

Kennispaper: De groene ingenieur



Kennispaper: De groene ingenieur

Een handleiding om bestaande constructies te
berekenen voor het ontwerpen van groene daken

Aansprakelijkheid

SBRCURnet en degenen die aan dit product hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze publicatie. Toch kan niet worden uitgesloten dat de inhoud onjuistheden bevat. De gebruiker van dit product aanvaardt daarvoor het risico. SBRCURnet sluit, mede ten behoeve van de auteurs, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van informatie uit dit product.

© SBRCURnet

Alle rechten voorbehouden. Niets van deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, getransformeerd tot software of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 in verbinding met het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient u zich te richten tot: SBRCURnet, Postbus 516, 2600 AM DELFT.

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm, stored in a database or retrieval system, or any other means without written permission from the SBRCURnet.

Colofon

Auteurs

Rebecca Leising
Jik Mosch
Jelle Sturkenboom
i.s.m. Joris Voeten Roofscares

Projectmanager

Geert-Jan Verkade, SBRCURnet

Platform multifunctionele daken

Peter Bosch, TNO
Arjan Breukelman, IOB Hellevoetsluis
Marlous Gout, Gemeente Rotterdam
Nico Heijmen, Building Changes
Stef Janssen, Innovatief Groen
Guido Lammerink, SBRCURnet
Jasper Passtoors, Gemeente Amsterdam
Paul van Roosmalen, Gemeente Rotterdam
Sacha Stolp, Gemeente Amsterdam

Vormgeving

Joshua Tourrich, SBRCURnet

Coverfoto: Leven op daken (levenopdaken.nl)
Andere illustraties van de auteurs

K725.16

Delft, november 2016

Deze rapportage is mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage van de Gemeente Rotterdam en van het Opleidings- en Ontwikkelingsfonds van de Bouwnijverheid.



Meer informatie

U vindt meer informatie over alle SBRCURnet-producten en -projecten op www.sbrcurnet.nl.

Wilt u op de hoogte blijven van onze activiteiten?
Meld u dan via www.sbrcurnet.nl aan voor onze gratis e-mailnieuwsbrief.

Heeft u meer vragen over deze publicatie?
Bel met de afdeling verkoop via (015) 303 05 00 of stuur een mail naar verkoop@sbrcurnet.nl.

Voorwoord

De werelden van het groene ontwerpen en de constructieleer staan erg op zichzelf. Deze handleiding probeert hiertussen een brug te slaan.

Begroeide daken kennen een sterk toenemende populariteit. Het gebruik is de afgelopen 25 jaar binnen de architectuur en stedenbouw toegenomen en ze vormen een belangrijk onderdeel van duurzaam gebouwde steden. De populariteit van begroeide daken zorgt voor een toenemend aantal opdrachten voor landschapsarchitecten en groene ingenieurs.

Groene ingenieurs nemen steeds vaker het technisch ontwerp (drainage, veiligheid, toegankelijkheid, waterberging en hergebruik, gewichtsbelasting, substraat, verharding, infra en beplantingsmogelijkheden) van begroeide daken op zich. Ze worden benaderd door een opdrachtgever die graag een groen dak wil met een bepaalde wens. Vervolgens is het aan de groene ingenieur om een technisch ontwerp te maken dat gerealiseerd kan worden op het dak. Op dit moment is het voor een groene ingenieur of -ontwerper noodzakelijk om een constructeur meerdere keren te raadplegen door een gebrek aan vakkennis in het bepalen van een veilige dakbelasting van bestaande constructies. Echter, het paradigma van waaruit de constructeur gewend is te werken biedt nauwelijks tot geen mogelijkheden om een gevarieerd groenbeeld op het dak te creëren: doorgaans geeft de constructeur maar één waarde voor de toegestane gewichtsbelasting over het hele dak. En natuur floreert juist bij gratie van zo veel mogelijk variatie, wat haaks op de bestaande werk- en denkwijze in de constructieleer staat. Om juist een gevarieerd begroeid dak te kunnen maken is het wenselijk om te weten welke belasting waar op een dak mogelijk is, zodat met de substraatdiepte gevarieerd kan worden, wat uiteindelijk verschillende micro-ecotopen genereert en de bijbehorende verschillende plantengemeenschappen op het dak mogelijk maakt.

Omgekeerd rekenen

Eigenlijk is er sprake van omgekeerd rekenen: daar waar een constructeur normaal gevraagd wordt een dakconstructie te ontwerpen die een bepaalde last kan dragen, wordt nu gevraagd om te bepalen met welk gewicht een bestaande dakconstructie (en waar) op een veilige manier belast kan worden.

Deze handleiding is geschreven om de groene (dak) ingenieur en ontwerper zelfstandiger te maken en meer inzicht te geven in constructies. De handleiding bevat onder meer de basisregels voor constructies en voor het inschatten van de mogelijke gewichtsbelasting van een dakconstructie kan de bijbehorende Excel rekentool worden geraadpleegd. Hiermee kunnen de gebruikers zelf een eerste analyse maken van bestaande daken en met behulp van de rekentool inschatten hoeveel gewicht een dakconstructie aankan, uitgaande van een variërende gewichtsbelasting en rekening houdende met veiligheidseisen en normen. Met de uitkomsten van de modellen in deze handleiding kan de groene ingenieur de constructeur vragen de ontworpen variërende gewichtsbelasting door te rekenen voor definitieve goedkeuring. Op deze manier worden de twee werelden van groene ontwerpen en de constructieleer dichter bij elkaar gebracht.

Inhoud

Voorwoord 5

1 Doel van deze handleiding 9

2 Introductie in de constructiewereld 11

3 Standaard constructies platte daken 15

4 Analyseren van de constructies 17

5 Het gebruik van de rekentool 23

6 Begroeide daksystemen 27

Begrippenlijst 31

Bronnenlijst 33

Hoe kunnen de verschillende doelgroepen gebruik maken van deze handleiding en wat voor informatie krijgen zij?

Deze handleiding geeft de groene ontwerper een set tools en bruikbaar inzicht in de wereld van de constructieleer, waarmee ze aan de slag kunnen met het werk waarvoor ze worden benaderd; het ontwerpen van begroeide daken. De geboden tools genereren inzicht in welke belasting waar op het dak mogelijk is, waardoor het ontwerpen van meer variatie van natuur op begroeide daken mogelijk wordt.

Voor wie is deze handleiding

Groene ingenieurs en ontwerpers kunnen met deze handleiding een inschatting maken van mogelijk toepasbare begroeide daken. Door op een vrij eenvoudige manier de bestaande constructie te observeren kan daarna een eerste berekening gemaakt worden. Zij zullen ook na het doornemen van de handleiding beter kunnen overleggen met een constructeur door de opgedane kennis van begrippen. Architecten en studenten kunnen deze handleiding gebruiken als ze meer van het onderwerp willen weten of om zelf een eerste inschatting te maken van wat mogelijk is met begroeide daken op een bestaande constructie.

Constructeurs kunnen door het doornemen van dit boek de specifieke ontwerp wensen van groen ingenieurs beter begrijpen, waardoor zij in het vervolg gericht mee kunnen denken.

Voor ieder ander kan deze handleiding gebruikt worden om inzicht te krijgen in beide wetenschappen; de constructieleer en het ontwerp van begroeide daken. Het zou zelfs mogelijk zijn om aan de hand van het stappenplan zelf een inschatting te maken van wat er mogelijk is op daken thuis.

Wat wordt er behandeld

Begroeide daken kunnen zowel gerealiseerd worden bij aanbouw van nieuwe gebouwen als ook op bestaande bebouwing. Beide toepassingen vragen om een ander type benadering ten opzichte van het ontwerp van het beoogde groene dak. In deze handleiding worden begroeide daken behandeld die toegepast worden op bestaande platte dakconstructies, waarbij op basis van de bestaande constructie gerekend kan worden. Tijdens het eerste deel van deze handleiding zal een beknopte uitleg worden gegeven van de manier waarop de constructie wereld werkt en waarmee

rekening gehouden wordt. Hier zal met name worden beschreven waaraan een constructie getoetst wordt, welke veiligheidseisen hierin worden meegenomen en waar deze vandaan komen. Daarnaast worden termen die een constructeur gebruikt beschreven om te kunnen begrijpen waar over gesproken wordt.

Na het duidelijk omschrijven van de opbouw van een constructie is het voor een groen ingenieur van belang een juiste observatie en analyse van de bestaande constructie te kunnen maken. Op basis van deze observatie zal een inschatting gemaakt worden van de toegestane belasting. Gekeken zal worden naar de type materialen die in de praktijk worden gebruikt en welke afmetingen of typen belangrijk zijn om te kunnen onderscheiden. Vervolgens kan aan de hand van de opgenomen waarden een eerste opzet gemaakt worden van de toegestane belasting. Aan de hand van het type ligger en de lengte kan een inschatting gemaakt worden. Deze waarde is een ruwe schatting, die door middel van het invoeren van exacte waardes in de Excel-tool met meer precisie kan worden doorge-rekend. Als afsluitend onderdeel van deze handleiding worden 6 typen begroeide daken behandeld, die het meest worden toepast. Op deze manier is het plaatje compleet en is er kennis opgedaan van de constructie wereld, het doorrekenen van dakconstructies en van verschillende begroeide daksystemen.

Wat deze handleiding niet is

Deze handleiding mag geenszins gezien worden als vervanging van de constructeur. Het is een beknopte weergave van de relevante rekenmethoden en veiligheidseisen waarmee rekening moet worden gehouden. De waarden die voortkomen uit de handleiding zijn een allereerste inschatting van de toelaatbare belasting op een dakconstructie.

Er kunnen geen rechten verleend worden aan de uitkomsten van deze handleiding, alle waarden die aan de hand van de handleiding bepaald worden moeten uiteindelijk geverifieerd worden bij een constructeur. Verder wordt alleen berekend wat liggers en balken van een dakconstructie kunnen dragen, hierbij wordt niet ingegaan op de vraag of de onderliggende kolommen en fundering deze belasting ook aankunnen.

Iedereen weet dat een gebouw is opgebouwd uit vloeren, gevels, wanden, ramen en een dak. Maar hoe werkt dat nou precies, met betrekking tot sterkte, draagvermogen en veiligheid?

Termen

Voordat we het diepe induiken van de bouwwereld met ingewikkelde berekeningen, worden eerst een aantal standaard constructie elementen en bijbehorende termen uitgelegd. Een constructie bestaat uit dragende wanden of kolommen met daaroverheen balken. Een balk is een lineair element dat de vloer of het dak draagt en ook wel ligger wordt genoemd. In een schuin dak heet de bovenste ligger een nokbalk, de andere horizontale balken die hier evenwijdig aan lopen worden gordingen genoemd. In een plat dak worden de secundaire balken ook met deze term aangeduid. Als de balken in een schuin dak loodrecht op de nokbalk staan worden ze sporen genoemd. In de gevel kunnen ook verticale en horizontale balken of kolommen voorkomen, dit zijn stijlen en regels. In dragende wanden kan een verdikking voorkomen, dit heet een steunbeer. Deze kan soms ook schuin aflopen. Een smalle wand strook, bijvoorbeeld tussen twee ramen in, wordt een penant genoemd.

De Basis

STERKTE, STIJFHEID EN STABILITEIT

Een veilige constructie moet aan drie basiseisen voldoen, namelijk sterkte, stijfheid en stabiliteit.

Sterkte houdt in dat een constructie niet mag bezwijken of stukgaan. Deze moet dus sterk genoeg zijn om de verwachte belasting te kunnen dragen.

Stijfheid betekent dat de constructie zijn vorm dient te behouden. Dakbalken mogen niet te veel doorbuigen onder de belasting die erop komt. Lichte vervorming zal altijd optreden om de krachten via doorbuiging op te vangen, maar dit moet binnen de gestelde eisen blijven.

Stijfheid betekent dat de constructie zijn vorm dient te behouden. Dakbalken mogen niet te veel doorbuigen onder de belasting die erop komt. Lichte vervorming zal altijd optreden om de krachten via doorbuiging op te vangen, maar dit moet binnen de gestelde eisen blijven.

Betrouwbaarheidsanalyse

Om te bepalen of een constructie veilig en bruikbaar is wordt deze doorgerekend op twee belangrijke factoren

in de vorm van een betrouwbaarheidsanalyse. Als de uitkomsten van de analyse onder vastgestelde grenzen blijven is aangetoond dat een gebouw op het gebied van constructieve veiligheid voldoet aan de eisen van de Nederlandse bouwregelgeving (Bouwbesluit 2012). Voor het goed uitvoeren van de berekening moet rekening worden gehouden met verschillende typen belastingen en veiligheidsfactoren. Om de berekeningen inzichtelijk te maken worden in dit hoofdstuk de bovengenoemde onderdelen nader toegelicht.

UGT en BGT

De grenstoestanden zijn de uiterste waarde waarbinnen een constructie als veilig en bruikbaar wordt beschouwd. Worden deze grenzen overschreden dan kan de constructie of het materiaal bezwijken of te veel vervormen. De grenzen waaraan getoetst worden zijn:

- de uiterste grenstoestand (UGT)
- de bruikbaarheids grenstoestand (BGT)

De uiterste grenstoestand toetst de sterkte van het materiaal. De waarde die uit deze berekening volgt wordt vergeleken met de maximaal toelaatbare spanning van het betreffende materiaal. De maximaal toelaatbare spanning staat gelijk aan het punt waarop het materiaal bezwijkt en typeert dus de sterkte van het materiaal. Daarom moet de berekende waarde kleiner zijn dan de maximaal toelaatbare spanning.

De bruikbaarheids grenstoestand toetst of een constructie element niet te veel doorbuigt. Deze doorbuiging moet onder een gegeven waarde blijven om als bruikbaar te kunnen worden bestempeld. Over het algemeen geldt de regel dat de doorbuiging van een ligger niet meer mag zijn dan $0,004 \times L$ (lengte van de ligger).

Belastingen

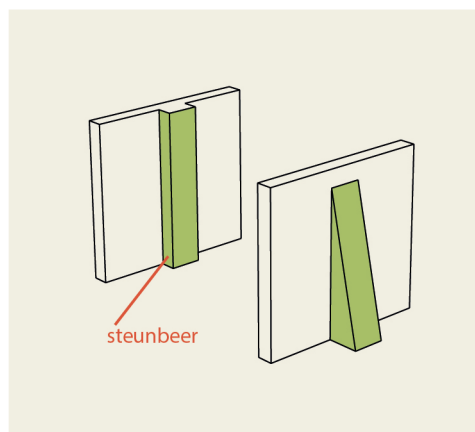
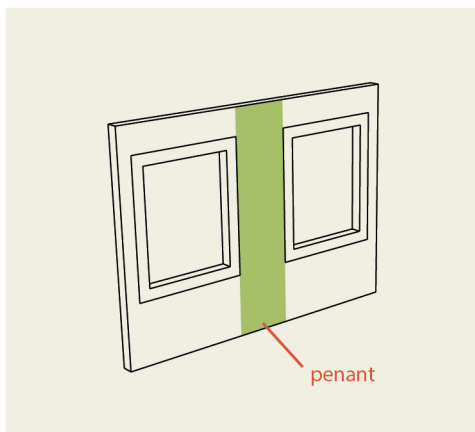
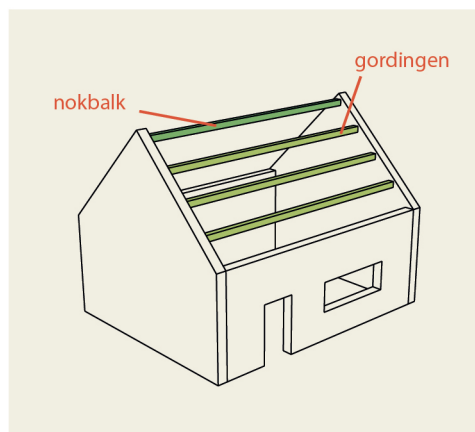
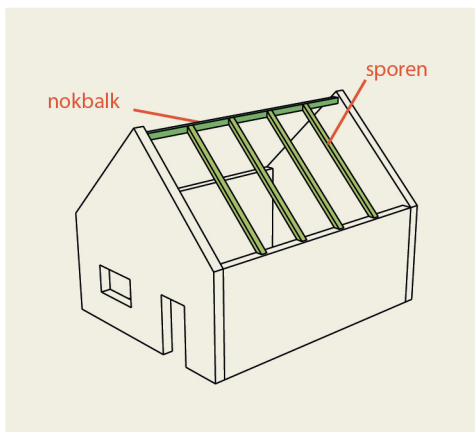
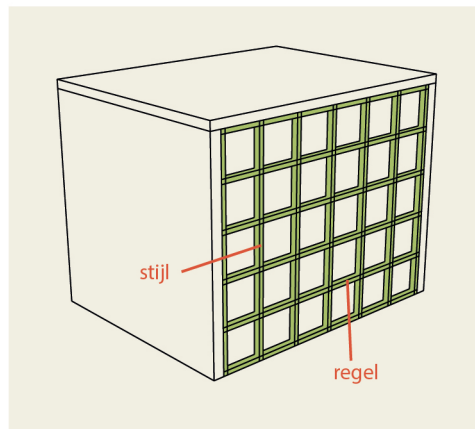
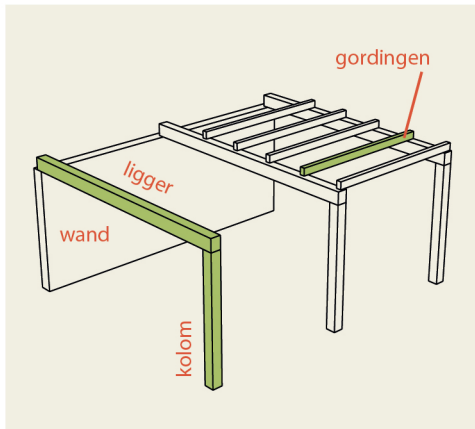
Voor het uitvoeren van de betrouwbaarheidsanalyse wordt de belasting die op de constructie komt in twee typen verdeeld:

- permanente belasting
- variabele belasting

Onder de permanente belasting valt het eigen gewicht van de constructie, de afwerking, installaties en bijvoorbeeld vast meubilair.

De variabele belasting is een tijdelijk aanwezige belasting, zoals mensen, sneeuw en regenwater op daken.

CONSTRUCTIE ELEMENTEN



(bron: Nijssse, 2011, pp. 27)

Gevolgklassen

Elke bouwconstructie kent een bepaald risicoprofiel en valt daarmee in één van de vastgestelde gevolgklassen. Dit is afhankelijk van de gebruiksfunctie van het gebouw. Deze gevolgklassen zijn vastgelegd in de Eurocode-reeks. Een publieksgebouw, waar relatief veel mensen kunnen samenkomen, heeft bijvoorbeeld een hogere gevolgklasse dan een particuliere woning. Voor de gevolgklassen (Consequence Classes - CC) wordt het onderscheid gemaakt dat op de linkerpagina is te zien.

Tabel Gevolgklassen per gebouwtype.

Gevolgklasse	Toepassing	Omschrijving
CC3	- hoogbouw (H>70 meter) - tribunes - tentoonstellingen - ziekenhuizen - concertzaal - grote openbare gebouwen 	grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of zeer grote economische, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving
	- woongebouwen - kantoor-gebouwen - openbare gebouwen - industrie-gebouwen met 3 of meer verdiepingen 	middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of aanzienlijke economische, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving
CC1	- bedrijfsgebouwen in de landbouw - tuinbouwkassen - eengezinswoning - industrie-gebouwen met 1 of 2 verdiepingen 	geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of kleine of verwaarloosbare economische, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving

(bron: Nijssse, 2011, pp. 52)

1 Muziekgebouw aan 't IJ

2 Soetenhorst & Logtenberg 2012

3 Randenbroek Zuid stad & park

Veiligheidsfactoren

Om een veiligheidsmarge op te nemen in de berekeningen wordt er met diverse veiligheidsfactoren gerekend, die ook zijn vastgelegd in de Eurocode. Een veiligheidsfactor wordt aangegeven met het teken Y. De twee veiligheidsfactoren waarmee in deze manual rekening zal worden gehouden zijn de belastingfactor YF en de materiaalfactor YM.

Een belastingfactor YF is nodig om er zeker van te zijn dat een constructie de verwachte belastingen aan kan. Deze is onderverdeeld in een permanente en variabele belasting. Zo zal in de berekening de permanente YG en variabele YQ belasting met één van de onderstaande waarden worden vermenigvuldigd, afhankelijk van de gevolgklassen van het gebouw

Tabel

Gevolgklasse	Permanente belastingfactor Yc	Varialbele belastingfactor Yq
CC3	1,32 – 1,49	1,65
CC2	1,20 – 1,35	1,50
CC1	1,08 – 1,22	1,35

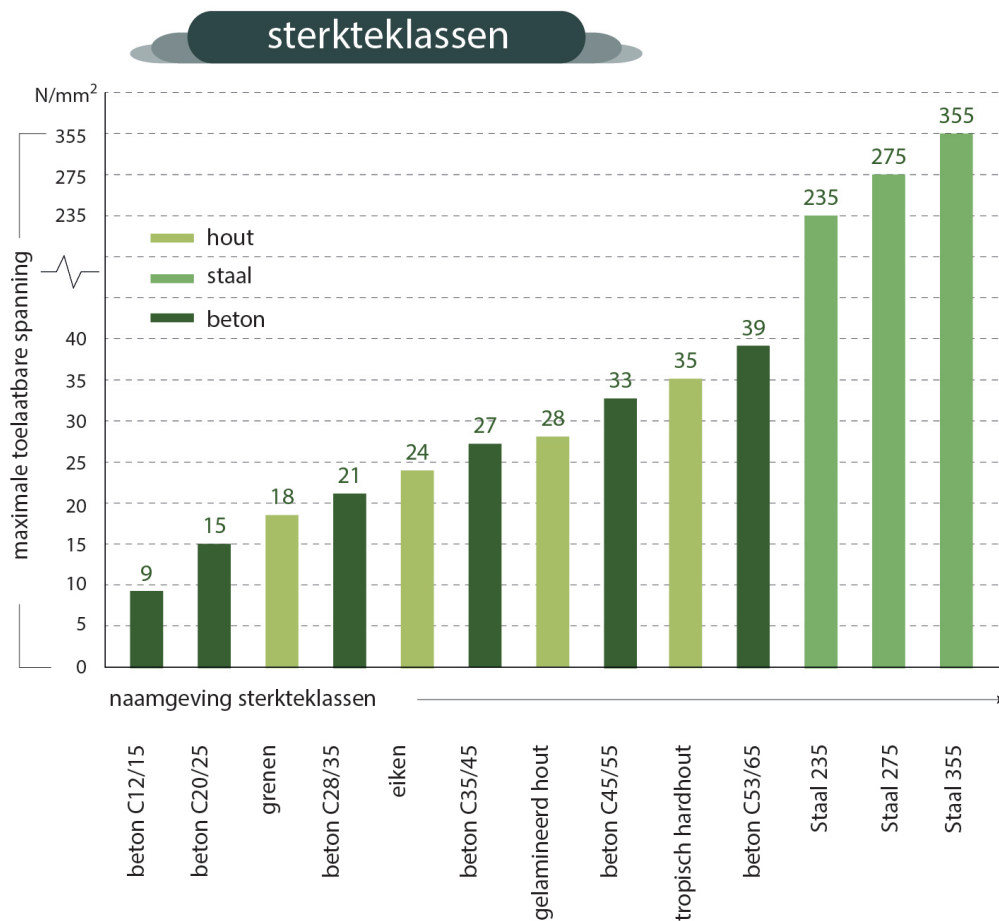
Een materiaalfactor YM wordt toegepast om er zeker van te zijn dat het materiaal sterk genoeg is om de verwachte belasting in de constructie aan te kunnen. De materiaalfactor wordt onder andere bepaald door de manier en nauwkeurigheid waarop een materiaal wordt geproduceerd. Zo wordt staal onder zeer gecontroleerde omstandigheden geproduceerd en is de veiligheidsfactor 1,0. De sterkte van beton is afhankelijk van het mengseltype en omgevingsfactoren tijdens de verharding, waardoor de factor 1,4 is. Voor hout is deze factor 1,2 door de onregelmatigheden in het materiaal. Voor de berekening zal de maximale toelaatbare spanning van een materiaal worden gedeeld door de materiaalfactor.

Tabel

Materiaal	Materiaalfactor Ym
Staal	1,0
Beton	1,5
Hout	1,3

Afhankelijk van de maximaal toelaatbare spanning worden materialen in sterkteklassen ingedeeld. Hieronder ter indicatie een grafiek met de meest voorkomende sterkteklassen voor beton, staal en hout, die zijn vastgelegd in de Eurocode. Het gestreepte

gedeelte geeft een indicatie van de maximale spanning weer nadat de materiaalfactor is toegepast. Deze waarde is maatgevend en de spanning die uit de betrouwbaarheidsanalyse volgt moet hieronder blijven.



(bron: Nijssen, 2011)

Om een beter beeld te krijgen van alle meest voorkomende platte dakconstructies in Nederland zal in dit hoofdstuk een kort overzicht worden gegeven van de verschillende typen en hun opbouw.

Dakopbouw

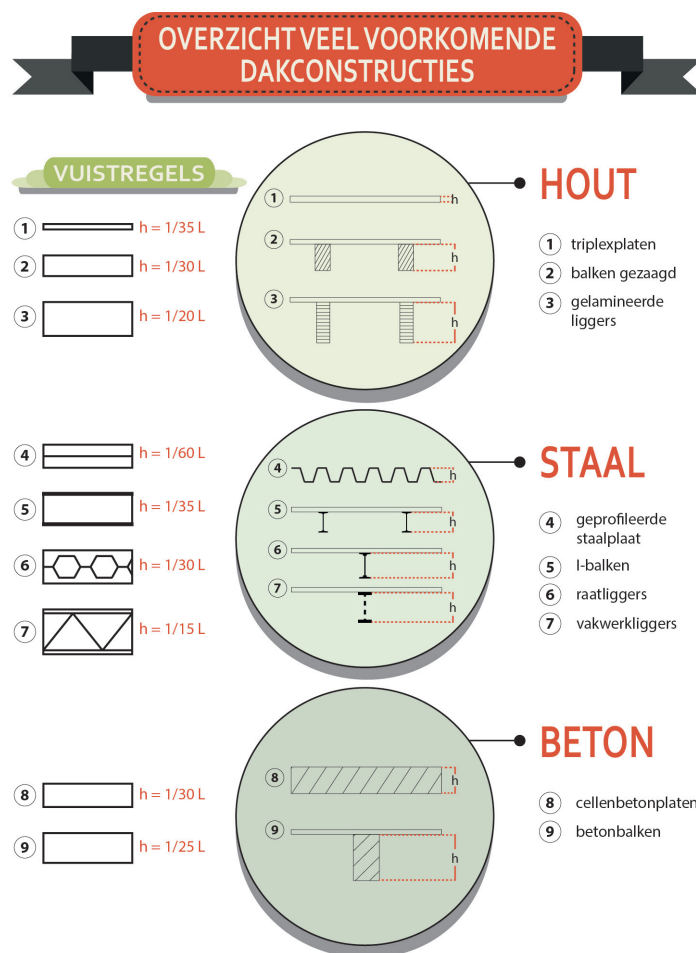
De opbouw van een plat dak bestaat normaal gesproken uit een draag- constructie van staal, hout of beton. Hier overheen komt een dampremmende laag, die voorkomt dat de rest van de dakopbouw vochtig wordt door condensatie van de ondergelegen ruimtes. Bovenop de dampremmende laag komt de isolatielaag en daar overheen wordt een waterkerende dakbedekking aangebracht, zoals EPDM, PVC of bitumen. Om een begroeid dak aan te kunnen leggen moet worden berekend hoeveel gewicht de constructie aan kan. Alle belastingen op het dakvlak worden net zoals bij vloeren naar de hoofd draagconstructie afgevoerd. Bij platte daken worden deze belastingen dus via de houten of stalen balken naar de kolommen of muren afgevoerd, of via de betonplaten die van muur naar muur overspannen. De afbeelding rechts geeft een overzicht van de verschillende soorten standaard dakliggers of constructie elementen.

Houtdak

Een houten dakconstructie bestaat meestal uit gezaagde of gelamineerde rechthoekige balken, die in een of twee richtingen zijn overspannen. Over de balken heen komt een dakbeschot met opeenvolgend de dampremmende laag, isolatielaag en dakbedekking. Om te voorkomen dat deze waterkerende laag beschadigd wordt door onder andere UV-straling, wordt de dakbedekking vaak afgedekt met grind of leislag.

Staaldak

Voor een stalen dakconstructies geldt hetzelfde principe, hoewel de vorm van een balk kan verschillen. Zo zijn de meest voorkomende balkprofielen HEA en IPE balken, die verder in hoofdstuk 4 zullen worden besproken. Voor grote overspanningen, zoals in loodsen, worden vaak de zogenoemde raatliggers of vakwerkliggers gebruikt. De afmetingen van deze balken zijn veel groter, waardoor ze meer krachten kunnen opvangen en een veel grotere overspanning kunnen behalen.



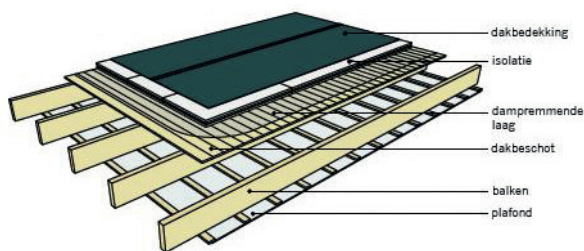
(bron: Nijssen, 2011, pp. 178-180)

Verder bevat een stalen dakconstructie geprofileerde staalplaten van verschillende afmetingen. Hier overheen wordt ook een isolatielaag aangebracht, waarover twee of meer lagen dakbedekking worden aangebracht. Omdat een staalconstructie over het algemeen wordt toegepast om juist een zo licht mogelijk gebouw te kunnen maken zijn deze doorgaans niet geschikt voor het realiseren van groene daken op bestaande gebouwen. Mocht de dakconstructie toch sterk genoeg blijken te zijn, dan is vaak de fundering niet berekend op het extra gewicht van het begroeide dak.

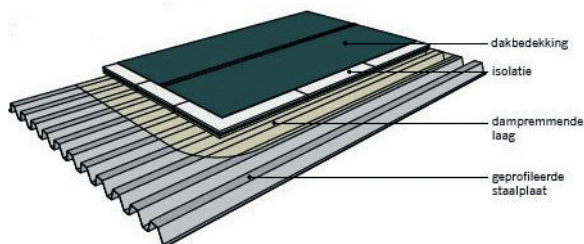
Betondak

De hoofd draagconstructie van een dak kan ook van beton gemaakt zijn. Als er sprake is van grote overspanningen worden er betonbalken toegepast. In de woningbouw en utiliteitsbouw bestaan de betondaken echter vaker uit kanaalplaten of cellenbetonplaten, waarover ook weer een isolatielaag wordt aangebracht met de dakbedekking.

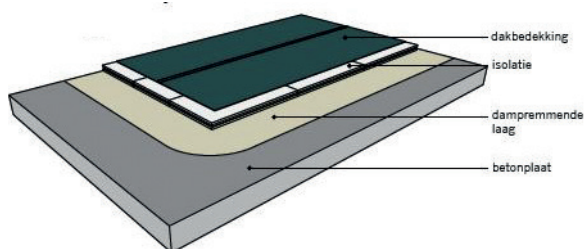
Houtdak



Staaldak

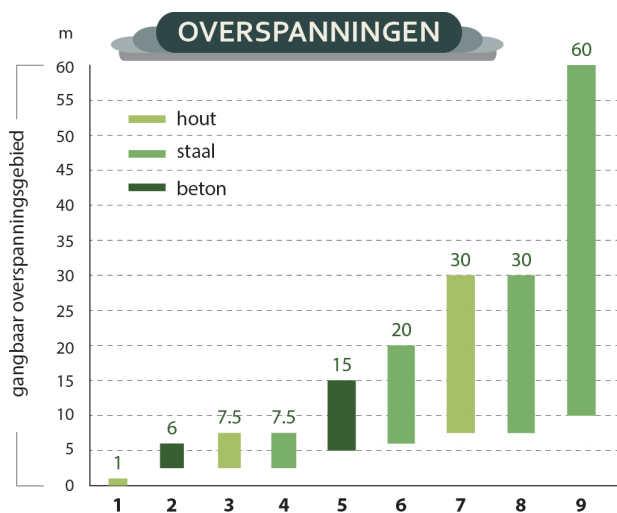


Betondak



Overspanning liggers

Afhankelijk van de hoogte van een balk en van de sterkte van het materiaal heeft een ligger een maximale overspanning. De grafiek hieronder laat zien wat de gebruikelijke overspanningen zijn per dakconstructie element. Zo is te zien dat triplex platen maar maximaal 1 meter kunnen overspannen en deze worden doorgaans alleen op schuurtjes gebruikt. Houten gelamineerde liggers kunnen toegepast worden bij een overspanning tussen de 7,5 en 30 meter. Vakwerkliggers kunnen zelfs tot 60 meter overspannen.



Onderstaande tabel geeft het gewicht per oppervlakte voor een aantal veel voorkomende samengestelde dakconstructie onderdelen. Dit is handig om te weten voor het berekenen en inschatten van dakconstructies in hoofdstuk vijf.

Tabel Gewicht van samengestelde constructiedelen.

Constructiedelen en afwerkingen	gewicht per oppervlakte [kN/m ²]
Licht	
1. gegalvaniseerde golfplaat inclusief bevestigingsmiddelen en gordingen	0,15
2. houten vloer met houten balken (zonder plafond) bij ten hoogste een overspanning van 4,5 m	0,30
3. twee laagse bitumineuze dakbedekking of EPDM-folie met bebording en balken (zonder een grindlaag)	0,30
4. zinken dak met bebording en gordingen	0,30
Middel	
5. plafond van gips of cementmortel op riet, steen of metaalgaas met inbegrip van latten en tegels	0,35
6. hetzelfde plafond als bij punt 6 alleen dan met plafondhangers bij ten hoogste een overspanning van 4,5 m	0,40
7. leiendak met bebording, sporen en gordingen	0,55
Zwaar	
8. pannendak met latten, sporen en gordingen	0,70
9. pannendak met latten, tengels, bebording en gordingen	0,75
10. gewicht van een grindlaag per 0,05 m dikte	0,80

- ① triplexplaten
- ② cellenbeton dakplaten
- ③ balken gezaagd
- ④ geprofileerde staalplaat
- ⑤ voorgespannen balken
- ⑥ warmgewalste I-balken
- ⑦ gelamineerde liggers
- ⑧ raat- en plaatliggers
- ⑨ vakwerkliggers

Dit hoofdstuk bevat de kennis die nodig is om verschillende constructies te herkennen om deze te kunnen gebruiken in de Excel tool.

Stappenplan

Om een inschatting te kunnen maken van de toelaatbare belasting op een bestaande constructie is een duidelijk beeld nodig van de constructie. Hierbij moet gekeken worden naar de opbouw van constructie, de afmetingen en de staat waarin de constructie verkeert. Deze gegevens zijn in drie stappen te achterhalen.

1. Het opvragen van tekeningen aan de eigenaar of beheerder van het gebouw. Hierin staat beschreven welke constructie is toegepast en wat de afmetingen hiervan zijn.
2. Mochten er geen bouwtekeningen beschikbaar zijn dan kan gekeken worden of er non-destructief onderzoek gedaan kan worden om de constructie te bepalen. Een systeemplafond, geschroefd plaatmateriaal of lichtarmaturen kunnen tijdelijk verwijderd worden om de bovenliggende constructie vast te stellen. In het geval dat de constructie niet verhuuld is kan een directe observatie gedaan worden.
3. Wanneer non-destructief niet voldoende is kan gekozen worden om destructief onderzoek te doen doormiddel van een insnijding in het dak waarna geanalyseerd wordt uit welke lagen het dak is opgebouwd. Vervolgens kan bepaald worden met welk constructie gerekend zal worden.

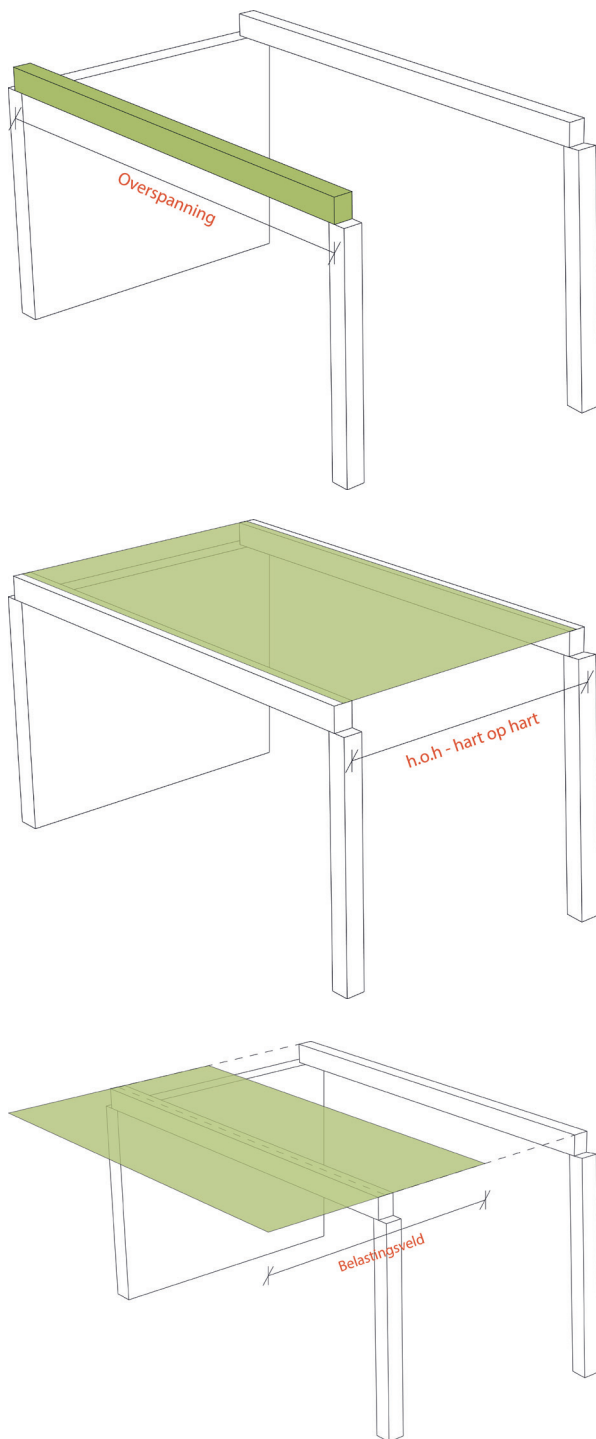
Hout, staal en beton zijn de meest voorkomende materialen die gebruikt worden voor constructies. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe een materiaal te herkennen is en welk type gebruikt is. Er wordt uitgelegd op welke wijze een constructie geanalyseerd kan worden om de gewenste waardes te bepalen die nodig zijn.

Overspanning

De term overspanning verwijst naar de afstand die een ligger overbruggt. De overspanning wordt gemeten vanaf het midden van de kolom of ligger waar de betreffende ligger op rust. Deze lengte wordt de hart-op-hart afstand genoemd. De afstand die een balk moet overspannen is een zeer belangrijke factor voor hoe zwaar het dak belast mag worden. Als de hart-op-hart afstand groter wordt, nemen de doorbuiging van en spanning in de ligger significant toe.

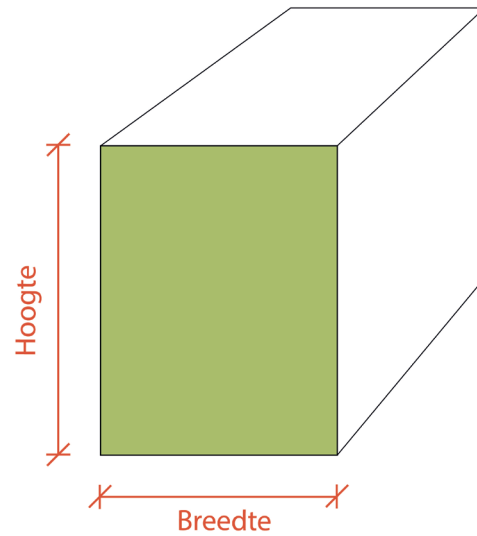
Belastingveld

Een ligger draagt het gewicht van een dak af op de onderliggende draagconstructie. Het gewicht van het dak dat op een bepaalde ligger wordt afgedragen heet het belastingveld van de ligger. Bij een dakconstructie is het gewicht verdeeld over de totale hoeveelheid liggers. De breedte van het belastingveld is gelijk aan de afstand tussen de liggers, omdat de helft van die afstand rust aan weerszijden van de ligger. De breedte van het belastingveld is in veel gevallen dus gelijk aan de hart-op-hart afstand. Bij een onregelmatige constructie ligt dit net iets anders, maar geldt hetzelfde principe.



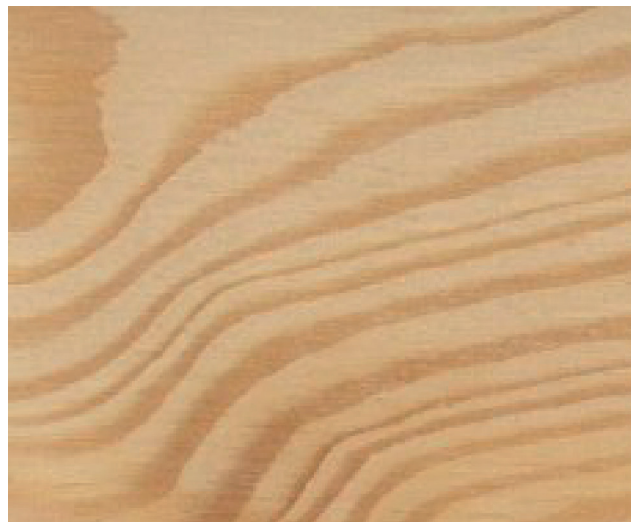
Afmetingen van hout

De sterkte van een houten element komt voort uit de sterkteklasse van het hout maar voornamelijk ook uit de afmetingen van bijvoorbeeld de ligger. Wanneer het om een rechthoekige ligger gaat is een hoogte- en breedtemaat van het profiel voldoende om de sterkte van de ligger te kunnen bepalen, in combinatie met het soort hout.



Naaldhout

Vuren is een type naaldhout met een zeer lichte kleur. Pas gezaagd vuren heeft een bijna wit geelachtige kleur, dat na verloop van tijd door blootstelling aan de buitenlucht verkleurt tot geelbruin. Het vrij zachte hout heeft de jaarringen ver uit elkaar liggen omdat het hout snel groeit. Het hout heeft veel, op relatief korte en regelmatige afstand van elkaar voorkomende knoesten. Het hout is eenvoudig te bewerken door de lage hardheid en tijdens het bewerken heeft het een nauwelijks waarneembare geur.



Hout

Hout is een natuurlijk materiaal dat gezaagd en verwerkt wordt tot constructie elementen en over het algemeen toegepast wordt in kleinere constructies. Om te kunnen bepalen welk type hout gebruikt is kan gekeken worden naar de eigenschappen van het hout zoals kleur, dichtheid, hoeveelheid noesten en de afstand tussen de jaarringen. De typen hout zijn onder te verdelen in drie soorten hout, namelijk naaldhout, loofhout en gelamineerd hout.

Grenen is het tweede veel voorkomende type naaldhout in constructies. Onbewerkt grenen heeft een geelachtige kleur waarbij een verschil te onderscheiden is tussen kernhout uit het midden van de stam en spinthout aan de buitenkant. Na verloop van tijd wordt grenen donkerder geelbruin tot roodbruin. Grenen heeft over het algemeen minder noesten dan vurenhout en deze steken schuin weg en zitten hierdoor steviger in het hout. Grenen groeit relatief snel maar is iets harder en zwaarder dan vuren. Wanneer het hout gezaagd of geboord wordt komt een kenmerkende terpentijn geur vrij.



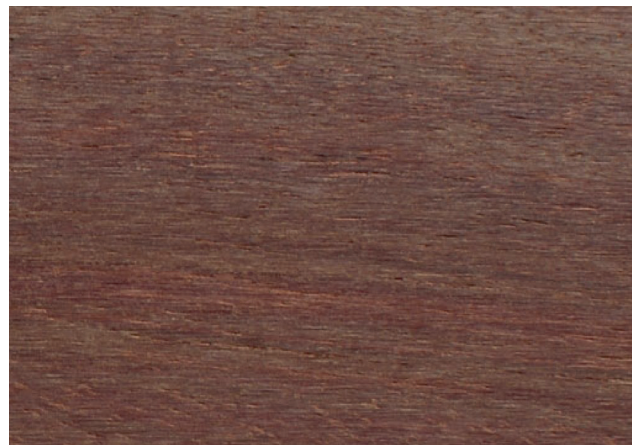
Loofhout

Eiken is een veel gebruikt loofhout waarbij de jaarringen dicht op elkaar liggen en bevat maar enkele grote noesten. Hierdoor wordt het al jarenlang gebruikt voor constructief sterke elementen, denk hierbij aan balken en kolommen in kerken en moderne gebouwen. Het is een zwaar hout met een geelbruine tot donkerbruine kleur die over tijd langzaam wat grijsbruin verkleurt. Eikenhout heeft lang de tijd nodig om te drogen, hierbij is het vrijwel onmogelijk het inscheuren van het hout te voorkomen. Ingescheurd hout is een duidelijk kenmerk om eiken of een ander soort loofhout te herkennen.



Tropisch hardhout

Tropisch hardhout kent vele soorten en wordt vaak gebruikt voor zeer zware constructies die weer en wind moeten kunnen weerstaan. Het hout heeft een fijne, warrige nerf met zeer fijne jaarringen. De overwegend donkere kleur kan variëren van geelbruin, roodbruin tot paarsbruin. Bekende typen zijn bijvoorbeeld Meranti en Azobe. Bij het zagen van tropisch hardhout komt vaak boterzuur vrij, wat kan overkomen als een onaangename zure geur.



Gelamineerd hout

Gelamineerd hout wordt gemaakt door houten planken te verlijmen, hierdoor ontstaat een samengesteld geheel in de vorm van een ligger of een kolom. Omdat de planken in gelamineerd hout met de jaarringen in tegengestelde richting worden verlijmd is gelamineerd hout sterker en geeft het minder vervorming of scheuren dan vol-hout van dezelfde afmeting. Het hout kan in rechte liggers maar ook in bogen gelamineerd worden. Omdat het bestaat uit meerdere delen hout is het minder afhankelijk van de grootte van de boom en kunnen er hogere en langere liggers gemaakt worden. Het is vaak te herkennen aan de regelmatige kleurovergangen tussen de verschillende lagen hout.

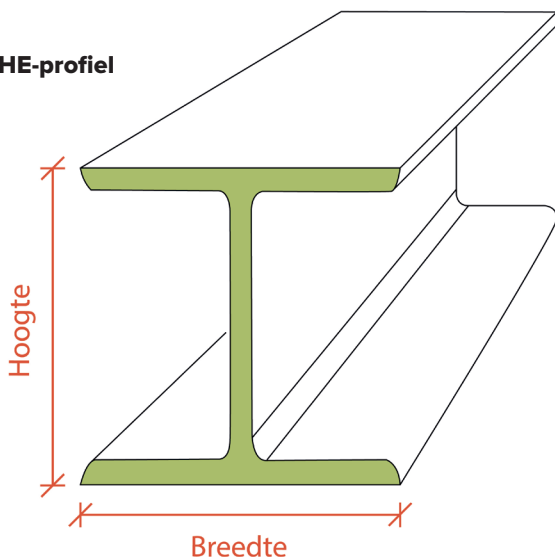


Staal

In constructies worden verschillende typen stalen liggers gebruikt. Elk type ligger heeft andere kenmerken en bijbehorende sterkte-eigenschappen. De typen die we zullen toelichten zijn de HE, IPE, raatligger en vakwerkligger. De vorm van staalprofielen wijkt af van die van beton en hout omdat de vorm van de profielen zorgt voor flinke afname in het materiaalgebruik en het gewicht van de ligger. De besparing van materiaal, in combinatie met de gebruikte vormen verbetert de constructieve eigenschappen ten opzichte van een massief staalprofiel.

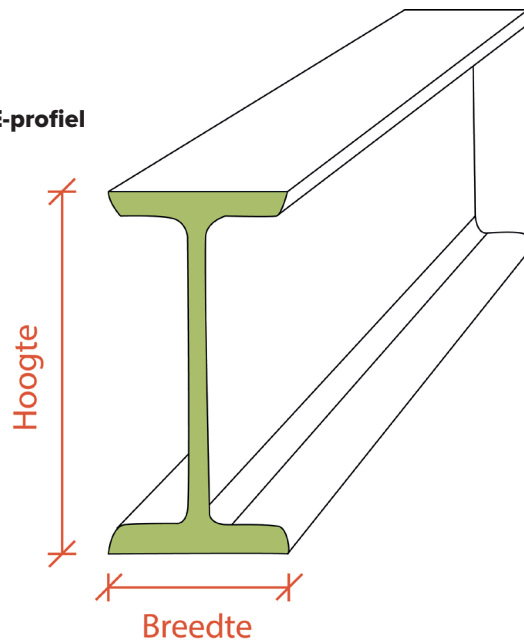
Een H-profiel of HE profiel is een stalen balk waarvan de doorsnede, op de kopse kant gezien, de vorm heeft van de letter 'H'. Het HE profiel bestaat uit twee flenzen, boven en onder, met verticaal daartussen het lijf van de balk. Hierbij zijn de flenzen over het algemeen iets dikker dan het lijf. In de HE-profielen valt onderscheid te maken tussen de HEA- en HEB-profielen. Een HEA-profiel heeft een hoogte die een paar mm kleiner is dan de breedte van het profiel. De hoogte en breedte van een HEB profiel zijn gelijk aan elkaar, dit komt doordat een HEB-profiel nog iets dikkere flenzen heeft dan HEA. De codering van een H-profiel refereert aan de breedtemaat van het profiel in millimeters. Een HEA180 en een HEB180 hebben bijvoorbeeld beide een breedte van 180mm, maar verschillen in hoogte.

HE-profiel



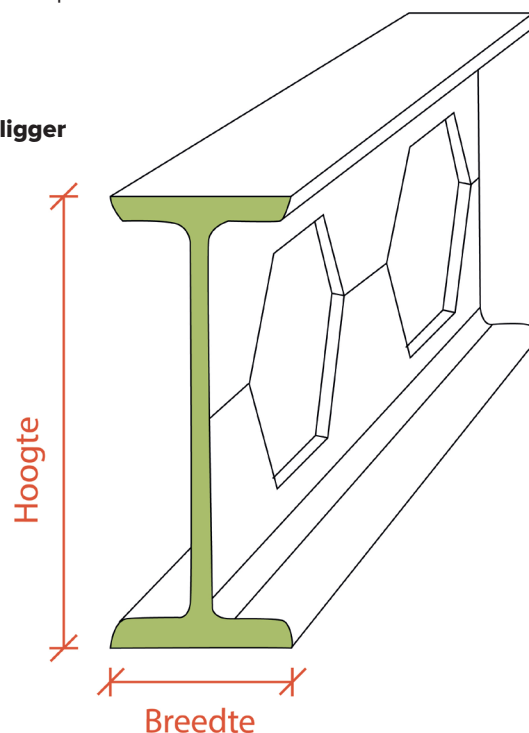
Een I-profiel of IPE profiel is een stalen balk die veel lijkt op een H-profiel maar hierbij is de hoogte van het profiel groter dan de breedte. De flenzen zijn dus smaller dan dat het lijf van de balk hoog is. De doorsnede lijkt hierdoor op een staande I. De codering van een I-profiel refereert naar de hoogtemaat van het profiel in millimeters, bijvoorbeeld een IPE240 heeft een hoogte van 240mm.

IPE-profiel



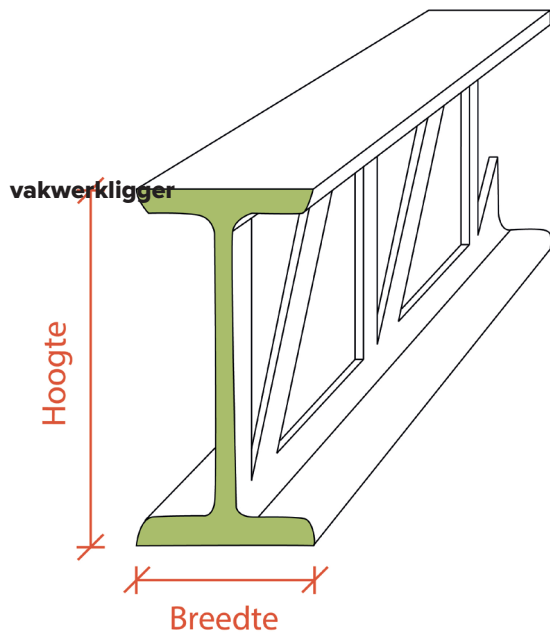
Een raatligger is een samengestelde ligger met als basis een I-profiel of H-profiel. Het lijf van een I-profiel wordt met een zaagtand ingesneden, een tand opgeschoven en vervolgens aan elkaar gelast. Hierdoor ontstaat een hoger staalprofiel met een lager eigen gewicht dan een gevulde ligger van dergelijke hoogte. Door de openingen in een raatligger is het mogelijk om kabels en leidingen door te voeren. Door de extra hoogte van het profiel is deze buigstijver dan het originele profiel.

raatligger



Een vakwerkligger is een samengestelde ligger die meestal bestaat uit staven en buizen die een stijf geheel vormen. Een vakwerk bestaat uit een aantal driehoeken die samen de krachten verdelen naar de

oplegpunten. Vakwerkliggers komen in allerlei vormen voor, ze zijn goed te herkennen aan de driehoeken in de ligger. Vakwerkliggers zijn lastig om door te rekenen doordat zij voor de meeste constructies op maat gemaakt worden. Er is geen vaste maatvoering of vast type elementen waarmee vakwerkliggers worden gemaakt. Hierdoor zullen vakwerkliggers niet in de rekentool worden behandeld.

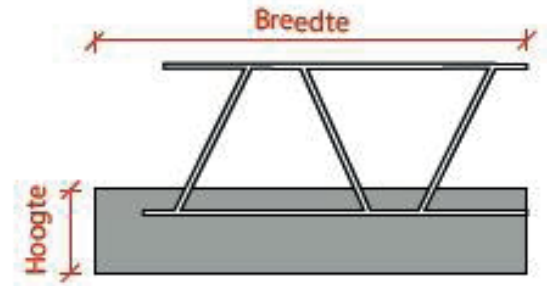


Beton

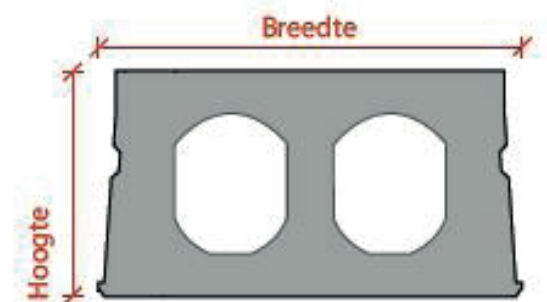
Beton wordt toegepast als geprefabriceerde elementen of het wordt ter plaatse gestort. Prefab beton wordt in de fabriek gegoten onder gereguleerde omstandigheden. Ter plaatse gestort beton wordt op de bouwlocatie gegoten met gebruik van bekisting en staat ook wel bekend als in situ beton. Een overspanning kan met verschillende betonnen elementen gemaakt worden. Hieronder wordt per element uitgelegd welke afmetingen hiervoor van belang zijn.

Een breedplaatvloer is een geprefabriceerde betonplaat met ingestorte, zichtbare wapening. Op de bouw wordt de plaat aangevuld met extra wapening en volgestort met beton waardoor het een stijf geheel vormt. De breedplaatvloer is van de onderzijde te herkennen doordat het een grote, doorlopende plaat is van 2400mm breed. De uiteindelijke hoogte is samengesteld uit een prefab plaat met een dikte van 50mm tot 100mm, aangevuld tot ongeveer 200 tot 300mm beton, dat ter plaatse wordt gestort.

Een kanaalplaatvloer voor vloeren en daken bestaat uit voorgespannen vloerdelen die de dragende constructie overspannen. De dragende constructie kan zowel een ligger als een dragende wand zijn. De platen zijn over het algemeen voorzien van een afwerkvloer van minimaal 50mm, waardoor de vloer zich als een stijf geheel vormt. Kanaalplaten worden toegepast bij grote overspanningen of hoge belastingen.



kanaalplaatvloer

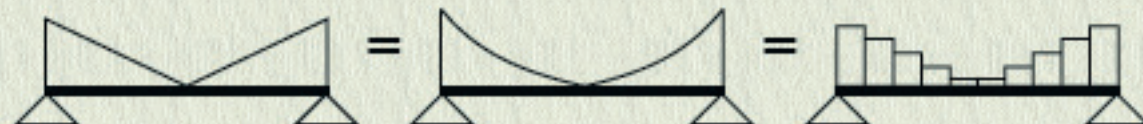
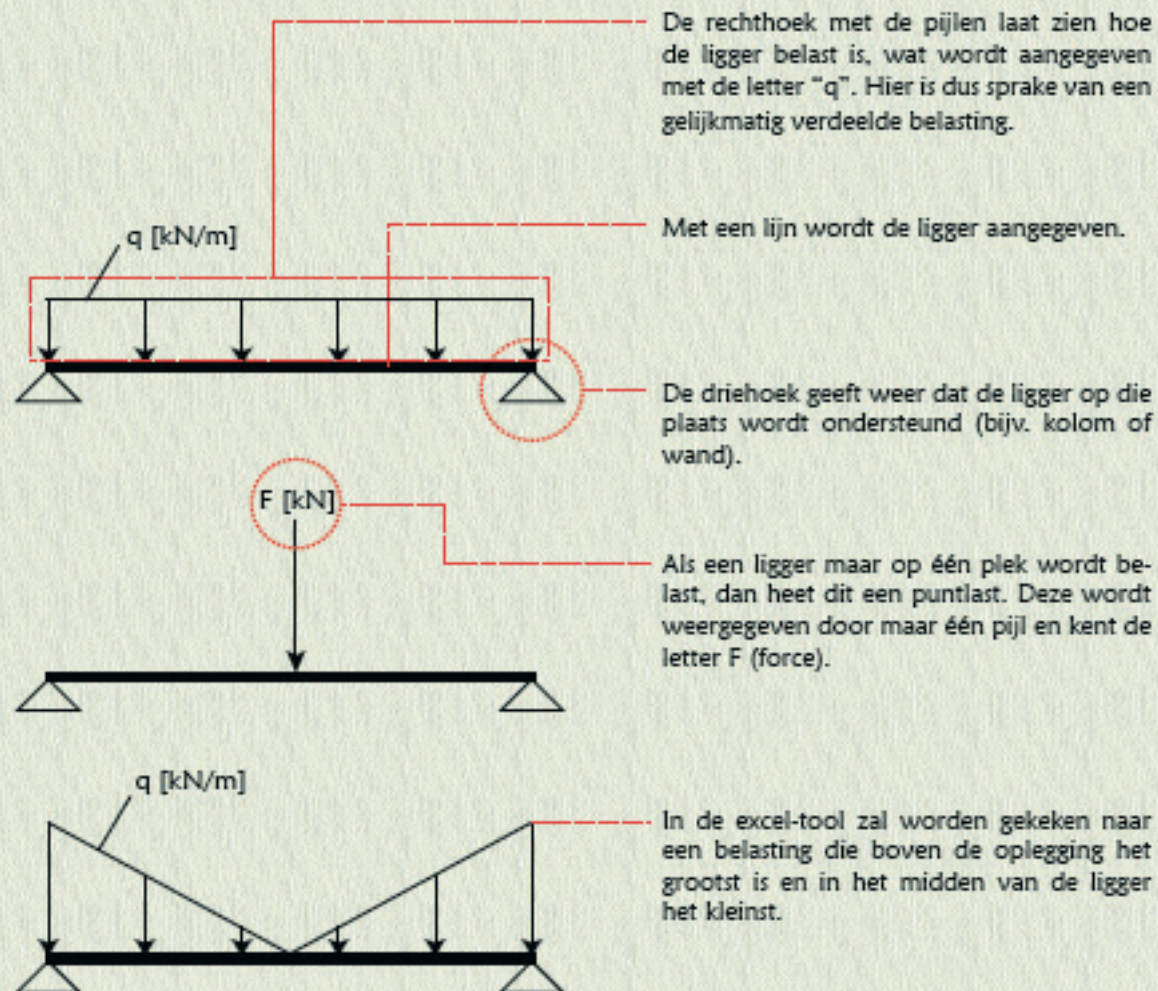


De maatgevende waarde voor deze platen is de hoogte van een vloerdeel, een HVP 260 is bijvoorbeeld 260mm hoog. Kanaalplaatvloerdelen hebben als gangbare breedte 1200mm.

Bij een betonnen balk speelt voornamelijk de afmetingen een belangrijke rol, naast de sterkteklasse. Wanneer het om een rechthoekige ligger gaat is een hoogte- en breedtemaat van het profiel voldoende om de sterkte van de ligger te kunnen bepalen, in combinatie met de sterkteklasse.

HET LEZEN VAN SCHEMATISCHE TEKENINGEN

Met schematische tekeningen wordt aangegeven hoe een ligger ondersteund is en hoe deze belast wordt.



Met twee driehoeken zal een inschatting gemaakt worden van de variërende belasting, die de desbetreffende ligger aankan. Deze driehoeken kunnen ook geïnterpreteerd worden als een parabolische vorm of als rechthoekige blokken, doordat het verschil in uitkomst in de praktijk te verwaarlozen is. De driehoeken geven modelmatig het globale verloop weer van de belasting, maar dat hoeft niet te betekenen dat het daadwerkelijke groenontwerp op het dak ook deze vorm moet krijgen; als de belasting het weergegeven maximum maar niet overschrijdt.

De rekentool voor houten en stalen constructies vormt de brug tussen de constructeur en de groene ingenieur en helpt deze met het bepalen van een mogelijke extra belasting op daken. In dit hoofdstuk wordt het gebruik van de rekentool uitgelegd.

Wat kan de rekentool?

In Excel is een rekentool gemaakt om preciezer te bepalen hoeveel gewicht de dakconstructie aankan. Daarbij is gebruik gemaakt van de methode die in hoofdstuk 2 is beschreven. Met behulp van deze tool kan zowel de maximaal toelaatbare gelijkmatig verdeelde belasting als een ongelijkmatig verdeelde belasting op een ligger worden bepaald. Hierdoor kan een vrij nauwkeurige inschatting worden gemaakt van het gewicht dat de dakconstructie aankan en dus welk type begroeide dak er mogelijk is. Daarbij kan er nu ook bepaald worden of en hoe de substraatdiepte op het dak gevarieerd kan worden. De rekentool is te downloaden via www.sbrurnet.nl/groeneingenieurtool.

Als het programma is geopend zijn een aantal figuren te zien en een input vak waar enkele waardes ingevuld dienen te worden voor het uitvoeren van de berekening. De afbeelding op de linkerpagina legt uit hoe dergelijke schematische tekeningen gelezen kunnen worden.

Waarden invullen

In het vorige hoofdstuk is uitgelegd dat een balk een overspanning en een hoogte- en breedtemaat heeft. Deze waarden moeten worden ingevuld in de rekentool. Daarnaast is het ook van belang om het belastingveld in te vullen. Tevens is het mogelijk om het type hout, staal of beton aan te geven en of het eigen-gewicht van het bestaande dak licht, middel of zwaar is (zie referenties).

Als deze waarden zijn ingevuld dan verschijnt er boven de gelijkmatig belaste grafiek een getal, wat het maximale belasting per vierkante meter is dat de ligger aankan.

Om te weten te komen wat de ongelijkmatig verdeelde belasting is, dienen nog een aantal extra gegevens te worden ingevuld, namelijk de gewichtsbelasting van het begroeide dak op het lichtste punt. Deze bepaalt het minimum gewicht dat precies tussen 2 opleggingen op het dak komt. Daarna verschijnen automatisch de maximale waardes waarmee de ligger vanaf het midden richting de draagpunten kan worden belast. Deze

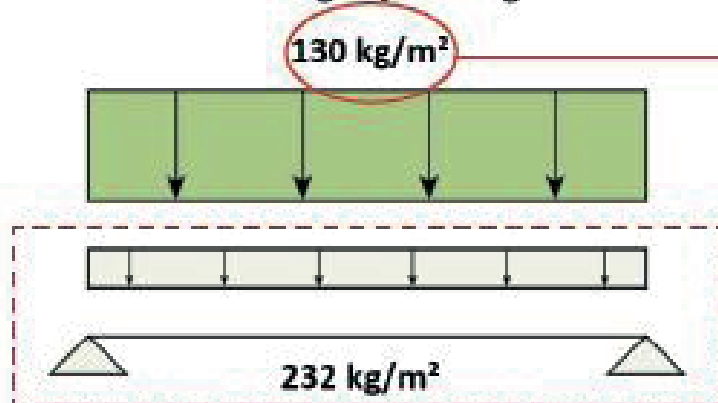
waarden variëren afhankelijk van het minimum gewicht dat is gekozen.

In de rekentool zijn twee typen balken te zien; een enkele balk en een doorgaande balk. Een enkele balk is een balk die alleen aan de uiteinden wordt ondersteund en kan in het midden dus redelijk doorbuigen. Een doorgaande balk wordt op meerdere plaatsen ondersteund, in dit geval dus op drie punten. Afhankelijk van de bestaande situatie kan de gewichtswaarde van een van de twee typen worden gebruikt als maatgevend.

Input

Overspanning	7200	mm
Breedte balk	75	mm
Hoogte balk	250	mm
Belastingveld	600	mm
Type hout	Eiken	
Bestaand dak	Middel	
Basisbegroeiing	4 Blauw/groen sedumdak - 100 kg/m ²	

Enkele balk, gelijkmatig belast

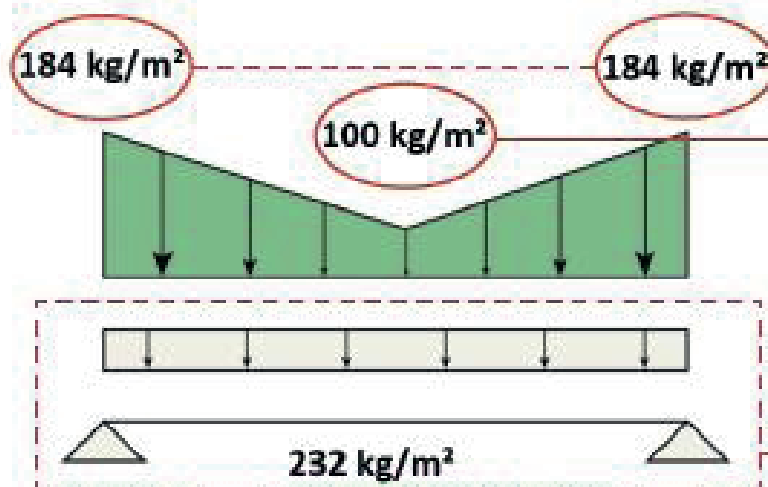


Deze grafiek komt overeen met de waarde die de constructeur doorgaans ook geeft.

Dit getal geeft aan wat het gelijkmatig verdeelde gewicht per vierkante meter is dat op de ligger mogelijk is. Dit is dus het gewicht waarmee het dak extra belast kan worden.

Dit is de permanente belasting, die bestaat uit het eigen gewicht van de constructie, het dakgewicht, sneeuwlast en andere vastgestelde factoren.

Enkele balk, ongelijkmatig belast



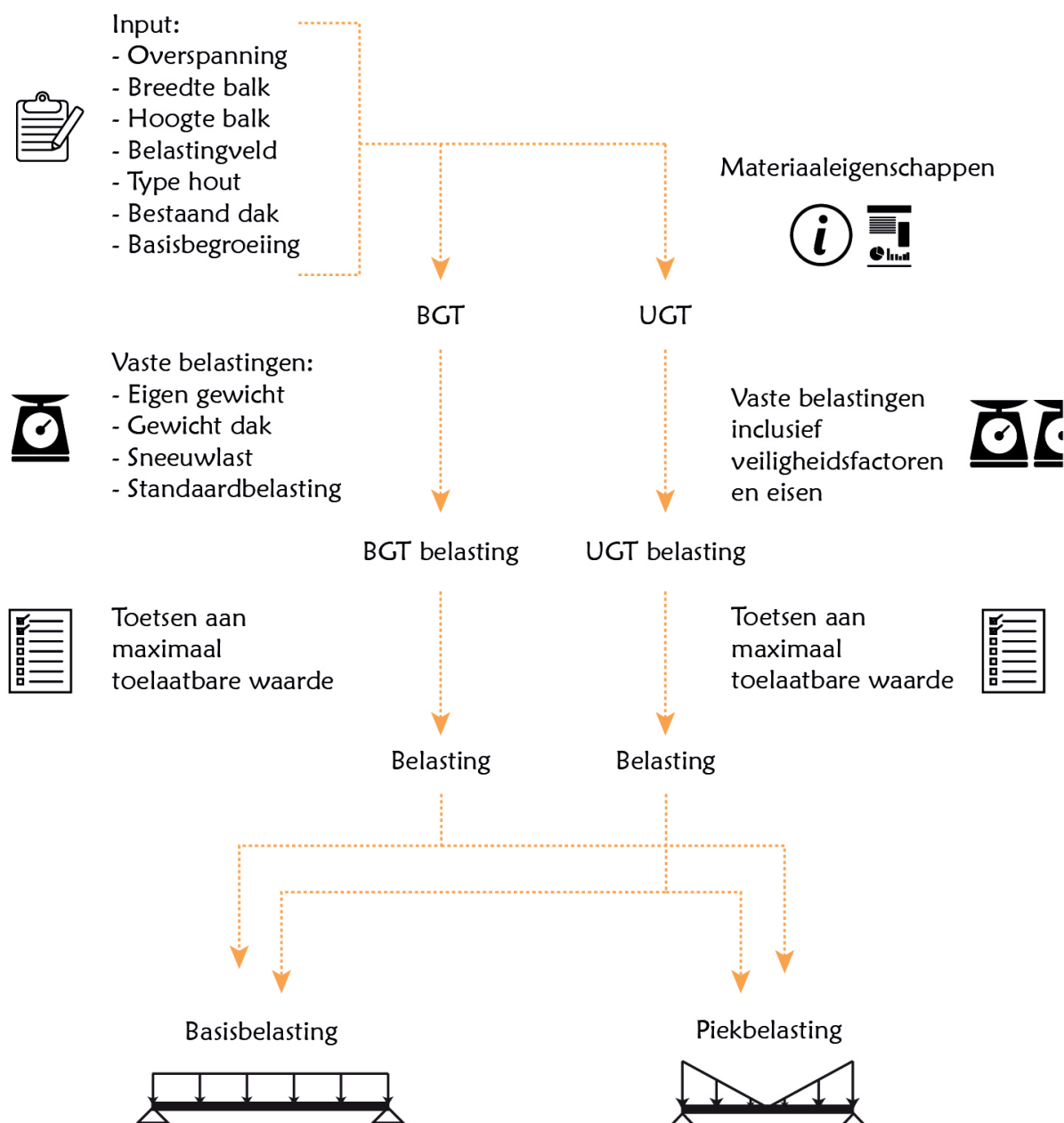
Deze grafiek geeft een extra mogelijkheid en laat zien wat de maximale gewichtswaardes zijn boven de oplegging in combinatie met een minimale (gekozen) waarde in het midden.

Dit is het maximale gewicht dat mogelijk is boven de oplegging n.a.v. het gekozen midden gewicht.

Dit is het gekozen gewicht voor een groendak systeem in het midden van de ligger.

Dit is de permanente belasting, die bestaat uit het eigen gewicht van de constructie, het dakgewicht, sneeuwlast en andere vastgestelde factoren.

KIJKJE ACHTER DE SCHERMEN



Op basis van de uitkomst bepaalt de Excel tool zelf of de BGT of de UGT leidend is voor de constructie, deze waarde wordt weergegeven.

In dit hoofdstuk worden de meest voorkomende begroeide daksystemen in Nederland behandeld, welke toepasbaar zijn op platte daken.

DAKBEDEKKING

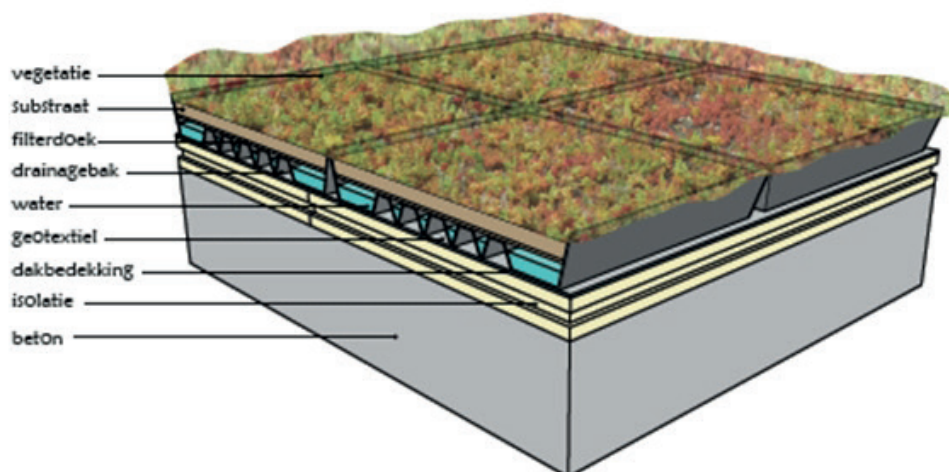
Bij de toepassing van groene daken is het belangrijk om bij bitumineuze daken een wortelwerende dakbedekking aan te brengen. Dit om te voorkomen dat wortels van planten de dakbedekking ingroeien en beschadigen met lekkages tot gevolg. Bij EPDM en PVC daken is daarop geen kans, omdat de materialen van zichzelf niet worteldoordringbaar zijn.

ONDERHOUD

Soms wordt gezegd dat begroeide daken 'onderhoudsvrij' zijn. Dat is niet zo. Om de bedoelde en aangeplante vegetatie te kunnen behouden is het handmatig verwijderen van onkruiden minimaal 1 à 2 keer per jaar nodig. Ook is het belangrijk om minimaal 1 keer per jaar (bij voorkeur medio voorjaar) te bemesten met een langzaam vrijkomende meststof. Dit omdat de vaak dunne substraatlaag niet voldoende voedings-elementen voor de beplanting kan vasthouden voor een periode van vele jaren.

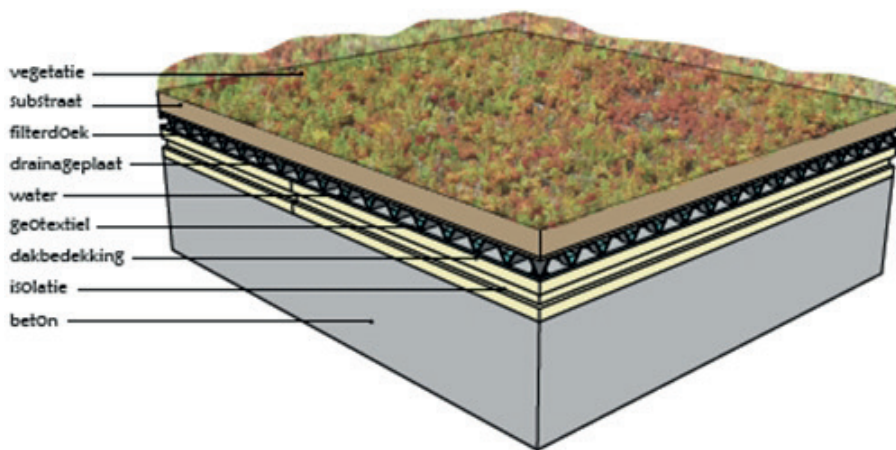
1 Sedum tray

De sedum tray is een kant en klaar begroeid klik-systeem. De vegetatie bestaat uit verschillende sedum soorten, die goed kunnen overleven in een beperkte substraatlaag en droge periodes kunnen overbruggen. Dit begroeid daksysteem heeft een waterverzadigd gewicht van 50 kg/ m² en slaat maar beperkt water op. Het begroeide dak is wel snel aan te leggen en vooral geschikt voor particulieren en kleinere oppervlakten zoals schuren en dergelijke. Om doorgroei in of over de dakgoot te voorkomen wordt langs de randen een grindlaag van ongeveer 15 cm breed aangebracht.



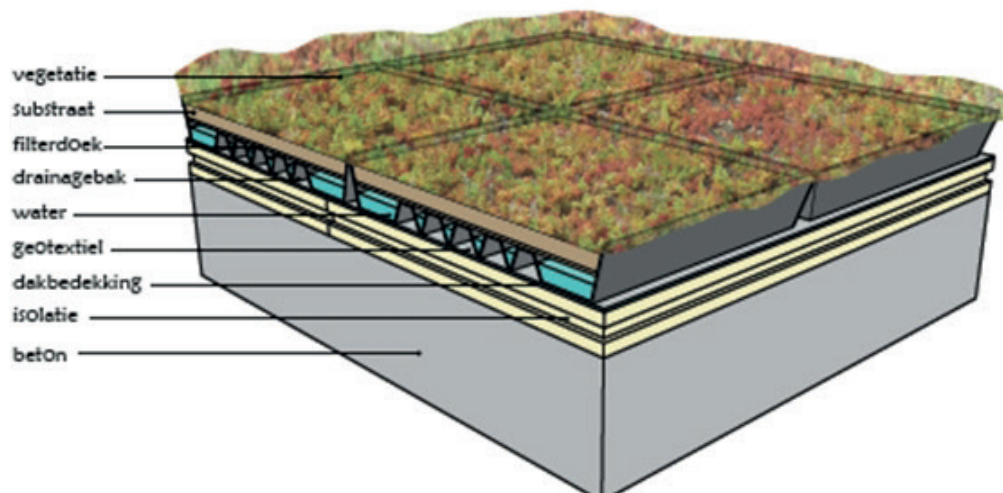
2 Basis sedumdak A

Een basis sedumdak bestaat uit een drainageplaat, filterdoek en substraat en is geschikt voor grotere oppervlaktes. Het is een lichtgewicht en onderhouds-arm begroeid dak, waarbij de begroeiing een tapijt van sedums vormt. Dit systeem werkt al met een minimale substraatlaag van 40 mm, maar de vegetatie gedijt beter met een substraatlaag van 50 mm of meer. Het begroeide dak heeft een gewicht variërend van 60 tot 100 kg/m² en kan maar een kleine hoeveelheid water opslaan in de drainageplaat en het substraat, wat ook de beperkende factor voor groei is.



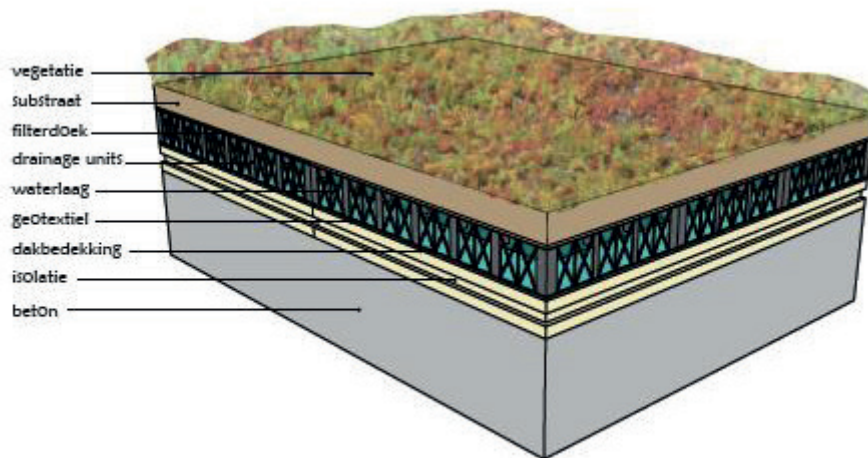
3 Basis sedumdak B

Dit is hetzelfde systeem als het basis sedumdak A, alleen met meer substraat (100 mm of meer). Hierdoor kunnen er meer plantensoorten groeien en is een diverser beeld van de beplanting realiseerbaar. De waterberging in de drainagelaag blijft gelijk aan die van het basis sedumdak, maar de vegetatie profiteert van meer water dat opgeslagen wordt in de diepere substraatlaag.



4 Blauw-groendak

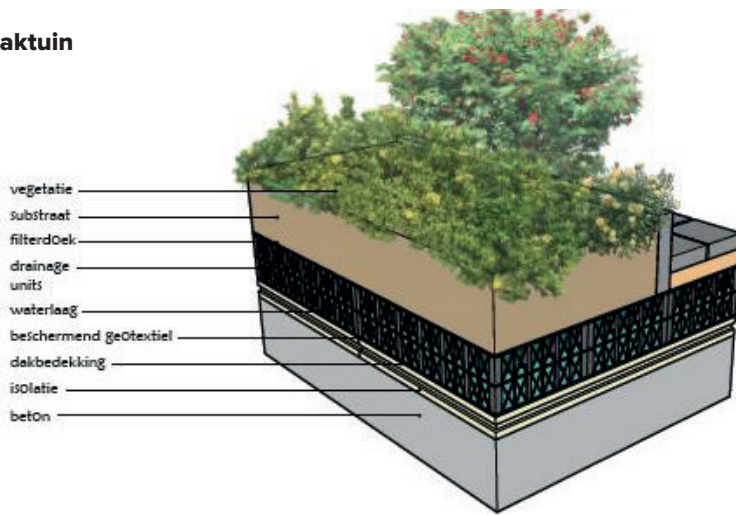
Dit begroeide daksysteem is gebaseerd op geocellulaire drainage units (Permavoid). Deze units vormen een modulair systeem waarin veel water kan worden opgeslagen. Door de toepassing van capillaire vezels in de drainagelaag wordt de substraatlaag passief geïrrigeerd met het opgeslagen water, dus zonder gebruik van pompen, slangen of energie. Zo ontstaat een lokale waterkringloop op het dak. Er wordt dan gesproken van een blauw-groendak, omdat de nadruk van het dak ligt op het meetbaar en aantoonbaar afkoppelen en hergebruiken van regenwater, om riolen bij piekbuien te ontlasten en tegelijk groene ruimtes in de stad mogelijk te maken. Door de hoge zijwaartse drainagecapaciteit zijn dakdoorvoeren en afschot van het dak meestal niet meer nodig; die functies worden vervuld door het systeem. Ook dit systeem werkt al met een substraatlaag van minimaal 40 mm. Het gewicht van het systeem is afhankelijk van de hoeveelheid opgeslagen water en varieert van 0 tot 140 liter per m² (1,4 kN/m²).



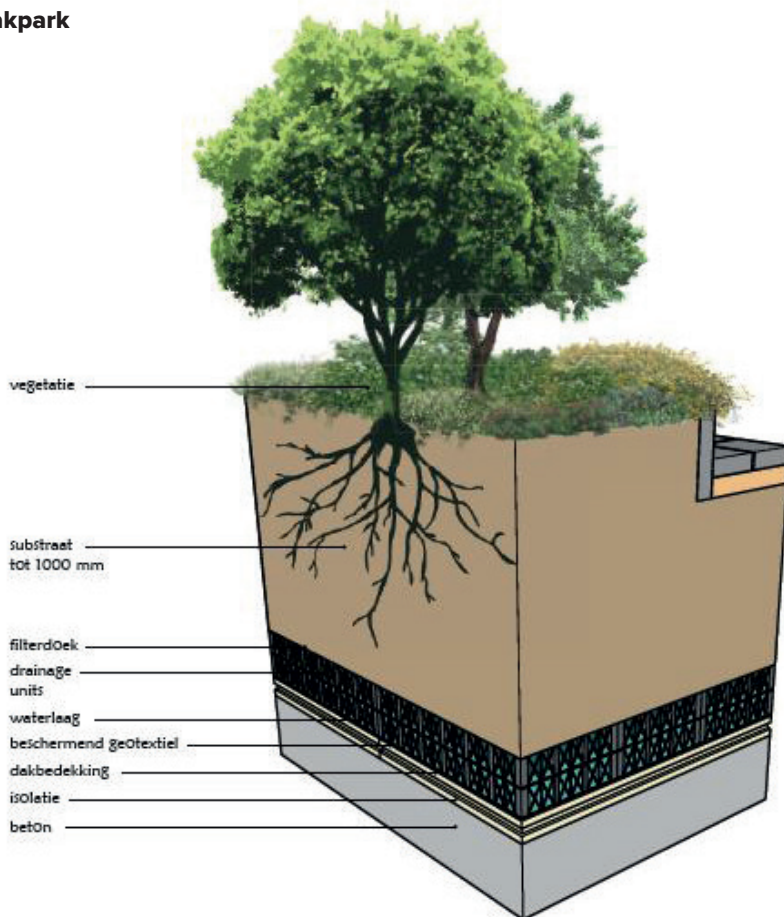
5 & 6 Daktuin en dakpark

Dit begroeid daksysteem is gelijk aan nummer 4 en laat zien dat door de grote draagkracht van de geocellulaire drainage units ook daktuinen (5) of zelfs hele dakparken (6) aangelegd kunnen worden, inclusief verharding voor paden en dergelijke. De substraatlaag kan variëren van 40 tot 1000 mm en het totale gewicht van het begroeide dak varieert van 60 tot 1500 kg/m².

daktuin



dakpark



Begrippenlijst

Hier onder staan alle begrippen en termen op alfabetische volgorde die in deze manual zijn gebruikt uitgelegd.

- Belastingfactor: veiligheidsfactor zodat constructie de verwachte belastingen aan kan.
- Belastingveld: het dakoppervlak dat gedragen wordt door de ligger, vaak gelijk aan de hart op hart afstand.
- Dragende wanden: stevige muren waarop de rest van de constructie rust.
- Gordingen: horizontale dakbalken evenwijdig aan de nokbalk of secundaire balken in een plat dak.
- H.o.h - hart op hart: afstand tussen het midden van twee liggers of kolommen.
- Kolom: een zuil waarop de rest van de constructie rust.
- Ligger: een lineair element dat de vloer of het dak draagt.
- Materiaalfactor: veiligheidsfactor om onregelmatigheden in het materiaal op te vangen.
- Nokbalk: bovenste ligger in een schuin dak.
- Overspanning: lengte van een ligger van kolom naar kolom.
- Penant: een (bakstenen) muurgedeelte tussen twee gevelopeningen.
- Permanente belasting: eigen gewicht constructie, afwerking, installaties, vast meubilair.
- Regels: horizontale gevelbalken.
- Sporen: dakbalken loodrecht op de nokbalk.
- Steunbeer: verdikking in een dragende wand.
- Stijlen: verticale gevel kolommen.
- Variabele belasting: belasting door mensen, sneeuw, regenwater.

Bronnenlijst

- Baan, I. (2009). High Line New York, Chelsea Grasslands. Geraadpleegd op 19 juni 2015, van <http://meredithgunderson.com/high-line-symposium/>
- Badkar, M. (2013, 1 maart). Construction Spending Falls 2.1%. Geraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://www.businessinsider.com/january-construction-spend-ing-2013-3?IR=T>
- Beicker Martinez Engineering. Geraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://www.beicker.com/projects/medical-office-building.html>
- Cantrell, S. (2013, 10 September). Sneak peek at the Kimbell's new Renzo Piano addition. Geraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://artsblog.dallasnews.com/2013/09/sneak-peak-at-the-kimbells-new-renzo-piano-addition.html/>
- Galleryhip. Reraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://galleryhip.com/pole-barn-fram-ing-pictures.html>
- Living Architecture Monitor: Vandusen botanical garden visitor centre. Reraadpleegd op 16 juni 2015, van <http://sharpdiamond.com/2014/09/04/living-architecture-magazine-vandusen-botanical-garden-visitor-centre/>
- New CDM Regulations 2015. (2015, 28 maart). Geraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://www.bs2009.org.uk/category/construction/>
- Nijse, R. (2011). Dictaat Draagconstructies Bk1043. Delft: Faculteit Bouwkunde TU Delft.
- Magnetti Building Sistemi di copertura prefabbricati. Reraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://www.archiproducts.com/fr/produits/5266/couverture-prefabriquee-en-beton-arme-sistemi-di-copertura-prefabbricati-magnetti-building.html>
- Martin, C. (2013, 30 mei). Immigration Reform Bill Could Translate into Increased Construction Jobs. Reraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://www.constructioncon-tractoradvisor.com/immigration-reform-bill-could-translate-into-increased-construction-jobs/>
- M&J Group. Green roof installations. Geraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://www.mjflatroofing.com/about/environment/>
- Muziekgebouw aan 't IJ. Geraadpleegd op 16 juni 2015, van <http://freeamsterdam.nl/news/amsterdam-nightlife/high-arts/muziekgebouw-aan-t-ij.html>
- Randenbroek Zuid stad & park. Geraadpleegd op 16 juni 2015, van <http://www.randenbroekzuid.nl/aanbod/koopwoningen/912/Bouwnummer-128>
- Soetenhorst, B., & Logtenberg, H. (2012, 25 juni). De Bruijn na conflict vertrokken als architect Zuidas. Reraadpleegd op 16 juni 2015, van <http://www.parool.nl/parool/nl/4041/AMSTERDAM-ZUID/article/detail/3276704/2012/06/25/De-Bruijn-na-conflict-vertrokken-als-architect-Zuidas.dhtml>

- The Fabric of Architecture. (2007, 23 Juli). Geraadpleegd op 9 juni 2015, van <http://materia.nl/article/the-fabric-of-architecture/>

Internetsites

www.sbrcurnet.nl
www.klimaatindestad.nl
www.groenendestad.nl
www.kennisvoorklimaat.nl
www.ipcc.ch
www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffect

Video multifunctionele daken:

het Andaz dak en het Orlyplein:

www.sbrcurnet.nl/projecten/kennispartnerproject-andaz-hotel-amsterdam

Download gratis als paper:

De handreiking voor het inkopen van multifunctionele daken: www.sbrcurnet.nl/multifunctioneledaken

Download gratis als paper:

Duurzame begroeide daken: via groen naar geel, blauw en rood:

www.sbrcurnet.nl/producten/kennispapers/duurzame-begroeidedaken

Aanvullende publicaties (www.sbrcurnet.nl)

Daken in het groen

www.sbrcurnet.nl/producten/publicaties/daken-in-t-groen

Richtlijn Dakbegroeiing

www.sbrcurnet.nl/producten/publicaties/dakbegroei-ingsrichtlijn

Richtlijn Vegetatiedaken bestaande bouw

www.sbrcurnet.nl/producten/publicaties/richtlijn-vegeta-tiedaken-bestaande-bouw

Richtlijn dakbestrating

www.sbrcurnet.nl/producten/publicaties/dakbestratings-richtlijn