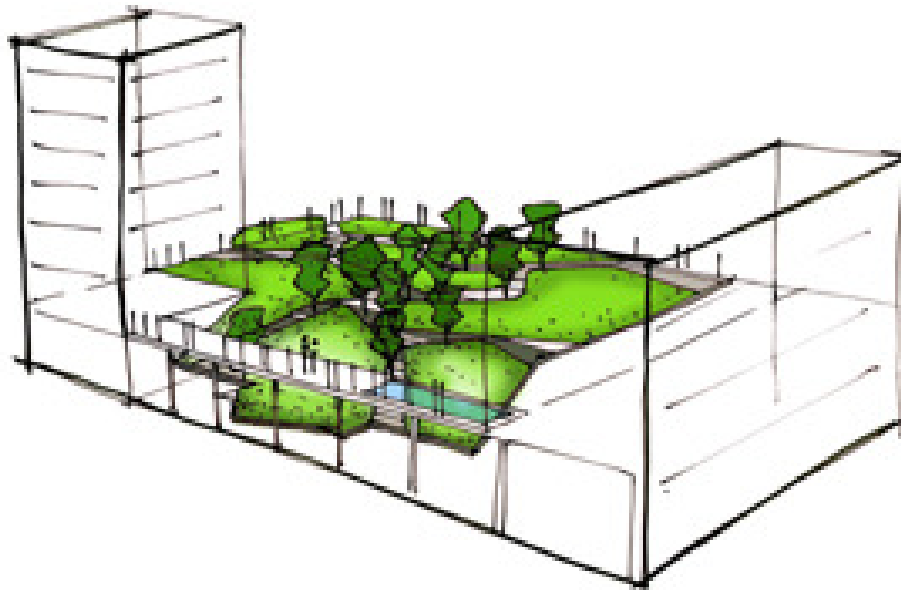


Daktuinen en constructie-eisen bij Nieuwe Maaiveldprojecten

*Een onderzoek naar de invloed van verschillende
daktuinsoorten op een draagconstructie en constructiekosten*

eindverslag Bachelor Eindopdracht



Alexander Leicher



Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

Daktuinen en constructie-eisen bij Nieuwe Maaiveldprojecten

***Een onderzoek naar de invloed van verschillende
daktuinsoorten op een draagconstructie en constructiekosten***

Eindverslag Bachelor Eindopdracht

21-12-2007



Auteur

A.A.M. Leicher
s0065803
Student Civiele Techniek

Opdrachtgever en begeleider

ir. J. de Vries
Docent Hogeschool
Van Hall-Larenstein

Begeleider Universiteit Twente

dr. ir. R.S. de Graaf
Medewerker Opleiding
Bouwprocesmanagement UT

Voorwoord

Dit document is het eindverslag van mijn Bachelor-eindopdracht bij de Hogeschool Larenstein in Velp. De directe opdrachtgever voor dit onderzoek is ir. Jeroen de Vries, docent tuin- en landschapsarchitectuur, die als projectleider van het onderzoeksproject Het Nieuwe Maaiveld betrokken is bij de SAB-vereniging (Samenwerkende Architecten en Bouwadviseurs). In het kader van dit onderzoeksproject heb ik onderzoek gedaan naar de invloed van daktuinen op de draagconstructie van een bouwwerk en de bijhorende kosten. Dit document is daarvan het resultaat.

Tijdens het onderzoeksproces hebben verschillende personen een belangrijke bijdrage geleverd aan mijn onderzoek. Ik wil hierbij mijn twee begeleiders Jeroen de Vries en Robin de Graaf bedanken voor hun opbouwende kritiek en goede samenwerking. Een aantal experts heeft mij geholpen met het opdoen van specialistische kennis. Ik wil dan ook Hans van Vliet en Peter Bouma van ABT bedanken voor hun hulp met betrekking tot constructies doorrekenen en constructiekosten. Ik wil ook Ruth Fleuren van de Hogeschool Larenstein bedanken voor haar informatie over daktuinen, De Stichting Bouwresearch (SBR) en Martijn van der Spoel (BSI bomenservice) voor hun informatie over bomen en daktuinen, Gabriël Geluk (DG Groep) voor het plannen van een excursie en Hans van Cooten (BAM Mostert de Winter) voor de rondleiding over de daktuin in Barendrecht.

Samenvatting

Dit rapport is het resultaat van een onderzoek naar de constructieve aanpassingen aan de draagconstructie van Nieuw Maaiveldprojecten bij het toepassen van daktuinen. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het onderzoeksproject Het Nieuwe Maaiveld, een project waarbij meervoudig ruimtegebruik centraal staat.

Daktuinen zijn in te delen in extensieve en intensieve daktuinen. Extensieve daktuinen hebben een lage begroeiing en hebben een esthetische, isolerende en hydrologische functie. Intensieve daktuinen hebben een relatief hoge begroeiing en hebben naast een esthetische, isolerende en hydrologische functie ook nog een recreatieve functie. Voor daktuinen in het bouwproces dient een specialist al tijdens de uitgangspuntenfase betrokken te zijn om te voorkomen dat het constructief ontwerp beperkingen oplegt aan het daktuinontwerp.

In dit rapport worden de constructies van gestapelde kantoren, woningen en winkels beschouwd. Het bleek niet mogelijk om een gebouwmodel op te stellen dat representatief is voor veel andere bouwprojecten, omdat er veel aannames gedaan moeten worden die niet goed beargumenteerd kunnen worden. Er is een *tool* ontworpen (methode equivalent aantal verdiepingen) waarmee constructeurs het gewicht van een daktuin en onderliggende dakplaat kunnen vergelijken met het gewicht van een verdiepingslaag bij verschillende gebruiksfuncties. Dit vergemakkelijkt het ontwerpproces. De kosten van een daktuin en aanpassingen aan de constructie zijn berekend aan de hand van de kosten van de daktuin zelf en de aanpassingen aan de dakplaat. Hiermee is een indicatie te geven van de extra kosten van een daktuin.

Inhoudsopgave

1	DE SAB-VERENIGING	8
1.1	Het Nieuwe Maaiveld.....	8
1.2	Kernwaarden en doelstellingen van Het Nieuwe Maaiveld	9
2	PROBLEEMKADER.....	11
3	PROBLEEMSTELLING.....	12
4	DOELSTELLING EN RELEVANTIE ONDERZOEK.....	13
4.1	Doelstelling.....	13
4.2	Relevantie onderzoek	13
5	BEGRIPSBEPALING	15
6	ONDERZOEKSVRAGEN EN ONDERZOEKSMETHODE	16
6.1	Hoofdvraag	16
6.2	Deelvragen	16
6.3	Onderzoeksmethode.....	16
7	DAKTUINEN IN HET BOUWPROCES	17
7.1	Uitgangspunten.....	17
7.2	Ontwerpfase.....	18
7.3	Uitwerkingsfase en bouwfase	18
8	CATEGORISERING DAKTUINEN	19
8.1	Niet beloopbare daken	20
8.2	Beloopbare daken.....	21
8.3	Verhardingen.....	22
8.4	Constructies op daktuinen.....	23
9	CONSTRUCTIEVE AANPASSINGEN	25
9.1	Methode equivalent aantal verdiepingen	25

9.2	Constructiemethodes en flexibiliteit	26
9.3	Belastingen	28
9.3.1	Permanente belasting: eigen gewicht van dakconstructie.....	28
9.3.2	Variabele belasting	28
9.3.2.1	Belasting door gebruiksfunctie	28
9.3.2.2	Belasting door regenwater	28
9.3.2.3	Windbelasting	29
9.3.2.4	Sneeuwbelasting	29
9.3.2.5	Belasting door betreding	30
9.4	Gebouwmodel en voorschriften	30
9.4.1	Uitgangspunten bij gebouwmodel	30
9.4.2	Voorschriften.....	31
9.4.3	Gebouwmodel en plaats van belasting	31
9.5	Dimensionering.....	34
9.5.1	Belastinggevallen	35
9.5.2	Gestapelde kantoren en winkels	37
9.5.3	Gestapelde woningen	37
9.6	Conclusie	38
10	CONSTRUCTIEKOSTEN EN KENTALLEN.....	41
10.1	Definitie constructiekosten	41
10.2	Constructiekosten en kentallen	41
10.2.1	Gestapelde kantoren en winkels	41
10.2.2	Gestapelde woningen.....	42
11	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	43
12	BIJLAGEN	45
12.1	Bijlage 1 – Algemene informatie daktuinen.....	46
12.2	Bijlage 2 – Gewicht van daktuinen met bomen tot 15 meter	48
12.3	Bijlage 3 – Overzicht belastinggevallen.....	51
12.4	Bijlage 4 – Berekening doorsnede dakplaat en vloer van kantoor en winkels.....	53
12.5	Bijlage 5 – Berekening doorsnede dakplaat en vloer van woningen.....	57
12.6	Bijlage 6 – Berekening equivalent aantal verdiepingen	59
13	REFERENTIES	60

1 De SAB-vereniging

De SAB Vereniging (Samenwerkende Architecten en Bouwadviseurs) is een multidisciplinaire beroepsvereniging voor alle disciplines in de bouwvoorbereiding. De belangrijkste doelstelling van de vereniging is het bevorderen van de integrale samenwerking tussen al deze disciplines om zodoende het bouwproces beter te laten verlopen. In dat kader organiseert SAB diverse activiteiten waarbij de uitwisseling van kennis tussen de leden centraal staat.

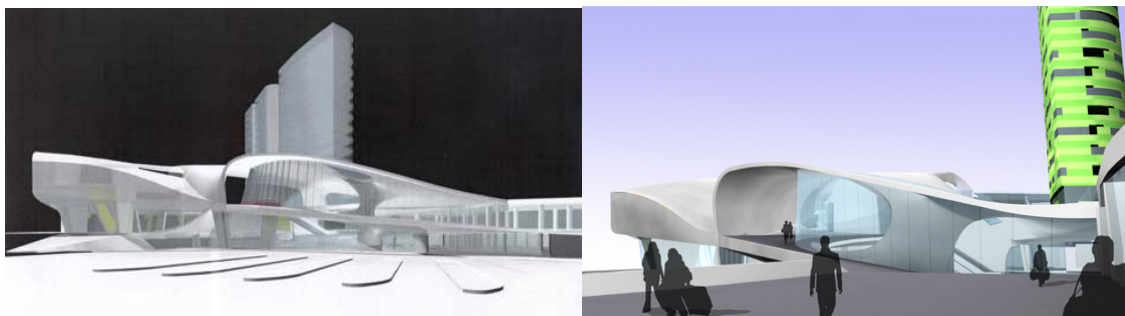
SAB is in 1967 ontstaan uit de samenwerking tussen een aantal architectenbureaus in de regio Utrecht-Amersfoort. Aanvankelijk was het enige doel om gezamenlijk zaken te ontwikkelen waaraan men individueel niet toekwam. Zo werd onder meer een eigen standaardbestek ontwikkeld, de voorloper van het huidige STABU-bestek.

Al spoedig onderkende men dat de ontwikkeling van dit soort instrumenten een integrale benadering vereist. Vanaf dat moment is de vereniging uitgegroeid tot een multidisciplinaire beroepsvereniging voor alle disciplines in de bouwvoorbereiding. SAB-leden zijn actief op het gebied van architectuur, constructie- en installatieadvies, bouwmanagement en -coördinatie, bouwfysica, landschapsarchitectuur en ontwerp van interieur (www.sabvereniging.nl, 2007).

1.1 Het Nieuwe Maaiveld

Het Nieuwe Maaiveld is een project dat gestart is in opdracht van de SAB-vereniging. De centrale vraag bij het Nieuwe Maaiveldproject is hoe Nieuw Maaiveldprojecten kunnen bijdragen aan de belevingskwaliteit, beheerbaarheid en duurzaamheid in de openbare ruimte. Deze kennis heeft betrekking op het verloop van het planvormingsproces voor multifunctioneel ruimtegebruik en innovaties van ontwerp en techniek. Het accent ligt op verhogen van de belevingswaarde, verbeteren van de beheerbaarheid en vergroten van duurzaamheidsaspecten (De Vries, 2007a). Door kennis van de leden te delen wil de SAB-vereniging bijdragen aan innovaties in de ontwerpfase van het bouwproces.

Voorbeelden van Nieuw Maaiveldprojecten zijn het nieuwe Centraal Station van Arnhem (figuur 1), de overkluizing van de A10 bij de Zuidas van Amsterdam (figuur 2) en het centrum van Almere (figuur 3). Kenmerkend voor deze projecten is de stapeling van functies. Informatie over andere kenmerken en doelstellingen van Het Nieuwe Maaiveld is te vinden in de volgende paragraaf.



Figuur 1 – Artist impressions van het nieuwe centraal station van Arnhem. Het ontwerp is van UN Studios te Amsterdam.



Figuur 2 – Overkluizing van de A10 bij de Zuidas van Amsterdam. Niet alleen de A10 bevindt zich onder het maaiveld, maar ook parkeervoorzieningen, een leidingkoker en een HSL-station.



Figuur 3 – Centrum Almere. De onderste verdieping van dit complex herbergt parkeervoorzieningen voor het winkelpubliek. De winkels bevinden zich boven deze parkeervoorzieningen, op het niveau waar de linker foto genomen is. Boven de winkels zijn woningen gebouwd, die op de rechter foto goed zichtbaar zijn. Tevens zijn boven de winkels daktuinen met gras aangelegd.

1.2 Kernwaarden en doelstellingen van Het Nieuwe Maaiveld

Het Nieuwe Maaiveld is een onderzoeksproject, waarbij meervoudig ruimtegebruik in nieuwe complexen centraal staat. Meervoudig ruimtegebruik door stapeling van functies of de mogelijkheid tot functieverandering in de gebruiksfase van een project moeten oplossingen bieden voor maatschappelijke vraagstukken als bereikbaarheid en ruimtegebrek. Toepassing van de kernwaarden van Nieuw Maaiveldprojecten creëert meerwaarde voor de omgeving door de extra kwaliteit die het object heeft ten opzichte van zijn omgeving (De Vries, 2007a). De kernwaarden van Nieuw Maaiveldprojecten zijn:

- Intensivering ruimtebenutting (“stapeling van functies”)
- Meerdere niveaus van (semi-)openbare buitenruimte waarop mensen verblijven, werken, reizen etc.
- Sterke relatie tussen binnen- en buitenruimte en tussen gebouwlagen

Met deze kernwaarden heeft Het Nieuwe Maaiveld de volgende doelstellingen voor ogen:

- Aantrekkelijke (semi-)openbare buitenruimte (hoge beleevingswaarde: de manier waarop mensen een omgeving ervaren)

- Goede bereikbaarheid
- Oplossing voor ruimtegebrek
- Flexibiliteit van functietoedeling (om toekomstwaarde te vergroten)

Alle onderzoeken binnen het Nieuw Maaiveldproject hebben een raakvlak met het aspect “meervoudig ruimtegebruik”. De volgende paragraaf beschrijft de problematiek met betrekking tot meervoudig ruimtegebruik waar dít onderzoek een bijdrage aan wil leveren.

2 Probleemkader

Om de ruimtebenutting te intensiveren en de (semi-)openbare ruimte aantrekkelijker te maken voor gebruikers en/of bewoners van nieuwe bouwwerken worden in veel Nieuw Maaiveld-ontwerpen daktuinen toegepast. In Nederland worden tot nu toe relatief weinig daktuinen toegepast, hoewel een toenemende trend waarneembaar is. Amsterdam heeft circa honderdduizend vierkante meter daktingroen, terwijl Stuttgart en München (die een met Amsterdam vergelijkbaar inwonertal en oppervlak hebben) elk over ruim een miljoen vierkante meter daktingroen beschikken (Dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam [DROA], 2004). Daarbij moet wel de kanttekening gezet worden dat in Duitsland een wettelijke groencompensatieplicht geldt (De Vries, 2007b). De belangrijkste belemmeringen voor het gebruik van daktuinen bij nieuwe projecten in Nederland zijn:

- Gebrek aan ervaring
- Relatief lage grondprijzen

Dit onderzoek tracht het gebrek aan ervaring te doorbreken door kennis ter beschikking te stellen aan leden van de SAB-vereniging. In bijlage 1 is daarom meer algemene informatie over daktuinen opgenomen. Dit onderzoek behandelt daktuinen op een technische manier. In de volgende paragraaf wordt een kleiner deel van bovenstaande problematiek beschreven dat in dit onderzoek centraal staat.

3 Probleemstelling

Wegens economische en ecologische motieven neemt de belangstelling voor daktuinen de laatste jaren toe. Hoewel daktuinen dus meer aandacht zouden moeten krijgen tijdens het bouwproces, blijkt dat het daktuinontwerp in de praktijk vaak laat tijdens het bouwproces aan de orde komt (Fleuren, 2007). Daktuinontwerpers worden vaak bij het bouwproces betrokken als het constructief ontwerp al in een vergevorderd stadium is. Hierdoor kan het constructief ontwerp van het bouwwerk te veel randvoorwaarden scheppen voor het daktuinontwerp. Deze randvoorwaarden hebben in het kader van dit onderzoek betrekking tot de maximale belasting van de constructie. Omdat ontwerpers weinig inrichtingselementen (bijvoorbeeld bomen, struiken, pleinen etc) kunnen gebruiken, leidt dit tot een lage belevingswaarde en functionaliteit van de daktuin en inflexibiliteit van de inrichting. Dit past niet bij een Nieuw Maaiveldproject. Een mogelijke verklaring voor de late betrekking van daktuinontwerpers is de traditionele lineaire wijze waarop het bouwproces verloopt (De Vries, 2007b). Er is dus sprake van een gebrek aan informatie over de mogelijkheden en het gewicht van daktuinen bij constructeurs.

Aan de andere kant zijn daktuinontwerpers veelal niet op de hoogte van de invloed die een daktuin kan hebben op de onderliggende constructie en wat dat betekent voor de kosten van een project. Hierdoor is het moeilijk om met constructeurs tot goede samenwerking te komen.

De probleemstelling bij dit onderzoek luidt als volgt:

Enerzijds worden daktuinontwerpers vaak te laat bij het bouwproces betrokken en ontbreekt kennis op het gebied van daktuinen, anderzijds zijn daktuinontwerpers veelal niet op de hoogte van de invloed die een daktuin kan hebben op de onderliggende constructie.

4 Doelstelling en relevantie onderzoek

4.1 Doelstelling

Daktuinontwerpers worden vaak laat in het bouwproces betrokken, waardoor het constructief ontwerp beperkingen aan het daktuinontwerp oplegt. Er is bij constructeurs een gebrek aan informatie over de mogelijkheden en het gewicht van daktuinen. Aan de andere kant zijn daktuinontwerpers veelal niet op de hoogte van de invloed die een daktuin kan hebben op de onderliggende constructie en de bijhorende financiële gevolgen. Beide problemen maken het moeilijk om tot goede samenwerking te komen. Dit onderzoek wil daarom een verband leggen tussen het gebruik van verschillende soorten daktuinen en de invloed die dit heeft op de onderliggende constructie in de zin van extra belasting. Dit inzicht moet daktuinontwerpers in staat stellen om beter de gevolgen (zowel constructief als financieel) van een daktuinontwerp voor een constructie in te schatten en een ontwerp te leveren dat beter past bij de specificaties van het bouwwerk. Aan de andere kant weten constructeurs door dit onderzoek beter met welk gewicht in het constructief ontwerp rekening gehouden moet worden. Daardoor kunnen constructeurs en daktuinontwerpers beter communiceren tijdens de initiatieffase, de PvE-fase en de ontwerpfase van een project.

De doelstelling van dit onderzoek luidt als volgt:

Het inzichtelijk maken van de gevolgen van een daktuin op de constructie van een Nieuw Maaiveld-bouwwerk op zowel constructief als financieel niveau.

Om de kosten die een daktuin met zich meebrengt te bepalen wordt de invloed van een daktuin op een constructie vergeleken met het alternatief “geen daktuin”. In praktijksituaties waarbij bouwwerken nieuwe functies kregen toegewezen, bleek het type draagconstructie en de locatie van het gebouw zeer belangrijk (Verburg, 1997). De beslissing om een daktuin aan te leggen kan in dit verband dan ook gezien worden als “toewijzing van een nieuwe functie”. Om de invloed van een daktuin op een bouwwerk te beoordelen wordt de mate waarin aanpassingen aan de draagconstructie nodig zijn beschouwd ten opzichte van een complex zonder daktuin.

4.2 Relevantie onderzoek

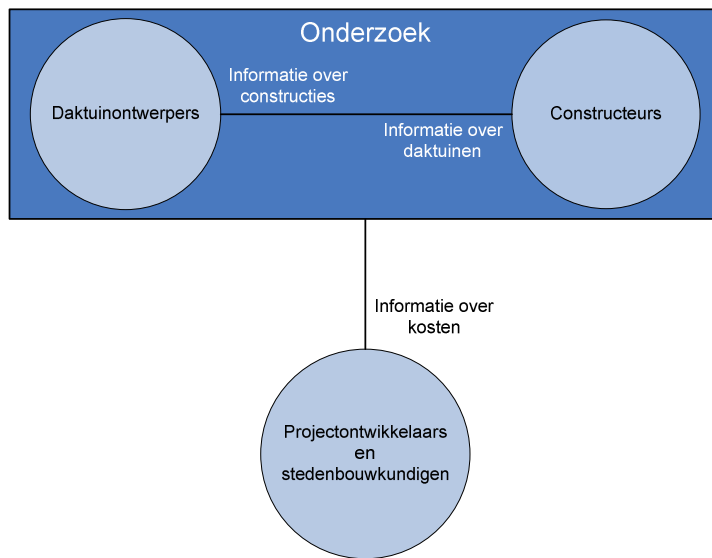
Dit onderzoek is ten eerste van belang voor de SAB-vereniging. De SAB-vereniging wil kennis ontwikkelen op het gebied van daktuinen om de kwaliteit van Nieuw Maaiveldprojecten te verbeteren. Groen op en in het nieuwe maaiveld vervult een functie voor het verbeteren van het microklimaat (wind, zon, temperatuurwisselingen, tegengaan droogte, afvangen stof) en verlevendigt de ruimte (seizoensbeleving, vogels, sierwaarde, geleding van de ruimte). Ook een vormgeving van het watersysteem waarbij water zichtbaar en bruikbaar is en het water langer in het gebied gehouden wordt, kan de milieukwaliteit verbeteren (De Vries, 2007a). De toepassing van daktuinen heeft dus betekenis voor de beleving van de (woon)omgeving en het milieu.

Ten tweede is het voor daktuinontwerpers en constructeurs gemakkelijker om oplossingen te vinden voor mogelijke ontwerpproblemen in een daktuin door beter inzicht te hebben in de constructieve en financiële gevolgen van een daktuin.

Daktuinontwerpers moeten door dit onderzoek beter in staat zijn om in de initiatieffase en bij het stedenbouwkundig plan te communiceren met de stedenbouwkundige.

Ten derde is dit onderzoek van belang voor projectontwikkelaars en stedenbouwkundigen die overwegen een daktuin in hun project op te nemen. Dit onderzoek geeft hen inzicht in de financiële consequenties van die beslissing.

Samenvattend is de relevantie van dit onderzoek samen te vatten in een “sociale kaart” (Kolkman, 2006) (figuur 4). In deze kaart zijn actoren weergegeven die een belang hebben bij dit onderzoek. De plaats van dit onderzoek wordt met een rechthoek weergegeven en het belang van de verschillende actoren is naast de verbindingslijnen beschreven.



Figuur 4 – Sociale kaart van actoren binnen het onderzoekskader. Hoewel projectontwikkelaars en stedenbouwkundigen buiten dit kader vallen, hebben zij baat bij dit onderzoek.

De volgende paragraaf definieert het begripkader dat voor het onderzoek van belang is. Het beschrijft het begrip “constructie” nauwkeuriger en legt uit op welke soorten constructies dit onderzoek zich richt.

5 Begripsbepaling

Het woord “constructie” kan in dit onderzoek worden gelezen als “draagconstructie”. Steward Brand (1994) en Bernard Leupen (2002) definieerden gebouwmodellen waarin verschillende gebouwlagen worden onderscheiden, elk met een eigen specifieke functie. Met deze modellen wordt het mogelijk (on)veranderbaarheid en levensduur nader te beschouwen (Van der Voordt *et al*, 2007). De gebouwlaag “constructie” bestaat in hun model uit de volgende onderdelen: kolommen, balken, dragende vloeren, en fundering. Dragende gevels behoren in dit onderzoek ook tot de constructie, omdat deze ook een bijdrage leveren aan het draagvermogen van een constructie. De fundering van een gebouw wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten, omdat voor het doorrekenen van een fundering te veel aannames gedaan moeten worden.

Het is noodzakelijk te typeren welke functie(s) het complex in dit onderzoek zal huisvesten, omdat elke functie een passende, functiespecifieke constructie vereist. In dit onderzoek worden drie functies betrokken: woningen, kantoren en winkels (wat betekent dat drie verschillende constructies worden betrokken). Deze functies dienen immers in een Nieuw Maaiveld-bouwwerk flexibel te kunnen worden toegepast.

“Kosten” worden in dit onderzoek gedefinieerd als investeringen die bedoeld zijn om een daktuin mogelijk te maken en gedaan worden tijdens het bouwproces. Het gaat dus niet om onderhoudsuitgaven of aanpassingsuitgaven (Prins, 1992) die in de toekomst zouden kunnen voorkomen.

6 Onderzoeksvragen en onderzoeksmethode

6.1 Hoofdvraag

De probleem- en doelstelling leiden tot de volgende hoofdvraag:

Welke constructieve aanpassingen aan woningen, kantoren en winkels zijn benodigd bij de aanleg van een daktuin en welke kosten zijn verbonden aan deze aanpassingen?

6.2 Deelvragen

Uit de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen af te leiden. Elke deelvraag op zich draagt bij aan de beantwoording van de hoofdvraag.

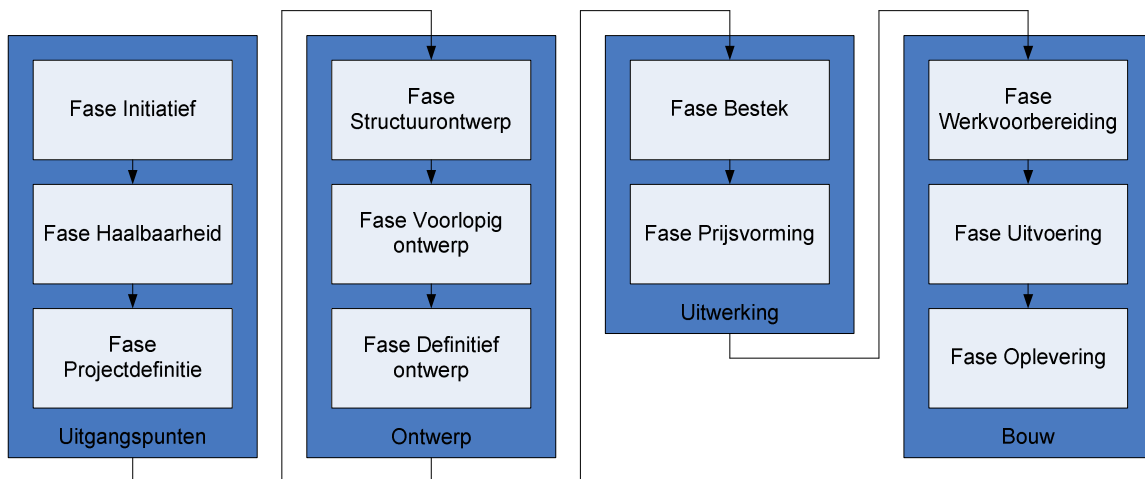
1. Hoe dient de aanleg van een daktuin in het bouwproces geïntegreerd te worden?
2. Hoe zijn daktuinen te categoriseren naar verschillende belastingsgroottes?
3. Welke constructieve aanpassingen aan woningen, kantoren en winkels zijn nodig bij belasting door verschillende categorieën daktuinen en om welke reden?
4. Welke kosten zijn verbonden aan deze constructieve aanpassingen, behorend bij verschillende categorieën daktuinen?

6.3 Onderzoeksmethode

Het onderzoek is deels een probleemsignalerend en deels een ontwerpend onderzoek. Het is uitgevoerd door allereerst kort een probleemverkenning rond te voeren, waarin de problematiek rond daktuinen in het bouwproces aan de orde is gekomen. Hierna is begonnen met een literatuurstudie om inzicht te krijgen in de verschillende soorten daktuinen en het bijbehorende gewicht, en een aantal interviews. Tijdens de interviews is vooral gesproken over de manier waarop een model van een constructie opgesteld zou moeten worden met de kennis van mechanica die ik al had en hoe kosten berekend dienen te worden.

7 Daktuinen in het bouwproces

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de vraag op welke manier de uitvoering van een daktuin in het bouwproces opgenomen zou moeten worden (fase uitgangspunten en ontwerp). Dit is gebaseerd op de visie van daktuinontwerpers. Van Eekelen, Rip en Wentzel (2002) beschrijven het bouwproces als een lineair proces zoals in figuur 5 is weergegeven. Per “hoofdfase” wordt in dit hoofdstuk aangegeven hoe een daktuin in het bouwproces geïntegreerd moet worden om, volgens daktuinontwerpers, tot een optimaal bouwproces te komen.



Figuur 5 – Het bouwproces volgens Van Eekelen, Rip en Wentzel (2002)

7.1 Uitgangspunten

Tijdens de hoofdfase “uitgangspunten” wordt de behoefte aan een nieuw gebouw uitgewerkt in een aantal eisen die aan het te realiseren gebouw worden gesteld. Het eindresultaat van deze fase is een programma van eisen en een begroting van de exploitatiekosten.

Tijdens de fase waarin de uitgangspunten van een bouwproces worden geformuleerd is het belangrijk om vast te leggen welk doel bereikt moet worden met een daktuin. Een ontwikkelaar heeft een bepaald ambitieniveau dat hij wil halen, waaruit functies van het gewenste type daktuin zijn af te leiden. Bij deze functies hoort een bepaalde vorm van een daktuin, waarbij een bepaald type (draag)constructie hoort.

Hoewel wegens economische en ecologische motieven de belangstelling voor daktuinen de laatste jaren toeneemt, blijkt in de praktijk dat (semi)-openbaar groen vaak sluitpost is op de begroting van een project. Terwijl groen in de leefomgeving bewezen positieve effecten heeft op mensen. Zo blijkt uit onderzoek van Alterra bijvoorbeeld dat kinderen die in een groene omgeving opgroeien minder last hebben van overgewicht (Vreke et al, 2006). De kern van het probleem is dat er enerzijds aantoonbaar positieve effecten zijn van kwalitatief goed groen in de stad of in de nabijheid van de stad maar dat deze effecten niet voldoende zichtbaar zijn en dat aan de andere kant het beheer van publiek groen overwegend voor rekening komt van de (lokale) overheid die steeds minder budget kan uittrekken voor de aanleg en het beheer van groen van voldoende kwaliteit (Schaap,

2005). Naast een laag budget wijst Schaap nog twee andere redenen aan voor de lage hoeveelheid groen bij nieuwbouwprojecten:

- Het beleid van verdichting in de binnensteden gaat veelal ten koste van de vrije, vaak groene, ruimte
- Veiligheidsbeleid en overzichtelijkheid tast de kwaliteit van het groen aan

Hoewel groen in nieuwbouwprojecten vaak “in de verdrukking” raakt, is, strikt genomen, bij Nieuw Maaiveldprojecten de kans op verdrukking kleiner. Een van de doelstellingen van Nieuw Maaiveldprojecten is immers een hoge belevingswaarde van de buitenruimte. Het begrip belevingswaarde is moeilijk te kwantificeren, maar uit onderzoek is wel gebleken dat de hoeveelheid groen grote invloed heeft op de manier waarop mensen een omgeving ervaren. Voorbeeldproject Almere-binnenstad werd aanvankelijk te “stenig” ervaren, waarna groenvoorzieningen zijn aangelegd.

Door de complexiteit en relatief grote schaal van een Nieuw Maaiveldproject vergen deze projecten een relatief grote investering. De hoge investeringen die gemoeid zijn bij Nieuw Maaiveldprojecten mogen niet ten koste gaan van het (semi)openbare groen, omdat daarmee de doelstelling “hoge belevingswaarde van de buitenruimte” wordt aangetast. Bij de fase “uitgangspunten” van het bouwproces moet hiervoor gewaakt worden.

7.2 Ontwerpfase

In de ontwerpfase is het programma van eisen de basis voor het vormgeven van oplossingen voor het huisvestingsprobleem. In een interview in het vakblad Roofs (De Werd, 2006) pleit Wim van Ginkel, directeur van Koninklijke Ginkel Groep, voor het inbrengen van kennis over daktuinen tijdens de ontwerpfase. De realisatie van een daktuin is een proces waar al in het voorlopig ontwerp voldoende aandacht aan moet worden besteed. Zo voorkomt men later in het bouwproces storende fouten die de realisatie van een daktuin belemmeren of zelfs verhinderen. Er dient tijdens het ontwerpproces rekening gehouden te worden met hemelwaterafvoeren, leidingen, bekabeling, afschot en andere factoren. Daarom is advies van een daktuinspecialist onontbeerlijk. Niet alleen vanwege specialistische kennis is het belangrijk om vroeg in de ontwerpfase een daktuinspecialist in het bouwproces te betrekken. Als het gebouwo ontwerp in een vergevorderd stadium is, kan dat ontwerp te veel randvoorwaarden scheppen voor het daktuinontwerp (Fleuren, 2007).

Volgens het Centraal Bureau Bouwtoezicht (2005) is het belangrijkste onderdeel tijdens de ontwerpfase het vaststellen van de belastingen ten behoeve van het constructieve ontwerp. Dit onderzoek gaat hierop verder in.

7.3 Uitwerkingsfase en bouwphase

Tijdens de uitwerkingsfase en bouwphase is het belangrijk om als opdrachtgever met een betrouwbare daktuinspecialist in zee te gaan. Hiervoor is door de Stichting Groenkeur een kwaliteitscertificaat opgesteld: De BRL Dak- en Gevelbegroeiing. De BRL Dak- en Gevelbegroeiing is gekoppeld aan de eisen in de FLL en is een procescertificaat dat beschrijft hoe men tot een goed groendak kan komen. Met het certificaat is voor opdrachtgevers onmiddellijk inzichtelijk dat men van doen heeft met een betrouwbare partij.

8 Categorisering daktuinen

Daktuinen zijn door de kenmerken beloopbaarheid, soort begroeiing, verhardingstype en constructietypes in vier categorieën in te delen. Deze categorieën zijn:

- Niet-beloopbare daken
- Beloopbare daken
- Verhardingen
- Constructies op daktuinen

Binnen deze categorieën zijn verschillende varianten te onderscheiden, elk met een eigen gewicht. Deze komen in dit hoofdstuk aan bod. De nu volgende paragrafen zijn gebaseerd op de Handleiding Daktuinen van de Dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam (2004). Deze handleiding is geschreven om de onbekendheid van dakeigenaren met de constructieve en juridische aspecten weg te nemen. Deze handleiding is ook nuttig voor constructeurs die meer willen weten over daktuinen.

De gewichtsbepaling is gebaseerd op volverzadigde gewichtsbelasting van de daktuin zelf, dus *zonder* veranderlijke belasting van en door betreding, sneeuw en wind. Bij de “harde” daktuinen is gerekend met een extra belasting van 10 mm water, zijnde 10 kg per m². Deze belasting kan in bepaalde situaties een veelvoud zijn. De kosten zijn inclusief leverantie en aanleg en exclusief BTW. In figuur 6 is de belasting per vierkante meter van alle daktuinsoorten in dit onderzoek samengevat in een diagram.

8.1 Niet beloopbare daken

Met “niet-beloonbaar” wordt bedoeld: niet geschikt voor structurele betreding. Incidentele betreding in verband met bijvoorbeeld onderhoud is soms noodzakelijk, waardoor een dak altijd gedimensioneerd moet zijn om het gewicht van een persoon met gereedschapskist te kunnen dragen (Van Vliet, 2007).

Een niet-beloonbare daktuin wordt onder andere gebruikt om de esthetische redenen, maar kan ook andere functies herbergen. Een daktuin met een substraatpakket van enkele centimeters functioneert als isolerende laag, waardoor het energieverbruik van het gebouw vermindert. Daarnaast vangt een daktuin water op. Dit heeft twee voordelen. Een deel van het water dat wordt opgevangen verdampt, waardoor minder water in het riool komt. Een ander voordeel is dat de daktuin het water een tijdje vasthoudt, waardoor een waterafvoerpiek verspreidt wordt over een langere tijd. Ook zo wordt het riool ontlast.

Daktuinsoort	Beschrijving	Opmerkingen
Ecologisch dak 	Substraat afgedekt met laag grind 70-80 kg per m ² 0,7-0,8 kN/m ² €17,50 per m ²	
Gras/kruidendak 	Vegetatiemat met grassen en kruiden 130-220 kg per m ² 1,3-2,2 kN/m ² €40,- / €50,- per m ²	Substraatpakket 10 tot 15 cm dik
Sedumdak 	Vegetatiemat met sedumvariëteiten 30-90 kg per m ² 0,3-0,9 kN/m ² €32,50 / € 37,50 per m ²	Substraatpakket 3 tot 8 cm dik

Tabel 1 – Gewicht van niet-beloonbare daken

8.2 Beloopbare daken

Bij deze categorie daktuinen is betreding toelaatbaar. De soorten binnen deze categorie verschillen in vegetatiesoort en -hoogte.

Beloopbare daken hebben niet alleen de functies van een niet-beloopbaar dak, maar hebben ook een recreatieve functie.

Daktuinsoort	Beschrijving	Opmerkingen
Grasdak 	Intensief beloopbare grasmatten 250-300 kg per m ² 2,5-3,0 kN/m ² €32,50 / €40,- per m ²	Substraatpakket minimaal 20 cm dik
Bodembedekkers 	Kruiden en lage beplanting tot 60cm 260-375 kg per m ² 2,6-3,75 kN/m ² €50,- / €60,- per m ²	Substraatpakket minimaal 20 tot 30 cm dik
Lage struiken 	Struiken van 60 cm tot 2 m hoogte 375-550 kg per m ² 3,75-5,5 kN/m ² €60,- / €65,- per m ²	Substraatpakket van 30 tot 45 cm dik
Hoge struiken 	Struiken van 2 m tot 5 m hoogte 600-900 kg per m ² 6,0-9,0 kN/m ² €90,- / €100,- per m ²	Substraatpakket van 50 tot 70 cm dik
Boom 	Boom tot 15 m hoogte (tweede grootte) 2000 kg per m ² 20 kN/m ² Prijs sterk afhankelijk van boomsoort	Substraatpakket van 10 tot 200 m ³ en tot 1 m dik, afhankelijk van soort en gewenste kroonmaat Zie voor berekening van het gewicht bijlage 2

Tabel 2 – Gewicht van beloopbare daken

8.3 Verhardingen

In deze categorie vallen alle grote verharde oppervlakken. De soorten in deze categorie verschillen in materiaal.

Verhardingen in een daktuin zijn bedoeld voor intensief gebruikte delen van een daktuin. Verhardingen kunnen het water niet vasthouden, zoals vegetatie dat doet. Veel verhardingen tasten dan ook het waterabsorberend vermogen van een daktuin aan.

Daktuinsoort	Beschrijving	Opmerkingen
Tegels 	Beton 30x30x5cm 60-120 kg per m ² 0,6-1,2 kN/m ² €15,- / €20,- per m ²	
Halfverharding 	Beloopbaar grind/ gebroken natuursteen 85-100 kg per m ² 0,85-1,0 kN/m ² €12,50 / €25,- per m ²	
Vlonder 	Hardhouten vlonders van 28 mm dikte 50-65 kg per m ² 0,5-0,65 kN/m ² €65,- / €90,- per m ²	

Tabel 3 – Gewicht van verhardingen

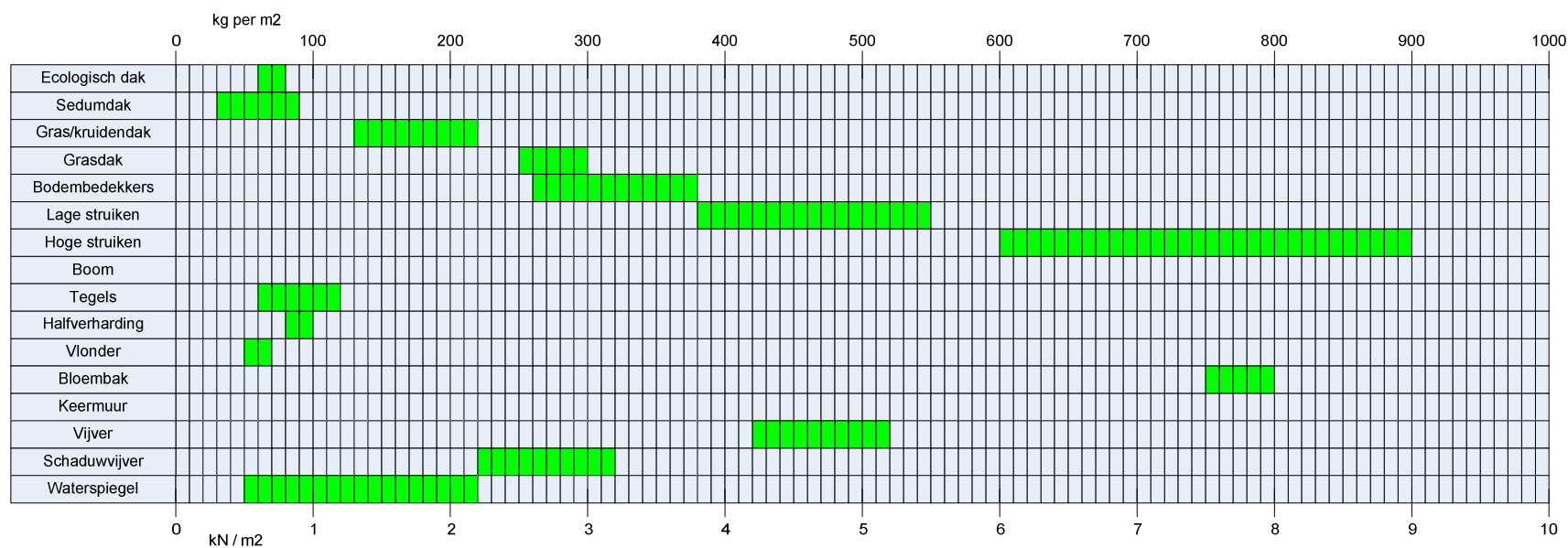
8.4 Constructies op daktuinen

Deze categorie daktuinen bevat alle grote landschapselementen die geen deel uitmaken van de vegetatie of beloopbare verhardingen.

Constructies op daktuinen zijn bedoeld als versterking van het natuurlijke karakter van de tuin (zoals vijvers), maar kunnen ook een recreatieve functie hebben (zoals een keermuur die tevens dienst doet als zitelement).

Daktuinsoort	Beschrijving	Opmerkingen
Bloembak 	Betonnen bak 750-800 kg per m ² 7,5-8,0 kN/m ² €1200,- per m ²	
Keermuur 	Betonnen U-vormig element, zithoogte 50 cm 1700 kg per m ² 17 kN/m ² €100,- per m ²	
Vijver 	Vijver, minimaal 40 cm diep, met waterplanten 425-525 kg per m ² 4,25-5,25 kN/m ² €75,- / €250,- per m ² , of meer, excl. waterdicht vlies	
Schaduwvijver 	Vijver, 20 tot 30 cm diep 225-325 kg per m ² 2,25-3,25 kN/m ² €75,- / €250,- per m ² , of meer, excl. waterdicht vlies	
Waterspiegel 	Waterlaag, 5 tot 20 cm diep 50-225 kg per m ² 0,5-2,25 kN/m ² €75,- / €250,- per m ² , of meer, excl. waterdicht vlies	

Tabel 4 – Gewicht van constructies op daktuinen



Figuur 6 – Overzicht van gewicht per daktuinsoort. Om de overzichtelijkheid van deze tabel te behouden ontbreekt het gewicht van een keermuur en een daktuin met bomen, omdat het gewicht van deze daktuinelementen beduidend hoger ligt dan de meeste andere objecten.

9 Constructieve aanpassingen

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag welke constructieve aanpassingen aan een Nieuw Maaiveldproject nodig zijn bij belasting door verschillende categorieën daktuinen. Het antwoord op deze vraag kan niet zeer concreet gegeven worden, omdat deze aanpassingen afhangen van veel factoren. Om constructeurs en daktuinontwerpers een *tool* te geven waarmee het gewicht van een daktuin snel bepaald kan worden, is de methode equivalent aantal verdiepingen bruikbaar. Hierop wordt ingegaan in paragraaf 9.1. In paragraaf 9.2 wordt ingegaan op de relatie tussen constructieve aanpassingen, constructiemethodes en kernwaarden van Het Nieuwe Maaiveld. In paragraaf 9.3 worden de belastingen die een constructie moet kunnen opnemen gedefinieerd. In paragraaf 9.4 wordt het gebouwmodel dat in dit onderzoek wordt gebruikt gedefinieerd. In paragraaf 9.5 worden de aanpassingen in de constructie (voor zover mogelijk) besproken. In paragraaf 9.6 wordt de methode equivalent aantal verdiepingen gebruikt om een indicatie geven van het gewicht van een daktuin ten opzichte van het gewicht van een verdieping.

9.1 Methode equivalent aantal verdiepingen

Gedurende het onderzoek bleek steeds opnieuw dat er bij het doorrekenen van het gebouwmodel keuzes gemaakt moesten worden die gebaseerd waren op ongefundeerde aannames. In dit onderzoek is er daarom voor gekozen om alleen veranderingen in de constructie van de dakplaat en kosten van veranderingen aan de dakplaat te berekenen. Het is mogelijk om de kosten van de volledige draagconstructie van het gebouw te bepalen, maar dat is bijzonder onnauwkeurig. De volgende problemen treden op bij het berekenen van de constructie en constructiekosten van de *gehele* draagconstructie:

- De fundering van het gebouw is onderdeel van de draagconstructie. De soort fundering, bodemsamenstelling (en eventuele heidiepte) en terreineigenschappen zijn factoren die de constructie en constructiekosten van een fundering beïnvloeden. Echter, over deze eigenschappen is geen verdedigbare aanname te doen, waardoor de uitkomst van de kostenberekening zeer onbetrouwbaar is.
- De constructiematerialen zijn van grote invloed op de dimensionering van de constructie en zijn sterk afhankelijk van aspecten als projectgrootte en de mate waarin constructie-onderdelen in massaproductie geproduceerd kunnen worden. Hiervoor kan geen aanname gedaan worden. Dan rijst de vraag in hoeverre de gekozen constructiemethode representatief is voor de vele verschillende bouwprojecten.
- De kosten van de draagconstructie zijn een beperkt deel van de totale kosten van een project en zijn niet een vast percentage van de totale projectkosten. De berekening van de extra kosten van de draagconstructie geven een opdrachtgever dus niet of nauwelijks inzicht in de totale projectkosten.
- Kolommen kunnen niet zonder problemen simpelweg vergroot worden. Toenemende afmetingen laten het gebruiksoppervlak van een gebouw afnemen, waardoor bijvoorbeeld een extra verdieping gerealiseerd moet worden, wat extra inversteringen vraagt. In geval van ontwikkeling van een bouwwerk door een belegger, weegt het te verwachten rendement op de investering zwaar, en is het de vraag of grotere kolommen acceptabel zijn. Het is dus niet realistisch om aan te nemen dat kolommen zonder meer “eindeloos” vergroot kunnen worden. Er

dient dan voor een andere, versterkende constructiemethode gekozen te worden. Welke methode de juiste is, is afhankelijk van veel factoren waarover geen zinnige aannames te doen zijn.

- Bij Nieuw Maaiveldprojecten zal vaak een parkeergarage in het ontwerp worden opgenomen. Deze gebruiksfunctie wordt in dit onderzoek niet meegenomen in de berekening van constructie-afmetingen, omdat er dan keuzes gemaakt moeten worden tussen de manieren waarop twee stramienmaten op elkaar aan kunnen sluiten. Een parkeergarage beïnvloedt echter drastisch de kosten van de constructie en kan daarom niet buiten beschouwing gelaten worden als een duidelijk beeld van de constructiekosten gegeven moet worden..

Doeltreffendere informatie over constructiekosten is voor handen door de constructeur een gebouw met het gewicht van een daktuin door te laten rekenen. De constructeur heeft daardoor meer werk en zal dan ook een grotere kostenpost op de projectbegroting zijn, maar levert betere informatie dan een schatting met behulp van een model dat gebaseerd is op vele aannames.

Om toch inzicht te kunnen geven in de constructieve aanpassingen die nodig zijn bij toepassing van een daktuin is het nuttig om het gewicht van een daktuin uit te drukken in een variabele waar constructeurs al mee werken: het aantal verdiepingen van een bouwwerk. Met de methode van “equivalent aantal verdiepingen” is goed na te gaan wat de nieuwe dimensionering van de draagconstructie wordt, waarna het constructiebedrijf een nauwkeurige prijscalculatie kan maken. Deze methode geeft aan met welk aantal verdiepingen het gewicht van een bepaalde soort daktuin is te vergelijken. Deze informatie is bruikbaar voor constructeurs om snel de veranderingen in de dimensionering van een constructie te kunnen bepalen.

In paragraaf 10.2 is een overzicht gegeven van de kosten van een dak (dat wil zeggen: dakplaat en daktuin samen).

9.2 Constructiemethodes en flexibiliteit

De kernwaarden en doelstellingen die bij een Nieuw Maaiveldproject horen, scheppen randvoorwaarden voor de constructie. Een functie van een Nieuw Maaiveldproject is flexibiliteit bieden, opdat gedurende de levenscyclus van een gebouw verschillende gebruiksfuncties in een ruimte kunnen worden ondergebracht. De voornaamste randvoorwaarde waaraan een Nieuw Maaiveldconstructie moet voldoen is flexibiliteit.

Uit onderzoek blijkt dat drie elementaire functies en eigenschappen van de draagconstructie van directe invloed zijn op de transformatiecapaciteit van een gebouw: de onafhankelijkheid van de constructie, de draagcapaciteit en de ruimte die de constructie biedt (Van der Voordt, Geraedts, Remøy & Oudijk, 2007). Dit onderzoek gaat in op de draagcapaciteit van een gebouw. Voor meer informatie over het vergroten van de flexibiliteit van gebouwen is het boek “Transformatie van kantoorgebouwen” van Theo van der Voordt aan te raden.

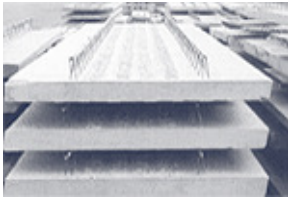
Voldoende draagcapaciteit bepaalt de mogelijkheden tot het eenvoudig transformeren naar bijvoorbeeld gebruiksfuncties met een hogere variabele belasting. De mogelijkheden tot het vrij plaatsen en wijzigen van scheidingswanden, het aanbrengen of veranderen van aanvullende installaties aan vloeren of daken, het opnieuw uitvlakken van vloeren met

een extra afwerklaag (zonder de oude laag te verwijderen) etc. hangt af van de draagcapaciteit van de constructie.

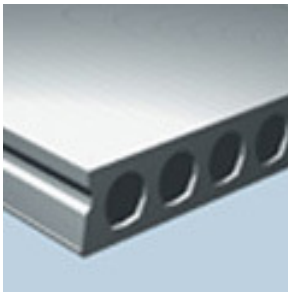
Om een keuze te kunnen maken tussen verschillende constructiematerialen, worden verschillende bouwmethodes onderling vergeleken. Het resultaat is zichtbaar in tabel 5



Figuur 7- Een voorbeeld van gietbouw. Het repeterende karakter van deze bouwwijze is duidelijk zichtbaar (www.perfectbouw.nl/Kennisbank/betonvloeren.html)



Figuur 8 – Breedplaten. De platen dienen aan de bovenkant van wapening voorzien te worden en afgestort te worden. (www.perfectbouw.nl/Kennisbank/betonvloeren.html)



Figuur 9 – Dwarsdoorsnede kanaalplaat. De kanaalplaat levert een grote materiaal- en gewichtsbepasring op. (www.perfectbouw.nl/Kennisbank/betonvloeren.html)

Eigenschap	Gietbouw	Breedplaat	Kanaalplaatvloer
Productieproces	Bekisting	Bekisting en prefab	Prefab
Toepassing	Massaproductie	Slanke vloerconstructies, complexe plattegronden	Massaproductie
Voordelen	Snelle bouwmethode, veel vormvrijheid, laag risico	Veel vormvrijheid	Hoge gewichtsbepasring, snelle methode,

Nadelen	Alleen rendabel bij massaproductie ($n \geq 50$)	Afstorten vergt relatief veel tijd	Geen tot weinig mogelijkheid tot het aanbrengen van uitsparingen, vrije vormen zijn erg duur
---------	--	------------------------------------	--

Tabel 5 – Vergelijking van drie verschillende, veel gebruikte bouwmethodes

Alle bouwmethodes zijn geschikt voor zowel de woning- en utiliteitsbouw. Kanaalplaten zijn alleen voorzien van voorspanwapening; er is geen betonstaal aanwezig. Daarom moet zeer voorzichtig worden omgegaan met het aanbrengen van sparringen om de voorspanning te ontzien. Het aanbrengen van sparringen in een later stadium is dus erg lastig. Omdat flexibiliteit het aanbrengen van sparringen kan vragen, zijn kanaalplaten over het algemeen niet geschikt voor Nieuw Maaiveldprojecten. Voor Nieuw Maaiveldprojecten zijn gietbouw en breedplaten geschikte constructiemethodes. Beide methodes bieden veel vormvrijheid en zijn betrouwbare methodes, waardoor het bouwproces nauwkeurig gepland kan worden. De mate waarin massaproductie van constructie-elementen plaatsvindt, bepaalt of voor gietbouw of voor breedplaten gekozen moet worden.

Beide constructiemethodes resulteren in massieve betonnen vloeren. Met dit resultaat wordt rekening gehouden in het rekenmodel van paragraaf 9.4.

9.3 Belastingen

In deze paragraaf worden zes soorten belasting behandeld die kunnen optreden bij belasting van een constructie. Met de som van deze belastingen wordt de invloed op de draagconstructie bepaald.

9.3.1 Permanente belasting: eigen gewicht van dakconstructie

Dit is het gewicht van de constructie zelf: dak ($Q_{\text{eigen,dak}}$), vloeren ($Q_{\text{eigen,vloer}}$), kolommen ($F_{\text{eigen,kolom}}$) en wanden ($F_{\text{eigen,wand}}$). Dit gewicht volgt uit de dimensionering van deze constructie-elementen.

9.3.2 Variabele belasting

9.3.2.1 Belasting door gebruiksfunctie

Dit is het gewicht door het aanbrengen van een daktuin op een bouwwerk (Q_{daktuin}). Het eigen gewicht is afhankelijk van de gekozen daktuinsoort. Daarnaast treedt belasting op door gebruiksfuncties binnen het gebouw ($Q_{\text{gebr.func}}$). NEN 6702 schrijft normen voor met betrekking tot extreme belastingen voor verschillende gebruiksfuncties (zie paragraaf 9.4).

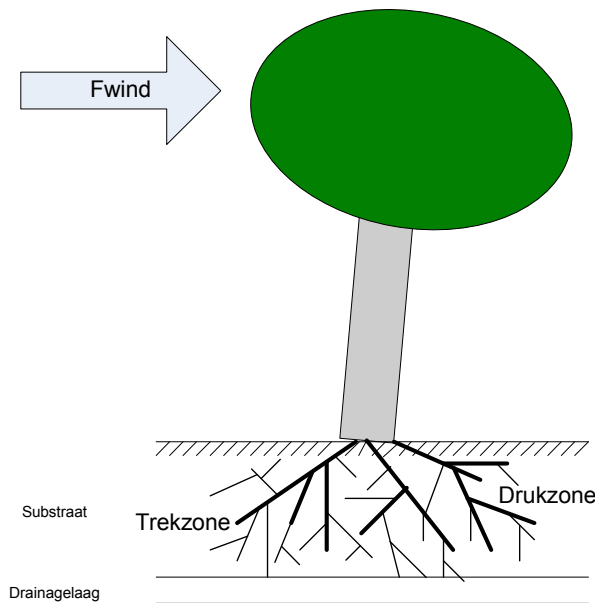
9.3.2.2 Belasting door regenwater

Belasting door regenwater ontstaat door infiltratie van de bodem van de daktuin, wateraccumulatie en een laagje water op de bodem. In de berekening van het eigen gewicht van een daktuinsoort is rekening gehouden met volledig gesatureerde (verzadigde) grond. Per situatie zal de opeenhoping van de maximale hoeveelheid water bepaald moeten worden (DROA, 2004). Bij de berekening van het gewicht van een

daktuinsoort is al rekening gehouden met een extra belasting van 10 mm water. In dit onderzoek wordt nog eens rekening gehouden met extra gewicht door wateraccumulatie en 50 mm water op verharde oppervlakken, gesteld op 50 kg per m² (0,5 kN/m²). Bij daktuinen is verstopping van noodoverlopen immers mogelijk, waardoor met dit extra gewicht rekening gehouden dient te worden. Belasting door regenwater wordt in dit onderzoek aangeduid met Q_{regen} .

9.3.2.3 Windbelasting

Het aanbrengen van een daktuin zal de windbelasting over het algemeen niet nadelig beïnvloeden, tenzij er hoge bomen en struiken worden toegepast. Hogere bomen kunnen eventueel geschoord worden om ze te beschermen tegen wind (DROA, 2004). Deze schoringen kunnen bevestigd worden aan de draagconstructie of aan een gewichtsconstructie die is aangelegd in de daktuinbodem. In beide gevallen treedt extra belasting van de constructie op. Bij windbelasting ontstaat in de grond een drukzone en trekzone door het moment dat de boom veroorzaakt (figuur 10). In dit onderzoek wordt windbelasting echter buiten beschouwing gelaten omdat dit te specialistisch is.



Figuur 10 – Schematisering van boom tijdens windbelasting. De wind belast de substraatlaag met een moment, waardoor een druk- en trekzone ontstaat. Deze zones nemen het moment op, waardoor de boom in evenwicht wordt gehouden.

9.3.2.4 Sneeuwbelasting

Sneeuwbelasting (Q_{sneeuw}) bij een daktuin is niet of nauwelijks anders dan sneeuwbelasting volgens de normale norm (DROA, 2004). In dit onderzoek wordt daarom ervan uitgegaan dat de normale normen voor sneeuwbelasting op daken uit NEN 6702 ook geldig zijn voor daken met een daktuin. NEN 6702 schrijft een norm voor sneeuwbelasting van 56 kg per m² (0,56 kN/m²) voor.

9.3.2.5 Belasting door betreding

Voor daken zonder daktuin wordt enkel gerekend met een beperkte belasting door personen (circa 100 kg/m^2 over 10 m^2). Daken die als terras zijn ontworpen worden gedimensioneerd op een gewicht van 250 kg/m^2 ($2,5 \text{ kN/m}^2$) volgens NEN 6702. In dit onderzoek wordt belasting door betreding aangeduid met $Q_{\text{betreding}}$.

Bij het aanleggen van een daktuin is het noodzakelijk om na te gaan of het dak ontworpen is als toegankelijk en beloopbaar dak. Indien dit niet het geval is, dan zijn de mogelijkheden om later een beloopbare daktuin aan te leggen uiteraard beperkt zonder verzwakende constructieve ingrepen in de dakconstructie.

In het kader van dit onderzoek moet bij de voorschriften uit NEN 6702 de kanttekening gemaakt worden dat bij Nieuw Maaiveldprojecten de belasting door betreding groter kan zijn dan de voorgeschreven 250 kg/m^2 ($2,5 \text{ kN/m}^2$). Immers, door de sterke relatie tussen binnen- en buitenruimte is het mogelijk dat de functie van een “terras” of “balkon” in de praktijk overeenkomsten vertoont met de functie waarmee het dak horizontaal verbonden is, zoals een kantoor. Kantoren worden immers gedimensioneerd op een belasting door gebruiksfunctie van 500 kg per m^2 , wat zijn weerslag kan hebben op de belasting van de aangrenzende gebieden. Aan te raden is om hiermee rekening te houden en zwaarder te dimensioneren dan voorgeschreven bij het constructief ontwerp van een Nieuw Maaiveldproject met daktuinen.

9.4 Gebouwmodel en voorschriften

Om de invloed van verschillende typen daktuinen op een constructie te kunnen bepalen is het noodzakelijk om een gebouwmodel te definiëren dat als uitgangspunt voor dit onderzoek dient. In paragraaf 9.4.1 worden deze uitgangspunten genoemd en gemotiveerd. Het gebouwmodel is naast deze uitgangspunten gebaseerd op voorschriften uit het bouwbesluit en NEN normen. Deze zijn opgenomen in paragraaf 9.4.2. Het gebouwmodel kan als in figuur 11 worden voorgesteld. In deze figuur is ook aangegeven op welke plaats de verschillende belastingen aangrijpen.

9.4.1 Uitgangspunten bij gebouwmodel

In deze paragraaf worden de uitgangspunten genoemd die ten grondslag liggen aan het in dit onderzoek gebruikte gebouwmodel.

- Het gebouw heeft een onbepaald aantal etages en een dak dat een tuinfunctie heeft. Een daktuin heeft meer invloed op de constructie van een bouwwerk met relatief weinig verdiepingen dan op de constructie van een bouwwerk met relatief veel verdiepingen.
- De constructie van het gebouw bestaat uit de volgende constructie-elementen: kolommen of wanden, vloeren en dakplaat.
- De vloerplaten en het dak zijn massieve betonnen platen, geproduceerd uit breedplaten. Het gebruik van kanaalplaten is af te raden, omdat het is af te raden om in een later stadium van de gebruiksfase sparingen in kanaalplaten te maken, bijvoorbeeld bij een verandering van gebruiksfunctie. Dit kan de sterkte van de constructie immers ernstig aantasten.
- Kolommen en wanden zijn prefab betonelementen (sterkteklasse C20/25). Er is gekozen om in dit onderzoek gebruik te maken van prefab betonelementen in het

gebouwmodel, omdat het bouwen met behulp van prefab betonelementen een relatief goedkope bouwtechniek is die rendabel is bij grote bouwprojecten als Nieuw Maaiveldprojecten.

- Vloeren zijn breedplaten, opgelegd op de kolomhoekpunten (in geval van kantoren en winkels) of op de wanden (in geval van woningen).
- De verschillende gebruiksfuncties (woningen, kantoren en winkels) vereisen een functiegerelateerde plaatsing van constructie-elementen. Kantoren en winkels hebben doorgaans een stramien (het patroon waarin kolommen of wanden zijn geplaatst) van kolommen met een hart-op-hartafstand van 8,1 m. Bij woningen zijn wanden doorgaans parallel geplaatst met een hart-op-hartafstand van 5,4 m (Van Vliet, 2007). Het stramien dat de plaats van kolommen en wanden bepaalt is voor drie verschillende functies als in figuur 12, 13, 14 en 15. Tevens is in deze figuren de belastingafdracht op de kolommen of wanden via de vloeren weergegeven.
- De stabiliteit van het gebouw wordt gewaarborgd door een stabiliteitselement en fundering. Deze elementen wordt in dit onderzoek niet in beschouwing genomen, omdat de berekening van de stabiliteit van de constructie enkel op ongefundeerde aannames zou berusten.

9.4.2 Voorschriften

Het gebouwmodel dient aan het bouwbesluit te voldoen, waarvan de relevante voorschriften in deze paragraaf genoemd worden. In het bouwbesluit wordt ook naar NEN-normen gerefereerd. Indien dit het geval is, wordt het betreffende NEN-nummer vermeld.

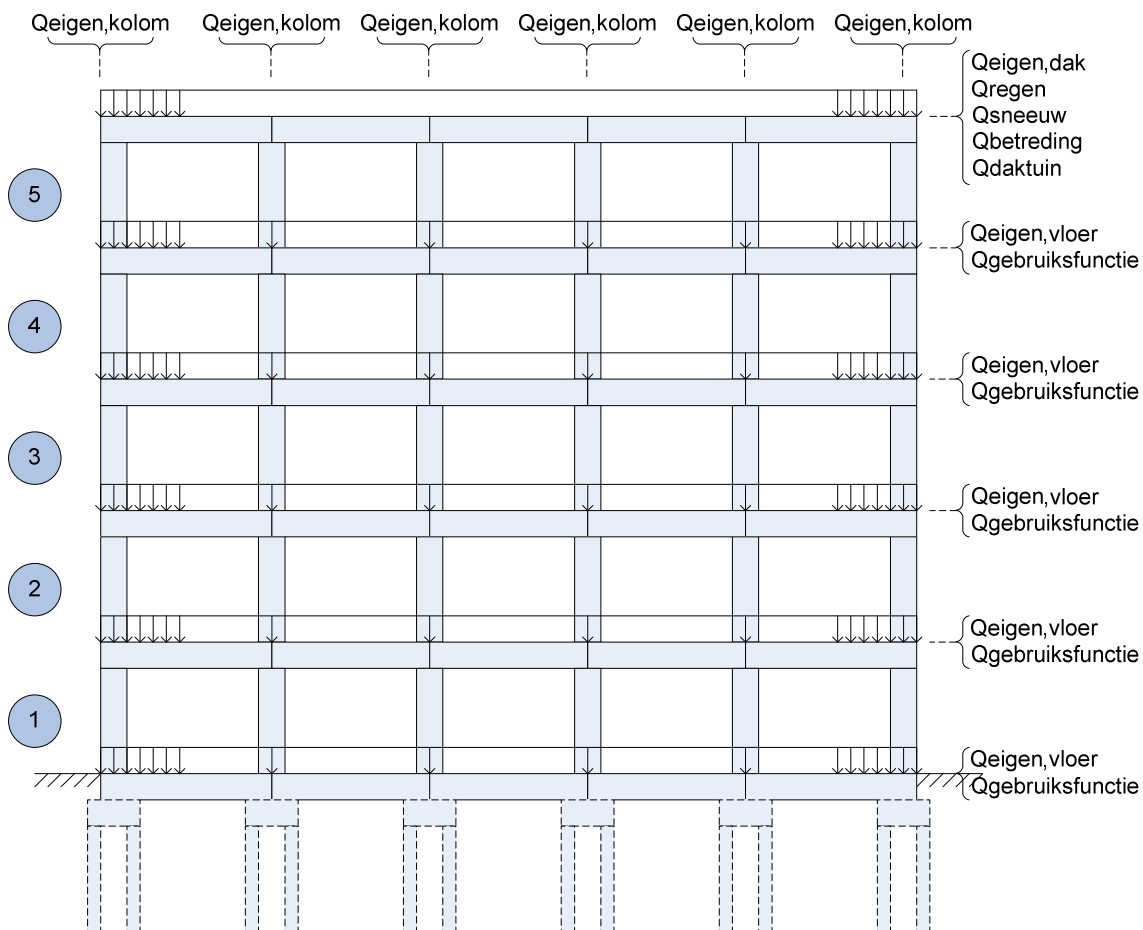
- Belastingen
 - Q_{daktuin} is variabel en afhankelijk van de daktuinsoort (zie hoofdstuk 7)
 - $Q_{\text{eigen,x}}$ is variabel en afhankelijk van de doorsnede van de vloer/dak/kolom (zie paragraaf 8.3)
 - $Q_{\text{regen}} = 50 \text{ kg per m}^2 = 0,50 \text{ kN/m}^2$
 - $Q_{\text{sneeuw}} = 56 \text{ kg per m}^2 = 0,56 \text{ kN/m}^2$
 - $Q_{\text{betreding}} = 100 \text{ kg per m}^2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$ (in geval van dak) of $250 \text{ kg per m}^2 = 2,50 \text{ kN/m}^2$ (in geval van structureel beloopbaar dak)
 - $Q_{\text{gebruiksfunctie}}$ is variabel en afhankelijk van de gebruiksfunctie:
 - Woning; $Q_{\text{gebruiksfunctie}} = 1,75 \text{ kN/m}^2$
 - Kantoor; $Q_{\text{gebruiksfunctie}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
 - Winkel; $Q_{\text{gebruiksfunctie}} = 4,0 \text{ kN/m}^2$ (NEN 6702, 2001)
- Minimale afmetingen volgens NEN 6720:
 - Massieve vloeren: plaatdikte minimaal 80 mm
Hierbij is echter geen rekening gehouden met eisen met betrekking tot brandwerendheid.

9.4.3 Gebouwmodel en plaats van belasting

In figuur 11 is aangegeven op welke plaatsen de verschillende belastingsoorten aangrijpen.

- $Q_{\text{eigen,x}}$, het eigen gewicht van de dakconstructie (betonnen plaat en kolommen of wanden), grijpt aan op de kolommen in deze constructie.

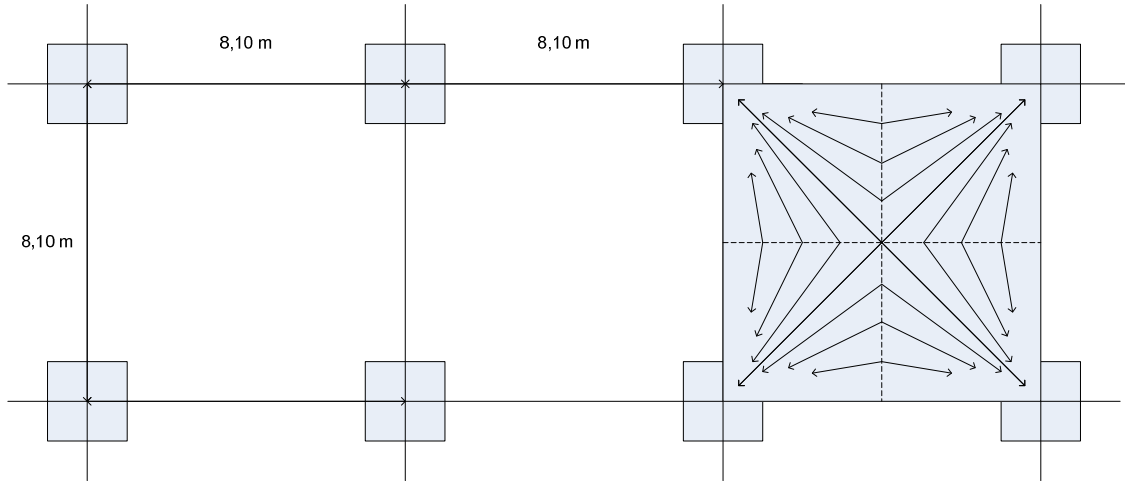
- Q_{regen} (het gewicht door water(accumulatie)) grijpt aan op de dakplaat.
- Q_{sneeuw} grijpt eveneens aan op de dakplaat.
- $Q_{\text{betreding}}$ grijpt aan op de dakplaat. Met betreding moet *altijd* rekening gehouden worden, maar niet in dezelfde mate. Indien een dak geschikt moet zijn voor incidentele betreding (bijvoorbeeld door een persoon met gereedschapskist), dan dient het dak daarvoor gedimensioneerd te zijn ($1,0 \text{ kN/m}^2$). Dit is bijvoorbeeld het geval in de situatie van een dak dat enkel bedoeld is om een waterwerende functie te hebben. Indien een dak structureel betreedbaar moet zijn (in het geval van een terrasfunctie), dan dient rekening gehouden te worden met een belasting van $2,5 \text{ kN/m}^2$.
- Q_{daktuin} grijpt aan op de dakplaat. Dit is het gewicht van de daktuin zelf.
- $Q_{\text{gebruiksfunctie}}$ grijpt aan op de vloeren van iedere etage. De grootte van deze belasting hangt af van de gebruiksfunctie en wordt voorgeschreven door NEN 6702.



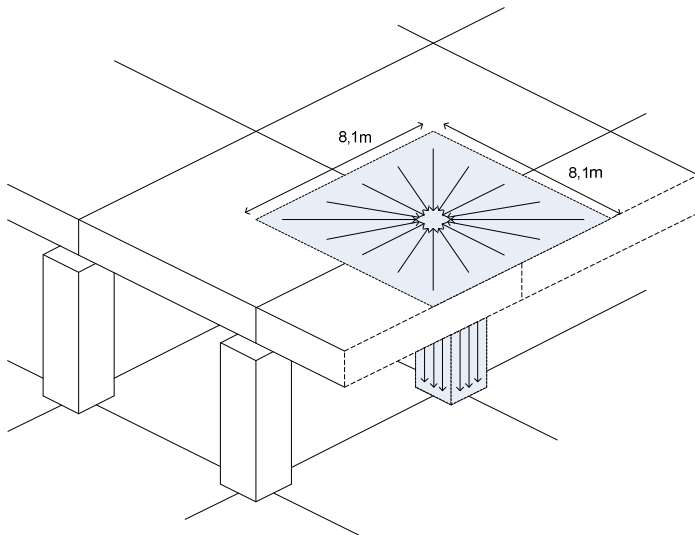
Figuur 11 – Dwarsdoorsnede van het gebouwmodel. In dit model zijn duidelijk de constructie-elementen vloer, dak en kolom of wand te onderscheiden. Tevens zijn in deze figuur de belastingen weergegeven die op de constructie werken.

In figuur 12, 13, 14 en 15 is het stramien van een kantoor en woning zichtbaar en is de belastingafdracht op de kolommen en wanden weergegeven.

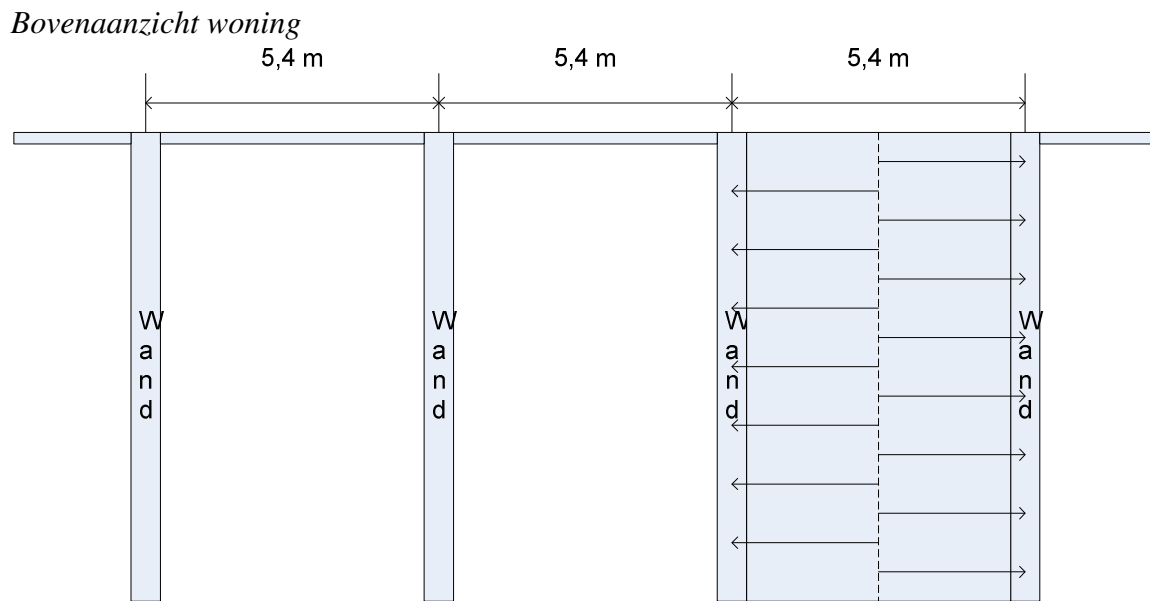
Bovenaanzicht kantoor en winkel



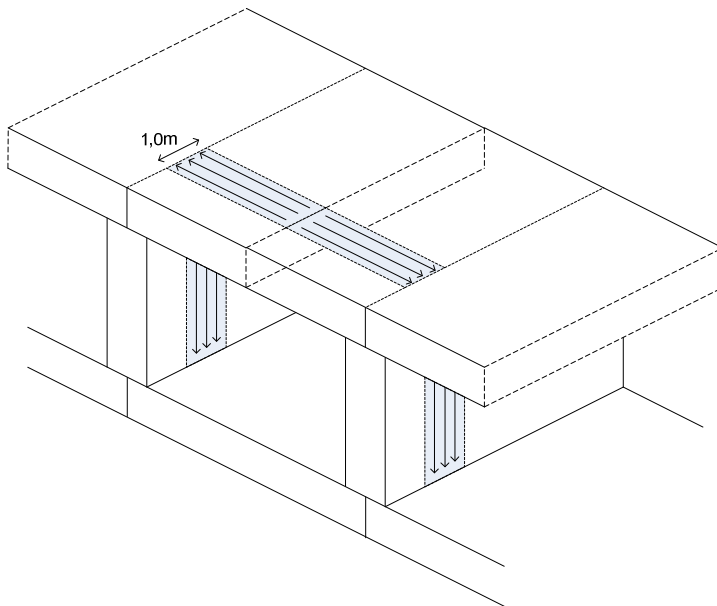
Figuur 12 – Stramien en belastingafdracht van een kantoor en winkel



Figuur 13 – Belastingafdracht in een kantoorgebouw in 3D



Figuur 14 – Stramien en belastingafdracht van een woning



Figuur 15 – Belastingafdracht bij woningen in 3D

9.5 Dimensionering

In deze paragraaf wordt de dimensionering van de constructie-elementen dak en vloeren behandeld. Dit gebeurt volgens onderstaand stappenplan.

1. Voor de gebruiksfuncties kantoren, woningen en winkels worden de verschillende belastinggevallen vastgelegd. Deze belastinggevallen zijn combinaties van de belastingen die in paragraaf 8.2 zijn genoemd. Een compleet overzicht van de belastinggevallen bij kantoren, woningen en winkels per daktype is

- weergegeven in bijlage 3. Deze belastinggevallen worden als “input-parameters” voor de volledige berekening beschouwd.
2. Per belastinggeval wordt de minimale benodigde doorsnede van het dak en de vloeren bepaald om de belasting te dragen. Uit dit gegeven volgt het eigen gewicht van de dakplaat dak en de vloeren.

9.5.1 Belastinggevallen

Voor kantoren, woningen en winkels gelden de belastinggevallen in tabel 6. Deze tabel is afgeleid uit het volledige overzicht van belastinggevallen in bijlage 3. De gegevens in deze tabel zijn input voor verdere berekeningen.

In dit onderzoek wordt gerekend met 4 verschillende soorten daktuinen (grasdak, vijver, hoge struiken en bomen tot 15 m) en de belasting bij geen daktuin. Dit is om de overzichtelijkheid te bevorderen.

Daktuinsoort	Belastinggeval bij kantoren		Belastinggeval bij woningen		Belastinggeval bij winkels	
	Veranderlijke belasting (kN/m ²)	Permanente belasting (kN/m ²)	Veranderlijke belasting (kN/m ²)	Permanente belasting (kN/m ²)	Veranderlijke belasting (kN/m ²)	Permanente belasting (kN/m ²)
Geen daktuin	Q _{betr} = 1 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 2,5	Q _{daktuin} = 0	Q _{betr} = 1 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 1,75	Q _{daktuin} = 0	Q _{betr} = 1 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 4,0	Q _{daktuin} = 0
Grasdak	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 2,5	Q _{daktuin} = 3,0	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 1,75	Q _{daktuin} = 3,0	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 4,0	Q _{daktuin} = 3,0
Vijver	Q _{betr} = 1 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 2,5	Q _{daktuin} = 5,25	Q _{betr} = 1 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 1,75	Q _{daktuin} = 5,25	Q _{betr} = 1 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 4,0	Q _{daktuin} = 5,25
Hoge struiken	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 2,5	Q _{daktuin} = 9,0	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 1,75	Q _{daktuin} = 9,0	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 4,0	Q _{daktuin} = 9,0
Boom tot 15 m	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 2,5	Q _{daktuin} = 20	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 1,75	Q _{daktuin} = 20	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,5 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 4,0	Q _{daktuin} = 20

Tabel 6 – Belastinggevallen bij verschillende gebruiksfuncties

9.5.2 Gestapelde kantoren en winkels

De doorsnede van een dakplaat van een complex dat bestaat uit gestapelde winkels is niet anders dan bij kantoren, omdat het aan te bevelen stramien hetzelfde is en er geen andere belastinggevallen optreden. Uit berekeningen (zie bijlage 4) volgt de doorsnede van de dakplaat bij verschillende soorten daktuinen. De doorsnede van de dakplaat is weergegeven in tabel 7. Ook is in deze tabel het eigen gewicht van het dak weergegeven ($Q_{\text{eigen,dak}}$). Het eigen gewicht is berekend door de doorsnede van het dak te vermenigvuldigen met het soortelijk gewicht van gewapend beton ($\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$). Deze doorsnedes van het dak voldoen aan eisen met betrekking tot sterkte en stijfheid. Sterkteberekeningen zijn weergegeven in bijlage 4.

Daktuinsoort	Doorsnede dakplaat (mm)	$Q_{\text{eigen,dak}}$ (kg/m ²)	$Q_{\text{eigen,dak}}$ (kN/m ²)
Geen daktuin	210	525	5,25
Grasdak	260	650	6,5
Vijver	260	650	6,5
Hoge struiken	300	750	7,5
Bomen tot 15 m	360	900	9

Tabel 7 – Doorsnede van de dakplaat van een kantoor bij verschillende daktuinsoorten

Deze doorsnedes van het dak voldoen aan eisen met betrekking tot stijfheid en sterkte. Deze berekeningen zijn uitgevoerd volgens NEN 6720, tabel 26. Hiervan is een voorbeeldberekening opgenomen in bijlage 8.

Volgens het Bouwbesluit dient een vloer van een kantoor en woning vanwege geluidsisolatie minimaal 280 mm dik te zijn (Van Vliet, 2007).

Vloer	Doorsnede vloer (mm)	$Q_{\text{eigen,vloer}}$ (kg/m ²)	$Q_{\text{eigen,vloer}}$ (kN/m ²)
Prefab beton	280	700	7,0

Tabel 8 – Doorsnede van een vloer van een kantoor of winkel

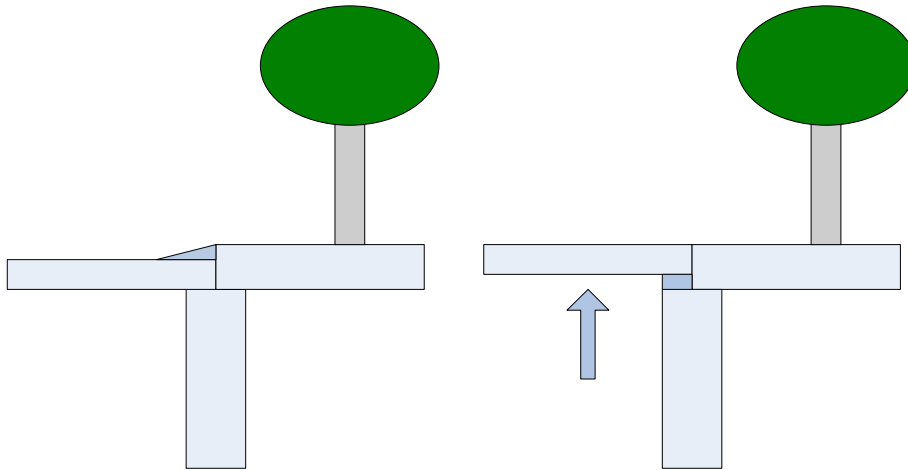
9.5.3 Gestapelde woningen

Uit berekeningen (zie bijlage 5) volgt de doorsnede van de dakplaat bij verschillende soorten daktuinen. De doorsnede van de dakplaat is weergegeven in tabel 9. Ook is in deze tabel het eigen gewicht van het dak weergegeven ($Q_{\text{eigen,dak}}$). Het eigen gewicht is berekend door de doorsnede van het dak te vermenigvuldigen met het soortelijk gewicht van gewapend beton ($\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$). Deze doorsnedes van het dak voldoen aan eisen met betrekking tot stijfheid en sterkte.

Daktuinsoort	Doorsnede dakplaat (mm)	$Q_{\text{eigen,dak}}$ (kg/m ²)	$Q_{\text{eigen,dak}}$ (kN/m ²)
Geen daktuin	150	375	3,75
Grasdak	160	400	4,0
Vijver	170	425	4,25
Hoge struiken	200	500	5,0
Bomen tot 15 m	240	600	6,0

Tabel 9 – Doorsnede van de dakplaat van een kantoor bij verschillende daktuinsoorten

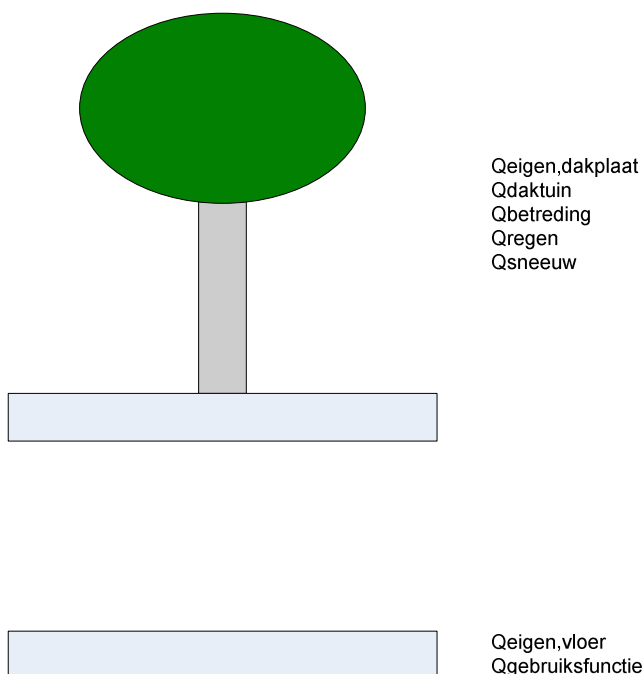
Een daktuin kan een combinatie zijn van verschillende daktuinsoorten. Door ongelijke diktes van verschillende dakdelen kunnen hoogteverschillen optreden (figuur 16). Een mogelijke oplossing voor dit probleem is het gebruiken van kolommen die zijn voorzien van een gedeeltelijk verhoogde kop, waardoor het loopvlak van de dakplaten op dezelfde hoogte ligt.



Figuur 16 – Hoogteverschillen bij ongelijke dikte van dakplaten

9.6 Conclusie

Om een constructeur een *tool* te kunnen geven om snel te kunnen berekenen welke invloed een daktuin heeft op de constructie van een gebouw, is de methode “equivalent aantal verdiepingen” bruikbaar. Deze methode geeft aan met welk aantal verdiepingen het gewicht van een bepaalde soort daktuin is te vergelijken. Deze informatie is bruikbaar voor constructeurs om snel de veranderingen in de dimensionering van een constructie te kunnen bepalen.



Figuur 17 – Belastingen op de dakplaat en op een verdiepingsvloer

In tabellen 10, 11 en 12 is het equivalente aantal verdiepingen per daktuinsoort en gebruiksfunctie te vinden. In deze tabellen wordt met “dak” de combinatie van daktuin en dakplaat bedoeld. Een voorbeeldberekening van deze equivalenten is in bijlage 6 opgenomen.

Kantoren			
Daktuinsoort	Gewicht dak (kN/m ²)	Gewicht vloer (kN/m ²)	Equivalent aantal verdiepingen
Geen daktuin	9,4	12,15	0,8
Grasdak	16,7	12,15	1,4
Vijver	17,2	12,15	1,4
Hoge struiken	25,1	12,15	2,1
Boom tot 15 m	40,1	12,15	3,3

Tabel 10 – Equivalent aantal verdiepingen van daktuinen op kantoren

Woningen			
Daktuinsoort	Gewicht dak (kN/m ²)	Gewicht vloer (kN/m ²)	Equivalent aantal verdiepingen
Geen daktuin	7,6	11	0,7
Grasdak	13,7	11	1,2
Vijver	14,5	11	1,3
Hoge struiken	22,1	11	2,0
Boom tot 15 m	36,5	11	3,3

Tabel 11 – Equivalent aantal verdiepingen van daktuinen op woningen

Winkels			
Daktuinsoort	Gewicht dak (kN/m ²)	Gewicht vloer (kN/m ²)	Equivalent aantal verdiepingen
Geen daktuin	9,4	14,4	0,7
Grasdak	16,7	14,4	1,2
Vijver	17,2	14,4	1,2
Hoge struiken	25,1	14,4	1,7
Boom tot 15 m	40,1	14,4	2,8

Tabel 12 – Equivalent aantal verdiepingen van daktuinen op winkels

Deze tabellen moet als volgt geïnterpreteerd worden:

Een kantoorgebouw met 1 gebruikslaag waar geen daktuin op ligt, moet gedimensioneerd worden op het gewicht van 1 + 0,8 verdiepingen. Als een dak met hoge struiken op het gebouw aangelegd moet worden, moet gedimensioneerd worden als een gebouw met 1 + 2,1 = 3,1 gebruikslagen. Het moge duidelijk zijn dat deze gewichtstoename van 72 % van grote invloed is op de afmetingen of materiaaleigenschappen en kosten van de constructie. Het is de taak van de constructeur om hieraan concrete waarden te hechten.

Een belangrijke kanttekening bij het gebruik van dikkere kolommen in hetzelfde stramien is de functionaliteit. Dikkere kolommen kunnen de functionaliteit van een gebouw verminderen doordat er minder gebruiksoppervlak beschikbaar is. In het geval van bijvoorbeeld een parkeergarage kunnen 10 centimeter dikkere kolommen het verschil maken tussen een krappe, gebruiksonvriendelijke en een bruikbare parkeervoorziening. Niet alleen de functionaliteit van een gebouw kan afnemen, maar ook het rendement dat behaald kan worden op de investeringskosten door verminderd gebruiksoppervlak.

Bij onacceptabele afname van functionaliteit of rendabelheid dienen er andere constructieve aanpassingen getroffen te worden, zoals:

- Het gebruik van een beton met een hogere sterkte, waardoor slankere kolommen ontstaan
- Het realiseren van grotere overspanningen door gebruik te maken van bijvoorbeeld kanaalplaten

10 Constructiekosten en kentallen

10.1 Definitie constructiekosten

NEN 2631 stelt een indeling voor investeringskosten voor gebouwen. Deze definitie wordt in dit rapport overgenomen. In dit onderzoek worden de kosten van bouwkundige werken en vaste inrichting in de kostengroep bouwkosten behandeld.

De kosten van bouwkundige werken worden beperkt tot de kosten van de daktuin zelf en de kosten van de dakplaat. Deze kosten worden vergeleken met de kosten van een bouwwerk zonder daktuin. De gehanteerde prijzen, welke in bijlage 7 zijn opgenomen, zijn netto prijzen. Dat betekent dat algemene bouwplaatskosten, algemene kosten en winst en risico niet worden meegerekend.

Om gegevens over de kosten van een daktuin per vierkante meter ter beschikking te hebben, geeft de informatie van paragraaf 10.2 een prijsindicatie.

Kostengroepen	Kostensoorten
Grondkosten	Wervingskosten
	Infrastructurele voorzieningen
	Bouwrijp maken
Bouwkosten	<i>Bouwkundige werken</i>
	Installaties
	<i>Vaste inrichting</i>
Inrichtingskosten	Bedrijfsinstallaties
	Losse inrichting
	Bouwkundige werken
Bijkomende kosten	Bouwvoorbereiding
	Financiering en verzekering

Tabel 13 - De definitie investeringskosten volgens NEN 2631

10.2 Constructiekosten en kentallen

10.2.1 Gestapelde kantoren en winkels

De kosten van de dakplaat zijn gebaseerd op de doorsnede van de dakplaat zoals deze berekend is in hoofdstuk 9 en kostengegevens uit een interview met Peter Bouma van ABT. De kostengegevens van de daktuin zelf zijn terug te vinden in hoofdstuk 8.

Daktuinsoort	Doorsnede dakplaat (mm)
Geen daktuin	210
Grasdak	260
Vijver	260
Hoge struiken	300
Bomen tot 15 m	360

Tabel 14 – Doorsnede dakplaat van kantoren en winkels bij verschillende daktuinsoorten

In tabel 15 is af te lezen wat de verschillende typen daktuin per vierkante meter kosten, wat de kosten van de dakplaat zijn en wat de meerkosten van het dak zijn ten opzichte van een dak zonder daktuin. Deze gegevens zijn een indicator voor de extra kosten die gemaakt worden bij het aanleggen van een daktuin bij een Nieuw Maaiveldproject.

Daktuinsoort	Kosten daktuin (€ / m ²)	Kosten dakplaat (€ / m ²)	Meerkosten t.o.v. geen daktuin (€ / m ²)
Geen daktuin	0	133	-
Grasdak	40	108	15
Vijver	150	148	165
Hoge struiken	100	135	102
Bomen tot 15 m	Prijs sterk afhankelijk van boomsoort	150	

Tabel 15 – Meerkosten van een daktuin ten opzichte van geen daktuin. De gegevens zijn gebaseerd op wijzigingen aan de dakplaat en de kosten van de daktuin zelf.

10.2.2 Gestapelde woningen

In tabel 17 is af te lezen wat de verschillende typen daktuin per vierkante meter kosten, wat de kosten van de dakplaat zijn en wat de meerkosten van het dak zijn ten opzichte van een dak zonder daktuin. Deze gegevens zijn een indicator voor de extra kosten die gemaakt worden bij het aanleggen van een daktuin bij een Nieuw Maaiveldproject.

Daktuinsoort	Doorsnede dakplaat (mm)
Geen daktuin	150
Grasdak	160
Vijver	170
Hoge struiken	200
Bomen tot 15 m	240

Tabel 16 - Doorsnede dakplaat van woningen bij verschillende daktuinsoorten

Daktuinsoort	Kosten daktuin (€ / m ²)	Kosten dakplaat (€ / m ²)	Meerkosten t.o.v. geen daktuin (€ / m ²)
Geen daktuin	0	95	-
Grasdak	40	67	12
Vijver	150	97	152
Hoge struiken	100	90	95
Bomen tot 15 m	Prijs sterk afhankelijk van boomsoort	100	

Tabel 17 – Meerkosten van een daktuin ten opzichte van geen daktuin. De gegevens zijn gebaseerd op wijzigingen aan de dakplaat en de kosten van de daktuin zelf.

11 Conclusies en aanbevelingen

Aan de hand van de vier gestelde deelvragen in hoofdstuk 6 wordt een beantwoordinge gegeven van de hoofdvraag.

Tijdens de fase waarin de uitgangspunten van een bouwproces worden geformuleerd is het belangrijk om vast te leggen welk doel bereikt moet worden met een daktuin om zo een goede inschatting van de kosten van de daktuin te kunnen maken. Tijdens de ontwerp-, uitwerkings- en bouwphase dient een deskundige, liefst gecertificeerde daktuinspecialist betrokken te worden.

Daktuinen zijn te categoriseren in extensieve en intensieve daktuinen. Extensieve daktuinen zijn niet structureel beloopbaar hebben een lage begroeiing, wegen daardoor minder zwaar dan intensieve daktuinen en hebben een esthetische, isolerende en hydrologische functie. Intensieve daktuinen zijn structureel beloopbaar en kunnen vele malen zwaarder zijn dan een extensieve daktuin. Intensieve daktuinen bestaan uit relatief hoge begroeiing, verhardingen of constructies. Zij hebben, naast de functies van een extensieve daktuin, ook een recreatieve functie.

Bij het doorrekenen van constructieve aanpassingen aan de draagconstructie van een Nieuw Maaiveldproject dienen keuzes gemaakt te worden die niet voldoende kunnen worden beargumenteerd. De keuze uit verschillende manieren om een bouwwerk te versterken is groot en afhankelijk van omgevingsfactoren die in dit onderzoek niet bekend zijn. Geconcludeerd kan dus worden dat er geen eenduidig antwoord is te geven op de vraag welke constructieve aanpassingen nodig zijn bij het versterken van een constructie. Vaak zullen de dimensies van een draagconstructie toe moeten nemen, maar dit kan problemen opleveren.

Om constructeurs een *tool* te geven bij het doorrekenen van een bouwwerk is de methode equivalent aantal verdiepingen bruikbaar. Het equivalent aantal verdiepingen kan op de volgende wijzen geïnterpreteerd worden:

- Bij het dimensioneren van een constructie van een Nieuw Maaiveldproject kan een overcapaciteit gerealiseerd worden ter grootte van het equivalent aantal verdiepingen, zodat in een later stadium van de levenscyclus van het gebouw er voldoende draagcapaciteit is.
- Aan de hand van de methode equivalent aantal verdiepingen is duidelijk zichtbaar hoe groot het gewicht van een daktuin is ten opzichte van het gewicht waarop de constructie is berekend. Dit gegeven kan daktuinontwerpers een indicatie geven van de te verwachten veranderingen in de constructie. De constructieve wijzigingen moeten door een constructeur bepaald worden. Over constructieve wijzigingen is in dit onderzoek geen informatie met voldoende zekerheid te geven.

De kosten van een daktuin worden in dit onderzoek beperkt tot de kosten van de daktuin ten opzichte van een dak zonder tuin. Het blijkt dat een daktuin met gras relatief goedkoop is, terwijl een dak met vijver of hoge struiken circa €150 / m² respectievelijk € 100 / m² kost. De kosten van een daktuin met bomen tot 15 m is sterk afhankelijk van de gekozen boomsoort.

Het is aan te bevelen om het doorrekenen van de constructie over te laten aan een constructeur die op de hoogte is van de eisen en randvoorwaarden bij een specifiek

project. Bij deze berekeningen kan de constructeur gebruik maken van de methode equivalent aantal verdiepingen.

12 Bijlagen

12.1 Bijlage 1 – Algemene informatie daktuinen

Onderstaande informatie is ontleend aan het document Daken in 't groen (SBR, 2007).

Indeling en benaming

“De benaming voor de verschillende soorten begroeide daktuinen hebben de laatste jaren een ontwikkeling doorgemaakt. Termen als grasdak, kruidendak en klassiek tuindak raken steeds meer in onbruik. In deze handleiding is ervoor gekozen slechts twee hoofdaanduidingen te hanteren: vegetatiedak en tuindak. Vegetatiedaken worden gekenmerkt door een zogenoemde extensieve begroeiing. Dit is een begroeiing die zich ontwikkelt tot een min of meer ecologisch stabiele plantengemeenschap die zichzelf in stand kan houden met een minimum aan onderhoud. Over het algemeen betreft dit plantengemeenschappen die bestan uit vetplanten zoals sedums en droogteminnende kruiden en grassen, die ook van nature in een droog, schraal (arm) milieu voorkomen.

Bij tuindaken is sprake van een zogenoemde intensieve begroeiing. Dit is een begroeiing waarbij het noodzakelijk is voor de instandhouding van de beplanting (uitgebreid) onderhoud te plegen. Voor dit onderhoud moet men denken aan water geven, snoeien, bemesten, onkruid wieden enz. Hiervan uitgaande komen we tot een indeling zoals aangegeven in tabel 18.

Soort	Type begroeiing	Planten	Opbouwhoogte (mm)
Vegetatiedak	Extensief	Mos-sedum Sedum Sedum-kruiden Gras-kruiden	Tot circa 150
Tuindaken	Intensief	Bodembedekkers Gazons Lage heesters Hoge heesters Bomen	Vanaf circa 150

Tabel 18 – Verschillende soorten daktuin

Vegetatiedak

Zoals al aangegeven in tabel 18 zijn voor vegetatiedaken diverse combinaties mogelijk van mos, sedum en kruiden en eventueel ook gras. Afhankelijk van de gekozen combinatie kan de substraatlaagdikte variëren van 20 tot 150 mm. Er zijn vele projecten met een mos-sedumsysteem met een opbouwhoogte van 20 tot 70 mm en een leeftijd van 10 tot 20 jaar die nog perfect functioneren. Eén van de bekendste voorbeelden is het dak op Schiphol Plaza. De zeer lichte mos-sedumcombinaties die diverse firma's in rol- of plaatvorm leveren, zijn nog steeds behoorlijk populair. Dit komt niet alleen omdat fraaie resultaten mogelijk zijn, maar zeker door het lage gewicht en natuurlijk de relatief lage prijs.

Tuindak

Bij tuindaken kan men onderscheid maken tussen de klassieke opbouw met echte aarde als substraat en grind als drainagelaag en de moderne opbouw, waarbij veel lichtere

substraatmengsels worden toegepast en de drainagelaag uit kunststof of mineraal bestaat. De klassieke opbouw komt nog een enkele keer voor, maar verdwijnt. In deze handleiding wordt voor de substraatlaagdikte 150 mm aangehouden als scheiding tussen vegetatiedak en een tuindak. Deze maat is echter niet gestandaardiseerd.”

In bovenstaande tekst wordt gesproken over vegetatiedaken en tuindaken. Om de leesbaarheid van dit rapport te bevorderen worden beide begroeide daken “daktuinen” genoemd. Er wordt dus geen onderscheid gemaakt in de naamgeving op basis van de vegetatievorm.

Voor meer informatie over de lagenstructuur van een daktuin, eisen aan daktuinconstructies, het ontwerp van een daktuin of informatie over specifieke bodemmaterialen is het raadzaam om de documenten “Daken in ’t groen” en “Dakbegroeiingsrichtlijn” van SBR (Stichting Bouwresearch Rotterdam) te raadplegen.

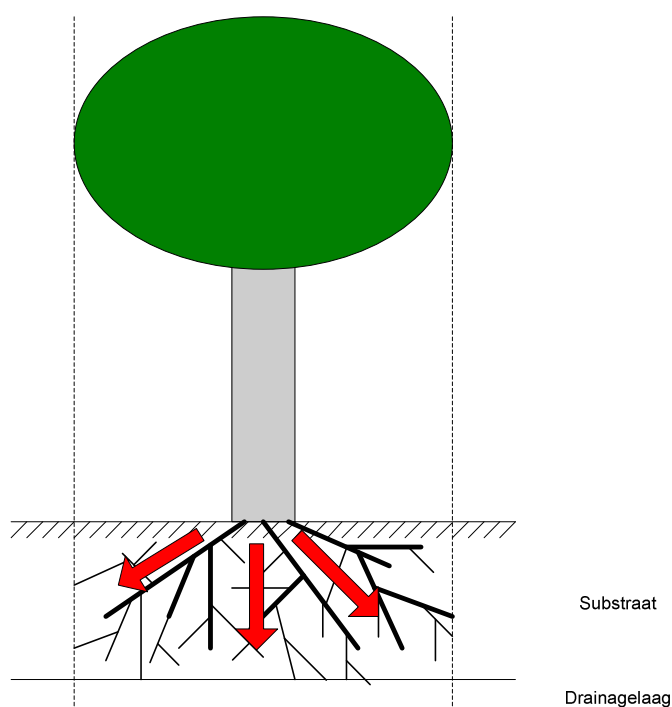
12.2 Bijlage 2 – Gewicht van daktuinen met bomen tot 15 meter

In dit onderzoek is een boom het zwaarste landschapselement (per vierkante meter) dat kan worden toegepast in een daktuin. Een grote heester veroorzaakt een verdeelde belasting van 40 kg/m^2 , een boom tot 150 kg/m^2 . Het Duitse onderzoeksinstituut FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) heeft in 2006 het gewicht van bomen onderzocht. De resultaten zijn weergegeven in tabel 19.

Vegetatievorm	Dakbelasting (kg/m^2)	Dakbelasting (kN/m^2)
Grote heesters tot 6 m hoog	40	0,4
Kleine bomen tot 10 m hoog (bomen van derde grootte)	60	0,6
Bomen tot 15 m hoog (bomen van tweede grootte)	150	1,5

Tabel 19 – Dakbelasting van verschillende grote vegetatievormen, onderzocht door het Duitse FLL

Het blijkt dat het gewicht van een boom zich over een oppervlak verspreidt. Via de wortels verdeelt een boom het gewicht van zijn stam, takken en bladeren over een gebied dat (ongeveer) even breed is als zijn kruin (Fleuren, 2007) (zie figuur 18).



Figuur 18 – Gewichtsverdeling van een boom via wortels. De wortels van een boom reiken in het algemeen tot de loodrechte begrenzing van de kruin.

Een boom van de tweede grootte heeft een substraatpakket nodig van minimaal 1 m (FLL, 2006). Bij een volledig gesatureerd substraatpakket (bomenzand) van 1 m^3 treedt een belasting op van 20 kN/m^2 . Zie hiervoor onderstaande berekening.

Element	Belasting (kN/m²)
Boom tot 15 m hoog	1,5
Substraat	18
Drainage	0,5
<i>Totaal</i>	20

Enkele gegevens van substraattypes zijn te vinden in tabel 20.

Substraattype	Substraat materialen	Volumegewicht (kg/m³)	
		Droog	Nat
Ter plaatse gemengd stortgoed	Aarde-schuim	950-1200	1300-1500
	Aarde-schuim + toeslag	1200-1450	1600-1900
	Zand + toeslag	1200-1350	1550-1750
Voorgemengde natuurlijke materialen	Turf-mineraal	200-600	1000-1300
	Humus-houtsnippers	500-600	1100-1300
Minerale korrels	Lava	1000-1250	1500-1750
	Bims-lava	750-900	1350-1550
	Geëxpandeerde klei	550-850	1000-1300
	Slakken	800-900	1350-1450
Substraatplaten	Gemodificeerd kunststofschuim	80-120	800-1000
	Steenwol	120-160	800-1000
Vegetatiematten	Polyamide-vlechtmat + toeslag	Verwaar- loosbaar	120-180
	Kokosmat + toeslag		200-300
Grondmengsels, zandmengsels	Grondmengsels met minerale en organische toevoegingen	Niet bekend	1600-1900
	Zandmengsels met minerale en organische toevoegingen (bomenzand)	Niet bekend	1600-1800

Tabel 20 – Gewichten van enkele substraattypes

Enkele gewichten van volledig gesatureerde materialen voor drainagelagen zijn te vinden in tabel 21.

Materiaal	Afmeting in mm	Dakbelasting/cm dikte	
		kg per m²	kN/m²
Drainagematten			
Structuurvliesmatten	1,0	5,6-7,5	0,056-0,075
Kunststof noppenmatten	1,2	2,1-2,3	0,021-0,023
Vezelplechtwerkmatten	1,0	2,2-2,3	0,022-0,023
Vezelplechtwerkmatten	2,2	2,2-2,3	0,022-0,023
Schuimstof vlokkenmatten	3,5	5,6-5,9	0,056-0,059
Drainageplaten			
Rubbernoppenplaten	2,0	11,0-13,0	0,110-0,130

Schuimstof zonder opstuwing	5,0	1,8-2,8	0,018-0,028
Schuimstof zonder opstuwing	6,5	2,0-2,8	0,020-0,028
Profielpl. harde kunststof met opstuwing	4,0	19,0-21,0	0,190-0,210
Profielpl. harde kunststof met opstuwing	6,0	24,0-26,0	0,240-0,260
Profielpl. schuimstof met opstuwing	6,0	16,0-18,0	0,160-0,180
Profielpl. schuimstof met opstuwing	8,0	24,0-27,0	0,240-0,270
Profielpl. schuimstof met opstuwing	10,0	33,0-36,0	0,330-0,360
Profielpl. schuimstof met opstuwing	12,0	44,0-46,0	0,440-0,460

Tabel 21 – Enkele gegevens van drainagelagen (SBR, 2006).

12.3 Bijlage 3 – Overzicht belastinggevallen

Dit overzicht van belastinggevallen geeft inzicht in de verschillende situaties die doorgerekend dienen te worden. Voor kantoren, woningen en winkels is per daktype aangegeven hoe groot de belasting per vierkante meter is. Een aantal belastingen gelden als input voor berekeningen. Met deze berekeningen worden enkele output-gegevens verkregen, waarmee verdere berekeningen gedaan kunnen worden.

	Input / output	Kantoren		Woningen		Winkels	
		Variabele belasting (kN/m ²)	Permanente belasting (kN/m ²)	Variabele belasting (kN/m ²)	Permanente belasting (kN/m ²)	Variabele belasting (kN/m ²)	Permanente belasting (kN/m ²)
Geen daktype	I	Q _{betr} = 1,0 Q _{regen} = 0,50 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 2,5	Q _{daktype} = 0	Q _{betr} = 1,0 Q _{regen} = 0,50 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 1,75	Q _{daktype} = 0	Q _{betr} = 1,0 Q _{regen} = 0,50 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 4,0	Q _{daktype} = 0
	O		Q _{eigen, dak} = 5,25 Q _{eigen, vloer} = 7,0		Q _{eigen, dak} = 2,75 Q _{eigen, vloer} = 7,0		Q _{eigen, dak} = 4,25 Q _{eigen, vloer} = 7,0
Grasdak	I	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,50 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 2,5	Q _{daktype} = 3,0	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,50 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 1,75	Q _{daktype} = 3,0	Q _{betr} = 2,5 Q _{regen} = 0,50 Q _{sneeuw} = 0,56 Q _{gebr.func} = 4,0	Q _{daktype} = 3,0
	O		Q _{eigen, dak} = 6,5 Q _{eigen, vloer} = 7,0		Q _{eigen, dak} = 4,0 Q _{eigen, vloer} = 7,0		Q _{eigen, dak} = 6,0 Q _{eigen, vloer} = 7,0

Vijver	I	$Q_{betr} = 1,0$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 2,5$	$Q_{daktuin} = 6,5$	$Q_{betr} = 1,0$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 1,75$	$Q_{daktuin} = 5,25$	$Q_{betr} = 1,0$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 4,0$	$Q_{daktuin} = 5,25$
	O		$Q_{eigen, dak} = 6,25$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$		$Q_{eigen, dak} = 4,25$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$		$Q_{eigen, dak} = 6,25$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$
Hoge struiken	I	$Q_{betr} = 2,5$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 2,5$	$Q_{daktuin} = 9,0$	$Q_{betr} = 2,5$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 1,75$	$Q_{daktuin} = 9,0$	$Q_{betr} = 2,5$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 4,0$	$Q_{daktuin} = 9,0$
	O		$Q_{eigen, dak} = 7,5$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$		$Q_{eigen, dak} = 5,0$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$		$Q_{eigen, dak} = 7,5$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$
Bomen tot 15 m	I	$Q_{betr} = 2,5$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 2,5$	$Q_{daktuin} = 20$	$Q_{betr} = 2,5$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 1,75$	$Q_{daktuin} = 20$	$Q_{betr} = 2,5$ $Q_{regen} = 0,50$ $Q_{sneeuw} = 0,56$ $Q_{gebr.func} = 4,0$	$Q_{daktuin} = 20$
	O		$Q_{eigen, dak} = 9,0$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$		$Q_{eigen, dak} = 6,0$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$		$Q_{eigen, dak} = 9,0$ $Q_{eigen, vloer} = 7,0$

Tabel 22 – Belastinggevallen

12.4 Bijlage 4 – Berekening doorsnede dakplaat en vloer van kantoor en winkels

Stijfheid

In figuur 11 is geen duidelijk onderscheid gemaakt tussen de dimensionering van het dak en de vloeren. Hoewel zij functioneel sterk van elkaar verschillen, wordt de doorsnede van beide op dezelfde manier berekend. De doorsnede van de dakplaat is afhankelijk van het gewicht dat rust op deze plaat en is berekend met de volgende formules. Deze formules zijn algemeen bekend in de mechanica.

$$w_{\max} = 0,003l = \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot b \cdot l^4}{E \cdot I} \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (2)$$

Waarin;

- $w_{\max}$ is de maximaal toelaatbare doorbuiging van een vloer onder invloed van variabele en permanente belasting (zie NEN 6702, pag 67) [m]. Dit vergeetmijnetje geldt voor liggers die vrij zijn opgelegd op twee steunpunten. Deze situatie in de mechanica komt het best overeen met de prefab bouwwijze in dit onderzoek.
- q_{var} is de variabele belasting op de vloer [kN/m^2]. De waarde van deze variabele belasting is een belastinggeval, weergegeven in bijlage 3.
- q_{perm} is de permanente belasting op de vloer [kN/m^2]. De waarde van deze variabele belasting is een belastinggeval, weergegeven in bijlage 3.
- γ_{var} is de veiligheidsfactor voor variabele belasting. Deze bedraagt 1,5 (NEN 6702).
- γ_{perm} is de veiligheidsfactor voor permanente belasting. Deze bedraagt 1,2 (NEN 6702).
- b is de breedte van een strekkende meter vloer die ondersteund dient te worden [m]. In dit geval is dat 8,1 m.
- l is de lengte van de overspanning [m]. In het geval van kantoren is deze overspanning 8,1 m.
- E is de elasticiteitsmodulus van beton. In het geval van sterkteklasse C20/25 is deze 28.500 N/mm^2 , ofwel $28,5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$.
- I is het traagheidsmoment van de doorsnede [m^4].
- h is de doorsnede van de vloer/dakplaat [m].

Het traagheidsmoment I geldt voor een ongescheurde doorsnede. Deze ideale situatie blijkt in de praktijk niet haalbaar te zijn doordat wapeningsstaal altijd scheurvorming in beton veroorzaakt. NEN 6702 schrijft voor:

$$EI_{\text{rep}} = \alpha \cdot EI_{\text{ongescheurd}}, \text{ waarbij } \alpha = 0,60.$$

Om tot een gecorrigeerd traagheidsmoment te komen wordt het theoretische traagheidsmoment gedeeld door α om tot het werkelijk benodigde traagheidsmoment te komen (traagheidsmoment in gescheurde toestand).

In de situatie waarin geen daktuin wordt aangelegd treedt een variabele belasting op van:

Belastingstype	Belasting (kN/m ²)
Betreding	1,0
Regen	0,5
Sneeuw	0,56
<i>Totaal</i>	<i>2,06</i>

De benodigde doorsnede van het dak is berekend volgens bovenstaande methode. Een voorbeeldberekening:

$$\begin{aligned}
 w_{\max} &= 0,003l = 0,003 \cdot 8,1m = 0,0243m \\
 &= \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot b \cdot l^4}{E \cdot I} \\
 &= \frac{5}{384} \cdot \frac{(2,06 \cdot 1,5 + 0 \cdot 1,2) \cdot 8,1 \cdot 8,1^4}{28,5 \cdot 10^6 \cdot I} \Rightarrow I_{\text{rep}} = 2,025 \cdot 10^{-3} m^4 \\
 I_{\text{ongescheurd}} &= \frac{2,025 \cdot 10^{-3}}{0,60} = 3,375 \cdot 10^{-3} m^4 \\
 I_{\text{ongescheurd}} &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 8,1 \cdot h^3 \\
 h &= 170mm
 \end{aligned}$$

Controle van doorbuiging door eigen gewicht:

h wordt verhoogd tot 210 mm door de invloed van het eigen gewicht op de doorbuiging.

$$\begin{aligned}
 w_{\max} &= 0,003l = 0,003 \cdot 8,1m = 0,0243m \\
 w &= \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot b \cdot l^4}{E \cdot I} \\
 &= \frac{5}{384} \cdot \frac{(2,06 \cdot 1,5 + (0 + 0,21 \cdot 25) \cdot 1,2) \cdot 8,1 \cdot 8,1^4}{28,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{12} \cdot 8,1 \cdot 0,21^3} \\
 &= 0,0234 \leq 0,0243m
 \end{aligned}$$

Het resultaat is in tabel 23 opgenomen.

Daktuinsoort	Doorsnede dakplaat (mm)
Geen daktuin	210
Grasdak	260
Vijver	260
Hoge struiken	300
Boom tot 15 m	360

Tabel 23 – Doorsnede van de dakplaat van een kantoor bij verschillende daktuinsoorten

In het geval van een vloer dient een minimale dikte van 280 mm aangehouden te worden in verband met geluidsisolatie (NEN 6702). Deze vloerdikte is ruimschoots genoeg voor het dragen van de belasting van een kantoor of woning

Sterkte

Belasting door moment

Deze berekening is gemaakt volgens NEN 6720, artikel 7.5.3. en tabel 26 uit deze norm.

Een plaat die puntvormig ondersteund wordt (op de hoekpunten) heeft een maatgevend moment van:

$$M = 0,001 \cdot p \cdot l^2 \cdot \text{coefficient}$$

De bedoelde coëfficiënt is af te lezen in tabel 26 van NEN 6720. Bij een lengte/breedte verhouding ($l_y/l_x = 8,1 \text{ m} / 8,1 \text{ m} = 1$) is deze coëfficiënt gelijk aan 112.

Het maatgevend moment in de dakplaat is dan:

In geval van geen daktuin

$$M_{\max} = 0,001 \cdot p \cdot l^2 \cdot \text{coefficient} = 0,001 \cdot (2,06 \cdot 1,5 + (0 + 0,21 \cdot 25) \cdot 1,2) \cdot 8,1^2 \cdot 112 = 69 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\max} = 15 \text{ N/mm}^2 = \frac{M}{W} = \frac{69 \text{ kNm}}{W} \Rightarrow W = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot h^2 \Rightarrow h = 0,017 \text{ m}$$

De berekende doorsnede om aan de stijfheidsvoorwaarde te voldoen is groter, de doorsnede om aan de sterkte-eisen te voldoen is dus niet maatgevend.

In geval van bomen tot 15 m

$$M_{\max} = 0,001 \cdot p \cdot l^2 \cdot \text{coefficient} = 0,001 \cdot (3,56 \cdot 1,5 + (20 + 0,36 \cdot 25) \cdot 1,2) \cdot 8,1^2 \cdot 112 = 295 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\max} = 15 \text{ N/mm}^2 = \frac{M}{W} = \frac{295 \text{ kNm}}{W} \Rightarrow W = 19,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot h^2 \Rightarrow h = 0,34 \text{ m}$$

De berekende doorsnede om aan de stijfheidsvoorwaarde te voldoen is groter, de doorsnede om aan de sterkte-eisen te voldoen is dus niet maatgevend.

Belasting door dwarskracht

Om de dwarskracht bij een oplegging te bepalen wordt het model van belastingafdracht van paragraaf 9.4.3 opnieuw gebruikt.

De dwarskracht in de hoekpunten van de dakplaat, welke gelijk is aan de oplegreacties in de opleggingen, hebben een waarde:

$$V_d = (q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot A$$

In het geval van géén daktuin is V_d :

$$V_d = (q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot A = ([q_{\text{betr}} + q_{\text{regen}} + q_{\text{sneeuw}}] \cdot \gamma_{\text{perm}} + [q_{\text{daktuin}} + q_{\text{eigen,vloer}}] \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot A$$

$$= ([1,0 + 0,50 + 0,56] \cdot 1,5 + [0 + 0,21 \cdot 25] \cdot 1,2) \cdot \frac{1}{4} \cdot 8,1^2 = 154 \text{ kN}$$

In het geval van bomen tot 15 m als daktuin is deze oplegreactie:

$$V_d = (q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot A = ([q_{\text{betr}} + q_{\text{regen}} + q_{\text{sneeuw}}] \cdot \gamma_{\text{perm}} + q_{\text{daktuin}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot A$$

$$= ([2,5 + 0,50 + 0,56] \cdot 1,5 + 20 \cdot 1,2) \cdot \frac{1}{4} \cdot 8,1^2 = 481 \text{ kN}$$

Samengevat zijn de dwarskrachten bij de opleggingen:

Daktuinsoort	Dwarskracht (kN)
Geen daktuin	154
Grasdak	275
Vijver	282
Hoge struiken	412
Bomen tot 15 m	658

Tabel 24 – Dwarskracht bij oplegging

Volgens NEN 6720 artikel 8.2.2. wordt de schuifkracht ten gevolge van dwarskracht berekend met de formule:

$$\tau_d = \frac{V_d}{b \cdot d}$$

Waarin;

V_d is de rekenwaarde van de dwarskracht in de beschouwde doorsnede

b is de breedte van de betondoorsnede in het afschuifvlak

d is de nuttige hoogte van de beschouwde doorsnede

In het geval van geen daktuin:

$$\tau_d = \frac{V_d}{b \cdot d} = \frac{154 \text{ kN}}{4 \cdot 0,21} = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

In het geval van bomen tot 15 m:

$$\tau_d = \frac{V_d}{b \cdot d} = \frac{658 \text{ kN}}{4 \cdot 0,36} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

12.5 Bijlage 5 – Berekening doorsnede dakplaat en vloer van woningen

Stijfheid

De doorsnede van de dakplaat is afhankelijk van het gewicht dat rust op deze plaat en is berekend met dezelfde formules als in bijlage 4.

$$w_{\max} = 0,003l = \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot b \cdot l^4}{E \cdot I} \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (2)$$

Waarin;

- $w_{\max}$ is de maximaal toelaatbare doorbuiging van een vloer onder invloed van variabele en permanente belasting (zie NEN 6702, pag 67) [m]. Dit vergeetmij nietje geldt voor liggers die vrij zijn opgelegd op twee steunpunten. Deze situatie in de mechanica komt het best overeen met de prefab bouwwijze in dit onderzoek.
- q_{var} is de variabele belasting op de vloer [kN/m^2]. De waarde van deze variabele belasting is een belastinggeval, weergegeven in bijlage 3.
- q_{perm} is de permanente belasting op de vloer [kN/m^2]. De waarde van deze variabele belasting is een belastinggeval, weergegeven in bijlage 3.
- γ_{var} is de veiligheidsfactor voor variabele belasting. Deze bedraagt 1,5 (NEN 6702).
- γ_{perm} is de veiligheidsfactor voor permanente belasting. Deze bedraagt 1,2 (NEN 6702).
- b is de breedte van een strekkende meter vloer die ondersteund dient te worden [m]. In dit geval is dat 1m.
- l is de lengte van de overspanning [m]. In dit geval is dat 5,4 m.
- E is de elasticiteitsmodulus van beton. In het geval van sterkteklasse C20/25 is deze 28.500 N/mm^2 , ofwel $28,5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$.
- I is het traagheidsmoment van de doorsnede [m^4].
- h is de doorsnede van de vloer/het dak [m].

Het traagheidsmoment I geldt voor een ongescheurde doorsnede. Deze ideale situatie blijkt in de praktijk niet haalbaar te zijn doordat wapeningsstaal in beton altijd scheurvorming veroorzaakt. NEN 6702 schrijft voor:

$$EI_{\text{rep}} = \alpha \cdot EI_{\text{ongescheurd}}, \text{ waarbij } \alpha = 0,60.$$

Om tot een gecorrigeerd traagheidsmoment te komen wordt het theoretische traagheidsmoment gedeeld door α om tot het werkelijk benodigde traagheidsmoment te komen (traagheidsmoment in gescheurde toestand).

In het geval van het dak treedt een variabele belasting op van:

Belastingstype	Belasting (kN/m^2)
Betreding	1,0

Regen	0,5
Sneeuw	0,56
<i>Totaal</i>	<i>2,06</i>

Er is geen sprake van permanente belasting op het dak als geen daktuin wordt aangelegd.

De benodigde doorsnede van het dak is berekend volgens bovenstaande methode. Het resultaat is in tabel 25 opgenomen.

Daktuinsoort	Doorsnede dakplaat (mm)	Q _{eigen,vloer} (kN/m ²)
Geen daktuin	110	2,75
Grasdak	160	4,0
Vijver	170	4,25
Hoge struiken	200	5,0
Bomen tot 15 m	240	6,0

Tabel 25 – Doorsnede van de dakplaat van gestapelde woningen bij verschillende daktuinsoorten

In het geval van een vloer dient een minimale doorsnede van 280 mm aangehouden te worden in verband met geluidsisolatie (NEN 6702). Deze vloerdikte is ruimschoots genoeg voor het dragen van de belasting van een kantoor of woning

Sterkte

Het moment dat optreedt in het midden van een veld bij een overspanning van 5,4 m is bij een dak:

In geval van geen daktuin

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot (q_{\text{var}} \cdot \gamma_{\text{var}} + q_{\text{perm}} \cdot \gamma_{\text{perm}}) \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot [(1,0 + 0,5 + 0,56) \cdot 1,5 + (0 + 2,75) \cdot 1,2] \cdot 5,4^2 = 23,3 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\max} = 15 \text{ N/mm}^2 = \frac{M}{W} = \frac{23,3 \text{ kNm}}{W} \Rightarrow W = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot h^2 \Rightarrow h = 0,096 \text{ m}$$

De berekende doorsnede om aan de stijfheidsvoorwaarde te voldoen is groter, de doorsnede om aan de sterkte-eisen te voldoen is dus niet maatgevend.

In geval van bomen tot 15 m

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot (3,56 \cdot 1,5 + 20 \cdot 1,2) \cdot 5,4^2 = 107 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\max} = 15 \text{ N/mm}^2 = \frac{M}{W} = \frac{107 \text{ kNm}}{W} \Rightarrow W = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot h^2 \Rightarrow h = 0,21 \text{ m}$$

De berekende doorsnede om aan de stijfheidsvoorwaarde te voldoen is groter, de doorsnede om aan de sterkte-eisen te voldoen is dus niet maatgevend.

12.6 Bijlage 6 – Berekening equivalent aantal verdiepingen

Op een dakplaat werken de volgende krachten:

- $Q_{\text{eigen, dakplaat}}$
- Q_{daktuin}
- $Q_{\text{betreding}}$
- Q_{regen}
- Q_{sneeuw}

Op een verdiepingsvloer werken de volgende krachten:

- $Q_{\text{eigen, vloer}}$
- $Q_{\text{gebruiksfunctie}}$

In het geval van een kantoorgebouw waarop een grasdak geplaatst wordt, is het gewicht van de dakplaat en daktuin samen: $(Q_{\text{eigen, dakplaat}} + Q_{\text{daktuin}}) * \gamma_{\text{perm}} + (Q_{\text{betreding}} + Q_{\text{regen}} + Q_{\text{sneeuw}}) * \gamma_{\text{var}} = (6,5 + 3) * 1,2 + (2,5 + 0,5 + 0,56) * 1,5 = 16,74 \text{ kN/m}^2$. Zie voor deze gegevens bijlage 3.

Het gewicht van een verdieping is $Q_{\text{eigen, vloer}} * \gamma_{\text{perm}} + Q_{\text{gebruiksfunctie}} * \gamma_{\text{var}} = 7,0 * 1,2 + 2,5 * 1,5 = 12,15 \text{ kN/m}^2$.

Door deze twee belastingen op elkaar te delen is het verband zichtbaar tussen het gewicht van een daktuinsoort en het aantal verdiepingen dat gelijk staat aan het gewicht van deze daktuinsoort. Op vergelijkbare manier zijn de overige equivalenten berekend.

13 Referenties

Bij dit onderzoek zijn de volgende bronnen gebruikt:

Literatuur

- Centraal Bureau Bouwtoezicht (2005). *Controleplan 33.36 dakbegroeiing*.
- Dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam (2004). *Handleiding daktuinen*. Amsterdam: Spinhex & Industrie
- van Eekelen, A.L.M., Rip, J.J., Wentzel, P.L. (2002). *Hogere Bouwkunde*. p 14 Utrecht / Zutphen
- Kolkman, M.J. (2006). *Inleiding Modelleren B*
- Prins, M. (1992). *Flexibiliteit en kosten in het ontwerpproces*. Eindhoven
- Schaap, D. (2005). *Coproductie Groen in de stad*, p 7. VROM
- Stichting Bouwresearch Rotterdam [SBR] (2007) *Daken in 't groen*.
- Stichting Bouwresearch Rotterdam [SBR] (2006), *Dakbegroeiingsrichtlijn*.
- Verburg, W.H. (1997). Nieuwe taak voor de constructeur. *Bouwen met Staal*, 134, pp 4-7
- Voordt, D.J.M. van der, Geraedts, R.P., Remøy, H.T. & Oudijk, C.P.A. (2007). *Transformatie van kantoorgebouwen*. p 245. Rotterdam: Uitgeverij 010
- Vreke, J., Donders, J.L., Langers, F., Salverda, I.E., Veeneklaas, F.R. (2006) *Potenties van groen!*. p 4.
- De Werd, S.V. (2006) Daktuin vergt inbreng kennis vanaf de ontwerpfase. *Roofs*, april 2006, pp 12-13.
- NEN 6702
- NEN 6720
- NEN 2631

Internet

- Vries, J. de. (2007a). *Essay Maatschappelijke Betekenis van Nieuwe Maaiveldprojecten*. Van Hall Larenstein. Gedownload op 24-08-2007 via: [http://www.vanhall-larenstein.nl/files/essay%20maatsch%20betek%20nieuw%](http://www.vanhall-larenstein.nl/files/essay%20maatsch%20betek%20nieuw%20)

20maaiveld%202007%2006%2022.pdf

- Vries, J. de. (2007b). E-mail aan Alexander Leicher. 17-09-07.
- www.bouwbesluit-online.nl
- www.dutchflowerlink.nl/nederlands/bloem_en_plant/bomen.htm
- www.gietbouwcentrum.nl/gietbouw/menu/Alles_over_gietbouw/Flexibiliteit/Flexibiliteit_in_het_gebruik
- www.perfectbouw.nl/Kennisbank/betonvloeren.html
- www.sabvereniging.nl

Afbeeldingen

- www.santencoweblog.nl, geraadpleegd op 15-09-07. Afbeelding op omslag.
- www.perfectbouw.nl/Kennisbank/betonvloeren.html. Afbeelding 7, 8 en 9.
- Stichting Bouwresearch Rotterdam [SBR] (2007). *Dakbegroeiingsrichtlijn*. Afbeeldingen in tabel 1,2,3 en 4.

Interviews

Interview Hans van Vliet 11-09-07

Interview Ruth Fleuren 20-09-07

Interview Hans van Vliet 01-10-07

Interview Peter Bouma 31-10-07

Interview BAM Mostert de Winter 02-11-07