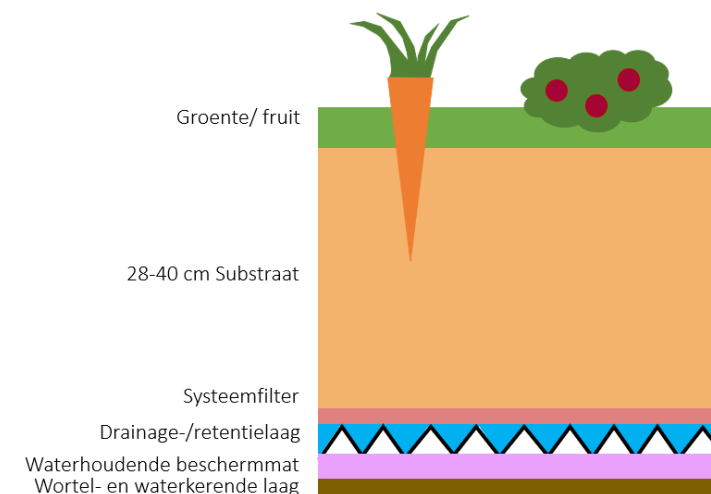
Opbouw:

11. Dakmoestuin

Een dakmoestuin (of dakakker) maakt stadslanbouw mogelijk op daken en is vergelijkbaar met een daktuin qua gewicht en de mogelijkheid het dak veilig te kunnen betreden. Het is een groen dak dat via zowel passieve als actieve irrigatie het groeien van kleine gewassen (zoals sla of aardbeien) en middelgrote gewassen (zoals tomaten, bij een substraat vanaf 30 cm) mogelijk maakt. Het is hierbij belangrijk om rekening te houden met de geschiktheid van gewassen op de mogelijk grote windsnelheden op hoogte (Zinco, z.d.-i).



(Zinco, z.d.-i)

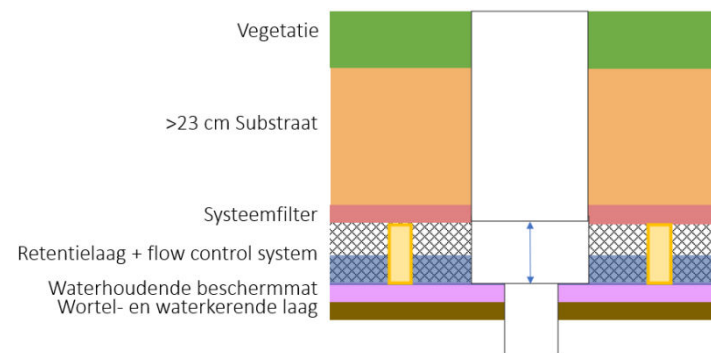


12. Retentiedak met controleerbare afvoer

Een type intensief blauw-groen dak met als hoofdfunctie om rioolsysteem te ontlasten bij hevige neerslag, maar in tijden van droogte lokaal gevallen neerslag beschikbaar te hebben voor irrigatie. Door de retentiecapaciteit in de drainagelaag kan er veel water lokaal worden opgeslagen en wordt de waterafvoer actief gereguleerd door een Flow Control System zodat het systeem preventief retentievolume kan vrijmaken vooruitlopend op de verwachte neerslag (Optigrün, z.d.-h).



(Optigrün, z.d.-h)



Daktype:

Illustratie:

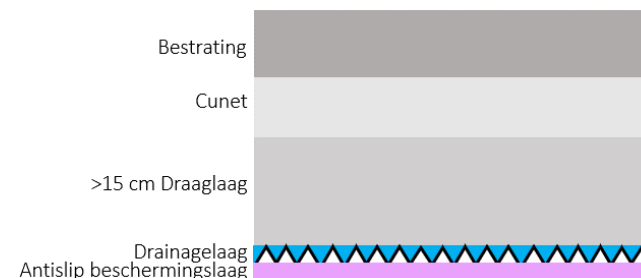
Toelichting:

13. Intensief verkeersdak (tot categorie D, 20 ton)

Een zeer stevig waterdoorlatend dak, geschikt voor zwaar verkeer zoals vuilnisophaaldiensten. Heeft een kleine maar zeer stevige drainagelaag. Kan gecombineerd worden met o.a. blauw-groene daken in stedelijke gebieden (Optigrün, z.d.-j).



(Optigrün, z.d.-j)

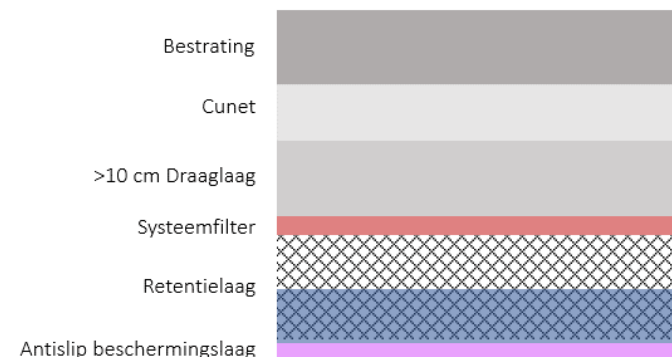


14. Verkeersdak met retentie (categorie C, tot 3,5 ton)

Een stevig verkeersdak, geschikt voor toepassingen zoals personenverkeer en parkeerplaatsen, veelal gebruikt op daken van ondergrondse gebouwen zodat het maaiveld op het dak volledig functioneel ingericht kan worden. Voegt ondanks de geringe diepte lokale waterretentie toe aan een stedelijke omgeving en past daarmee in het concept van de ‘sponge city’. In dit type dak sluiten vegetatiedelen en (half-) verharde delen onzichtbaar naadloos op elkaar aan, omdat in de retentielaag onder alle verschillende soorten van (blauw-groene) inrichting doorlopend is. Ook bij toekomstige wijzigingen in gebruik hoeft de drainage/retentielaag niet aangepast te worden.



(Optigrün, z.d.-k)



(Optigrün, z.d.-k).

1.2 Definities:

Onderstaand staan de definities van de parameters uit de tabel “Kengetallen multifunctionele (vegetatie)daken” (Appendix A) weergegeven.

Investeringskosten [€/m²]

De investeringskosten zijn gebaseerd op een inschatting van WENR in Euro per m². Het zijn inschattingen die sterk afhankelijk zijn van projectkenmerken als: 1) de grootte, 2) de locatie, 3) de benodigde hijsmiddelen, 4) bereikbaarheid en valbeveiliging van het dak, enz. De gegeven prijzen zijn exclusief btw, installatie, zonnepanelen, dakbedekking en isolatiewerkzaamheden en eventuele wijzigingen aan het pand (e.g. opstandhoogte, toegangsdeuren, hemelwaterafvoer etc.). Er wordt van uitgegaan dat er elektra en water aanwezig is op het dak. Houd rekening met een marge van +/- €50 per m². Voor ieder specifiek project moet er een specifieke offerte opgevraagd worden.

Extensief/Intensief

Definitie volgens “Norm begroeide daken VBB-FLL”:

Intensief begroeid dak: Begroeid dak met een dakbegroeiingssysteem van minimaal 150 mm dik exclusief begroeiing, waarbij het noodzakelijk is onderhoud te plegen voor het in stand houden van de begroeiing.

Extensief begroeid dak: Begroeid dak met een dakbegroeiingssysteem van maximaal 150 mm dik exclusief begroeiing, waarbij de begroeiing zich ontwikkelt tot een ecologisch stabiele plantengemeenschap die zichzelf in stand kan houden met een minimum aan onderhoud

Beplantingsmogelijkheden

Onder beplantingsmogelijkheden worden de meest voorkomende type planten verstaan die op dit type dak geplaatst kunnen worden. Wees ervan bewust dat deze mogelijkheden o.a. afhankelijk zijn van het type substraat, de substraatdikte en de irrigatie van het vegetatiedak. Volgens Norm begroeide daken VBB-FLL moet dit voldoen aan de HBN2008 norm.

Gewichtsbelasting [kg/m²]

De gewichtsbelasting zoals deze is opgegeven door de producent. Moet worden berekend volgens Norm begroeide daken VBB-FLL (7.6). N.B. waarin dit sterk afhankelijk is van type en dikte drainage en substraatlagen. Er moet daarom een nauwkeurige berekening gemaakt worden voordat er met deze kengetallen gerekend kan worden. Een rekenvoorbeeld van de variatie in gewichtsofbouw van een extensief groen dak, een blauw-groen dak en een daktuin zijn weergegeven in appendix B.

Opbouwhoogte [cm]

De opbouwhoogte is gedefinieerd als de som van de substraathoogte en de eventuele drainage of retentielaag.

Substraatdiepte [cm]

De diepte van de substraatlaag is vergaard uit (meerdere) bronnen van producenten of definities van type vegetatiedaken. Bij de verkeersdaken is de basislaag beschouwd als het substraat voor het doorrekenen van de waterretentiecapaciteit.

Kleurlabel op basis van Multifunctionele Daken

Het Nationaal Dakenplan heeft vier typen landgebruik gedefinieerd die toegepast kunnen worden op groene daken (“Het Nationaal Dakenplan”, 2022):

Groen – Groendaken bieden levensruimte voor plant, dier en mens. Groendaken dragen bij aan de verhoging van de verscheidenheid aan plant- en diersoorten: meer bloemen, vlinders en vogels. De variatie in beplanting kan groot zijn; er kunnen ook struiken en bomen op het dak staan (waar dat veilig kan). De positieve effecten van een biodivers natuurdak zijn: hoge biodiversiteitswaarden, mooi uitzicht, verhoogd welzijn, een grote koelende werking, een grote capaciteit voor vasthouden van water, langere levensduur dakbedekking, hogere vastgoedwaarde van de woningen die er op uit kijken en geluidsdemping.

Rood – Een rood dak biedt ruimte voor sociale activiteiten zoals een rooftopbar, sporten of een gezamenlijke moestuin. De positieve effecten van een rood dak zijn: extra leefruimte, sociale cohesie, bevordering gezondheid en welzijn. Ook bieden rode daken een interessante business opportunity omdat je ze kunt verhuren of er daadwerkelijk business kunt genereren met een bar of restaurant.

Geel – Een geel dak dient voor opwek van duurzame energie, middels zonnepanelen of kleine windturbines. Voor energiebesparing moet het dak goed geïsoleerd zijn. De positieve effecten van een geel dak zijn: ruimte voor energie-opwek, minder CO₂-uitstoot en waardestijging van het gebouw (door het hogere duurzaamheidslabel).

Blauw – Een blauw dak houdt regenwater (tijdelijk) vast. Zo ontlast een blauw dak het rioleringsstelsel en biedt het extra water tijdens droogte (voor begroeiing op dak of gevel en doorspoelen toiletten). Optioneel computergestuurd waterbeheer volgt de weersvoorspellingen en zorgt ervoor dat water van het dak geloosd wordt voordat er hevige regen valt. De positieve effecten van een blauw dak zijn: tegengaan wateroverlast, verkoeling en drinkwaterbesparing indien je het opgevangen regenwater gebruikt om bijvoorbeeld toiletten door te spoelen. Een blauw dak wordt zelden tot nooit 'als enige functie' aangelegd, maar meestal gecombineerd met de groene dakfuncties.

De kleuren in de tabel geven aan of dit dak valt (of potentieel kan vallen) binnen één of meerdere van deze categorieën.

Gemiddelde jaarlijkse waterretentie [% van jaarlijkse neerslag]

De indicatie van de gemiddelde jaarlijkse waterretentie is volgens de Norm begroeide daken VBB-FLL (9.3.7), aan de hand van NEN-EN 12056-3 en NTA 8292, ingeschat gebaseerd op type begroeiing en substraatdikte. Het is verder afhankelijk van; 1) Afmeting en afschot van het dak, 2) doorlatendheid van de drainage-bufferlaag, 3) capillariteit van de retentielaag en 4) de bergingscapaciteit van de retentielaag. Deze factoren zijn in deze benadering niet meegenomen. Een andere maat voor het weergeven van de gemiddelde jaarlijkse waterretentie is de jaarlijkse afvoercoëfficiënt. Bij verkeersdaken is de gemiddelde jaarlijkse waterretentie sterk afhankelijk van het type bestrating en bij blauw groene daken van het gekozen waterretentiesysteem.

Waterbufferend vermogen producent [L/m²]

Het volume water dat er volgens de producent gebufferd kan worden per m² vegetatiedak. Dit kan als kengetal gebruikt worden maar omdat het daadwerkelijke getal sterk kan afwijken (zie appendix B) moet er in de ontwerpfase een specifieke calculatie gemaakt worden voor de gespecificeerde dakopbouw.

Waterbufferend vermogen berekening [L/m²]

Omdat het maximaal waterbufferend vermogen van het hele opgebouwde systeem sterk kan afhangen van de opbouw en de ingestelde retentiehogte in de retentie/drainagelaag is volgens de aangegeven marges (in dikte van de lagen) in de tabel een berekening gemaakt om aan te tonen hoe deze parameters effect hebben op het waterbufferend vermogen. Dit getal is bepaald door de **som van de waterretentiecapaciteit van het substraat en de waterretentiecapaciteit van de retentie-/drainagelaag**. Deze theoretische waterretentiecapaciteit laat de marge zien in mogelijk waterbufferend vermogen.

Waterretentiecapaciteit substraat [L/m²]

De waterretentiecapaciteit is berekend aan de hand van een maximaal verzadiging (vol%) van het substraat (ookwel waterverzadigd genaamd), dat bepaald is via het FLL-2018, te vermenigvuldigen met de substraatdiepte.

Waterretentiecapaciteit drainagelaag [L/m²]

De maximale waterretentiecapaciteit van de drainage-/retentielaag zoals deze is aangegeven door de producent.

Maximale drukbelasting drainagelaag [kg/m²]

De maximale drukbelasting van de drainagelaag is vergaard uit informatiebronnen van de producenten. Deze zijn getest of ze voldoen aan de (DIN/)NEN-EN-ISO2516 normen op gebied van korte termijn samendrukbaarheid. Indien de drainagelaag niet sterk genoeg is voor de gewichtsbelasting van verharding/vegetatie/personen kan er schade/verzakking optreden of kan de waterbergende werking afnemen.

Gewichtsbelasting van drainagelaag (droog) [kg/m³]

De droge gewichtsbelasting van de drainagelaag zoals deze is bepaald door de producent.

Gewichtsbelasting van substraat (droog) [kg/m³]

De droge gewichtsbelasting van het substraat zoals deze is bepaald door de producent.

Gewichtsbelasting van substraat (verzadigd) [kg/m³]

De waterverzadigde gewichtsbelasting van het substraat zoals deze is opgegeven door de producent, berekend volgens de rekenmethode van de FLL-2018.

Luchtzuiveringscapaciteit

De luchtzuiveringscapaciteit is benaderd aan de hand van een vergelijking gebaseerd op vier wetenschappelijke studies waarin onderzoek gedaan is naar het luchtzuiveringsvermogen van verschillende vegetatietypes op groene daken (Arbid et al., 2021; Currie & Bass, 2008; Rowe, 2011; Speak, Rothwell, Lindley, & Smith, 2012). Er is hierbij gekeken naar PM10, PM 2.5, Ozon, NO2 en SO2 waarin de reductie is uitgedrukt in g/m²/jaar. Aan de hand van deze getallen is een inschatting gemaakt naar het relatieve luchtzuiveringseffect dat de vegetatie heeft tot elkaar, uitgedrukt in getallen van 1 tot 4. Het daadwerkelijke effect lijkt echter niet zo significant. De benadering is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: inschatting van luchtzuiverend vermogen per type vegetatie. Afgeleid van (Arbid et al., 2021; Currie & Bass, 2008; Rowe, 2011; Speak, Rothwell, Lindley, & Smith, 2012)

Sedum	Gras	Meerjarige grassen	Kruiden	Bloemen	Kleine struiken	Grote struiken	Bomen
1	1	2	2	1	2	3	4

Biodiversiteitswaarde

De biodiversiteitswaarde is ingeschat door WENR. Hierbij is rekening gehouden met; 1) de aanwezigheid van verschillende soorten om monoculturen tegen te gaan, 2) een gelaagdheid in de vegetatie (laag, midden en hoog) om een habitat te bieden voor verschillende soorten dieren en 3) de plantkeuze die meer biodiversiteitswaarde hebben. De keuze in type vegetatie is daarom zeer bepalend voor de

biodiversiteitswaarde van het dak. In tegenstelling tot het luchtzuiverend vermogen is de biodiversiteitswaarde een bepalende factor voor bouw. Zo moet volgens de omgevingswet de soortenrijkdom instant blijven en mogen kwetsbare soorten niet verdwijnen. Bij natuur inclusief bouwen poogt men de biodiversiteitswaarde te vergroten en behouden. Met de toenemende rapportageverplichtingen als gevolg van de Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), onderdeel van de EU-taxonomy, mogen (relatief grote) organisaties geen significante schade toedienen aan o.a. biodiversiteit. Hierdoor gaat natuurinclusief bouwen een steeds bepalendere rol spelen in stedelijke ontwikkeling.

Type irrigatie

Er is onderscheid gemaakt in drie soorten irrigatiesoorten.

1) Conventioneel; systeem onder druk, sproeien, ondergrondse of bovengrondse druppelslag. Vergt pompen, kleppen, slangen, transportleidingen en elektronische aansturing. Storings- en onderhoudsgevoelig. Indien zichtbaar minder mooi in het beeld van het geheel. Betreft conventionele systemen waar veel informatie over bekend is bij de leveranciers/installateurs. Kan handmatig, tijdsgestuurd of bodemvocht-gestuurd ingezet worden.

2) Dampspanning; gebaseerd op het verdampen van water in de retentielaag en condensatie daarvan tegen het geotextiel onder het substraat. Onzichtbaar, natuurlijk, onderhoudsvrij. Temperatuursafhankelijk. Geen wetenschappelijk bewijs gevonden van de werking hiervan of van de hoeveelheid irrigatie die geleverd kan worden.

3) Capillair; gebaseerd op capillaire opstijging van water uit de retentielaag naar het substraat via specifieke steenwolvezel-cilinders die in de retentiekragen geplaatst worden (variërend met het beplantingstype van 2 tot 8 per m²). Onzichtbaar, natuurlijk, onderhoudsvrij en gebruikt geen energie. Betrouwbaar en wetenschappelijk bewezen door KWR Water in Project Smartroof 2.0 in Amsterdam. Irrigatie capaciteit overstijgt Nederlandse potentiële evapotranspiratie-snelheid vele malen.

Type dakafvoer

Er is uitgegaan van drie soorten dakafvoer (Stichting RIONED & STOWA, 2015):

1. Afvoervertraging: Vertraagt de piekafvoer, maar is niet te sturen waardoor afwateringsystemen nog steeds overbelast kunnen worden.
2. Afvoerbegrenzing: Begint met het waterafvoeren wanneer er een limiet is bereikt om een gelijkmatige afvoer te realiseren.
3. Afvoersturing: Een manier van waterafvoer waarin water lokaal wordt vastgehouden wanneer dat kan en op het juiste moment wordt afgevoerd wanneer er een neerslagpiek aan lijkt te komen. Op deze manier is de gerealiseerde retentiecapaciteit optimaal te benutten.

Actief of passief waterpeil sturend

Onder actief waterbeheer wordt verstaan dat er handmatig of elektronisch bepaald kan worden hoeveel water er wanneer en waar vastgehouden of gedraineerd wordt, afhankelijk van de wens van het moment. Passief waterbeheer is gebaseerd op vast ingestelde overstroomhoogtes en wordt door zwaartekracht gedreven vanuit de retentie-/drainagelaag.

Combinatie met verharding

Per vegetatiedak bestaat er wel een of geen mogelijkheid om een combinatie met een verharding te maken. Bij het type daken waarin er een combinatie mogelijk is, staat dit aangegeven met "Ja", mits de drainagelaag sterk genoeg is voor de vereiste gewichtsbelasting van verharding en personen/vervoer en de waterberging blijft functioneren.

Niet toe te passen op type dakconstructie/isolatie

Volgens de Norm begroeide daken VBB-FLL (7.4.1.) zijn deze type vegetatiedaken niet toepasbaar op deze dak-/isolatieconstructies. Afkortingen:

A. Niet-geventileerd dak met thermische isolatie op lichte constructies

Dit is een houten of betonnen dak met een lage draagkracht dat geïsoleerd is en niet geventileerd wordt aan de onderzijde van het dak. Ventilatie is eventueel noodzakelijk indien er kans is op vochtophoping door condensatie van het vocht bij een hoge relatieve luchtvochtigheid. Dit type dak wordt ook wel warm dak genoemd (Appendix B).

Gezien de lage (toelaatbare) belasting alleen toepasbaar voor extensief begroeid dak. Controle op maximale dakbelasting is vereist. De drukweerstand van het thermische isolatiemateriaal moet worden afgestemd op de belastingen van het begroeide dak inclusief de belasting van de begroeiing.

B. Niet-geventileerd houten dak met volledige isolatie tussen de sparren

Dit is een geïsoleerd houten dakconstructie waarbij de isolatie tussen de draagbalken is aangebracht. In de bouwkunde wordt dit een koud dak genoemd. (appendix C).

Volgens de richtlijn voor platte daken worden houten daken met volledige spantisolatie zonder ventilatie van de afdichtingslaag als schadelijk beschouwd. Dergelijke platte daken mogen niet worden voorzien van begroeiing om bouwfysische redenen (zie bovenstaande toelichting bij koud dak; de kans op condensatie is dermate groot dat de dakconstructie wordt aangetast door schimmels en zwammen).

Extra controle nodig voor type isolatie-/dakconstructies

Volgens de Norm begroeide daken VBB-FLL (7.4.1.) moeten deze type vegetatiedaken individueel gecontroleerd worden om te kijken of ze kunnen toegepast op onderstaande isolatie-/dakconstructies. Dit van wege het mogelijk ontoereikende draagvermogen of om te bepalen in welke mate compenserende en diffusie-open tussenlagen nodig zijn. (De Vereniging van Bouwwerk Begroeners, 2023)

C. (Niet-)geventileerd dak met thermische isolatie

Alle soorten begroeiing zijn mogelijk, vooral die met hogere belastingaannames. De druksterkte van het thermische isolatiemateriaal moet worden aangepast aan de belastingen van de begroeiing, inclusief de belasting van de begroeiing. Het draagvermogen van de onderlaag (lees: dakconstructie) moet voldoende zijn voor het gewicht van het begroeide dak. De bouwfysische processen kunnen worden beïnvloed door het koeleffect van het vegetatiedak. De effecten moeten in individuele gevallen worden gecontroleerd.

D. Omkeerdak.

Wordt in de bouwkunde een omgekeerde dakconstructie genoemd (Appendix C). Bij het omkeerdak ligt de isolatie op de dakbedekking (de waterdichting). Bij toepassing van een begroeid dak op een omkeerdak moet de laag op de isolatie diffusie-open worden uitgevoerd. De mate waarin compenserende en diffusie-open tussenlagen nodig zijn, moet per geval worden bepaald. Aanvullende maatregelen kunnen nodig zijn, met name tijdens dakrenovaties.

De reden dat de laag op de isolatie diffusie-open moet zijn heeft te maken met het feit dat het vocht van de substraat laag in de isolatie komt en dit vocht er ook weer via diffusie eruit moet kunnen treden om de isolatiewaarde te kunnen waarborgen. De kans dat een substraat laag van een vegetatiedak 'dicht slaat' door regen/water is relatief groot waardoor compenserende lagen, welke de damp-openheid verbetert, noodzakelijk zijn.

Indien er twijfel is over de dakopbouw wordt er altijd aangeraden om een check te laten doen door de bouwkundige constructeur en bouwfysicus. Omdat door een begroeid dak extra koeleffecten optreden ontstaat er een toenemende kans op condensatie (dit resulteert in lekkages), wat bij houten daken leidt tot een grote kans op schimmels en zwammen die de draagsterkte van de constructie aantasten.

1.3 Verkenning van geïdentificeerde kennishiaten:

Deze deepdive naar eigenschappen en kengetallen van verschillende type vegetatiedaken heeft naast het bundelen van bestaande informatie, ook een aantal kennisleemtes geïdentificeerd. Voor twee van deze kennisleemtes is gevraagd een toelichting te schrijven. Een derde is slechts uitgelicht.

Wat is de isolatiewaarde van verschillende type groene daken?

De BENG, Bijna-Energie-Neutrale-Gebouwen, is een norm die sinds januari 2021 de energieprestatie coëfficiënt (EPC) vervangt. Het is een gestandaardiseerde methode die de energieprestatie van het gebouw beschrijft. Alle nieuwbouw, zowel utiliteitsgebouwen als woningen, moet voor vergunning verkrijging voldoen aan de eisen van BENG. De BENG is de nationale uitvoering van het Europese energieakkoord voor duurzame groei en het European Energy Performance of Buildings Directive (EPDB). De BENG rekent op basis van de NTA 8800 die als doel heeft om de transparante bepalingmethode te zijn voor energiepresentaties van gebouwen. Hierbij worden eisen gesteld aan de maximale energiebehoefte, het maximale primair fossiel energiegebruik in kWh/m², en het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten (%). Er worden ook eisen gesteld aan bestaande gebouwen. Vanaf 2023 moeten bestaande gebouwen bij de verkoop of verhuur over een energielabel beschikken en moet er voldaan worden aan eisen op gebied van de energie index.

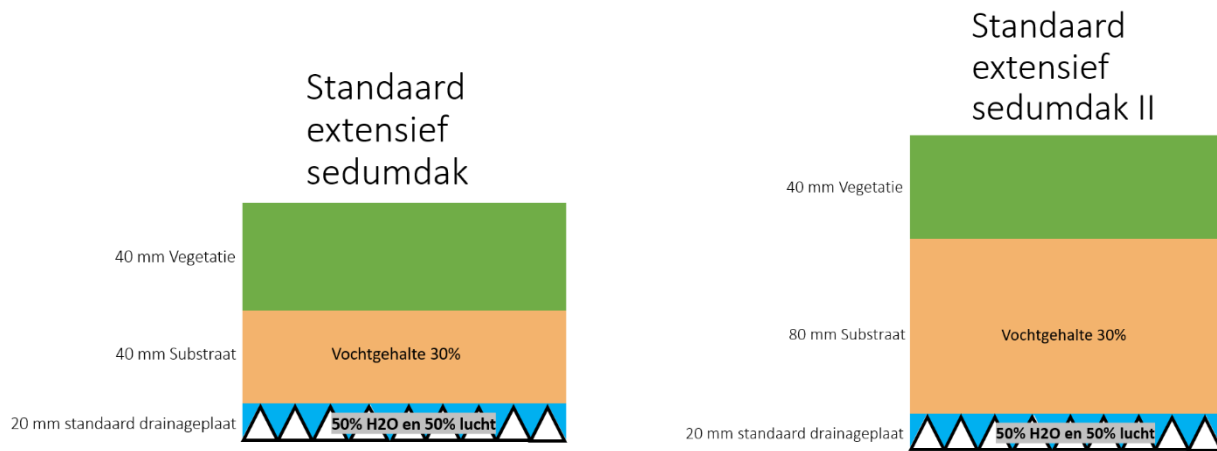
Om de isolatiewaarde van daken te bepalen zijn er volgens NTA-8800 (en de ISSO 75.1 en ISSO 82.1:2024) twee benaderingen beschreven: de basisopname en de detailopname. De basisopname is alleen toepasbaar op bestaande bouw en gebruikt grove invoer. Het neemt bijvoorbeeld geen lineaire warmte verliezen mee. De detailopname kan gebruikt worden voor bestaande bouw en is verplicht voor nieuwbouw. Die maakt gebruik van een meer gedetailleerde invoer. Het gebruikmaken van de detailmethode is het uitgangspunt, tenzij de inputdata te lastig te verkrijgen is, dan mag de basisopname worden gebruikt. Om de isolatiewaarde van vegetatiedaken te berekenen en te laten meewegen in de BENG moet er volgens de detailbenadering gerekend worden. Bij de detailbenadering mag de Rc-waarde van de gehele lagenopbouw worden berekend. Bij de basisbenadering mag de Rc-waarde van alleen de isolatielaag worden meegerekend.

Leo Pelgrom, heeft een berekening uitgevoerd op basis van deze lagenbenadering voor verschillende variaties van vegetatiedaken (conform de ISSO 82.1 of 75.1:2024). Hier zijn een aantal aannames bij gedaan.

- 1) De aanwezige luchtlagen worden conform de NTA8800 als niet-geventileerd gerekend omdat er per m² dak minder dan 500 mm² ventilatieopeningen aanwezig zijn (zie C.3.2., NTA8800).
- 2) De isolatiewaarde bij 'composiete' lagen is naar verhouding van het volume 'gewogen' berekend conform de methode zoals deze in de NTA8800 voor quasihomogene lagen is beschreven.
- 3) Bij een blauwgroen dak kan een permanente sedumlaag gegarandeerd worden. Hier kan bij sedum uitgegaan worden van een laag van 60mm en bij een gras/kruidentmix 100mm; bij de berekening wordt derhalve 100mm aangehouden (Joris Voeten, WENR).
- 4) In de wintersituatie is er veel vocht in de vegetatie aanwezig. Uit onderzoeken komt naar voren dat de invloed van vocht nadelig is voor de isolatiewaarde (warmtegeleidingscoëfficiënt). Uiteindelijk wordt na heroverweging in de zomersituatie de λvegetatie, zomer = 0,1 W/mK aangehouden en in de wintersituatie λvegetatie, winter = 0,2 W/mK.

- 5) Voor de 40 en 80 mm substraatlaag (Optigrün Substraat Type E) is gerekend met een warmtegeleidingscoëfficiënt voor humusrijke 'lavagrond' (bij 30 % vocht: 1,06 W/mK en bij 10% vocht 0,93 W/mK); invloed van vocht op de warmtegeleidingscoëfficiënt is veiligheidshalve op 2 (i.p.v. de oorspronkelijke 1,5) gezet.
- 6) Stromingsrichting van de warmte: Bij de zomersituatie wordt aangenomen dat de warmtestroom omlaag is en in wintersituatie is de warmtestroom omhoog. Dit heeft consequenties voor de warmteovergangswaarde R_{si} (0,17 resp. 0,1 m²K/W).
- 7) De drainageplaat (Permavoid 85S) is quasihomogeen meegenomen; uitgaande dat de holle ruimte in de drainageplaat 93% is en dat deze holle ruimte gedeeltelijk gevuld is met water ($\lambda_w = 0,6$ W/mK) en luchtlaag ($R_{a,winter} = 0,16$ m²K/W en ($R_{a,zomer} = 0,10-0,21$ m²K/W bij variabele dikte van de luchtlaag; Tabel C.4 NTA8800); In de horizontale laag zelf is het aandeel lucht of water 93% en de drainageplaat 7% (Polypropene); $\lambda_{pp} = 0,17$ W/mK.

Er is gekeken naar de volgende standaard extensieve sedumdaken (Figuur I en Figuur II):

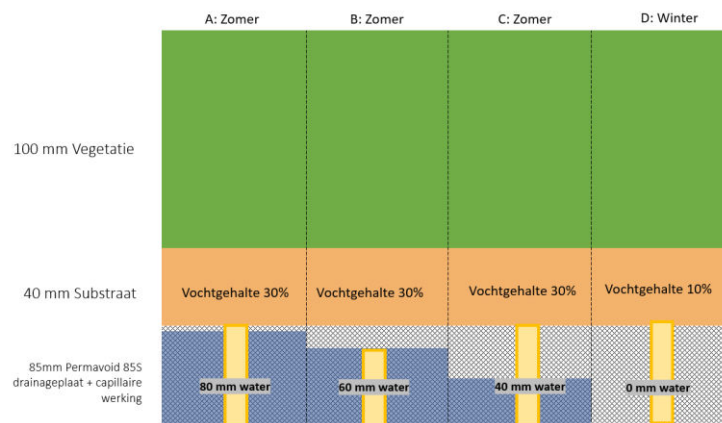


Figuur 2: opbouw standaard extensief sedumdak I

Figuur 1: Opbouw standaard extensief sedumdak II

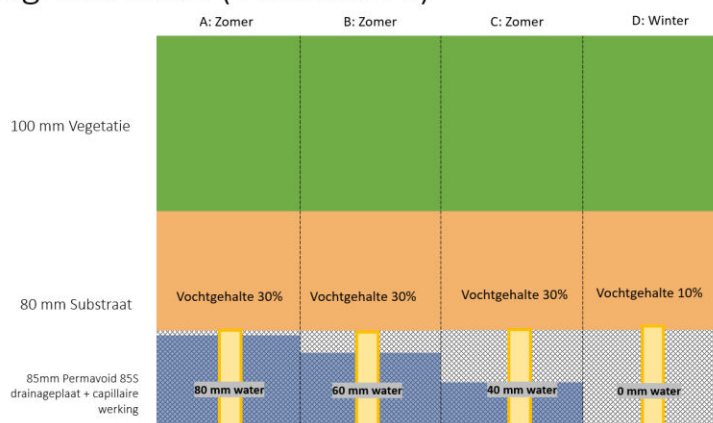
Vervolgens is er gekeken naar de volgende type blauwgroene daken, waarin een differentiatie is gemaakt in Rc-waarde tussen verschillende seizoenen en verschillende waterhoogten in de waterretentielaag (Figuur 3 en Figuur 4).

Blauwgroen dak I (4 scenario's)



Figuur 3: Onderzochte opbouw blauwgroendak I

Blauwgroen dak II (4 scenario's)



Figuur 4: Onderzochte opbouw blauwgroendak II

De resultaten zijn als volgt:

Standaard extensief sedumdak I: $R_c = 0,289 \text{ m}^2\text{K/W}$; hierbij is de drainageplaat (20 mm) met 50% water en 50% lucht 'gewogen' meegenomen als een quasihomogene laag o.b.v. V/V%.

Standaard extensief sedumdak II: $R_c = 0,327 \text{ m}^2\text{K/W}$; hierbij is de drainageplaat (20 mm) met 50% water en 50% lucht 'gewogen' meegenomen als een quasihomogene laag o.b.v. V/V%.

In de onderstaande tabel 2 zijn de resultaten van de R_c waarden van het blauw-groene dak samengevat

Tabel 2: R_c -waarde ($\text{m}^2\text{K/W}$) van het blauwgroene dak in vier scenario's.

Dakvariant	A: Zomer	B: Zomer	C: Zomer	Gemiddeld (zomer)	D: Winter	E: Winter	F: Winter
Waterhoogte retentielaag (mm)	80	60	40	60	0	85	85
Bodemvochtgehalte (Vol%)	30	30	30	40	10	10	57
Blauwgroen dak I	1,26	1,33	1,32	1,30	0,71	-	-
Blauwgroen dak II	1,30	1,37	1,36	1,34	0,75	0,74	0,71

Het is opvallend dat de isolerende waarde van de het blauw-groene dak in de winter minder is dan in de zomer (tabel 2). De reden hiervoor is de verandering van stromingsrichting van de warmte (van binnen naar buiten in de winter en van buiten naar binnen in de zomer).

Ingezoomd op de wintersituatie, wanneer de temperatuurflux in tegengestelde richting loopt t.o.v. de zomersituatie, zijn er voor nog twee situaties de isolatiewaarde berekend. In de eerste situatie (E: Winter) wordt aangenomen dat de drainageplaat volledig gevuld is met water maar het substraat slechts 10% vocht bevat. In de tweede situatie (F: Winter) is de drainageplaat eveneens vol maar is het substraat verzadigd (57 vol%). Dit betekent dat het sturen van het vochtgehalte in het substraat slechts een minimaal effect heeft op de R_c -waarde in de winter.

De uitgewerkte scenario's in het model zijn een eerste benadering waaruit blijkt dat:

- verschillende type vegetatiedaken verschillende type Rc-waarden kunnen hebben afhankelijk van de opbouw.
- Dat een blauw-groen dak een 4x hogere isolatiewaarde heeft dan een standaard groendak
- er een significant verschil in Rc waarde is tussen de zomer en de wintersituatie, veroorzaakt door de omgekeerde richting van de energiestroom.
- Er nauwelijks verschil in Rc ontstaat bij een variërende substraatdiepte
- Er nauwelijks een verschil in Rc ontstaat bij een variërende waterretentiehoogte in de retentie/drainagelaag.

De verkoelende werking afkomstig uit schaduw, verschil in reflectiviteit en verdamping van de vegetatie is niet meegenomen in deze berekening. Dit is slechts een eerste theoretische benadering, maar toont de complexiteit van de berekening.

Uit onderstaande reactie van Kenniscentrum Energieprestatie Gebouwde Omgeving (stichting KEGO), op de vraag of en hoe vegetatiedaken meegewogen kunnen worden in de energieprestatie van een gebouw, blijkt ook dat een vervolgonderzoek waardevol is (Figuur 5). Er blijkt een kennisleemte over de kengetallen die gebruikt kunnen worden en de huidige methodiek laat het verkoelend effect uit verdamping achterwege.

Groendak en isolatie

Gewijzigd op: Zo, 28 Apr, 2024 om 12:53 PM

Kan de isolerende werking van een sedumdak of groendak worden gewaardeerd voor het energielabel?

82.1/75.1 - basis - detail

Groene daken vertragen de opwarming van een gebouw in de zomer door een isolerende werking en door verdamping van water. De isolerende werking tijdens het verwarmingsseizoen is echter verwaarloosbaar door het hoge vochtgehalte dat de sedum- en substraatlaag dan heeft. De lambda-waarde is hoger dan 0,10, een sedumdak of groendak kan daarom niet worden gewaardeerd als isolatielaag.

28-04-2024

Wij adviseren je bovenstaand antwoord op te nemen in het projectdossier. Je mag afwijken van het antwoord mits zorgvuldig onderbouwd. Voor meer informatie over onze werkwijze verwijzen we naar <https://stichtingkego.nl/over-ons/> (<https://stichtingkego.nl/over-ons/>).

Figuur 5: Reactie van Stichting KEGO over meenemen vegetatiedaken in energieprestatie van gebouwen

Wat kunnen we zeggen over plantverdamping per type groendak en de verkoelende werking?

Om de hoeveelheid verdamping op een vegetatiedak te bepalen wordt de referentiegewasverdamping gebruikt. De referentiegewasverdamping is de hoeveelheid water die verdampt uit een grasveld in Nederland dat beschikt over voldoende water en nutriënten. De referentie-gewasverdamping heeft een sterk verband met de beschikbare zonnestraling, temperatuur, luchtvochtigheid en wind waardoor de verdamping per maand significant verschilt.. Het KNMI gebruikt voor de bepaling van de gewas-referentiebeplanting gras met een hoogte van 10 cm (KNMI a.n.d.).

Gedurende het hele jaar verdampt het referentiegewas in een gemiddeld jaar ongeveer 650mm water (ofwel 650 liter per m²). Het verschilt significant in welke periode de plantverdamping wordt gemeten. In de gehele maand januari wordt er bijvoorbeeld doorgaans slechts 9 mm verdampt terwijl dit tijdens het groeiseizoen gemiddeld 3 mm per dag is (gemiddeld over een groeiseizoen van circa 200 dagen per jaar). Tijdens extreem

warme dagen kan dit oplopen tot een verdamping van 5,5 mm dag (KNMIbb, n.d.). Om te berekenen hoeveel water er geïrrigeerd moet worden op het groene dak, wordt gebruik gemaakt van de gewasfactor. Voor een gras/meerjarig kruid opstelling is de gewasfactor 1 en de jaarlijkse verdamping dus identiek aan de referentiegewasverdamping van het KNMI.

Een sedumdak verdampt minder. De lagere verdamping van het sedumdak komt door het verschil in type fotosynthese waar de planten gebruik van maken. De meeste planten vallen binnen de C3-categorie (grassen, kruiden, bomen). C3-planten zijn niet specifiek aangepast om vocht vast te houden tijdens droge periodes, waar C4- en CAM-planten zich via evolutie wel hebben aangepast. Sedum valt binnen de categorie CAM (crassulacean acid metabolism) en stuurt de fotosynthese in een dag/nacht cyclus. De CAM-planten openen bij watertekorten alleen 's nachts hun huidmondjes om CO₂ op te vangen en op te slaan tot het weer licht is. Op deze wijze hoeven CAM-planten tijdens warme periodes overdag hun huidmondjes niet te openen om aan fotosynthese te doen. Door het dicht blijven van de huidmondjes overdag verdampen CAM planten aanzienlijk minder water en zijn ze beter bestand tegen periodes van droogte. De jaarlijkse verdamping van CAM planten worden gemiddeld op ¼ van de jaarlijkse verdamping van C3 planten geschat (Ting & Szarek, z.d.) . Echter, wanneer er sprake is van een blauw-groen dak met capillaire irrigatie en het sedum altijd water ter beschikking heeft lijkt de CAM plant zich te gedragen als een C3-plant waardoor er gemiddeld toch een jaarlijkse verdamping optreedt van ongeveer 400 mm per jaar t.o.v. ongeveer 600 mm/jaar van C3 planten (Cirkel et al., 2018).

Planten voorkomen opwarming door hun reflecterende eigenschappen: alleen bruikbare frequenties van het zichtbare licht worden gebruikt en de rest wordt terug de atmosfeer gestuurd (circa 25-30%). Een groot deel van het verkoelende effect van planten is afkomstig uit de verdamping van water (adiabatisch verkoelend effect). Het is daarom essentieel dat er voldoende water beschikbaar is om te verdampen om een hoog verkoelend rendement uit het groene dak te halen. De mate van het verkoelende effect uit verdamping voor de temperatuur in het gebouw door vegetatie is iets waar nog relatief weinig onderzoek naar gedaan is.

Als verdamping bepalend is voor verkoeling, wil je maximale plantverdamping en rijst de vraag of sedum de meest gewenste beplanting is. Door te ontwerpen met grassen, kruiden of vaste planten kun je de plantverdamping laten toenemen maar ontstaat de vraag waar dat water vandaan moet komen. Irrigeren met drinkwater is geen langdurig duurzame optie. We zien dus dat er in de stedenbouw steeds vaker gezocht wordt naar alternatieve bronnen van irrigatiewater. Denk daarbij aan het hergebruikt van gezuiverd grijswater, zoals doucheafvalwater, of seizoen-overstijgende regenwaterbergingen in de ondergrond zoals het Urban Waterbuffers principe. Verder onderzoek naar het sluiten van de lokale watercyclus in de stad is nodig in zowel de praktische uitvoering als in aanpassingen in wet- en regelgevingen. Niet alles kan zomaar met water in Nederland omdat veel goed is vastgelegd en beschermd in de drinkwaterwetgeving.

Groene daken laten dakbedekking minder krimpen en uitzetten. Dit vergroot de levensverwachting van het dak. Maar hoeveel?

Een groen dak kan de levensverwachting van het dak vergroten vanwege het leveren van een constantere temperatuur op de dakbedekking waardoor het minder krimpt en uitzet. Op een zwart dak in de zon wordt de oppervlaktetemperatuur geregeld boven de 75 graden Celsius terwijl onder een blauw groen dak de watertemperatuur in het retentiesysteem zelfs op warme zomerdagen niet boven de 23 graden Celsius uitkomt (Project Smartroof 2.0, Amsterdam, Eigen metingen J. Voeten). Een interessante kennisleemte is de mate waarin dit effect optreedt, of dit gekwantificeerd kan worden en of hier zelfs garanties op gegeven kunnen worden. Welke garantietermijn kunnen dakbedekkings-producenten geven op hun materialen onder vegetatiedaken? Voor welk type vegetatiedak? En onder welke voorwaarden of condities?

2 Opgave twee: Inventarisering normen.

Om een overzicht te creëren van de huidige wet- en regelgeving naar eisen voor vegetatiedaken is er een inventarisatie uitgevoerd naar huidige relevante normen. De resultaten hiervan zijn weergegeven in een matrix (tabel 3). In deze matrix is te zien welke categorie normen betrekking hebben op thema's die ook relevant zijn voor vegetatiedaken. Hierin is er gekeken naar de (categorie) normen/normen bundels: NEN, NEN-EN, NEN-EN-ISO, NPR, NTA, FLL, Norm begroeide daken VBB-FLL (ISSO), Bouwbesluit 2012, TVVL en de Vakrichtlijn gesloten dakbedekkingsystemen. In de appendix D is een lijst opgenomen welke specifieke normen er bekeken zijn en op wat voor onderwerp ze betrekking hebben.

Uit de matrix valt op dat veel type normen (bundels) niet holistisch zijn en slechts een voorschrift geven over een deel van de relevante onderwerpen voor vegetatiedaken. Het is noodzakelijk om meerdere type normen te bestuderen om een compleet beeld te krijgen welke onderwerpen er spelen, hoe deze normen geformuleerd zijn en welke onderwerpen er per type norm worden aangekaart en welke achterwege worden gelaten. Deze uiteenzetting laat zien dat het aangeraden is om te werken vanuit de in 2023 gepubliceerde Norm begroeide daken van de VBB-FLL (ISSO) omdat deze als enige raakvlakken heeft met alle onderzochte thema's. Deze norm is een geactualiseerde aanvulling op bestaande normen inclusief verwijzingen naar andere normen waardoor het een helder overzicht geeft van de relevante thema's en de bijbehorende normverwijzingen die daarbij geraadpleegd dienen te worden. Er is dus een bestaande actuele holistische Nederlandse norm voor multifunctionele (vegetatie)daken.

Tabel 3: Overzicht van een selectie van (categorie) normen/bundels en wat voor relevante onderwerpen voor multifunctionele (vegetatie)daken ze aankaarten.

	Brandveiligheid	Waterretentie	Gewichtsbelasting	Windbelasting	Drainage	Irrigatie	Wortelbescherming	Vochtbescherming	Samendrukbaarheid substraat	Ecologische functie	Beplantingsmogelijkheden	multifunctionaliteit	Constructie	Onderhoud	Energieprestatie	Milieuprestatie	Dakinrichting
NEN	✓	✓	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
NEN-EN	✓	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
NEN-EN-ISO	X	X	X	X	✓	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	✓	X
NPR	✓	X	X	✓	✓	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X
NTA	✓	✓	X	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	X	X
FLL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
ISSO (VBB-FLL)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bouwbesluit 2012	✓	X	X	✓	✓	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	✓	✓	X
TVVL	X	✓	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	✓	X	X	X	✓
Vakrichtlijn Gesloten Dakbedekkingssystemen	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓	X	X	X	X	✓	X	✓	X	✓

3 Conclusies

Het uitvoeren van deze analyse en inventarisatie heeft geleid tot de volgende conclusies en inzichten. De belangrijkste bevindingen zijn onderstaand weergegeven.

1. De tabel biedt een overzicht van de meest gebruikte multifunctionele daken inclusief kengetallen ter indicatie.

Er is een overzicht gecreëerd van de meest gebruikte typen vegetatiedaken. Dit overzicht geeft de opbouw van verschillende varianten weer, samen met de corresponderende eigenschappen. Deze tabel kan gebruikt worden om een selectie te maken wat voor type dak het beste aansluit op de behoefte van de klant, de mogelijkheden van de bestaande dakconstructie en eventueel nodige aanpassingen aan het ontwerp van een nieuwe constructie om het gewicht te kunnen dragen en de gewenste functies te kunnen vervullen.

De kengetallen vanuit de multifunctionele (vegetatie)daken tabel bieden inzicht in waarden van verschillende type daken. Echter, door de variaties in lagenopbouw is het onmogelijk om één standaard waarde te gebruiken om mee te rekenen. De opbouw van het (blauw-) groene vegetatiesysteem heeft namelijk invloed op waarden zoals de opbouwhoogte, de kosten, de beplantingsmogelijkheden, de gewichtsbelasting en de waterretentiecapaciteit. Uit de voorbeeldberekeningen van de minimale en maximale gewichtsbelasting binnen 1 type blijkt dat het kiezen van de zware optie kan leiden tot een variatie van 2 tot 3 keer de minimale gewichtsbelasting. Het is zeer aanbevelenswaardig om door een expert een detailberekening te laten maken van de exact voorgestelde opbouw op basis van de laatste gegevens van de leveranciers, om ervoor te zorgen dat de constructie van het dak toereikend is voor het gewenste vegetatiedak type.

2. Er bestaat een actuele holistische Nederlandse norm voor vegetatiedaken.

In tabel 3 zijn verschillende normen op gebied van vegetatiedaken geanalyseerd op onderwerp en relevantie. Dit laat zien dat de meeste normen die gebruikt worden in Nederland niet integraal zijn en er dus vaak thema's onbehandeld blijven. De enige norm die wel alle thema's beslaat is de "Norm begroeide daken van de VBB-FLL (ISSO)", een in 2023 door de Vereniging Bouwwerk Begroeners vertaalde, geactualiseerde en in Nederlandse context geplaatste versie is van de Duitse FLL-norm. Deze norm is een bundel van de relevante nationale en internationale normen en rekenmethodes en biedt daarom een duidelijk overzicht van vereiste informatie om op een geschikte wijze vegetatiedaken te kunnen ontwerpen en aan te leggen.

3. De installatietechniek hoeft geen remmende rol te spelen in de aanleg van multifunctionele daken.

Uit deze studie blijkt dat er voldoende bewezen systemen, producten en technieken op de markt beschikbaar zijn om op een professionele manier verschillende typen vegetatiedaken te ontwerpen en te realiseren. Kennis en ervaring is bij de leveranciers en groendekkers aanwezig en de nodige kengetallen voor ontwerp zijn in de opgestelde tabel gebundeld en kunnen dienen als leidraad (de genoemde variaties in gewichtsbelasting binnen ieder type in acht nemend). De norm begroeide daken van de VBB-FLL is een holistische bundel waarin de belangrijkste standaarden en handreikingen zijn beschreven, waarbij verwezen wordt naar alle relevante en aanverwante normen voor het ontwerpen en bouwen van daken en begroeide daken.

Voor allen betrokken in de installatietechniek hoeft gebrek aan beschikbare kennis geen beperkende of vertragende factor meer te zijn in het ontwerp en de aanleg van vegetatiedaken. Of betere kennisdeling kan helpen en of de kennis voldoende is opgenomen in de curricula van opleidingen op MBO-, HBO- en WO niveau is in dit onderzoek niet uitgediept.

4. De isolerende werking en koeling uit verdamping van vegetatiedaken is momenteel te onzeker om mee te nemen in de energieprestatie.

Uit de voorbeeld berekening volgens de NTA 8800 blijkt dat een blauw-groen vegetatiedak in de zomer een Rc-waarde kan hebben van meer dan 1.3. De berekening geeft inzicht dat de dikte van het substraat weinig toegevoegde waarde heeft voor de Rc-waarde. Aanvullend voegt een luchtlaag van meer dan 3 cm in de

drainage- of retentielaag onder het substraat weinig toe aan de isolatiewaarde. Wanneer er gegarandeerd kan worden dat de sedumlaag gedurende het hele jaar aanwezig is op het dak, zou volgens de detailbepaling het vegetatiedak meegenomen mogen worden in de energieprestatie van een pand. Echter, energieprestatieadviseurs melden dat de geleidingscoëfficiënt van groene daken gevonden in literatuur te hoog is en adviseren daarom anders. De berekening volgens de detailbepaling in de NTA8800 norm lijkt dus af te wijken van deze aanname gebaseerd op data uit literatuur.

Daarnaast wordt er gesteld dat de verkoelende werking uit verdamping een kennisleemte is, maar wel een significant effect heeft op de totale verkoelende werking. Het vertalen van deze verkoelende werking naar een isolatiewaarde en het nauwkeuriger kunnen onderbouwen van de isolerende werking van groene daken is een relevant vervolg onderzoek. Wanneer er meer bewijs is voor deze verkoelende werking/isolatiewaarde en deze opgenomen zou worden in de standaard berekening van de energieprestatie, kan dit leiden tot een grotere vraag naar vegetatiedaken.

5. Beplantingskeuze en waterbeschikbaarheid voor maximale verdamping

Een groot deel van het verkoelende effect van planten is afkomstig uit de verdamping van water (adiabatisch effect). Het is daarom essentieel dat er voldoende water beschikbaar is om te verdampen om een hoog verkoelend rendement uit het groene dak te halen. De hoogte van het verkoelende effect uit verdamping voor de temperatuur in het gebouw uit vegetatie is iets waar nog relatief weinig onderzoek naar gedaan is.

Als verdamping bepalend is voor verkoeling, wil je maximale plantverdamping en rijst de vraag of sedum de meest gewenste beplanting is. Door te ontwerpen met grassen, kruiden of vast planten kun je de plantverdamping laten toenemen maar ontstaat de vraag waar dat water vandaan moet komen. Irrigeren met drinkwater is niet duurzaam. We zien dus dat er in de stedenbouw steeds vaker gezocht wordt naar alternatieve bronnen van irrigatiewater. Denk daarbij aan het hergebruik van gezuiverd grijswater, doucheafvalwater of seizoen overstijgende regenwaterbergingen in de ondergrond zoals het Urban Waterbuffer principe. Verder onderzoek naar het sluiten van de lokale watercyclus op pandniveau is hiervoor noodzakelijk om duurzame irrigatie in tijden van extreme droogte mogelijk te maken.

4 Aanbevelingen

Vanuit de conclusies en de geïdentificeerde kennishiaten zijn een aantal aanbevelingen te herleiden. Deze zijn onderstaand beschreven.

1. Breng de publicatie breed onder de aandacht.

Het overzicht vanuit de tabel: *kengetallen voor multifunctionele (vegetatie)daken*, maakt noodzakelijke informatie voor het kiezen en aanleggen van vegetatiedaken toegankelijker. Hierdoor is er hoop om de drempel van het aanleggen van vegetatiedaken te verlagen.

Daarnaast blijkt uit de normenanalyse dat er een actuele holistische Nederlandse norm bestaat. De Norm begroeide daken bundelt relevante nationale en internationale normen en rekenmethodes voor de aanleg van vegetatie daken. Om de drempel voor het kiezen van de een vegetatiedak in plaats van een conventioneel dak te verlagen, is het daarom geadviseerd om deze publicatie, met daarin de tabel en het advies over de norm, breed te verspreiden. Op deze wijze kan het duidelijker worden dat de markt voor vegetatiedaken al volwassen is.

2. Stel gestandaardiseerde detailtekeningen op waarin de geleerde lessen uit het verleden (how-not-to) zijn opgenomen.

Een ander punt waardoor de aanleg van vegetatiedaken gehinderd wordt is het gebrek aan standaardtekeningen van de opbouw van vegetatiedaken en detaillering van het gebouw daaromtrent. Blauw-groen, natuurinclusief, of klimaatadaptief ontwerpen zit dus nog niet in de business-as-usual van alle architecten, tekenaars, vergunningverleners en constructeurs, waardoor men het gevoel heeft álles voor het eerst te moeten doen en het wiel steeds opnieuw uit te moeten vinden, met risico op terugkerende beginnersfouten of tegenvallende resultaten.

In de installatie techniek ziet men graag gestandaardiseerde detailtekeningen voor onder andere dakopstanden, drempelhoogtes, HWA en dakdoorvoeren om potentiële schade en teleurstellingen te voorkomen. Hierbij kan ook geleerd worden van de fouten uit te geschiedenis door naast de detailtekeningen ook z.g.n. “*how-not-to*” tekeningen te maken. Voor zowel successen als falen geldt: sharing is caring.

3. Bewijs de theoretische modellen in de praktijk.

Om vegetatiedaken aantrekkelijker te maken kan er gekeken worden naar de daadwerkelijke toegevoegde verkoelende/isolerende werking van een vegetatiedak in de energieprestatie van gebouwen. Volgens stichting KEGO is er namelijk momenteel onvoldoende bewijslast om de isolerende werking te integreren, hoewel een theoretische benadering laat zien dat een vegetatiedak wel degelijk een significant positief effect kan hebben op de energieprestatie. Er wordt nu onderzoek gedaan met modellen maar resultaten uit te praktijk ontbreken. Er wordt daarom geadviseerd om de modellen verder te verfijnen, praktijkmetingen te doen om de isolatiewaarde van vegetatiedaken te onderbouwen, en wel op een manier dat de resultaten geïntegreerd kunnen worden in de normberekeningen en de energieprestatie.

5 Referenties

- Arbid, Y., Richard, C., & Sleiman, M. (2021). Towards an experimental approach for measuring the removal of urban air pollutants by green roofs. *Building And Environment*, 205, 108286. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108286>
- Cirkel, D. G., Voortman, B. R., Van Veen, T., & Bartholomeus, R. (2018). Evaporation from (Blue-)Green Roofs: Assessing the Benefits of a Storage and Capillary Irrigation System Based on Measurements and Modeling. *Water*, 10(9), 1253. <https://doi.org/10.3390/w10091253>
- Currie, B. A., & Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 11(4), 409–422. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0054-y>
- DakisolatiePlaatsen (z.d.) Isolatieplaten warm dak isoleren: tips & advies opbouw – geraadpleegd van <https://www.dakisolatieplaatsen.be/daken/warm-dak-isoleren/>
- De Vereniging van Bouwwerk Begroeners. (2023). Norm begroeide daken VBB-FLL. Geraadpleegd van <https://open.isso.nl/publicatie/vbb-norm-begroeide-daken/2023>
- Het Nationaal Dakenplan. (2022). Geraadpleegd van <https://dakenplan.nl/de-dakkleuren#:~:text=Elke%20dakfunctie%20heeft%20een%20eigen,gele%20daken%20duurzame%20energie%20gewonnen.>
- Kantenklaarhagen.nl. (z.d.). Geraadpleegd van <https://www.kantenklaarhagen.nl/sempergreen-sedumcassette-45-x-50-cm.html>
- KNMIa - Overzicht van de neerslag en verdamping in Nederland. (z.d.). Retrieved from <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/gegevens/monv>
- KNMIb - Verdamping in Nederland. (z.d.). Retrieved from <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/verdamping-in-nederland>
- Livingroofs. (2019, 5 april). Geraadpleegd van <https://livingroofs.org/introduction-types-green-roof/biosolar-green-roofs-solar-green-roofs/>
- Optigrün. (z.d.-a). Economy Roof. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.com/system-solutions/economy-roof/system-solutions>
- Optigrün. (z.d.-b). Flow Control Extensive and Semi-Intensive. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.com/system-solutions/retention-roof/flow-control-extensive-and-semi-intensive>
- Optigrün. (z.d.-c). Green Roof Solar WRB. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.com/system-solutions/solar-green-roof/solar-wrb>
- Optigrün. (z.d.-g). Overzicht Hellend Dak systemen. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.nl/systemen/hellend-dak/overzicht-hellend-dak-systemen>
- Optigrün. (z.d.-h). Retention Roof Flow Control Intensive. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.com/system-solutions/retention-roof/flow-control-intensive>
- Optigrün. (z.d.-i). Solar green roof FKD. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.com/system-solutions/solar-green-roof/solar-fkd>

- Optigrün. (z.d.-j). Traffic roof accessible for trucks. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.de/systemloesungen/verkehrsdach/befahrbar-fuer-lkw>
- Optigrün. (z.d.-k). Traffic roof retention. Geraadpleegd van <https://www.optigruen.de/systemloesungen/verkehrsdach/verkehrsdach-retention>
- Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2100–2110. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029>
- SBRCurnet. (2016). Kennispaper: De groene ingenieur.
- Solvari (2019). Koud dak: opbouw en nadelen. Geraadpleegd van <https://www.dakisolatie-advies.nl/koud-dak>
- Speak, A., Rothwell, J., Lindley, S., & Smith, C. (2012). Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 61, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>
- TING, I. P., & SZAREK, S. R. (z.d.). PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY OF CAM PLANTS IN RELATION TO C3 AND C4 PLANTS. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-94-010-1957-6_29.pdf
- TKI Watertechnologie. (2023). Geraadpleegd van <https://www.tkiwatertechnologie.nl/projecten/urban-photosynthesis-drie-functies-op-een-dak/>
- Van Der Roest, E., Voeten, J. G. W. F., & Cirkel, D. G. (2023). Increasing solar panel output with blue-green roofs in water-circular and nature inclusive urban development. *Building And Environment*, 244, 110704. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110704>
- Zinco. (z.d.-a). Biodiversitätsdach. Geraadpleegd van <https://www.zinco.de/systeme/biodiversitaetsdach>
- Zinco. (z.d.-c). Irrigated extensive greenery. Geraadpleegd van <https://www.zinco.de/systeme/bewaesserte-extensivbegruenung>
- Zinco. (z.d.-d). Roof Garden. Geraadpleegd van <https://www.zinco.de/systeme/dachgarten>
- Zinco. (z.d.-e). Roof garden with AQUAFLEECE®. Geraadpleegd van https://www.zinco.de/systeme/dachgarten_aquafleece
- Zinco. (z.d.-i). Urban farming. Geraadpleegd van <https://www.zinco.de/systeme/urban-farming>

Appendix A: Tabel - Kengetallen multifunctionele (vegetatie)daken

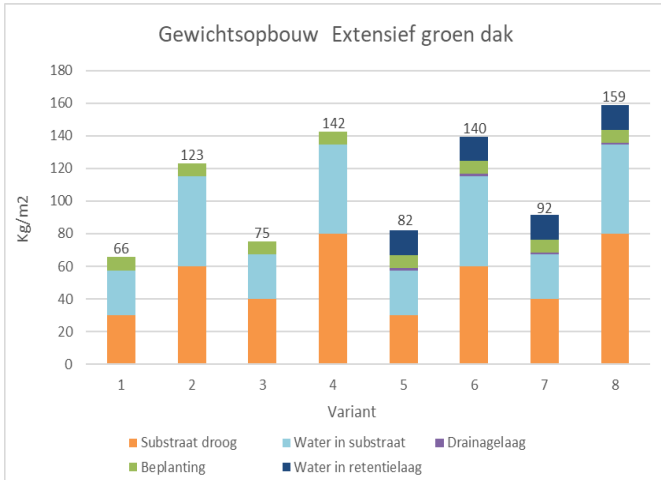
Twee eroven dak	Investeringskosten (€/m ²) Inschatting WENR	Extensief/intensief Definitie Norm begroeide daken VBO-FLL	Beplantingsmogelijkheden Producten - afhankelijk van HB(2008) (VBO-FLL)	Gewichtsbelasting (ka/m ²) Producten (VBO-FLL)	Opbouwhoogte (cm) Producten	Substraatdikte (cm) Producten	Kleurafbel Definitie multifunctionele daken.nl	Gemiddelde jaarlijkse waterretentie (%) Norm begroeide daken VBO-FLL (NEN-EN 12056-3 en NTA 8292)	Waterbufferend vermogen producent (L/m ²) Pproducten (volgens NTA 8292)	Waterbufferend vermogen berekening (L/m ²) Waterretentie substraat + waterretentie drainage	Waterretentiecapaciteit substraat (L/m ²) Producten (FLL-2018)	Waterretentiecapaciteit drainslaag L/m ² Producten	Maximale drukbelasting drainslaag (kN/m ²) Producten (NEN/DIN ISO 23619-2)	Gewichtsbelasting drainslaag (droog) (ka/m ²) Producten	Gewichtsbelasting substraat (droog) (ka/m ³) Producten	Gewichtsbelasting substraat verzadigd (ka/m ³) Producten	Luchtzuiverings capaciteit (+/-) Inschatting a.d.h.v. literatuur	Biodiversiteitswaarde(+/-) Inschatting WENR	Twee irrigatie Definitie	Twee dakafvoer Definitie	Actief/Passief wateroefel sturend Definitie	Combinatie met verharding (ja/nee) WENR	Niet toe te passen op twee isolatie-/dakconstructies Norm begroeide daken VBO-FLL (7.4.1.) (zie toelichting)	Extra controle nodig voor twee isolatie-/dakconstructies Norm begroeide daken VBO-FLL (7.4.1.) (zie toelichting)
Sedum trav	65	Extensief	Sedum	60-80	10-12	5-6	Groen	45	30	15-18	nvt	nvt	660	nvt	660	1000	+	+-	Damospinnine	Afvoervertraagde	Passief	Nee	B	C, D
Basis sedumdak	40	Extensief	Sedum en/of kleine grassen en kruiden (tot 25 cm)	60-100	6-12	4-10	Blauw-Groen	40-50	25	14-35	4.4	200	1.35	750-1000	1140-1440	+/+	+-	Damospinnine	Afvoervertraagde/Afvoerbegrenzing	Passief	Nee	B	C, D	
Groen dak (5-45°)	70	Extensief	Sedum, bij gebruik van anti sloot net ook grassen, kruiden en bloemen (tot 80 cm)	>100	13-15	8-10	Blauw-Groen	52	30	28-35	nvt	nvt	750-1000	1140-1440	+/+	+-	Damospinnine	Afvoervertraagde/Afvoerbegrenzing	Passief	Nee	B	C, D		
Geïnfiltreerd eroven dak	85	Extensief	Sedum en/of meerjarige grassen en kruiden (tot 40 cm)	120-150	>13	8	Blauw-Groen	50	45	32	3	45	1000	1400	+/+	+	Conventioneel	Afvoerbegrenzing/Afvoersturing	Actieve irrigatie	Ja	B	C, D		
Blauw-eroven dak	100	Extensief	Sedum, meerjarige grassen, kruiden en bloemen (tot 100 cm)	100	14	>6	Blauw-Groen	50	75	>93	>21	72	100	750-1000	1140-1440	+/+	++	Caillier	Afvoerbegrenzing	Actieve irrigatie en drainage	Ja	B	C, D	
Biodivers eroven dak	100	Extensief	Sedum, meerjarige grassen en kruiden (tot 100 cm)	90-110	10	7	Blauw-Groen	50	30-80	37	28	9	118	1000	1400	+/+	++	Caillier	Afvoervertraagde/Afvoerbegrenzing	Passief	Nee	B	C, D	
Groen-ov dak	45	Extensief	Sedum	>110	>8	>6	Groen-Geel	50	25	>24.6-26	>21	4.4	200	750-1000	1120-1680	+	+	Damospinnine	Afvoervertraagde	Passief	Ja	B	C, D	
Blauw-eroven-ov dak	100	Extensief	Sedum	120-130	>14	>6	Blauw-Groen-Geel	50	72	>90	>18	72	100	750-1000	1320-1680	+	++	Caillier	Afvoervertraagde	Actieve irrigatie en drainage	Ja	B	C, D	
Daktuin	175	Intensief	Gazon, meerjarige grassen, kruiden, heesters, kleine bomen (substraat >35)	>305	>24	>20	Blauw-Groen-Rood	60	90	>73	13	190	2.2	1000	1700	+/+/+/+/+/+	+++	Caillier/Conventioneel	Afvoervertraagde	Passief	Ja	A, B	C, D	
Geïnfiltreerde daktuin	175	Intensief	Meerjarige grassen (kazondak), kruiden en heesters (tot 60 cm)	>230	19-29	15-25	Blauw-Groen-Rood	60	80	80-130	68-113	5	235	1000	1500	+/+/+/+	+++	Caillier/Conventioneel	Afvoerbegrenzing/Afvoersturing	Actieve irrigatie	Ja	A, B	C, D	
Dakmoestuin	150	Intensief	verschillende types sproeten en fruit afhankelijk van dikte substraat	>300	26-46	20-40	Blauw-Groen-Rood	70	100	119-193	13	190	2.2	950	1400	+/+	++	Caillier/Conventioneel	Afvoerbegrenzing/Afvoersturing	Actieve irrigatie	Ja	A, B	C, D	
Retentiedak met controleerbare afvoer	150	Intensief	Meerjarige grassen en kruiden en vaste planten zoals heesters (tot 100 cm)	>320	>23	>23	Blauw-Groen	60	80	>183.5	>104	80	800	1000	1700	+/+/+/+	+++	Caillier	Afvoerbegrenzing/Afvoervertraagde	Actieve drainage	Ja	A, B	C, D	
Verkeersdak (categorie D, tot 20t)	200	nvt	nvt	>600	>30	>15	Blauw-(Groen-Rood-Geel)	55	niet opgegeven	>15	>15	1600	1.3	247	347	-	-	nvt	Afvoerbegrenzing/Afvoervertraagde	passief en actieve drainage	Ja	A, B	C, D	
Verkeersdak met retentie (categorie C, tot 1.5t)	225	nvt	nvt	>400	>25	>10	Blauw-(Groen-Rood-Geel)	55	100	90-171	>10	80-161	800	5.7-11.4	247	347	-	-	nvt	Afvoerbegrenzing/Afvoervertraagde	Passief en actieve drainage	Ja	A, B	C, D

Appendix B: Berekening bandbreedte gewichtsbelasting groene daken

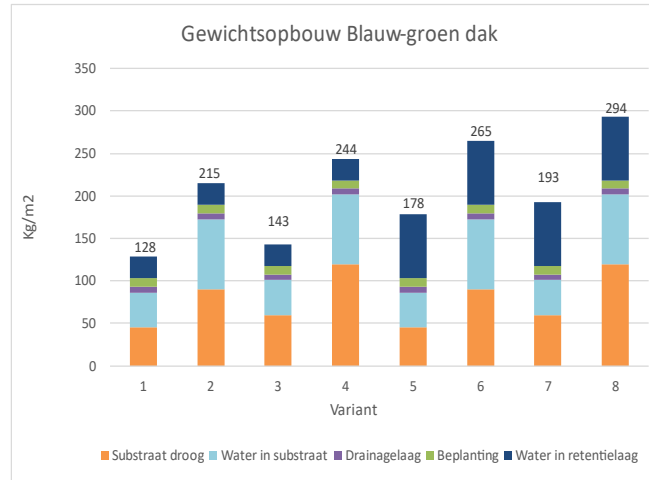
Om aan te tonen dat in de tabel de kengetallen betreffend de gewichtsbelasting en waterbergend vermogen slechts een indicatie zijn en er rekening gehouden moet worden met een bandbreedte, is onderstaand een korte berekening gemaakt ter illustratie. Er zijn voor drie verschillende typen vegetatiedaken (extensief sedum dak, blauwgroen dak en een daktuin) theoretische berekeningen uitgevoerd waarin er met drie parameters gevarieerd wordt (type substraat, dikte substraat, dikte retentie/drainage laag) waardoor er 8 variaties ontstaan (figuur 1-3). Vervolgens is er berekend hoeveel water er in die opzet geborgen kan worden en dat omgerekend naar kilogram-water-opgeslagen-per-kilo-van-de-totale-gewichtsbelasting (WSWR, Water-Stored-To-Weight Ratio (figuur 5-10).

De berekening laat zien dat de gewichtsbelasting van een extensief groen dak in verzadigde toestand kan uiteenlopen van 66kg/m^2 tot 159kg/m^2 . Omdat dit een significante variatie is, is het essentieel om zelfs bij een relatief dun extensief dak een nauwkeurige benadering te doen van de gewichtsbelasting van de gekozen dakopbouw. De keuze van het type drainageplaat en type substraat doen er dus wel degelijk toe. Dit geldt ook voor de bandbreedte in gewichtsbelasting van het blauw-groene dak (128kg/m^2 tot 294kg/m^2) en de daktuin (280kg/m^2 tot 489kg/m^2). De gewichtsbelasting is vooral afhankelijk van de gekozen drainagelaag en substraatdikte. Er is berekend met de waterverzadigde toestand (zoals altijd in gewichtsberekeningen van vegetatiedaken).

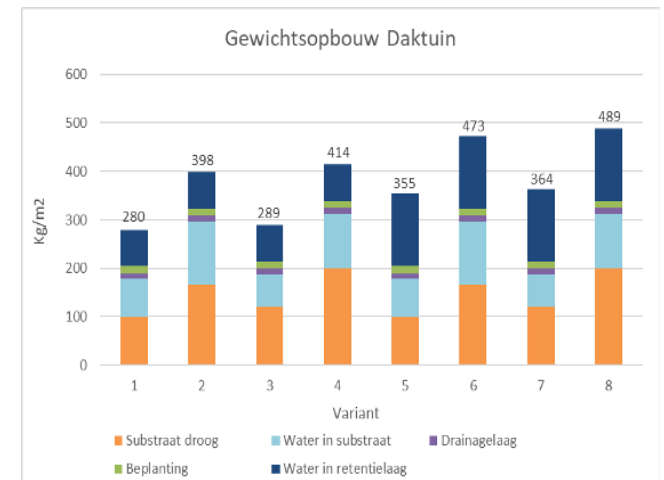
De WSWR is berekend en laat zien dat een dikkere substraatlaag een belangrijke bijdrage levert aan de hoeveelheid water die in één kilo van het totaalgewicht opgeslagen kan worden. Echter wanneer er gekeken wordt naar de toename in wateropslag per gewicht is te zien dat het waterretentiesysteem effectiever werkt. Gemiddeld kan een extensief groen dak met minimale water retentie ongeveer 40 % van zijn verzadigde massa bergen, terwijl een extensief groen dak met een relatief uitgebreide waterretentielaag 48% van de verzadigde massa kan bergen. Voor blauw-groene daken is dit respectievelijk 48% en 61% en voor daktuinen 50% en 59%. Wanneer het doel is om meer water te bergen bij een gelimiteerde draagkracht, is een hogere drainage/retentielaag beter dan een dikkere substraatlaag.



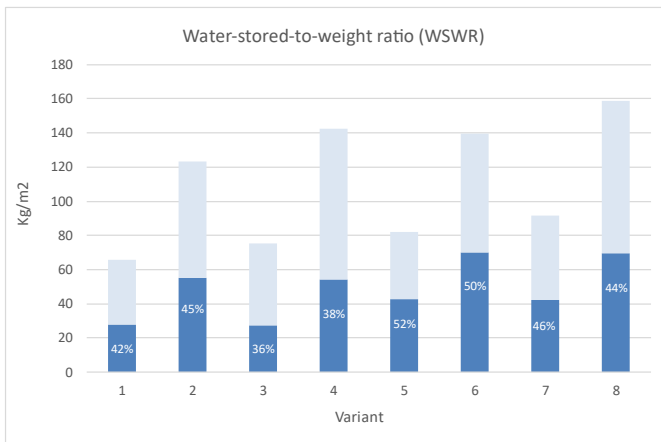
Figuur 5: Gewichtsofbouw van meerdere variaties extensief groen dak



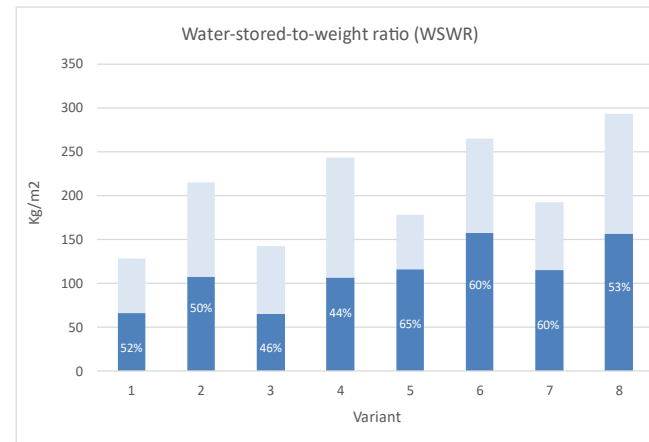
Figuur 6: Gewichtsofbouw van meerdere variaties blauw-groen dak



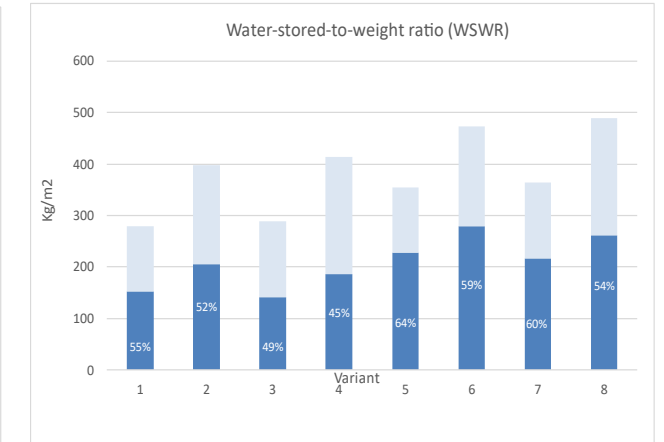
Figuur 7: Gewichtsofbouw van meerdere variaties daktuin



Figuur 8: de verhouding geborgen water (kg) dat per kg dak geborgen kan worden.



Figuur 9: de verhouding geborgen water (kg) dat per kg dak geborgen kan worden.



Figuur 10: de verhouding geborgen water (kg) dat per kg dak geborgen kan worden.

Appendix C: Gebruikelijke daktypen bij platte daken

We kennen in de bouwkunde drie typen geïsoleerde platte daken; warm dak, koud dak en een omgekeerd dak. Bij de benaming ga je uit van de positie van de draagconstructie of beter het dakbeschoot; zit het dakbeschoot aan de warme zijde van de aanwezige isolatie en blijft de isolatie droog, dan is het een warm dak. Zit het dakbeschoot aan de koude zijde van de isolatie en blijft de isolatie droog, dan is het een koud dak. Er is sprake van een omgekeerd dak als de isolatie boven op de dakbedekking ligt en daardoor niet droog blijft (Leo Pelgrom, 2024).

Warm dak

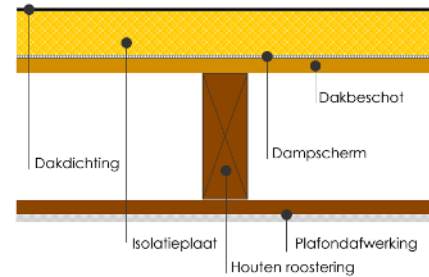
Bij een warm dak zit het dakbeschoot aan de warme zijde van de isolatie en blijft de isolatielaag droog doordat op de isolatielaag een afdekking of waterkerende laag is aangebracht; bijvoorbeeld bitumineuze dakbedekking, EPDM, rubber of roofing. Omdat de dakbedekking waterdicht is en de isolatielaag droog dient te blijven wordt er onder de dakisolatie en boven op het dakbeschoot een dampscherm aangebracht.

Als er wel vocht in de isolatielaag komt, dan condenseert het vocht aan de koude zijde van de isolatie (direct onder de dakbedekking). Dit vocht is nadelig voor de isolatiewaarde van de isolatie en het kan in de winter bevriezen met kans op schade/lekkage aan het dak.

Koud dak

Bij een koud dak zit het dakbeschoot aan de koude zijde van de isolatie en blijft de isolatielaag droog omdat op het dakbeschoot (meestal underlayment platen of messing en groef delen) een afdekking of waterkerende laag is aangebracht. Omdat, ondanks het aangebracht dampscherm, een kans is op vocht in de ruimte tussen isolatie en dakbeschoot met dakbedekking dient deze ruimte goed geventileerd te worden (met buitenlucht) om daardoor de isolatie en de constructie droog te houden en om kans op condensatie te voorkomen.

Heel vaak lukt dit niet en is er kans op condensatie. Door het wisselende weer (lees vocht en temperatuur) in Nederland (ook koude nachten) wordt een koud dak steeds minder vaak uitgevoerd vanwege de aangegeven nadelen en risico's.



Warm dak: isolatieplaten & houten roosterling © DakisolatiePlaatsen.net

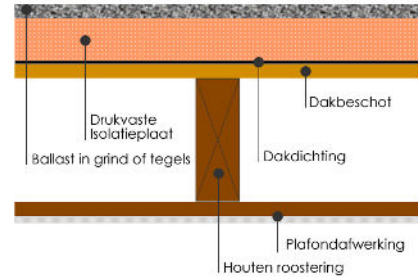
DakisolatiePlaatsen.be, (z.d.)



Solvári (2019)

Omgekeerd dak

De isolatie bij een omgekeerd dak blijft niet op het dak liggen zonder een ballast laag en bovendien moet de isolatie ook beschermt worden tegen Uv-straling. Als ballast laag wordt meestal grof grind of betontegels gebruikt. De isolatie wordt zoals hiervoor is aangegeven nat moet daardoor ook goed bestand zijn tegen water. Omdat ook vanwege onderhoud en vanwege de functie van het dak gelopen of gereden wordt moet de isolatie ook nog een goede drukvastheid hebben.



Omkeerdak: isolatieplaten & houten roosterling © DakbouwGedruuzel

Het isolatiemateriaal wat voldoet aan deze voorwaarden is geëxtrudeerd polystyreen (XPS). Heel vaak wordt een omgekeerd dak toegepast in het geval van renovatie. Zeker als er behoefte is aan aanvullend isoleren maar dat de aanwezige dakbedekking nog in goede staat is waardoor het erg zonde zou zijn om de dakbedekking te verwijderen omdat er aanvullend geïsoleerd moet worden. Nadat de nieuwe isolatielaag is aangebracht zou dan weer een nieuwe de dakbedekking over de isolatielaag moeten worden gelegd (het wordt dan een warm dak). De goede aanwezige dakbedekking wordt dan volledige afgeschreven en kost dan ook onnodig meer geld.

Appendix D: Toelichting onderzochten normen

Onderstaand staat per type norm, de exacte normen weergegeven waar de inventarisatie op gebaseerd is. Hierbij is benoemd op wat voor thema's ze relevantie hebben.

NEN Normen: De NEN-normen zijn nationale normen die gelden in Nederland. De relevante NEN-normen bestaan uit voorschriften voor risico's die volgen uit brandveiligheid, waterretentie, drainage en energieprestatie.

- NEN 1068 - Energieprestatie
- NEN 2778 - Vochtwering
- NEN 3215 - Hemelwaterafvoer
- NEN 6063 - biedt een toetsingsmethode voor het risico brandgevaar.
- NEN 6050 - Schrijft ontwerpvoorwaarden voor brandveilig werken aan daken voor - Gesloten dakbedekkingssystemen
- NEN 6707 - Bevestiging van dakbedekkingen - Eisen en bepalingmethoden waterretentie en brandgevaarlijkheid --> Verder uitgewerkt in NPR 6708

NEN-EN normen: NEN-EN normen zijn geharmoniseerd binnen de Europese Unie en gelden daarom ook binnen Nederland. NEN-EN normen beschrijven onder andere voorschriften over de maximale belasting om een stevig dak te waarborgen. Dit op het gebied van brandveiligheid, gewichtsbelasting, windbelasting, afwatering, wortelbescherming, vochtbescherming en constructie.

- Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen NEN-EN 1991-1-2+C1:2011/NB:2011 - Eurocode 1:/NB 2015 Belastingen op constructies - Deel 1-2: Algemene belastingen - Belasting bij brand
- NEN-EN 1990/1991-1-3+C1:2011/NB:2011/NB2019 Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting
- NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2011/NB2019- Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
- NEN-EN 12056-3:2000 en - Binnenriolering onder vrij verval - Deel 3: Ontwerp en berekening van hemelwaterafvoersystemen
- NEN-EN 13252:2016 en - Geotextiel en aan geotextiel verwante producten - Vereiste eigenschappen voor toepassing in drainagesystemen
- NEN-EN 13948:2007 en - Flexibele banen voor waterafdichtingen - Bitumen, kunststof en rubber banen voor waterafdichtingen - Bepaling van de weerstand tegen worteldoorgroei (NEN-EN 13707)
- NEN-EN 15026:2007 - Hygrothermische prestatie van bouwcomponenten en -elementen - Beoordeling van vochtoverdracht door rekenkundige simulatie
- EN-EN 13501 - Brandclassificatie van bouwproducten en bouwdelen

NEN-ISO: De NEN-ISO normen richten zich op internationale standaardisatie van kwaliteitseisen. Voor groene daken worden hier via de volgende normen eisen gesteld aan geotextiel, waterdoorlaatbaarheid, verdeling van korrelgrootte en samendrukbaarheid.

- NEN-EN-ISO 12958:2010 - Geotextiel en soortgelijke producten - Bepaling van het waterdoorlatingsvermogen in het vlak
- NEN-EN-ISO 17892-4:2016 en - Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 4: Bepaling van de korrelgrootte verdeling

- NEN-EN-ISO 25619-1:2009 - Geokunststoffen - Bepaling van de samendrukbaarheid - Deel 1: Kruipgedrag bij drukbelasting
- NEN-EN-ISO 25619-2:2015 - Geokunststoffen - Bepaling van de samendrukbaarheid - Deel 2: Bepaling van het gedrag bij kortstondige samendrukking

NPR: Staat voor Nederlandse Praktijk Richtlijn en is een aanvulling op bestaande (vaak internationale) richtlijnen waardoor ze beter aansluiten bij de Nederlandse situatie. Relevante thema's die aangekaart worden in NPR voor vegetatiedaken omvatten: waterdichtheid, waterretentie en windbelasting.

- NPR 2562 - waterdichtheid en wering vocht vanbinnen
- NPR 3216 - hemelwaterafvoer
- NPR 6708 - windbelasting en windweerstand

NTA: De NTA 8292 is specifiek opgesteld voor begroeide daken. De NTA 8292 geeft een beschrijving en definities van termen die vaak gebruikt worden in technische context van groene daken. Zo omvat het; wat voor bijdragen de groene daken leveren aan weerstand tegen windbelasting van de dakbedekking en/of begroeid dak zelf; de bijdrage die een begroeid dak levert aan de reductie van de afvoer van hemelwater van begroeide daken naar het riool door waterbuffering en -vertraging en geeft een antwoord op de vraag in hoeverre een begroeid dak voldoet aan de brandveiligheidsaspecten van daken, in aanvulling op NEN 6063. Daarnaast beschrijft de NTA 8800 termen en definities voor de bepaling van de energieprestatie van gebouwen, wat ook raakvlakken heeft met vegetatiedaken.

FLL: De FLL dachbegrünungsrichtlinien is een Duitse richtlijn gemaakt door de Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau E.V. voor groene daken dat overgenomen was in 2008 en in Nederland veel gebruikt werd tot in 2023 de ISSO een geactualiseerde Nederlandse uitgave uitbracht. Het is een verzameling van o.a. DIR-normen die overgenomen zijn in Nederland. Het beslaat veel onderwerpen maar is niet toegespitst op de Nederlandse praktijk en is niet geactualiseerd waardoor o.a. milieuprestatie niet is opgenomen.

ISSO (VBB-FLL): De ISSO Norm begroeide daken VBB-FLL is gepubliceerd in 2023 vanuit een samenwerking tussen de VBB en FLL en is een bundel van bestaande normen toegepast op de Nederlandse praktijk. De Vereniging van Bouwwerk Begroeners (VBB) werkt sinds haar oprichting nauw samen met de Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL). De Duitse richtlijn voor dakbegroeiing wordt sinds 2008 ook in Nederland gevolgd bij ontwerp, aanleg en onderhoud van dakbegroeiing. De VBB merkte dat de Nederlandse markt op punten afwijkt van de Duitse normen. De VBB heeft daarom toestemming gevraagd en gekregen, doormiddel van een licentie, namens de FLL om de Duitse versie te vertalen en aan te laten sluiten op de Nederlandse wet- en regelgeving. Tevens wil de VBB in de Norm begroeide daken de Nederlandse innovaties de ruimte geven om opgenomen te kunnen worden in de norm van de VBB. De ISSO Norm begroeide daken VBB-FLL beslaat als enige alle thema's uit de matrix.

TVVL: TVVL heeft via een verkennend onderzoek naar regenwaterafvoer op vlakke daken een technisch rapport opgesteld waarin zowel Nederlandse als Duitse normen worden gebundeld met betrekking tot drainage, water retentie, dakinrichting en dakconstructie. Er wordt een overzicht gegeven van de geanalyseerde normen en er worden kritische vergelijkingen gemaakt tussen o.a. Nederlandse en Duitse normen en hun rekenmethode van bepalingen van indicatoren zoals dakafvoer.

Bouwbesluit 2012 : Het bouwbesluit geeft wettelijke technische voorschriften. Vanuit het bouwbesluit werden op gebied van de vegetatiedaken eisen gesteld met betrekking tot dakbedekking constructies voor nieuwbouw. Sinds 2021 is ook de BENG norm geïntegreerd voor woningen en utiliteitsgebouwen dat verwijst naar de energieprestatie waardoor isolatie, behoefte aan koeling en hernieuwbare energie ook is meegenomen. Deze eisen verwijzen/hebben relatie tot de onderwerpen:

- NEN-EN 1990-1-4+NB, NEN 6707, NPR 6708; - windbelasting en windweerstand
- NEN 2778 en NPR 2562 – waterdichtheid
- NEN 6063 – vliegvuur
- NEN 3215, NTR 3216 – hemelwaterafvoer
- NTA 8800 (NEN 1068) – Rc/energieprestatie
- NEN 2778 en NPR 2562 – wering vocht van binnen

Vakrichtlijn gesloten dakbedekkingssystemen (BDA): De vakrichtlijn is opgesteld in 2018 door VEBIDAK, Dakmerk en BDA Dakadvies en vastgesteld door het College van Deskundigen Isolatie en Dakbedekkingen. Het biedt een overzicht van verschillende normen en beoordelingsrichtlijnen (BRL) die betrekking hebben op gesloten dakbedekkingssystemen. Daarnaast schrijft het ontwerpvoorwaarden voor een veilig dak en biedt een toevoeging op de NTA 8292 betreffend windweerstand. Het behandelt onderwerpen waaronder dakinrichting, energieprestatie, constructie, vochtbescherming, wortelbescherming, windbelasting, gewichtsbelasting en brandveiligheid verwijzend naar onder andere de volgende normen en richtlijnen.

- BRL 1511 – bepaling voor dakbanen
- BRL 4702 – dakbedekkingconstructies
- NEN-EN-1607 – bepaling treksterkte isolatie en dakconstructie
- NTA 8292
- NEN-EN 13948 – wortelvaste kwaliteit
- BRL 1309 – isolatie en sterkte
- NEN 1068 – warmte weerstand
- BRL 1511 parkeerdaken
- BRL 1511 – draagbelasting
- NEN 6050 en SBR 261.09 – brandveiligheid van dampremmende laag