

Realiseren van waterberging op bestaande daken



Afstudeerscriptie

Dennis Golubovic, Emre Kaymak
24-05-2018

I. VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie 'Realiseren van waterberging op bestaande daken' waar wij de afgelopen vier maanden aan hebben gewerkt. Deze scriptie is geschreven in het kader van de voltooiing van onze bachelor studie Bouwkunde met de afstudeerrichting constructie aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

Na een uitgebreide zoektocht naar een geschikt afstudeeronderwerp op LinkedIn kregen wij veel afstudeerverzoeken van diverse organisaties. Veel onderwerpen spraken ons niet aan waarna wij Stephanie Lamerichs van Witteveen+Bos hebben benaderd. Zij had een interessant afstudeeronderwerp waarin wij iets konden doen voor de samenleving en ons konden verdiepen in duurzaamheid en dakconstructies.

Op basis van een aangenaam gesprek met Stephanie Lamerichs en Esli Bosman op het kantoor in Deventer, waarin wij inhoudelijk het afstudeeronderwerp hebben besproken, hebben wij besloten om op dit onderwerp af te studeren. Aan de hand van dit rapport presenteren wij het eindresultaat.

Wij willen Stephanie Lamerichs bedanken voor het beschikbaar stellen van het afstudeeronderwerp. Daarnaast willen wij Esli Bosman hartelijk bedanken voor de tijd die hij heeft vrijgemaakt om ons te begeleiden gedurende ons afstudeertraject. Tevens hebben wij het als prettig ervaren dat overlegmomenten snel ingepland konden worden om diverse onderwerpen te bespreken ter bevordering van het afstuderen. Ook willen wij Stephanie Gijsbers bedanken voor de samenwerking en beschikbaar stellen van informatie ten aanzien van het project Share My City.

Tenslotte willen wij onze begeleidende docenten vanuit de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen, Hanneke Spoorenberg en Marwin Jurjus, bedanken voor de begeleiding van het afstudeerproces en de nuttige adviezen die zij ons hebben gegeven.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Dennis Golubovic en Emre Kaymak

Deventer, mei 2018

II. SAMENVATTING

Witteveen+Bos heeft het project Share My City opgestart naar aanleiding van een prijsvraag 'de doe en durf challenge' door NLingenieurs. Dit project omvat het inzetten van woningeigenaren voor waterberging op hun perceel. De online tool van het project Share My City, ontwikkeld door W+B, heeft nog geen eenvoudige methode om de woningeigenaar te informeren over de geschiktheid van hun dak met betrekking tot het bergen van water. Tevens is er nog geen informatie over welke versterkingsmaatregelen er getroffen kunnen worden wanneer een dak constructief en bouwtechnisch niet voldoet voor de toepassing van waterberging. De onderzoeksvraag binnen dit onderzoek is: 'Op welke wijze kunnen wij een methode ontwikkelen zodat eigenaren van woningen eenvoudig geïnformeerd kunnen worden of waterberging op hun dak constructief en bouwtechnisch haalbaar is?'.

In het onderzoek maken we gebruik van bronnenonderzoek, technisch dossiers en interviews met groendak experts en constructeurs. We hebben eerst onderzoek gedaan naar waterberging op daken in al zijn aspecten. Daaruit is gekomen dat wegens bepaalde eisen die zijn gesteld vanuit de waterschappen een groendak pas een waterbergend vermogen heeft wanneer het een ledigingstijd heeft. De ledigingstijd geeft zekerheid dat het dak water kan bergen bij een volgende bui wanneer het al verzadigd is.

Om waterberging op een dak te realiseren is het nodig na te gaan uit welk constructiemateriaal het dak bestaat en of het sterk en stijf genoeg is om de extra belasting ten gevolge van het groendak te dragen. Hiertoe is onderzocht wat voor constructiematerialen voornamelijk gebruikelijk zijn bij dakconstructies binnen de woningbouw. Constructiematerialen als beton en hout komen het meest voor. Stalen dakconstructies daarentegen juist zelden.

Doordat water geborgen gaat worden op een dak is het fenomeen van onbedoelde wateraccumulatie onderzocht. Ook is gekeken naar de oorzaken die leiden tot onbedoelde wateraccumulatie op een dak. Vaak ontstaat dit bij een plat dak door ontwerp- of uitvoeringsfouten. Bij een waterbergend dak is wateraccumulatie altijd van toepassing. Hiermee moet rekening gehouden worden bij de berekening.

Met de verkregen bouwkundige tekeningen van woningbouwprojecten is een casestudy opgezet waarin een fictief gebouw is genomen uitgaande van gemiddelde waardes uit de bestaande projecten. Het gebouw heeft twee soorten daken waarvan één dak is uitgevoerd als een betonnen dak en het andere als een houten dak. Vervolgens is het gebouw getoetst op sterkte en stijfheid voor en na de plaatsing van een groendak. De resultaten geven aan dat de draagconstructie voldoet om een groendak te dragen. Zo is een houten dakconstructie verhoudingsgewijs gevoeliger voor de extra belasting van een groendak dan een betonnen dak. Omdat allebei de daken voldoen op basis van sterkte en stijfheid, zijn er geen versterkingsmaatregelen nodig. In de situatie dat een dak niet sterk genoeg is kan het nog versterkt worden. In het geval van een betonnen dak wordt wegens hoge kosten en technische complexiteit dit afgeraden. Met dezelfde casestudy zijn bouwtechnische maatregelen onderzocht welke nodig zijn om een groendak te realiseren. Zo zijn er algemene eisen waaraan het dak bouwtechnisch moet voldoen wanneer het verbouwd wordt. Aan de hand van bestaande dakdetails zijn nieuwe principedetails ontworpen waarin de benodigde veranderingen zijn opgenomen.

Middels de informatie uit het onderzoek is een stroomschema opgesteld in de vorm van een beslisboom. Hierin worden diverse vragen geïntegreerd om antwoord te geven aan woningeigenaren of hun dak geschikt is voor de realisatie van waterberging.

III. SUMMARY

Witteveen+Bos has started the project “Share My City”. This project has been started to compete in the “DO & Dare Challenge”, that has been started by NLingenieurs. This project has the goal to stimulate residents to store water on their lot to prevent flooding at moments of heavy rainfall. The online tool that has been set up during the project “Share My City”, doesn’t have an efficient way yet to inform residents about the possibilities on their roofs to store water. During this project, no research has been done on the possible solutions for houses that aren’t constructed strong enough to bear the extra loads when implementing water storage on their roof. The main question for this research is: “In which way can we develop a method to make it possible to inform residents about the possibilities of water storage on their roofs”.

Research has been done through interviews, reliable online sources, and technical files (from Witteveen+Bos). The first thing we did was research water storage in all its aspects and the possibilities with water storage to reach our goal. Research showed that only certain types of “green roofs” (i.e. water roofs and retention roofs) have the possibility of storing water. This is the result of a requirement set by the “water authority”. This requirement states that roofs need to have the possibility to store water. This storage is needed to make sure that there is enough time for the pipelines to transport the water without the water flooding.

To make water storage possible, it is important to know of what material a roof is made of. It is also important to find out if it is strong enough to withstand the extra loads, as a result of the water storage. Research has been done on materials that are commonly used for roofs. The researched showed that timber and concrete are the two most used materials in housing for roof constructions.

When testing the stiffness and strength of a roof, the phenomenon of water accumulation and what causes water accumulation has been researched. This frequently occurs with flat roof that have design or execution errors.

A case study has been set up with the obtained technical drawings. A fictional building has been used for this study. Average values of existing projects and designs have been used. The fictional building has two types of roofs. One is made out of timber and the other is made out of concrete. These two roofs have been tested to check if they are stiff and strong enough to withstand the loads that work on it. This is done for two situations. The first option is without the green roof and the second one is with the green roof. The conclusion of the case study is that these constructions meet the requirements to place a green roof. The case study also showed that the roof made out of timber is more sensitive to the extra loads that are added. Because both roof meet the requirements to implement a green roof, no extra reinforcement measures need to be taken. In the situations where a roof doesn’t meet the requirements, reinforcement measures can be taken to solve the problem. However, this is not advised with concrete roofs. The necessary measures to implement a green roof has also been researched during this case study. There are general requirements which a roof needs to meet. By using existing design details of roofs and new design details have been set up. These new details contain the necessary changes for implementing a green roof.

With the obtained information from the research, a flow chart has been set up. There are questions and information blocks integrated into the flow chart to inform residents if their roof is viable for water storage.

INHOUD

I. Voorwoord	2
II. Samenvatting.....	3
III. Summary.....	4
IV. Lijst van bijlagen	7
V. Begrippenlijst/Definities	8
VI. Figuren en tabellenlijst.....	10
1. Inleiding	10
1.1 Bedrijfsomschrijving Witteveen+Bos	11
1.2 Aanleiding.....	11
1.3 Probleemstelling	12
1.4 Doelstelling.....	12
1.5 Beoogd resultaat	13
1.6 Hoofd- en deelvragen.....	13
1.7 Afbakening	13
1.8 Methode van onderzoek	13
1.9 Leeswijzer	14
2. Waterberging	15
2.1 Wat is waterberging?	15
2.2 Belang van waterberging	15
2.3 Waterberging op daken	16
2.4 Eisen vanuit de waterschappen	18
2.5 Conclusie	18
3. Constructie materialen van daken	19
3.1 Constructieve materialen	19
3.2 Dakconstructies.....	19
3.2.1 Betonnen dakconstructies	20
3.2.3 Houten dakconstructies	20
3.3 Conclusie	20
4. Constructieve normen	21
4.1 Constructieve normen voor verbouw	21
4.2 Rekenen aan verbouw.....	21
4.3 Conclusie	22
5. Faalmechanisme van daken	23
5.1 Wateraccumulatie.....	23
5.2 Het ontstaan van het Faalmechanisme	23

5.3 Toetsen op wateraccumulatie.....	24
5.4 Conclusie	25
6. Dakconstructies	26
6.1 Bestaande Daken	26
6.2 CaseStudy	28
6.2.1 Toegepast type dak	29
6.2.2 Belastingen	29
6.2.3 Toetsing en resultaten	30
6.3 Noodoverlaten	32
6.4 Versterkingsmaatregelen	32
6.4.1 Versterkingsmaatregelen houten daken.....	32
6.4.2 Versterkingsmaatregelen betonnen daken.....	33
6.5 conclusie.....	33
7. Bouwtechnische maatregelen	34
7.1 Belang bouwtechnische detaillering	34
7.2 Bouwtechnisch detailleren.....	34
7.2.1 RC waarden	34
7.2.2 Waterdichtheid	35
7.2.3 Koudebrug (F-factor)	35
7.3 Detailleringen	35
7.4 Hemelwaterafvoer	36
7.5 Bouwkundige maatregelen	37
7.6 Uitvoering.....	37
7.7 Onderhoud	38
7.8 Risico's.....	38
7.9 Conclusie	38
8. Effectief informeren	39
8.1 Visualiseren van informatie.....	39
8.2 Stroomschema	39
8.3 Creëren van stroomschema	39
8.4 Conclusie	40
9. Conclusies en aanbevelingen.....	41
9.1 Conclusie	41
9.2 Aanbevelingen.....	41
Verwijzingen	42

IV. LIJST VAN BIJLAGEN

Bijlage A – Vooronderzoek

Bijlage B – Literatuuronderzoek

Bijlage C – Veldonderzoek

Bijlage D – Casestudy Constructie

- D1 – M-Kappa BGT korte duur
- D2 – M-Kappa BGT lange duur
- D3 – M-Kappa UGT
- D4 – Toetsing Abeelstraat
- D5 – Toetsing Wethouder Romboutstraat
- D6 – Toetsing Blauwtjes
- D7 – Toetsing Sutoriusstraat
- D8 – Toetsing Casestudy Hout
- D9 – Toetsing Casestudy Beton
- D10 – Toetsing Groendak Hout
- D11 – Toetsing Groendak Beton
- D12 – Toetsing Groendak Hout (met uitleg)
- D13 – Toetsing Groendak Beton (met uitleg)
- D14 – Noodoverlaten

Bijlage E – Casestudy Bouwtechnisch

- E1 – Blauwtjes te Breda
- E2 – Nieuwe situatie betonnen dak
- E3 – Nieuwe situatie betonnen dak controleschacht
- E4 – Nieuwe situatie houten dak
- E5 – Nieuwe situatie houten dak controleschacht
- E6 – Sutoriusstraat te Breda
- E7 – Wethouder Romboutstraat te Breda
- E8 – Abeelstraat te Breda

Bijlage F – Beslisboom

V. BEGRIPPENLIJST/DEFINITIES

Afschot:	Afschot is het onder een bepaalde helling leggen van bijvoorbeeld een dak.
Belastingcapaciteit:	De hoeveelheid belasting die een materiaal kan opnemen.
Bouwtechnisch detail:	Dit is een detailtekening van een deel van een gebouw dat moet voldoen aan de eisen van SBRCURnet.
Constructie:	Een aantal losse onderdelen die zijn samengevoegd tot één stevig geheel.
Constructiemateriaal:	Een stevig materiaal zoals beton, staal of hout waarvan bijvoorbeeld de dragende elementen binnen een gebouw zijn vervaardigd.
Dakconstructie:	Een dakconstructie is een samenstel van balken van hout, staal, gewapend beton of voorgespannen beton, platen van gewapend beton of andere materialen, zonder de dakbedekking, die samen sterk genoeg zijn om alle belastingen zoals eigen gewicht, sneeuw, wind te kunnen dragen, zonder dat de constructie bezwijkt.
Dakopstand:	De dakopstand is de verhoogde dakrand bij een plat dak.
Doorbuiging:	Vervorming van bijvoorbeeld dragende onderdelen onder belasting.
Duurzaamheid:	Duurzaamheid wordt omschreven aan de hand van People, Profit en Planet. Er wordt rekening gehouden met de effecten op het milieu. Daarnaast gaat het over het gebruik van het gebouw. Bijvoorbeeld over de uitstoot van CO ₂ door energiegebruik voor verwarming en koeling. Het betreft dus de hele levensduur van het gebouw.
Dwarskracht:	Kracht die, in constructies, in dwarsrichting werkt.
Groendak:	Een groendak is de term voor een dakbedekking waarop een plantaardige laag is aangebracht, dat wil zeggen een laag die hoofdzakelijk bestaat uit levende planten.
Hellende daken:	Dit is een algemene term voor diverse soorten hellende daken waarbij een dak op een bepaalde punt schuin afloopt.
Hemelwaterafvoer (HWA):	Een regenpijp wordt in bouwtechnisch jargon "hemelwaterafvoer" genoemd.
Hitte-eiland effect:	Het hitte-eilandeffect is het fenomeen dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende landelijk gebied.
Krachtenafdracht:	De werkende kracht op een constructie dat naar de fundering op een veilige manier wordt afgedragen.

Moment:	Een moment is in de mechanica de neiging tot draaien van een lichaam (rotatie). Meestal zal dit plaatsvinden bij een punt dat "vast" is aangebracht (bijvoorbeeld ingeklemd).
Onverharde bodem:	Grondoppervlak dat niet bestraat is, waarin water kan infiltreren.
Oppervlaktewater:	Oppervlaktewater is al het water in sloten, plassen, vijvers, kanalen, meren, beekjes en rivieren. Dus op plassen regenwater na al het water dat buiten is te zien.
Platte daken:	Een daktype dat uit één horizontaal dakvlak bestaat.
Rc-waarde:	De RC Isolatiewaarde zegt iets over de warmteweerstand van een complete constructie. De RC laat zien hoe groot het isolerend vermogen is van de complete constructie en wordt uitgedrukt in $\text{m}^2\text{K/W}$.
Restlevensduur:	Resterende periode gedurende welke een constructie of een deel daarvan voldoet aan een constructief betrouwbaarheidsniveau conform NEN 8700 met inachtneming van regulier onderhoud, zonder ingrijpende maatregelen.
Sterkte:	Sterkte is de mate bestandheid tegen krachten die op een object worden uitgeoefend. Op constructies of bouwelementen kunnen zowel druk- als trekkrachten worden uitgeoefend; resp. De druksterkte en de treksterkte geven de maximale sterkte aan van een bouwelement.
Stijfheid:	Stijfheid van een bouwkundige constructie is te beschouwen als constructieve stabiliteit met het oog op weerstand tegen doorbuiging.
Verharde bodem:	Grondoppervlak dat is verhard door bebouwing zoals huizen, bestrating enzovoort.
Waterpeil:	Het niveau waarop het water staat. Meestal gebruikt voor wateren, waar het niveau kunstmatig beheerst wordt.
2^e orde effect:	Bij een 2 ^e orde effect wordt het evenwicht geformuleerd in de vervormde toestand. Bijvoorbeeld een dak onder belasting van water zal buigen. Door buigen kan er extra water op liggen wat leidt tot meer buiging en mogelijk bezwijken.

VI. FIGUREN EN TABELLENLIJST

Figurenlijst

Figuur 1 - Hoofdkantoor Witteveen+Bos, Deventer (eigen figuur)	11
Figuur 2 - Wateroverlast in Breda (foto: Gabor Kaanders)	15
Figuur 3 - Mos-sedum dak (Optigroen, 2014)	17
Figuur 4 – Natuurdak (Optigroen, 2014)	17
Figuur 5 – Retentiedak (Optigroen, 2014)	18
Figuur 6 – Waterdak (Rainproof, 2018).....	18
Figuur 7 - Waterbelasting in de tweede orde (eigen figuur).....	24
Figuur 8 - Waterbelasting in de eerste orde (eigen figuur).....	24
Figuur 9 - Zuiger-veer model (eigen figuur)	24
Figuur 10 - Totale waterbelasting als gelijkmatig verdeelde belasting (eigen figuur)	24
Figuur 11 - M-Kappa diagram (eigen figuur)	27
Figuur 12 - Hoogte van de wateroverlaat bij een normaal dak (NEN 6702)	32
Figuur 13 - Hoogte van de noodoverlaat bij een retentiedak (eigen figuur)	32
Figuur 14 - Extra houten balken in de balklaag (eigen figuur)	33
Figuur 15 - Bestaand dakdetail, Blauwtjes te Breda (Gemeente Breda, 2018).....	35
Figuur 16 - Nieuw dakdetail van het betonnen dak (eigen figuur)	36
Figuur 17 - Nieuw dakdetail van het houten dak (eigen figuur)	36
Figuur 18 - Meanderende werking van het retentiedak meander 30 (Optigroen 2014)	37
Figuur 19 - Beslisboom met betrekking tot waterberging op bestaande daken (eigen figuur)	40

Tabellenlijst

Tabel 1 - Gegevens van percentages platte daken in Utrecht, resultaten van Arcadis (2010) (eigen tabel)	17
Tabel 2 - Constructieve materialen met bijbehorende normen (eigen tabel)	19
Tabel 3 - Aan te houden partiële factoren bij veiligheidsklasse CC2 volgens NEN 8700 (eigen tabel)	22
Tabel 4 - Aan te houden partiële factoren bij veiligheidsklasse CC2 volgens NEN-EN 1990-1-1 (eigen tabel)	22
Tabel 5 - Gegevens van de bestaande houten daken (eigen tabel)	26
Tabel 6 - Gegevens van de bestaande betonnen daken (eigen tabel)	26
Tabel 7 - Gemiddelde waardes van elasticiteitsmoduli (eigen tabel)	27
Tabel 8 - Restcapaciteiten van daken van bestaande huizen te Breda (eigen tabel).....	28
Tabel 9 - Aan te houden gegevens voor de casestudy van het houten dak (eigen tabel)	28
Tabel 10 - Aan te houden gegevens voor de casestudy van het betonnen dak (eigen tabel)	28
Tabel 11 - Restcapaciteiten van de daken van de casestudies (eigen tabel)	28
Tabel 12 - Aangehouden belastingen bij toepassing van retentiedak (eigen tabel)	30
Tabel 13 - Toename van optredende krachten in het dak (eigen tabel).....	30
Tabel 14 - Afname van de restcapaciteit door toepassing retentiedak (eigen tabel)	31

1. INLEIDING

In de inleiding is in de eerste paragraaf de bedrijfsomschrijving van Witteveen+Bos beschreven. In de tweede paragraaf is de aanleiding van het onderzoek beschreven waarna in paragraaf drie de probleemstelling is opgesteld en in paragraaf vier de doelstelling van het onderzoek. Daarna wordt in paragraaf vijf het beoogde resultaat beschreven. In paragraaf zes zijn de hoofd- en deelvragen opgesteld. Hierna is de methode van onderzoek beschreven in paragraaf zeven waarna in paragraaf acht het onderzoek wordt afgebakend. Tenslotte is in paragraaf negen een leeswijzer voor de rest van het onderzoeksrapport terug te vinden.

1.1 BEDRIJFSOMSCHRIJVING WITTEVEEN+BOS

Achtergrond

De volgende achtergrond is gebaseerd op de historie van Witteveen+Bos (2018) die terug te vinden is op de webpagina.

Het bedrijf is naar aanleiding van een goed gesprek in 1946 opgericht door de ingenieurs W.G. (Willem) Witteveen (1891-1979) en G.S. (Goosen) Bos (1908-2004). Het maatschapscontract was een luttel A4-tje en heeft twaalf jaar standgehouden tot 1 januari 1958, toen Witteveen met pensioen ging. Vertrouwen en betrouwbaarheid vormden de basis voor een succesvolle samenwerking.



Figuur 1 - Hoofdkantoor Witteveen+Bos, Deventer (eigen figuur)

Op dit moment is Witteveen+Bos uitgegroeid tot een van de toonaangevende ingenieursbureaus van Nederland met ruim 1000 medewerkers. W+B is klaar voor de toekomst en koestert de kritische kwaliteitskenmerken: deskundig, betrouwbaar en betrokken. Kenmerken die zeer goed aansluiten bij die van de oprichters. (Witteveen+Bos, 2018)

Missie en visie

Witteveen+Bos is een advies- en ingenieursbureau dat zich inzet voor projecten in de sectoren milieu, water, infrastructuur en bouw. Zij leveren adviezen en ontwerpen op het gebied van water, infrastructuur, milieu en bouw. Daarmee zetten zij hun expertise in om complexe vraagstukken op te lossen en zijn zij een betrokken partner voor hun opdrachtgevers. Zij hechten zich aan hun onafhankelijkheid en de bedrijfscultuur waarin elke medewerker het beste haalt uit zichzelf, zijn talenten ten volle benut en maximale klantwaarde biedt.

Witteveen+Bos wil een advies- en ingenieursbureau van topklasse zijn'. Zij zijn ervan overtuigd dat topklasse nodig is om duurzame oplossingen te vinden voor de uitdagingen van deze tijd. Dit betekent dat zij willen beschikken over hoogwaardige kennis, blijven innoveren en dat zij samenwerken met deskundige partners. Zij werken in een cultuur van ondernemerschap en vertrouwen. Zij vinden het daarbij essentieel dat hun handelen zich kenmerkt door kritische kwaliteitskenmerken: deskundig, betrouwbaar en betrokken. Alle Witteveen+Bos'ers vervullen samen de missie en visie van het bedrijf." (Witteveen+Bos, 2017)

1.2 AANLEIDING

Share My City is een online tool dat in het teken van duurzaamheid is opgestart door W+B naar aanleiding van een prijsvraag 'de doe en durf challenge' door NLingenieurs. Het project omvat het inzetten van woningeigenaren voor waterberging op hun perceel.

De watersystemen in Nederland zijn vooral gericht op het afvoeren van water. Het klimaat verandert, met als gevolg toename van hevige regenval en langere periodes van hitte en droogte. Tijdens hevige regenval raken de rioleringen overbelast. Door de wateroverlast die hierdoor wordt veroorzaakt moet de overheid veel kosten maken. Soms is 70% van het stedelijk gebied in bezit van bewoners. Door het verstenen van tuinen kan regenwater niet of nauwelijks lokaal infiltreren, met als gevolg dat het hemelwater niet terecht komt in de bodem, maar via de riolering afgevoerd wordt naar de waterzuiveringsinstallatie. Eenmaal gezuiverd, wordt het geloosd in de rivieren of in het oppervlaktewater. Gepaard met langere periodes van hitte en droogte zorgt dit voor een verlaging van de grondwaterstanden en verdroging van het stedelijk groen. Op de hoge zandgronden van Noord-Brabant is veel landbouw aanwezig. De landbouw haalt het water uit de diepe grondlagen van de hoge zandgronden. Als gevolg van klimaatverandering wordt het steeds moeilijker voor de landbouw om bij het water te komen. Voor meer informatie hierover zie Bijlage A.

Via een contactpersoon heeft W+B de gemeente Breda, welk penvoerder is van Waterkring de Baronie, op de hoogte gesteld van het project. Waterkring de Baronie is een samenwerkingsverband bestaande uit de gemeenten Rucphen, Etten-Leur, Breda, Baarle-Nassau/Alphen-Chaam, Zundert en waterschap Brabantse Delta. Op basis van de Waterwet (Artikel 3.6, Waterwet, 2018) hebben de gemeenten een grondwaterzorgplicht en zijn zij tevens verantwoordelijk voor het reduceren van wateroverlast in hun gebied. Waterkring de Baronie zag potentieel in het project om hiermee hun problemen binnen de gemeenten op te lossen.

In opdracht van Waterkring de Baronie heeft W+B een haalbaarheidsstudie gedaan naar Share My City. Uit de haalbaarheidsstudie bleek dat het project potentieel had. Om deze reden wilden zij het project uitbreiden en hebben zij daarom de subsidie “§ 2 Klimaatrobuuste zoetwatervoorziening Deltaplan Hoge Zandgronden overige doelgroepen” aangevraagd om het project deels te financieren.

Als onderdeel van het project heeft W+B een online tool ontwikkeld. Met deze tool kunnen woningeigenaren aan de hand van hun woonadres zien of waterberging op hun perceel mogelijk is. In de tool zijn een aantal maatregelen beschreven. Niet alle daken zijn geschikt voor de toepassing van waterberging. Ook hebben woningeigenaren over het algemeen weinig kennis over de constructieve en bouwtechnische staat van hun dak, waardoor het voor de woningeigenaar zelf nog moeilijk te bepalen is welke maatregelen voor hun dak geschikt zijn. Voor meer informatie over het project Share My City, de tool en hoe dit bijdraagt aan een duurzamer klimaat zie bijlage B.

1.3 PROBLEEMSTELLING

De online tool van het project Share My City ontwikkeld door W+B, heeft nog geen eenvoudige methode om woningeigenaren te informeren over de geschiktheid van hun dak met betrekking tot het bergen van water. Ook ontbreekt informatie over welke versterkingsmaatregelen er getroffen kunnen worden wanneer een dak constructief en bouwtechnisch niet voldoet aan de toepassing van waterberging.

In het kader van deze afstudeeropdracht heeft W+B aan ons gevraagd om onderzoek te doen naar de constructieve en bouwtechnische haalbaarheid voor waterberging op daken.

1.4 DOELSTELLING

Doelstelling van dit onderzoek is om een bijdrage te leveren aan het project Share My City, zodat W+B dit kan implementeren in de online tool. Na implementatie kan de tool inzicht geven aan woningeigenaren zodat zij eenvoudig kunnen zien welke constructieve en bouwtechnische mogelijkheden er zijn voor toepassing van waterberging op hun dak. Ook kunnen woningeigenaren zien welke versterkingsmaatregelen er getroffen kunnen worden wanneer een dak niet voldoet aan de toepassing van waterberging.

1.5 BEOOGD RESULTAAT

Aan de hand van ons onderzoek stellen wij een vragenlijst op welke geïntegreerd wordt in een beslisboom. Met behulp van deze beslisboom en overige uitkomsten van ons onderzoek kan W+B een en ander implementeren in de online tool. Zodat woningeigenaren uiteindelijk in een paar klikken zien welke mogelijkheden zij hebben ten aanzien van waterberging op hun dak.

1.6 HOOFD- EN DEELVRAGEN

Wij hebben ons de volgende hoofdvraag gesteld:

Hoofdvraag

Op welke wijze kunnen wij een methode ontwikkelen zodat eigenaren van woningen eenvoudig geïnformeerd kunnen worden of waterberging op hun dak constructief en bouwtechnisch haalbaar is?

Om deze vraag volledig te kunnen beantwoorden zijn er verschillende deelvragen gemaakt:

Deelvragen

1. Wat wordt er verstaan onder waterberging op daken?
2. Uit welke constructieve materialen bestaat een dak?
3. Welke constructieve normen dienen aangehouden te worden voor het verbouwen van bestaande daken?
4. Wat is het faalmechanisme van een dak bij wateraccumulatie?
5. Welke versterkingsmaatregelen kunnen er toegepast worden voor daken om aan de constructieve veiligheid te voldoen wanneer het een waterbergende functie krijgt?
6. Welke bouwtechnische maatregelen kunnen er toegepast worden voor daken om aan de bouwtechnische eisen te voldoen wanneer het een waterbergende functie krijgt?
7. Op welke manier kan de informatie visueel geschikt worden gemaakt voor de tool Share My City?

1.7 AFBAKENING

Om discussiepunten te voorkomen worden financiële berekeningen buiten het onderzoek gelaten. Verder wordt er niet gekeken naar de constructie onder het dak.

1.8 METHODE VAN ONDERZOEK

Dit onderzoek is verdeeld in vier fasen:

- Fase 1: Vooronderzoek;
- Fase 2: Literatuurstudie/veldonderzoek;
- Fase 3: Casus versterkings- en bouwtechnische maatregelen dakconstructie;
- Fase 4: Creëren van het eindproduct.

Hieronder zijn de fasen toegelicht:

Fase 1: Vooronderzoek

Het concept Share My City willen wij duidelijk in beeld krijgen zodat wij weten welk informatie er nu is en welke er ontbreekt. Doordat het klimaat verandert en vaker wateroverlast ontstaat is het belangrijk om te weten wat de oorzaken zijn en welke gevolgen dit heeft voor de maatschappij. Daarnaast willen wij weten wie de verantwoordelijken zijn wanneer schade ontstaat ten gevolge van wateroverlast.

Fase 2: Literatuurstudie/veldonderzoek

Door middel van literatuur en interviews willen wij informatie over de volgende onderwerpen vergaren:

- Waterberging op daken;
- Constructieve materialen van daken;
- Constructieve normen van daken bij verbouw;
- Faalmechanisme van het dak bij wateraccumulatie;
- Constructieve versterkingsmaatregelen van geschikte daken;
- Bouwtechnische maatregelen voor geschikte daken;
- Methoden om informatie over te brengen.

Door deze onderwerpen te onderzoeken, kunnen wij deelvragen 1 tot en met 4 beantwoorden en verder gaan met de volgende fase.

Fase 3: Casus versterkings- en bouwtechnische maatregelen dakconstructie

In deze fase zijn aan de hand van bestaande tekeningen van woningbouwprojecten de woningen in huidige staat getoetst of zij voldoende speling hebben om extra belasting te dragen. Vervolgens zijn uit de gegevens van de bestaande woningen gemiddelde waarde verzameld die representatief zullen zijn voor de casestudy. Hierop zijn berekeningen gemaakt om te toetsen of deze daken zullen voldoen wanneer deze een waterbergende functie krijgen. Zodra een dakconstructie niet voldoet, dan zal er gekeken worden naar mogelijke versterkingsmaatregelen. Om de daken te voorzien van waterberging, dient dit bouwtechnisch ook haalbaar te zijn. Hiervoor dienen er onder andere bouwtechnische details van daken gemaakt te worden.

Fase 4: Creëren van het eindproduct

In de laatste fase wordt de informatie uit het onderzoek in een schema in beeld gebracht. Hierin dienen een aantal vragen geïntegreerd te worden om antwoord te geven aan woningeigenaren of hun dak geschikt is voor de realisatie van waterberging.

1.9 LEESWIJZER

In de hierna komende hoofdstukken worden de deelvragen die in dit hoofdstuk zijn geformuleerd beantwoord. Voor extra informatie en/of onderbouwing van de resultaten zal verwezen worden naar de bijlagen.

In het tweede hoofdstuk wordt waterberging op daken in zijn diverse aspecten besproken en waarom het nodig is. In het derde hoofdstuk is middels bronnenonderzoek onderzocht wat voor constructiematerialen er voornamelijk zijn gebruikt bij de daken van woningbouw. Vervolgens wordt in het vierde hoofdstuk besproken welke normen er aangehouden moeten worden bij het verbouwen van een dak en wanneer een onderdeel onder verbouw valt. In hoofdstuk vijf wordt het fenomeen wateraccumulatie uitgelegd, hoe het ontstaat en hoe er aan gerekend wordt. Vervolgens worden in hoofdstuk zes en zeven de constructieve en bouwtechnische maatregelen besproken die wel of niet nodig zijn om waterberging te realiseren op een dak. Daarna wordt in hoofdstuk acht besproken hoe al deze informatie geschikt gemaakt kan worden voor woningeigenaren. Tenslotte wordt in hoofdstuk negen een conclusie getrokken op basis van het onderzoek. Tevens worden er aanbevelingen gedaan.

2. WATERBERGING

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag “Wat wordt er verstaan onder waterberging op daken?”. Hierin wordt besproken wat waterberging inhoudt, waarom er water geborgen moet worden, welke instanties hiermee bezig zijn, hoe waterberging toegepast kan worden op bestaande daken en welke eisen er gesteld worden vanuit de waterschappen bij waterberging op daken.

2.1 WAT IS WATERBERGING?

De Encyclo (z.d.) definieert waterberging als “Het tijdelijk of langdurig bergen van (regen)wateroverschotten uit de omgeving”. Met andere woorden: (regen)water wordt tijdelijk opgevangen in de bodem, sloten, beekjes en oppervlaktewater in de omgeving. Wanneer het gaat over waterberging wordt vaak ook gesproken over de drietrapsstrategie waterkwantiteit. Deze strategie gaat uit van de prioriteitsvolgorde vasthouden – bergen – afvoeren. Dat betekent in de praktijk het volgende:

Vasthouden

Het water zodanig lokaal vasthouden dat het in de grond zakt met als gevolg dat de grondwaterstand fluctueert binnen afgesproken grenzen.

Bergen

Wanneer er meer water aanwezig is dan kan worden vastgehouden, dan zal het water af moeten stromen naar oppervlaktewater waar het geborgen zal moeten worden. Het waterpeil van het oppervlaktewater mag fluctueren binnen afgesproken grenzen.

Afvoeren

Wanneer zowel het grondwater als het oppervlaktewater zijn maximum peil heeft bereikt, moet het water worden afgevoerd. Dit gaat via het riool en andere afvoersystemen.

Deze drietrapsstrategie is opgezet omdat Nederland in de jaren '90 vaak werd geconfronteerd met onveilige situaties door dreigende overstromingen vanuit de rivieren en overlast door intensieve regenval. Dit leidde tot aanzienlijke schade voor burgers en bedrijven. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000)

2.2 BELANG VAN WATERBERGING

Door toename van stedelijke bebouwing is er alsmaar meer verharding van de bodem door verstening, asfalt en bebouwing. Met als gevolg dat de afstroming van het water naar de bodem wordt bemoeilijkt. Doordat in veel gebieden de riolering niet is afgekoppeld van de hemelwaterafvoer, zorgt dit vaak voor wateroverlast tijdens hevige regenbuien die door klimaatverandering steeds vaker voorkomen. Tijdens een hevige regenbui komt wateroverlast voornamelijk voor op het laagste punt in een gebied waar veel verharding is. Wanneer al het water zich verzamelt op het laagste punt in het desbetreffende gebied, kan de riolering de hoeveelheid water niet aan en staan de straten blank. Hiernaast een voorbeeld van wateroverlast dat plaats vond in Breda in september vorig jaar.



Figuur 2 - Wateroverlast in Breda (foto: Gabor Kaanders)

Wateroverlast is niet de enige oorzaak van schade in het stedelijk gebied. Doordat in deze gebieden weinig tot geen water wordt vastgehouden – in combinatie met langere periodes van hitte en droogte – ontstaan er hitte-eilanden. Hitte-eilanden zijn plekken in stedelijke gebieden waar de temperatuur

hoger ligt dan in het omliggende landelijk gebied. Uit onderzoek van Estrada, Botzen, & Tol (2017) blijkt dat lokale economieën hierdoor schade lijden. Gemiddeld lijdt de economie van een stad tot 2,6 keer meer onder klimaatverandering wanneer het hitte-eilandeffect wordt meegerekend. (Estrada, Botzen, & Tol, 2017)

In 2011 heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) een rapport opgesteld in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). Dit rapport is geschreven door Dirven-van Breemen, Hollander & Claessens (2011) en beschrijft de gevolgen van klimaatverandering in de stad. Ook stellen zij dat er meer water geborgen moet worden en dat het bergen van water het hitte-eilandeffect in de stad tegengaat. (Dirven-van Breemen, Hollander, & Claessens, 2011)

Om de waterproblematiek tegen te gaan zijn waterschappen in Nederland eisen gaan stellen om verhard oppervlak te compenseren met waterberging. Dit wordt ook wel de watercompensatie genoemd. Zo had het waterschap Brabantse Delta in zijn hydrologische uitgangspunten de eis gesteld dat voor nieuwe ontwikkelingen er 78 mm/m² water geborgen moet worden. Hier sloot de gemeente Breda zich bij aan. Vervolgens hebben zij deze eis meegenomen in het Hemel- en Grondwaterbeleid. Eveneens verplichten zij zich ook om bij herstructurering (sloop en herbouw) 7 mm/m² water te bergen. Naderhand heeft het waterschap Brabantse Delta de eis binnen zijn hydrologische uitgangspunten verlaagd tot 60 mm/m², omdat zij gezamenlijk met de andere waterschappen – voor de gehele provincie Brabant – dezelfde eis wilden stellen. Gezien de klimaatverandering heeft gemeente Breda ervoor gekozen om de eis op 78 mm/m² te laten staan. (Gemeente Breda, 2012), (Waterschap Brabantse Delta, 2018)

Niet alleen overheidsinstanties zouden de waterproblematiek tegen moeten gaan. Waterexperts zoals Oscar Kunst van Stichting Rioned wijzen erop dat particulieren in veel gevallen zelf verantwoordelijk zijn voor de aanpak van wateroverlast. Uit een recente enquête van de NOS (2018) blijkt dat particulieren naar de gemeente wijzen om wateroverlast tegen te gaan. Zo willen 85% van de mensen, die regelmatig last hebben van wateroverlast, dat de gemeente investeert in de riolering of het aanleggen van groenvoorzieningen. Van deze mensen is maar een kwart bereid om meer rioolheffing te betalen en iets meer dan de helft zegt bereid te zijn zelf aanpassingen in zijn eigen tuin te doen. (NOS, 2018)

Niet iedereen is bereid om zelf mee te werken om de waterproblematiek tegen te gaan. Gemeentes zoals de gemeente Breda proberen bewoners te stimuleren om zelf het probleem aan te pakken. Zij subsidiëren en promoten groene daken en andere groenvoorzieningen. Dit blijkt niet aan te slaan bij de bewoners omdat er vaak nog veel onduidelijkheid is over de consequenties met betrekking tot hun woning. Zo is geconstateerd dat het niet duidelijk is voor bewoners of de constructie van hun dak sterk en stijf genoeg is voor een groendak en welke keuzes zij hier hebben. Er komen kosten bij kijken die op dit moment in de regeling niet gesubsidieerd worden.

2.3 WATERBERGING OP DAKEN

Problemen als wateroverlast en hitte-eilanden binnen het stedelijk gebied zijn veelal ontstaan door verharding van de bodem en het veranderende klimaat. De daken binnen het stedelijk gebied hebben een groot aandeel in de totale verharde oppervlakte. Oppervlakte waar niets mee wordt gedaan waarbij vaak het grootste deel in handen is van de bewoners. Door het dakoppervlak in te zetten voor waterberging wordt het water lokaal vastgehouden en kunnen problemen als wateroverlast en hitte-eilanden worden tegengegaan. Het probleem wordt aangepakt op de eerste trap van de drietrapsstrategie, namelijk vasthouden. Echter niet alle daken zijn geschikt voor het bergen van water; veel daken zijn ontworpen als schuine daken met als bedoeling zo veel mogelijk neerslag af te voeren in de kortst mogelijke tijd. Platte daken daarentegen kunnen wel ingezet worden om water te bergen. Binnen het stedelijk gebied is weinig bekend over hoeveel vierkante meters platte daken er zijn tegenover schuine daken. Om inzicht te kunnen geven over de verhouding van platte daken tegenover

schuine daken binnen het stedelijk gebied wordt informatie gebruikt uit een statistische analyse welke Arcadis heeft uitgevoerd in 2010 voor de provincie Utrecht. De gegevens zijn beschreven in tabel 1 (zie volgende pagina). (Arcadis, 2010)

Tabel 1 - Gegevens van percentages platte daken in Utrecht, resultaten van Arcadis (2010) (eigen tabel)

Type dak Soort	Plat	Schuin tot 35 graden	Schuin vanaf 35 graden
Wonen, laagbouw	12%	28%	60%
Wonen, hoogbouw	32%	15%	53%
Werken, bedrijven	41%	23%	36%

Als deze analyse als een gemiddelde wordt gezien voor heel Nederland betekent dit dus dat platte daken in de woningbouw relatief minder voorkomen dan schuine daken. Ook al is het aandeel platte daken in de laagbouw klein, ligt de focus van het project Share My City toch in de laagbouw omdat het project de lokale bevolking wil stimuleren om water te bergen op hun percelen. Mensen die wonen in laagbouw hebben vaak een tuin tot hun beschikking voor waterberging en zijn eigenaren van hun dak wanneer zij het huis hebben gekocht dit in tegenstelling tot bewoners van hoogbouw. Bewoners van hoogbouw hebben vaak alleen een balkon ter beschikking als buitenruimte en zijn niet de volledige eigenaar van het dak van het gebouw.

Het realiseren van waterberging op platte daken kan door middel van een groen of blauw dak. Deze daken – afhankelijk van het systeem – kunnen de afvoer van het (regen)water vertragen en zo de riolering ontlasten en daarmee wateroverlast voorkomen. Tevens kunnen deze daken – ook afhankelijk van het systeem – water bergen in het substraat of door middel van een permanent waterpeil.

Groendak

Groene daken zijn daken bedekt met planten. Ze worden onderscheiden in twee categorieën namelijk extensieve dak begroeiing en intensieve dak begroeiing. Een dak met intensieve begroeiing wordt buiten beschouwing gelaten omdat deze voornamelijk bestaat uit dakparken en daklandschappen welke niet realiseerbaar zijn op woningen. Daken met een extensieve begroeiing zijn daken als mos-sedum daken, natuurdaken en retentiedaken.

Mos-sedum dak

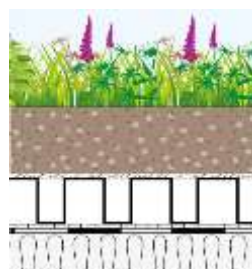
Dit dak heeft een relatief dunne substraatlaag en de begroeiing bestaat uit vetplantjes. Het waterbergend vermogen is variërend en afhankelijk van de dikte van het substraat. Dit type dak is toepasbaar op zowel platte als schuine daken tot en met een hellingshoek van 45 graden.



Figuur 3 - Mos-sedum dak (Optigroen, 2014)

Natuurdak

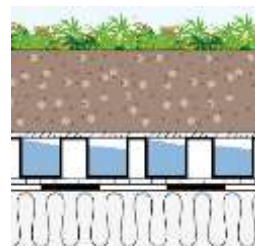
Een natuurdak is een mos-sedum dak maar met een dikkere substraatlaag. Hierop worden vaak zoveel mogelijke inheemse plantensoorten geplant om de lokale biodiversiteit te vergroten. Evenals het mos-sedum dak is het waterbergend vermogen ook variërend en afhankelijk van de dikte van het substraat. Dit type dak is alleen toepasbaar op platte daken.



Figuur 4 – Natuurdak (Optigroen, 2014)

Retentiedak

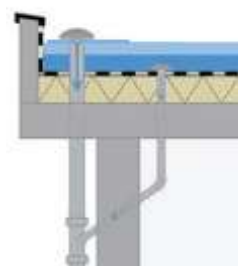
Retentiedaken hebben naast een substraatlaag ook een drainage-buffer laag. Hierin wordt water geborgen in de substraatlaag en wordt het water in de drainage-buffer laag vertraagd afgevoerd. Er zijn ook mogelijkheden om water te bergen in de drainage-buffer laag. Dit type dak is alleen toepasbaar op platte daken.



Figuur 5 – Retentiedak
(Optigroen, 2014)

Blauw dak

Een blauw dak – ook wel een waterdak genoemd – is een type dak waar het water op blijft liggen en vertraagd wordt afgevoerd tot een bepaald waterpeil. Het vertraagd afvoeren van het water gaat middels een geknepen afvoer. Hierdoor wordt er ruimte gemaakt op het dak om het water uit een volgende bui te bufferen waardoor de riolering wordt ontlast. Dit type dak is alleen toepasbaar op platte daken. Voor meer informatie hierover zie Bijlage C.



Figuur 6 – Waterdak
(Rainproof, 2018)

2.4 EISEN VANUIT DE WATERSCHAPPEN

Zowel groene als blauwe daken slaan water op. Maar de waterschappen deze nog niet altijd mee in de watercompensatie. In een artikel geschreven door Laeven & Broks (2016) heeft STOWA begin 2016 een telefonische interviewronde laten uitvoeren om te inventariseren of waterschappen groene daken mee nemen in de watercompensatie om te voldoen aan de waterbergingeisen. (Laeven & Broks, 2016)

Uit de inventarisatie blijkt dat 18% van de waterschappen groene daken wel meenemen in de watercompensatie. 14% zegt nee. Zij stellen dat groene daken wel waterbergen maar onvoldoende capaciteit hebben en het effect ervan nihil is in de winter maanden. De meerderheid van 55% het wel mee te nemen mits het aan bepaalde eisen voldoet. Een belangrijke eis is dat een groendak binnen een bepaalde tijd geledigd is om een volgende bui op te kunnen vangen. Ten slotte hanteren de overige 18% een 'nee, tenzij' beleid. Zij rekenen de waterberging van een groendak wel mee als de initiatiefnemer het waterbergend vermogen van het groendak kan aantonen.

2.5 CONCLUSIE

Met waterberging op het dak wordt verstaan dat water middels de substraatlaag langdurig geborgen kan worden op het dak. De waterschappen nemen groen- en blauwe daken alleen mee in de watercompensatie wanneer deze voldoen aan bepaalde eisen zoals ledigingstijd. Groene daken als mos-sedum- en natuurdaken bergen water in het substraat, maar wanneer deze verzadigd zijn stroomt al het overtollige water direct naar de afvoer. Daarom zien waterschappen deze daken niet als daken met een waterbergend vermogen. Retentie- en waterdaken hebben volgens de eisen van de waterschappen wel een waterbergend vermogen omdat zij een ledigingstijd hebben.

3. CONSTRUCTIE MATERIALEN VAN DAKEN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag "Uit welke constructieve materialen bestaat een dak?". Zoals eerder beschreven in hoofdstuk 2 worden binnen dit hoofdstuk alleen platte daken beschouwd. Er wordt uitgelegd wat constructieve materialen zijn en waarvoor zij dienen. Vervolgens wordt besproken welke constructieve materialen er toegepast worden bij dakconstructies in de woningbouw.

3.1 CONSTRUCTIEVE MATERIALEN

De constructie van een gebouw is het skelet van het gebouw. Alle onderdelen die binnen een gebouw belasting dragen maken deel uit van de constructie. Deze onderdelen moeten volgens het Bouwbesluit 2012 sterk genoeg zijn om gedurende hun restlevensduur voldoende bestand zijn tegen de daarop werkende krachten. Zodoende draagt elk dragend onderdeel bij om de optredende krachten in goede banen naar de fundering te leiden en zo een veilige omgeving te creëren waar mensen kunnen verblijven of werken. (Bouwbesluitonline, 2018)

Om de veiligheid te garanderen worden alle onderdelen van de constructie doorgerekend om zo het juiste constructiemateriaal te kiezen. Wanneer een onderdeel wordt belast ontstaan er diverse spanningen binnenin het onderdeel zoals druk- of trekspanningen. Deze spanningen worden opgenomen door het materiaal waarvan het onderdeel is gemaakt. Diverse constructieve materialen hebben zo hun eigen limieten met betrekking tot het weerstaan van spanningen.

In de Eurocode zijn de materialen beschreven welke toegepast mogen worden bij het realiseren van een bouwconstructie. Omdat elk materiaal zich anders gedraagt onder belasting heeft elk materiaal zijn eigen norm binnen de Eurocode. De materialen die toegepast mogen worden – bij het realiseren van bouwconstructies – met de bijbehorende norm zijn beschreven in tabel 2.

Tabel 2 - Constructieve materialen met bijbehorende normen (eigen tabel)

Materiaal	Norm
Beton	NEN-EN 1992 - Ontwerp en berekening van betonconstructies
Staal	NEN-EN 1993 - Ontwerp en berekening van staalconstructies
Staal-beton	NEN-EN 1994 - Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies
Hout	NEN-EN 1995 - Ontwerp en berekening van houtconstructies
Metselwerk	NEN-EN 1996 - Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk
Aluminium	NEN-EN 1999 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies

3.2 DAKCONSTRUCTIES

De dakconstructie is onderdeel van de hoofddraagconstructie van een gebouw. De dakconstructie kan op verschillende manieren en met verschillende materialen uitgevoerd worden. Volgens loodgietersbedrijf J. Distel, dat gespecialiseerd is in diverse diensten waaronder dakbedekking, zijn de dragende onderdelen van een plat dak van een woonhuis bijna altijd van hout of beton; staal wordt zelden toegepast. (J. Distel B.V., 2018)

Een reden hiervan is dat staal zeer gevoelig is bij brand. Bij intense vuurbelasting neemt de sterkte van staal drastisch af waardoor de constructie kan bezwijken voordat bewoners kunnen vluchten. Zo stelt Jean-François Denoël dat de sterkte van staal bij brand in 10 à 15 minuten snel afneemt. Om staal te laten voldoen aan de brandwerendheidseis moet het ingepakt worden met een brandwerende isolatie. Daarnaast zijn stalen constructies licht van gewicht waardoor zij minder geluidwerende eigenschappen

hebben. Daarom worden stalen constructies zelden toegepast in de woningbouw. (Denoël, 2018), (Bouwen met Staal, 2010)

3.2.1 BETONNEN DAKCONSTRUCTIES

Betonnen platdakconstructies komen veel voor in de woningbouw. Zo zijn ze vaak uitgevoerd in vorm van breedplaatvloeren of kanaalplaatvloeren.

De breedplaatvloer wordt deels geprefabriceerd en wordt vervolgens in de bouw aangestort met beton om een solide betonnen dak te creëren. De wapening boven de schil van de breedplaatvloer werkt passief. Dit betekent dat deze pas trekspanning op zich zal nemen wanneer de breedplaatvloer wordt belast.

Een kanaalplaatvloer wordt volledig geprefabriceerd. De wapening in de kanaalplaatvloer werkt actief. Dit betekent dat er door voorspanstrengen een drukspanning in het beton wordt geleid, hierdoor zal de capaciteit van de doorsnede worden vergroot.

3.2.3 HOUTEN DAKCONSTRUCTIES

Een houten platdakconstructie bestaat uit een houten balklaag met een bepaalde hart op hart afstand waarbij de balken een bepaalde breedte en hoogte maat hebben afhankelijk van de overspanning en de te dragen belasting. Vaak zijn dit soort daken toegepast bij oudere gebouwen, schuren van woningen en bij het realiseren van een uitbreiding of een uitbouw.

3.3 CONCLUSIE

Constructieve materialen geven een onderdeel zijn sterkte. Ieder constructief materiaal dat toegepast kan worden in de bouw heeft zijn eigen sterkte-eigenschappen. De meeste toegepaste constructiematerialen voor platte daken binnen de woningbouw zijn beton en hout. Betonnen daken worden vaak toegepast in de vorm van breedplaat- of kanaalplaatvloeren. Houten daken worden toegepast in de vorm van een balklaag.

4. CONSTRUCTIEVE NORMEN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag “Welke constructieve normen dienen aangehouden te worden voor het verbouwen van bestaande daken?”. Hierin bespreken we wat de normen inhouden en wanneer een onderdeel onder verbouw valt. Tevens wordt erin besproken welke reducties aangehouden mogen worden bij berekeningen aan verbouw.

4.1 CONSTRUCTIEVE NORMEN VOOR VERBOUW

Voor het uitwerken van een bestaande constructie door renovatie of verbouw verwijst artikel 2.5 van de Bouwbesluit 2012 naar NEN 8700 en de Eurocode. De Eurocode is een reeks Europese normen en richtlijnen voor de bouwwereld die gebruikt wordt voor het ontwerpen en berekenen van bouwconstructies. De NEN 8700 is gebaseerd op NEN-EN 1990 (Grondslagen van constructief ontwerp), afkomstig uit de Eurocodereeks. De NEN 8700 dient te worden gezien als een aanvullende norm op NEN-EN 1990+NB (Nationale Bijlage) voor het beoordelen, toetsen en/of afkeuren van bestaande gebouwen. Tevens is deze norm ook bedoeld voor de beoordeling of een verbouwing een voldoende mate van duurzame veiligheid en bruikbaarheid heeft.

Volgens artikel 1, eerste lid, onderdeel a, van de Woningwet is alle verbouw te beschouwen als bouwen en gelden daarvoor de nieuwbouwnormen. Volgens artikel 4 vallen alleen de fysiek veranderde onderdelen onder de nieuwbouweis. Dit betekent dat wanneer een bestaand gebouw verbouwd wordt, alleen de nieuw te bouwen onderdelen onder de nieuwbouweis vallen. Wanneer een dak verbouwd zou worden tot groendak en de huidige balklaag niet vervangen wordt, dan mag de balklaag berekend worden volgens NEN 8700. Stel dat de balklaag niet voldoet aan de extra belasting als gevolg van het groendak en hij moet versterkt worden, dan wordt dit gezien als een fysieke verandering. Dit betekent dan dat de balklaag berekend moet worden volgens de huidige Eurocode. Het is eveneens niet de bedoeling om een gebouw direct na ingebruikname het te verbouwen om vervolgens met de lagere eisen vanuit NEN 8700 te rekenen. Zo stelt NEN 8700 het volgende in opmerking 2:

“Om misbruik te voorkomen is wettelijk geregeld dat wanneer een bouwaanvraag onvolledig of onjuist is gedaan (bijvoorbeeld in het geval een bouwwerk kort na ingebruikname anders wordt gebruikt dan bij de aanvraag kenbaar gemaakt), de omgevingsvergunning voor het bouwen kan worden ingetrokken. Deze norm regelt dat als kort na ingebruikname een bestaand bouwwerk wordt vergroot, op de vergroting het nieuwbouwniveau van constructieve veiligheid van toepassing is.” (Normcommissie 351001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies", 2011)

Ondanks NEN 8700 dienen partijen te streven naar het veiligheidsniveau behorend bij nieuwbouw. Wanneer een partij wil afwijken van de nieuwbouweisen en de verbouweisen wil hanteren, dan eist NEN 8700 een goede motivering, zoals kosten welke economisch onverantwoord zijn om een constructie bij verbouwing toch aan de huidige eisen te laten voldoen.

Naast de Eurocodereeks en NEN 8700 bestaan er ook nog de oudere normen als NEN 6700 series en normen als de TGB. Deze mogen tegenwoordig niet meer gebruikt worden voor het toetsen van bestaande woningen of verbouw, maar worden wel gezien als waardevolle bronnen.

4.2 REKENEN AAN VERBOUW

Wanneer getoetst wordt of een bestaand of nieuw te bouwen onderdeel van een gebouw voldoet dan wordt dit gedaan aan op basis van sterkte en stijfheid. In de constructiewereld worden onderdelen getoetst op sterkte in de uiterste grenstoestand (UGT) en op stijfheid in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Bij toetsing op stijfheid zijn de belastingen in de gebruiksfase van toepassing, met andere woorden de representatieve waarde van de ontwerpbelastingen. Op basis van

deze belasting wordt de vervorming van de constructie bepaald. Vervolgens wordt getoetst of de optredende vervorming binnen de gestelde eisen blijft. Zo is de eis voor de maximale vervorming (doorbuiging) van een dak volgens het Bouwbesluit 0,004 maal de overspanning. Bij een toetsing op sterkte wordt het onderdeel berekend ten opzichte van de vloeigrens. Dit is de maximaal optredende spanning die een materiaal aankan voordat het onveranderbare vervormingen begint te vertonen. De aangenomen belastingen worden met partiële factoren (veiligheidsfactoren) vermenigvuldigd. Hierdoor ontstaat er een rekenbelasting op het onderdeel. De resulterende spanningen als gevolg van de rekenbelasting mogen niet de toelaatbare spanning van het materiaal overschrijden.

In NEN 8700 is opgenomen dat bij het rekenen aan verbouw het eigen gewicht niet gereduceerd mag worden. De veranderlijke belasting wel gereduceerd worden met uitzondering van sneeuw en regenwater. Echter mogen wel gereduceerde partiële factoren aangehouden worden voor het bepalen van de rekenbelasting om een onderdeel te toetsen op sterkte. Bij het rekenen aan gebouwen geldt bij een woning de veiligheidsklasse CC2. Dit betekent dat de in tabel 3 beschreven partiële factoren worden aangehouden voor verbouw.

Tabel 3 - Aan te houden partiële factoren bij veiligheidsklasse CC2 volgens NEN 8700 (eigen tabel)

	Eigen gewicht	Veranderlijke belasting	Veranderlijke belasting als wind
Vergelijking. 6.10.a	1.30	1,30	1,40
Vergelijking. 6.10.b	1,15	1,30	1,40
Buitengewoon Vergelijking 6.11	1.00	1.00	1.00

Wanneer een onderdeel toch fysiek wordt veranderd moet het getoetst worden aan de nieuwbouweisen. In tabel 4 zijn de partiële factoren beschreven welke aangehouden dienen te worden.

Tabel 4 - Aan te houden partiële factoren bij veiligheidsklasse CC2 volgens NEN-EN 1990-1-1 (eigen tabel)

	Eigen gewicht	Veranderlijke belasting	Veranderlijke belasting als wind
Vergelijking. 6.10.a	1.35	1,50	1,50
Vergelijking. 6.10.b	1,20	1,50	1,50
Buitengewoon Vergelijking 6.11	1.00	1.00	1.00

4.3 CONCLUSIE

Verbouwen moet altijd volgens de normen van de Eurocode. Afwijking naar NEN 8700 is mogelijk mits goede motivering en onderdelen niet fysiek aangepast moeten worden. Oudere normen mogen niet gebruikt worden bij verbouw maar worden wel gezien als waardevolle bronnen.

5. FAALMECHANISME VAN DAKEN

In hoofdstuk 2 is aangetoond dat groene daken als mos-sedum daken – welke toepasbaar zijn onder een helling – geen waterbergend vermogen hebben. Water- en retentiedaken hebben dat wel maar deze kunnen alleen toegepast worden op een plat dak. Daarom wordt binnen dit hoofdstuk alleen platte daken beschouwd.

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag “Wat is het faalmechanisme van een dak bij wateraccumulatie?”. Binnen dit hoofdstuk wordt eerst uitgelegd wat wateraccumulatie is op een dak. Vervolgens worden enkele daken van bouwwerken besproken die zijn bezweken onder belasting van water, wat hiervan de oorzaken waren en hoe dit voorkomen had kunnen worden. Ook wordt besproken hoe getoetst kan worden of extra belasting afkomstig van wateraccumulatie kan leiden tot instorten van het dak.

5.1 WATERACCUMULATIE

Volgens de (Encyclo, 2018) betekent accumulatie een ophoping van een bepaalde stof. Zo is wateraccumulatie een ophoping van water. Op een plat dak blijft – wanneer dit niet direct wordt afgevoerd – het water liggen en accumuleert het zich op het laagste punt van het dak. Door de waterbelasting zal de onderliggende dakconstructie doorbuigen; dit leidt ertoe dat er meer water kan accumuleren. Deze reeks handelingen zal zich herhalen totdat de constructie als gevolg van de extra waterbelasting niet verder zal doorbuigen. Dan is er een evenwicht bereikt of er ontstaat geen evenwicht en de constructie bezwijkt. Dit is het faalmechanisme van een plat dak.

Het fenomeen wateraccumulatie is al langere tijd bekend. In 1980 bracht het toenmalige Staalbouwkundig Genootschap (nu: vereniging Bouwen met Staal) een publicatie uit over dit fenomeen. Destijds is er niet veel mee gedaan en werd er ook geen vermindering van het aantal schadegevallen geconstateerd. Totdat in 2002 op één dag zes daken instortten tijdens een zware regenbui. Het instorten van het dak van het warenhuis Ikea in Amsterdam trok veel aandacht. Zelfs vandaag wordt daar vaak naar verwezen. Het instorten van het dak leidde destijds ook tot vragen in de Tweede Kamer. Hierop bracht de inspectie van de ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) het onderzoeksrapport *instortingen van lichte platte daken* (VROM, 2003) uit. Hierin is de omvang van de problematiek geschetst en zijn aanbevelingen gegeven om instortingen van lichte platte daken tegen te gaan. Tevens zijn ook ruim honderd gevallen van ingestorte daken geanalyseerd. Bij alle onderzochte gevallen bleek er weinig tot geen aandacht besteed te zijn aan het fenomeen wateraccumulatie. Tot op heden bezwijken er volgens Vebidak (2018) – de brancheorganisatie voor bitumineuze en kunststof dakbedekkingsbedrijven – ieder jaar nog steeds circa 15 tot 20 daken door overbelasting ten gevolge van wateraccumulatie. (Vebidak, 2018), (VROM, 2003)

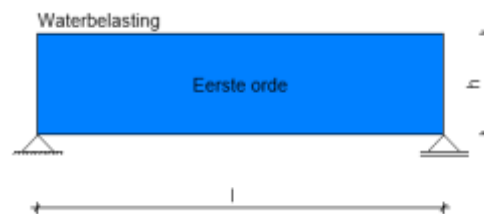
5.2 HET ONTSTAAN VAN HET FAALMECHANISME

Wateraccumulatie ontstaat niet zomaar op een dak en is te voorkomen. Het is vrijwel altijd het gevolg van meerdere factoren. Vaak ontstaan die door fouten in het ontwerp zoals onvoldoende afschot, afvoer capaciteit of een te lichte draagconstructie. Naast fouten in het ontwerp kan het in de uitvoering ook fout gaan. Het komt voor dat het afschot niet volgens tekening is uitgevoerd en dat afvoeren en noodafvoeren foutief zijn geplaatst. Ook kan het zijn dat de onderliggende constructie niet correct is gebouwd wat kan leiden tot verlaagde plekken in het dak waar het water zich kan accumuleren. Toch zal er altijd sprake zijn van wateraccumulatie door het doorbuigen van de constructie waar rekening mee gehouden moet worden.

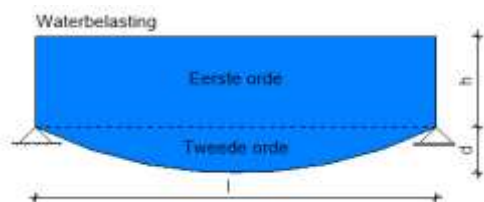
5.3 TOETSEN OP WATERACCUMULATIE

De rekenregels om te toetsen of een dak niet zal bezwijken onder belasting van wateraccumulatie is binnen de Eurocode niet opgenomen. Echter verwijst NEN-EN 1991-1-1 NB wel naar NEN 6702 met de daarbij behorende NPR 6703. Hierin worden de rekenregels beschreven voor het belastinggeval regenwater en een analytische methode waarmee een benadering gemaakt kan worden voor het bepalen van het effect van het belastinggeval regenwater.

Waterbelasting op het dak leidt tot geometrisch niet lineair gedrag van de constructie. Dit betekent dat de belasting in de eerste orde (zie figuur 7) leidt tot extra belasting– middels doorbuiging van het onderdeel – in de tweede orde (zie figuur 8). Dit proces herhaalt zich totdat de extra belasting zodanig minimaal is dat het proces stopt (een evenwicht wordt bereikt) of dat de constructie bezwikt. Hoe stijver een onderdeel is des te minder zal het doorbuigen en het minder last zal hebben van extra belasting in de tweede orde. Niet alleen is de stijfheid van het onderdeel zelf van belang maar ook de kritische stijfheid van het aangehouden systeem (ligger op twee steunpunten). Met de verhouding tussen deze twee stijfheden kan de kritische stijfheidsfactor n van het onderdeel bepaald worden. Dit geeft aan dat wanneer $n > 1$, het onderdeel stijf genoeg is dat er bij belasting een evenwicht gevonden kan worden. Het onderdeel zal dan alleen bezwijken op basis van sterkte (optredende spanning is groter dan de vloeispanning).

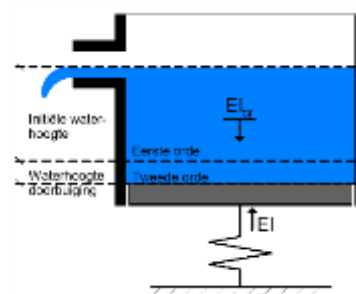


Figuur 8 - Waterbelasting in de eerste orde (eigen figuur)



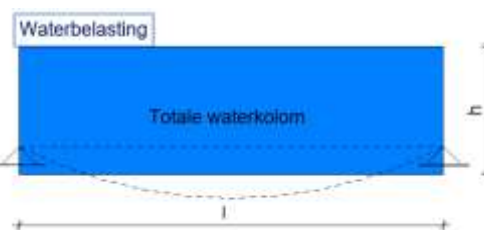
Figuur 7 - Waterbelasting in de tweede orde (eigen figuur)

De stijfheidsfactor n is het makkelijkst uitgelegd aan de hand van een zuiger-veer model (zie figuur 9). Hierin is de veer de stijfheid (EI) van het onderdeel en het water de kritische stijfheid (EI_{cr}) van het model. Wanneer de kritische stijfheid groter is dan de stijfheid van het onderdeel dan zal de veer niet genoeg weerstand kunnen geven. Hierdoor zal de veer alsmaar ingedrukt worden en zal er steeds meer water ophopen totdat de veer bezwikt. Als de stijfheid groter of gelijk is dan de kritische stijfheid van het model dan zal de veer genoeg weerstand kunnen geven om een evenwichtssituatie te creëren of het water eruit te drukken.



Figuur 9 - Zuiger-veer model (eigen figuur)

Uit de verhouding van de n -factor kan vervolgens de hoeveelheid waterbelasting bepaald worden die zich voor zal doen op het dak na doorbuiging. Dit wordt dan getransleerd naar een gelijkmatig verdeelde belasting. In figuur 10 is te zien hoe de belasting van de tweede orde wordt opgenomen in de totale waterbelasting ten opzichte van de doorbuiging. In het vakblad Bouwen met Staal – Wateraccumulatie (2006) is deze manier voor het berekenen van wateraccumulatie destijds vergeleken met het rekenprogramma ESA PT. De afwijking tussen het rekenprogramma en de handberekening waren minimaal. (Bouwen met Staal, 2006)



Figuur 10 - Totale waterbelasting als gelijkmatig verdeelde belasting (eigen figuur)

Gevallen waar $n < 1$ komen ook voor. Wanneer dit het geval is, dan is de stijfheid van het materiaal zodanig laag dat het onderdeel instabiel kan worden bij een laag spanningsniveau. Het onderdeel kan dan bezwijken alvorens de vloeigrens is bereikt. De situatie $n < 1$ komt voor bij slappe daken. Volgens Kool & Kolner (2003) van het ministerie van VROM zijn dit lichte staalconstructies, vaak bedrijfshallen. Deze zijn in het onderzoek niet meegenomen. (Kool & Kolner, 2003)

5.4 CONCLUSIE

Het faalmechanisme van een dak bij wateraccumulatie ontstaat door zowel ontwerp- als uitvoeringsfouten. Deze kunnen voorkomen worden door rekening te houden met het fenomeen wateraccumulatie. In geval dat een dak correct is ontworpen moet een toetsing op wateraccumulatie – het zij iteratief of analytisch – niet achterwege gelaten worden. Doorbuiging van het dak is altijd van toepassing wat leidt tot extra belasting wat tot bezwijken kan leiden.

6. DAKCONSTRUCTIES

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vraag “Welke versterkingsmaatregelen kunnen er toegepast worden voor daken om aan de constructieve veiligheid te voldoen wanneer het een waterbergende functie krijgt?”. Allereerst moet bepaald worden of er daadwerkelijk maatregelen getroffen moeten worden. Dit wordt gedaan aan de hand van een casestudy welke is gebaseerd op bestaande gebouwen in de gemeente Breda. De bestaande gebouwen worden getoetst op sterkte en stijfheid om te zien of zij zelf voldoende restcapaciteit hebben. Vervolgens wordt een fictief gebouw opgezet – voor zowel het constructiemateriaal hout als beton – aan de hand van de gemiddelde gegevens van de bestaande gebouwen. Daarna wordt bepaald welk type dak wordt toegepast en de daarbij behorende belastingen. Allereerst kan dan bepaald worden of versterkingsmaatregelen nodig zijn en welke versterkingsmaatregelen er toegepast kunnen worden.

De volledige casestudy is te vinden in Bijlage D – Casestudy Constructie.

6.1 BESTAANDE DAKEN

Voor het opzetten van de casestudy zijn gebouwen gebruikt uit vier verschillende straten waarvan de huizen rijwoningen zijn met platte daken. Hiervan zijn van twee straten de daken uitgevoerd met een houten balklaag. Van de resterende twee straten zijn de daken uitgevoerd met breedplaatvloeren. De gebouwen staan in de volgende straten gelegen te Breda.

Straat 1 – Abeelstraat (Hout)

Straat 2 – Wethouder Romboutstraat (Hout)

Straat 3 – Blauwtjes (Beton)

Straat 4 – Sutoriusstraat (Beton)

De daken van deze gebouwen zijn getoetst volgens de Eurocode en NEN 8700 op sterkte en stijfheid om de restcapaciteit te bepalen. De gegevens om de daken te toetsen zijn te vinden in tabel 5 voor de houten dakconstructies en tabel 6 voor de betonnen dakconstructies.

Tabel 5 - Gegevens van de bestaande houten daken (eigen tabel)

Project	Houtsterkteklasse	Overspanning (Max)	Overspanning (Min)	Breedte	Hoogte	h.o.h. afstand
Abeelstraat	C18	3700	2200	80	200	600
Romboutstraat	C18	3800	3000	71	171	600

* Alle getallen in millimeters tenzij anders aangegeven.

** Kwaliteit van het hout is onbekend, aangenomen is C18.

Tabel 6 - Gegevens van de bestaande betonnen daken (eigen tabel)

Project	Betonsterkte klasse (oud)	Betonsterkte klasse (huidig)	Overspanning (Max)	Overspanning (Min)	Dikte vloer	$A_{s,toe}$ (mm ²)
Blauwtjes	B40,5	C28/35	5200	-	195	496
Sutoriusstraat	B35	C28/35	5500	-	190	483

* Alle getallen in millimeters tenzij anders aangegeven.

** Geen minimale overspanning aanwezig, dak overspant van bouwmuur naar bouwmuur.

De in tabel 6 gegeven betonsterktes zijn sinds 2005 verouderd en worden niet meer gebruikt. Destijds werd de letter B, gevolgd door de kubusdruksterkte, gebruikt om beton aan te duiden. Met de huidige regelgeving wordt het aangeduid met de letter C gevolgd door de cilinderdruksterkte en

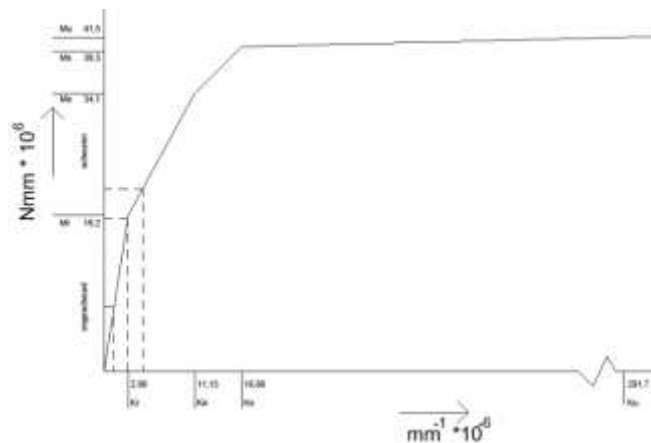
kubusdruksterkte. Deze betonsterktes hebben zo overeenkomsten met elkaar. Destijds is een conversie tabel gemaakt door diverse betoncentrales, deze hebben zij opgenomen in een korte brochure. Zo komt de sterkteklasse B35 overeen met C28/35. De sterkteklasse B40,5 is er niet in meegenomen en wordt deze dus aangenomen op een lagere sterkteklasse zoals C28/35. (Betoncentrale Twenthe BV, Betoncentrale Rijnmond BV, Betoncentrale Diamant BV, 2018)

Elasticiteitsmodulus van beton

Om een betonnen dak te toetsen op stijfheid is de elasticiteitsmodulus nodig. Dit is een materiaalkundig eigenschap die de stijfheid van een onderdeel bepaald. Voor materialen als staal is dit constant. Bij beton is dit niet constant. Dit komt omdat de elasticiteitsmodulus van een betonnen onderdeel afhankelijk is van de scheurvorming die optreedt gedurende zijn levensduur als gevolg van het moment. Zo is de elasticiteitsmodulus hoger daar waar het moment kleiner is.

In de praktijk wordt de elasticiteitsmodulus van beton aangenomen op een derde van zijn initiële elasticiteitsmodulus (begin van zijn levensduur). Deze praktijkregel is gehanteerd voor de bepaling van doorbuiging van de bestaande gebouwen en de casestudy voordat een retentiedak is toegepast.

De elasticiteitsmodulus kan ook exact bepaald worden aan de hand van M-Kappa diagrammen (zie figuur 11) wanneer het moment en de kromming op bepaalde punten bekend is. Vervolgens kan een gemiddelde waarde ervan gebruikt worden om de doorbuiging te berekenen. Dit is berekend en bepaald voor het betonnen dak wanneer een retentiedak wordt toegepast in Bijlagen D1 t.e.m. D3.



Figuur 11 - M-Kappa diagram (eigen figuur)

Uit de resultaten (zie tabel 7) blijkt dat de gemiddelde elasticiteitsmodulus van het beton in een vroeg stadium (BGT, kort) van zijn levensduur dicht bij zijn initiële waarde ligt (31000 N/mm² bij C28/35). Over tijd (BGT, lang), wanneer scheurvorming optreedt, neemt de elasticiteitsmodulus met circa twee derde af. Deze waarde voor de lange duur wordt gebruikt bij de berekening van doorbuiging omdat het beton over zijn levensduur altijd scheurvorming zal vertonen. Tenslotte kan de elasticiteitsmodulus van beton nog verder afnemen in tijden van bezwijken (UGT). Deze waarde wordt gebruikt voor het berekenen van doorbuiging ten aanzien van wateraccumulatie.

Tabel 7 - Gemiddelde waarden van elasticiteitsmoduli (eigen tabel)

	BGT, kort (N/mm ²)	BGT, lang (N/mm ²)	UGT (N/mm ²)
Gemiddelde E-modulus	29707	10679	5336

Resultaten

Met deze gegevens kan de restcapaciteit van de daken berekend worden. Deze worden weergegeven in de vorm van een unity check in tabel 8. Dit is een waarde die niet meer dan 1,0 mag bedragen. Hoe dichter het getal nadert tot 1,0 des te minder restcapaciteit er is. In essentie geeft dit getal in percentage aan wat de optredende spanning, doorbuiging, scheurwijdte etc. is tegenover wat het maximaal mag zijn.

Tabel 8 - Restcapaciteiten van daken van bestaande huizen te Breda (eigen tabel)

Project	Type	Buiging-spanning	Afschuif-spanning	Doorbuiging 0,004l	Scheurwijdte
Abeelstraat	Hout	0,57	0,14	0,44	-
Romboutstraat	Hout	0,91	0,18	0,85	-
Blauwtjes	Beton	0,75	0,21	0,43	0,53
Sutoriusstraat	Beton	0,85	0,22	0,55	0,68

Uit de tabel blijkt dat de gebouwen welke destijds zijn gebouwd aan de huidige normen, wanneer de NEN 8700 wordt toegepast, voldoen en dat deze nog restcapaciteit over hebben. Voor de bijbehorende berekeningen en gegevens zie Bijlage D4 t.e.m. D7.

6.2 CASESTUDY

Met deze gegevens wordt de casestudy gebaseerd op de gemiddelde waarden van de houten daken en de betonnen daken. Deze waarden zijn te vinden in tabel 9 en 10.

Tabel 9 - Aan te houden gegevens voor de casestudy van het houten dak (eigen tabel)

Project	Kwaliteit	Overspanning (Max)	Overspanning (Min)	Breedte	Hoogte	h.o.h. afstand
Gemiddelde waarde	C18	3750	2600	75,5	185,5	600
Toegepast in casestudy	C18	3800	n.v.t.	75	185	600

* Alle getallen in millimeters tenzij anders aangegeven.

** Kwaliteit van het hout is onbekend, aangenomen is C18.

Tabel 10 - Aan te houden gegevens voor de casestudy van het betonnen dak (eigen tabel)

Project	Kwaliteit	Overspanning (Max)	Overspanning (Min)	Dikte vloer	A _{s,ben} (mm ²)	A _{s,toe} (mm ²)
Gemiddelde waarde	B37,8	5350	-	192,5	411,5	489,5
Toegepast in casestudy	C28/35	5400	-	190	-	455

* Alle getallen in millimeters tenzij anders aangegeven.

** Geen minimale overspanning aanwezig, dak overspant van bouwmuur naar bouwmuur.

Vervolgens is aan de hand van deze gegevens ook de restcapaciteit van de casestudy berekend. Hierdoor kan de eventuele toename in spanning die zich voor zal doen in de onderdelen nader beschouwd worden als gevolg van extra belasting van een dak met een waterbergende functie. De resultaten zijn te vinden in tabel 11, voor de berekeningen zie Bijlage D8 en D9.

Tabel 11 - Restcapaciteiten van de daken van de casestudies (eigen tabel)

Project	Type	Buiging-spanning	Afschuif-spanning	Doorbuiging	Scheurwijdte
CaseStudy Hout	Hout	0,65	0,14	0,56	-
CaseStudy Beton	Beton	0,80	0,22	0,50	0,42

6.2.1 TOEGEPAST TYPE DAK

Zoals al is besproken in hoofdstuk 2 kunnen volgens de eisen vanuit de waterschappen alleen water- en retentiedaken water bergen. Om dit te realiseren moet de dakconstructie sterk en stijf genoeg zijn om de extra belasting te dragen. Daarom is het belangrijkste uitgangspunt om een zo licht mogelijk systeem te kiezen. Hierdoor vallen typen retentiedaken als de meander 60 en het drosselsysteem af tegenover het type meander 30.

Waterdaken kunnen zo zwaar worden als de sterkte en stijfheid van het dak het toelaat. Dit soort daken dragen geen extra belasting behalve de waterbelasting. Toch is er uiteindelijk gekozen om een retentiedak type meander 30 toe te passen. De reden hiervoor is dat retentiedaken middels het substraat en beplanting meer teruggeven aan de omgeving. Zo stelt Geert-Jan Derksen (2018) dat groene daken zorgen voor extra zuurstof in de omgeving en de begroeiing als een filter werkt tegen fijnstof. Daarentegen bergen blauwe daken alleen water en eenmaal blootgesteld aan zonlicht kan er volgens Timo Hoekstra (2016) algengroei ontstaan die zal vreten aan de dakbedekking. Daarnaast trekken waterdaken muggen aan die eitjes in het stilstaand water leggen. Dit kan vervelend zijn voor de omgeving. (Derksen, 2018), (Hoekstra, 2016)

6.2.2 BELASTINGEN

Om een dak belast door een retentiedak type meander 30 te toetsen op sterkte en stijfheid moeten eerst de belastingen bepaald worden. Het eigen gewicht spreekt voor zich, dit is het systeem gewicht van het retentiedak plus het gewicht van de dakconstructie. Het is in relatie tot de Eurocode onduidelijk hoe de veranderlijke belasting van een groendak meegenomen moet worden in de berekening omdat dit niet is beschreven. Zo staat er dat voor categorie H-daken een opgelegde belasting van 1 kN/m^2 aangehouden moet worden. Echter zou de veranderlijke belasting op een retentiedak hoger uit kunnen vallen. Dit komt omdat een opeenhoping van sneeuw en water mogelijk is op een retentiedak. Mocht de hemelwaterafvoer (HWA) verstopt zijn dan kan het dak zich in een verzadigde toestand bevinden waar bovenop nog extra sneeuw kan vallen. Wanneer de combinatie sneeuw en water hoger uitvalt dan de aan te houden belasting volgens categorie H, dan wordt belastingcombinatie van sneeuw en water aangehouden. Anders wordt categorie H als minimaal uitgangspunt genomen.

Op een retentiedak type meander 30 komen drie soorten veranderlijke belastingen voor. Zo ligt er water in de substraatlaag gelijk aan $0,4 \text{ kN/m}^2$. Over de belastingduur van dit water is geen zekerheid en wordt het gezien als een langdurige belasting (6 maanden – 10 jaar). Daarnaast is er water aanwezig in de drainage-bufferlaag gelijk aan een hoeveelheid van $0,19 \text{ kN/m}^2$. Dit water wordt gedurende een tijdsperiode van 1 tot 3 dagen afgevoerd naar de HWA en wordt dus gezien als een kortdurende belasting (Minder dan 1 week). Ten slotte is er de sneeuwbelasting die op het dak kan vallen. De sneeuwbelasting in Nederland wordt volgens NEN-EN 1991-1-1 ook gezien als een kortdurende belasting. In Nederland is de sneeuwbelasting op een plat dak – er van uitgaande dat er geen sneeuwafschuiving plaatsvindt uit hoger aangrenzende gebouwen – berekend op $0,56 \text{ kN/m}^2$. Dit geeft een totale belasting van $1,15 \text{ kN/m}^2$ en is hoger dan de opgelegde belasting uit de norm. Voor de berekening wordt dus de combinatie sneeuw en water aangehouden. Voor de uiteindelijke aangehouden belastingen voor zowel het houten als het betonnen dak zie tabel 12.

Tabel 12 - Aangehouden belastingen bij toepassing van retentiedak (eigen tabel)

	Houten dak		Betonnen dak	
	Permanent (kN/m ²)	Veranderlijk (kN/m ²)	Permanent (kN/m ²)	Veranderlijk (kN/m ²)
Dakbedekking	0,07	-	0,07	-
Isolatie	0,16	-	0,16	-
Houten balklaag	0,36	-	-	-
Breedplaatvloer	-	-	4,75	-
Retentiedak meander 30	0,50	-	0,50	-
	-	0,40	-	0,40
	-	0,19	-	0,19
Sneeuw	-	0,56	-	0,56
Totalen	G_{k,pd} = 1,09	q_{k,pd} = 1,15	G_{k,pd} = 5,48	q_{k,pd} = 1,15

De gebruikte gegevens van de belastingen van het retentiedak zijn afkomstig uit de Ontwerp- & Technische Handleiding Dakbegroeiing Gevelbegroeiing van Optigroen (2014). (Optigroen, 2014)

6.2.3 TOETSING EN RESULTATEN

Met de eerder genoemde belastingen kan zowel het houten als het betonnen dak van de casestudy getoetst worden op sterkte en stijfheid. Bij de toetsing wordt eerst de krachtswerking bepaald in de eerste orde. Aan de hand van deze krachtswerking wordt de doorbuiging (stijfheid) bepaald en getoetst om vervolgens de totale waterbelasting te bepalen. Hieruit kan de krachtswerking in de tweede orde berekend worden om vervolgens de dakconstructie te toetsen op sterkte. De toetsing van de daken zijn te vinden in Bijlage D10 en D11 (voor nader uitleg op de berekeningen zie Bijlage D12 en D13). Hieronder in tabel 13 is te zien wat de toename in de krachtswerking is wanneer een retentiedak type meander 30 wordt toegepast.

Tabel 13 - Toename van optredende krachten in het dak (eigen tabel)

Project	Dak	Moment (kNm)	Toename (%)	Dwarskracht (kN)	Toename (%)
CaseStudy Hout	Normaal	2,6	-	2,3	-
	Retentiedak	3,2	18,8	3,4	32,2
CaseStudy Beton	Normaal	25,6	-	19,0	-
	Retentiedak	29,7	13,8	22,0	13,6

In het algemeen zijn houten constructies gevoeliger voor doorbuiging en is dit vaak maatgevend. Dat blijkt ook uit de toename in moment en dwarskracht. Doordat een houten dak meer doorbuigt dan een betonnen dak neemt het moment en dwarskracht als gevolg van wateraccumulatie meer toe.

Aan de hand van de momenten zijn de optredende spanningen berekend en is getoetst of het dak de extra belasting van een retentiedak kan dragen. Voor de resultaten zie tabel 14.

Tabel 14 - Afname van de restcapaciteit door toepassing retentiedak (eigen tabel)

Project	Dak	Buiging-spanning	Afschuif-spanning	Doorbuiging	Scheurwijdte
Casestudy Hout	Normaal	0,65	0,14	0,56	-
	Retentiedak	0,77	0,21	0,93	-
Toename %		15,6	33,3	39,8	-
CaseStudy Beton	Beton	0,80	0,22	0,50	0,42
	Retentiedak	0,90	0,25	0,55	0,47
Toename %		11,1	12,0	9,1	10,6

Uit toetsingen blijkt dat beide daken uit de casestudies voldoen op sterkte en stijfheid. Dit komt omdat op basis van sterkte de partiële factoren gereduceerd mogen worden volgens de NEN 8700. Dit geeft bij toetsing op sterkte extra speling. Bij een toetsing op stijfheid zijn geen partiële factoren aanwezig en kunnen deze dus niet gereduceerd worden. Dit maakt dat een materiaal wat niet gevoelig is voor doorbuiging eerder zal voldoen.

Hoewel beide daken voldoen is toch te zien dat het houten dak gevoeliger is voor de extra belasting uit een retentiedak dan een betonnen dak. Wanneer beide daken worden beschouwd, dan komt de gevoeligheid voor de extra belasting voornamelijk door de verhouding van toename in het eigen gewicht. Verhoudingsgewijs wordt het eigen gewicht van het houten dak verdubbeld bij plaatsing van een retentiedak. Bij een betonnen dak neemt het eigen gewicht maar met een fractie van zijn totale gewicht toe. Dit komt omdat betonnen daken van zichzelf al zwaar zijn.

Uit de resultaten is ook te lezen dat het houten dak zeer gevoelig is voor doorbuiging. Op basis hiervan zullen houten daken ook eerder afgekeurd worden op stijfheid dan op sterkte. Toch hoeft een dak volgens NEN 8700 niet afgekeurd te worden op basis van doorbuiging. De norm zegt het volgende hierover:

“Nieuwbouweisen ten aanzien van bruikbaarheid en beschikbaarheid zijn vaak indirect gesteld. Zo heeft een doorbuigingseis meestal te maken met het klemmen van deuren in gebouwen, een onaangename rijervaring bij bruggen of een aantasting van het profiel van vrije ruimte.

Omdat het gedrag van een bestaande constructie vaak bekend is, kan waar mogelijk beter de nieuwbouweis achterwege worden gelaten en het feitelijke gedrag in termen van bruikbaarheid en beschikbaarheid worden beoordeeld. Bij beoordeling van een verwacht toekomstig gedrag is gehele of gedeeltelijke terugkeer naar de indirecte eisen soms onvermijdelijk.

Ook daar blijft echter gelden dat het rigide vasthouden aan een nieuwbouweis economisch bezien erg onvoordelig kan zijn. Een afweging van mogelijke financiële gevolgen van onvoldoende beschikbaarheid en bruikbaarheid tegen de mogelijke maatregelen is de enige rationele beslisgrond.” (Normcommissie 351001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies", 2011)

6.3 NOODOVERLATEN

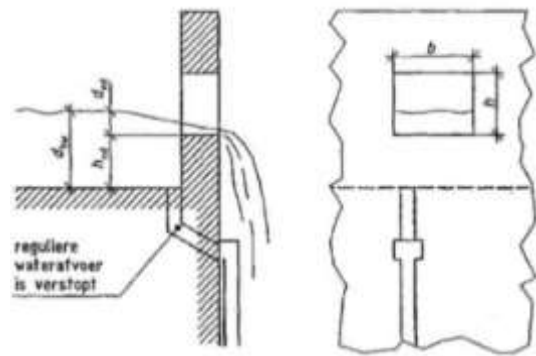
Naast de sterkte en stijfheid van het dak moet ook voorkomen worden dat de aangenomen belastingen niet hoger uitvallen. Daarom worden noodoverlaten toegepast op het dak welke moeten voorkomen dat er te veel water op het dak komt te liggen omdat bijvoorbeeld de HWA verstopt is of omdat de intensiteit van de bui zo hevig is dat de HWA de afvoer niet aan kan.

Bij een normaal dak wordt de maximaal optredende waterhoogte (d_{hw}) zoals te zien in figuur 12 berekend door de hoogte tot de onderkant (drempelhoogte) van de noodoverlaat (h_{nd}) en de waterhoogte boven de noodafvoer (d_{nd}) bij elkaar op te tellen. Wanneer de belasting uit de maximaal optredende waterhoogte de opgelegde belasting niet overschrijdt dan voldoet het.

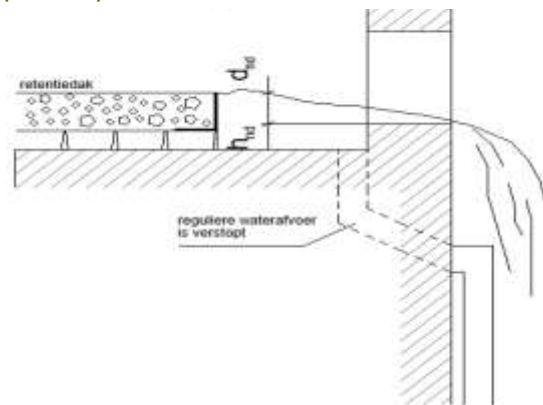
Bij een groendak moet juist de drempelhoogte van de noodoverlaat bepaald worden. Omdat het water niet boven het substraat mag uitkomen is de drempelhoogte dus afhankelijk van de waterhoogte boven de afvoer (d_{nd}) en de totale systeem hoogte van het retentiedak. Daarom wordt de noodoverlaat dus lager geplaatst dan de bovenkant van het substraat, zie ook figuur 13.

De hoeveelheid water die zich dan op het dak bevindt is gelijk aan het aantal mm dat de drainagebuffer laag kan bergen en de hoogte van het substraat vermenigvuldigd met het poriëngehalte van het substraat.

De berekening (zie ook Bijlage D14) geeft dus aan dat de drempelhoogte (h_{nd}) max 56 mm mag zijn.



Figuur 12 - Hoogte van de wateroverlaat bij een normaal dak (NEN 6702)



Figuur 13 - Hoogte van de noodoverlaat bij een retentiedak (eigen figuur)

6.4 VERSTERKINGSMAATREGELEN

Uit de berekeningen en toetsingen van de casestudy blijkt dat de daken geen versterkingsmaatregelen nodig hebben. Toch zullen er zich nog steeds daken voordoen waarbij versterkingsmaatregelen nodig zijn omdat een dak niet voldoet of omdat een zwaarder systeem gewenst is. Daarbij zullen houten daken eerder versterkingsmaatregelen nodig hebben omdat deze gevoeliger zijn voor de extra belasting.

Wanneer een constructie verstevigd moet worden, dan wordt deze wel fysiek aangepast en kan NEN 8700 niet meer toegepast worden om met lagere partiële factoren te rekenen.

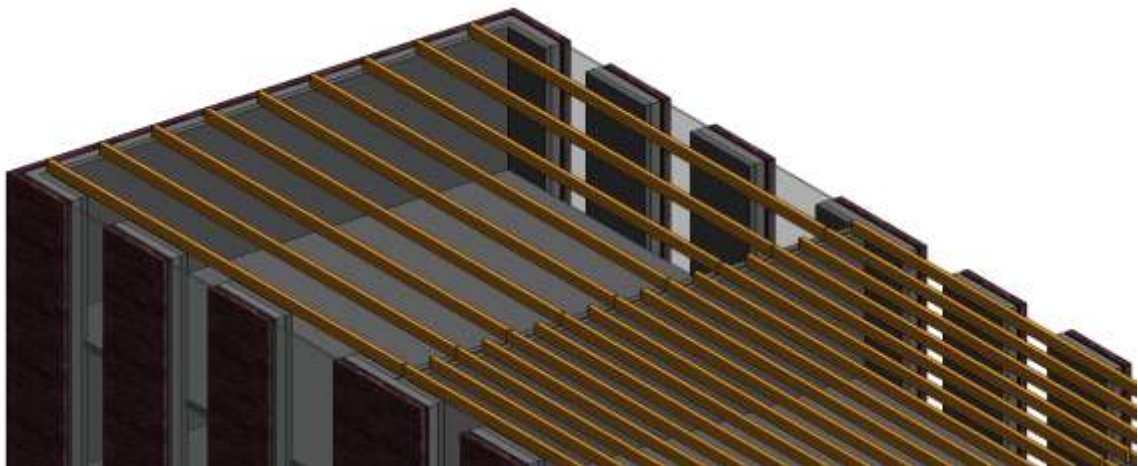
6.4.1 VERSTERKINGSMAATREGELEN HOUTEN DAKEN

Houten daken zijn zeer bewerkbaar en kunnen op diverse manieren versterkt worden. Een eerste mogelijkheid is om triplex platen op de zij- boven- en onderkanten van de balken van de balklaag te bevestigen. Dit wordt gedaan middels houtdraadbouten.

Versterken van de balken door triplex platen is het meest effectief wanneer een balk in de hoogte wordt verdikt. Hierdoor wordt de inwendige hefboomsarm vergroot waardoor er meer spanning opgenomen kan worden. De balk zal dan wel gaan werken als een samengestelde ligger. De verbinding moet dan gecontroleerd worden omdat de buigspanning middels schuifspanning door de verbinding naar de triplex plaat wordt gebracht. Bij versterking van de balk in de hoogte moet wel rekening gehouden worden met de vrije hoogte in de ruimte. Versterken door de zijkanten van de balken te verdikken met triplex platen is ook mogelijk. De toename in opneembare buigspanning is minder, maar de buigspanning hoeft niet middels schuifspanning overgebracht te worden. Daarbij hoeft ook geen rekening gehouden te worden met de vrije hoogte in de ruimte omdat deze niet wordt aangetast.

De balklaag kan ook versterkt worden door stalen platen welke bevestigd worden met houtdraadbouten. In principe werkt dit hetzelfde als versterking middels triplex platen. Alleen heeft staal meer capaciteit om spanning op te nemen en kan meer met minder gedaan worden. Om de uitvoering van deze maatregel te vereenvoudigen kan de balk ook versterkt worden met stalen u-profielen. De houten balk dient er dan alleen voor om de belasting over te brengen naar de staalprofielen.

De meest voor de hand liggende oplossing is om extra balken te leggen in de balklaag (zie figuur 14). Hierdoor wordt de belasting op elke balk verminderd wat zorgt voor lagere optredende spanningen in de balken.



Figuur 14 - Extra houten balken in de balklaag (eigen figuur)

6.4.2 VERSTERKINGSMAATREGELEN BETONNEN DAKEN

Betonnen daken kunnen ook versterkt worden door diverse technieken. Zo kan beton versterkt worden door koolstoflijmwapening, uitwendige voorspankabels en gewapend spuitbeton. Echter zijn deze technieken vaak kostbaar en bestemd voor grotere bouwconstructies als bruggen en dergelijke. Daarom wordt afgeraden om een betonnen dak te versterken als blijkt dat het niet voldoet volgens berekening.

6.5 CONCLUSIE

Versterkingsmaatregelen zullen in het algemeen niet nodig zijn bij toepassing van een licht type groendak om een waterbergende functie op het dak te creëren. Desondanks zullen er houten daken zijn die toch versterkt moeten worden, dit kan op diverse manieren omdat houten daken zeer goed bewerkbaar zijn. Betonnen daken zullen niet snel versterkingsmaatregelen nodig hebben. Stel dat het nodig is dan kan dit gedaan worden middels koolstoflijmwapening, gewapend spuitbeton of eventueel uitwendige voorspankabels. Het wordt afgeraden om bij een betonnen dak versterkingsmaatregelen te treffen wegens de complexiteit van de technieken en hoge kosten die het met zich mee kan brengen.

7. BOUWTECHNISCHE MAATREGELEN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag “Welke bouwtechnische maatregelen kunnen er toegepast worden voor daken om aan de bouwtechnische eisen te voldoen wanneer het een waterbergende functie krijgt?” Er wordt besproken wat het belang van bouwtechnisch detailleren is, aan welke eisen de details moeten voldoen, welke bouwtechnische maatregelen voor daken genomen moeten worden wanneer zij een waterbergende functie krijgen en waarmee er rekening gehouden moet worden bij de uitvoering, het onderhoud en risico's. We gebruiken hiervoor de eerder beschreven casestudy. De volledige casestudy is te vinden in de Bijlage E – Casestudy Bouwtechnisch

7.1 BELANG BOUWTECHNISCHE DETAILLERING

In hoofdstuk 5 “Faalmechanisme van daken” is besproken dat gevolgen van wateraccumulatie voorkomen kunnen worden. Een goed uitgewerkt detail vermindert tegenvallende prestaties en faalkosten. Niet alleen het voorkomen van wateraccumulatie is belangrijk, maar zo kunnen ook andere mogelijke problemen als waterlekages en schade voorkomen worden in de ontwerpfase. Dit wordt gedaan door bouwtechnische detaillering. In bouwtechnische details wordt de kwaliteit van een bouwwerk vastgesteld. Het is van belang dat deze details correct ontworpen worden en weer op de juiste manier getoetst kunnen worden. Bij ontwerpfouten in een bouwtechnisch detail kunnen op korte en lange termijn problemen optreden. Zo kunnen er onder andere lekages binnen een woning optreden. Het detecteren en het dichten van de lekkage kost tijd en geld waarna het beschadigde bouwdeel weer netjes afgewerkt moet worden. Bestaande woningen zijn over het algemeen bouwtechnisch correct gedetailleerd. Wanneer er extra belasting door een type groendak op het dak van een bestaande woning dient te komen, moet er onderzocht worden of dit mogelijk is en hoe dit uiteindelijk gerealiseerd kan worden. Hiervoor moeten er nieuwe bouwtechnische detailleringen van het dak gemaakt worden. De organisatie SBRCURnet heeft een checklist voor referentiedetails opgesteld. Deze biedt een beknopte beschrijving van de belangrijkste stappen waar tijdens het ontwerpen en toetsen van details goed opgelet moet worden. De stappen uit de checklist hebben te maken met het tekenen van details, de relatie met het bouwbesluit en de controle op het detail. Op het moment dat een dak een waterbergende functie krijgt, dient het dak bouwtechnisch aangepast te worden zodat waterberberging op het dak mogelijk wordt gemaakt. Dit houdt in dat het huidige dakdetail aangepast moet worden aan de nieuwe situatie en dat de bestaande dakopbouw er dus anders uit komt te zien. Om de details bouwtechnisch op een juiste manier aan te passen, wordt de checklist van SBRCURnet gehanteerd. Deze checklist wordt in de volgende paragraaf behandeld. (SBRCURnet, 2018)

7.2 BOUWTECHNISCH DETAILLEREN

Zoals in hoofdstuk 6 “Versterkingsmaatregelen voor daken” is beschreven komt er een retentiedak op een plat dak. Dit is een type groendak dat bestaat uit een vegetatielaag, substraatlaag, filterlaag, drainage-bufferlaag, bescherm-absorptielaag en een baanvormige dakbedekking. Voor de volledige uitleg van deze opbouw zie Bijlage E. Om dit op een juiste manier te realiseren zonder dat er later problemen ontstaan zijn correcte details benodigd. De details worden ontworpen aan de hand van de 12 controlepunten van het SBRCURnet. Niet alle punten zijn van toepassing voor een dakdetail. Wij noemen alleen de controlepunten die van toepassing zijn. Voor de volledige lijst van controlepunten en verdere uitleg zie Bijlage E. Een aantal controlepunten worden op de volgende pagina behandeld.

7.2.1 RC WAARDEN

Daken worden geacht een bepaalde RC-waarde te hebben. In artikel 5.3. Thermische isolatie van het Bouwbesluit 2012 staat in tabel 5.1 dat een RC-eis van $6,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ geldt voor nieuwbouw daken. Echter geldt dat de RC-waarden voor verbouw bij daken volgens 5.6 lid 2 minimaal 2,0 moet zijn. Uit de bestaande detaillering blijkt dat de RC-waarde 3.5 is en hiermee de RC-waarde dus voldoet. (Bouwbesluitonline, 2018)

7.2.2 WATERDICHTHEID

Een detail dient waterdicht ontworpen te worden. Zo dient een detail voorzien te zijn van een waterkerend- damp-open folie en dampdoorlatende folie. Door deze folies in een detail mee te nemen wordt het (regen)water buiten gehouden.

7.2.3 KOUDEBRUG (F-FACTOR)

Een koudebrug kan voorkomen worden in de ontwerpfase van een detail. Als gevolg van een koudebrug ontstaat onnodig extra warmteverlies ten opzichte van de rest van de buitenschil van een woning. Dit zorgt ervoor dat de isolatiewaarde van een woning wordt verlaagd. Ook hier is het zaak de detaillering goed te ontwerpen. (Technicum, 2018)

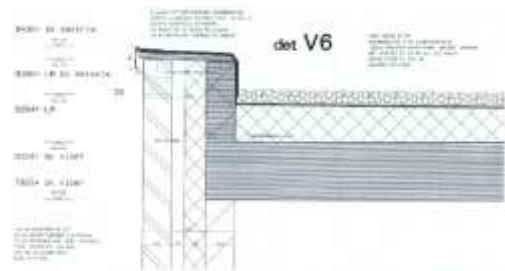
7.3 DETAILLERINGEN

In dit onderdeel worden een aantal bouwtechnische details uitgewerkt met waterbergende functie op platte daken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een aantal bestaande bouwkundige tekeningen van woningbouwprojecten ter referentie, die de gemeente Breda heeft aangeleverd. De locatie van de woningbouwprojecten zijn in het vorige hoofdstuk beschreven. Voor de nieuwe detailleringen worden bestaande platte daken – welke zijn voorzien van zowel beton- als houtconstructie – verder uitgewerkt met retentiedak. Eerst wordt er gekeken naar de bestaande situatie van de platte daken, daarna worden de nieuwe details uitgewerkt. Het bestaande detail met beton als constructie wordt als eerste besproken, waarna het vernieuwde detail wordt getoond. Hierna volgt het vernieuwde detail voor de houten dakconstructie.

Bestaande detail

In figuur 15 is het bestaande dakdetail van Blauwtjes te Breda te zien. Het dakdetail van de Sutoriusstraat is vergelijkbaar met dit dakdetail. Daarom wordt alleen één dakdetail nader uitgewerkt. Voor meer informatie en om het bestaande detail op een groter formaat te bekijken zie Bijlage E1.

Er is te zien dat de dakopbouw bestaat uit een betonnen onderconstructie, isolatie op afschot, dakbedekking en een ballast laag. Daarnaast is de dakopstand opgebouwd uit gasbeton, minerale wol, luchtspon, metselwerk, WBP-plaat, dakbedekking en een aluminium daktrim. Deze opbouw wordt aangehouden bij het vernieuwde detail.

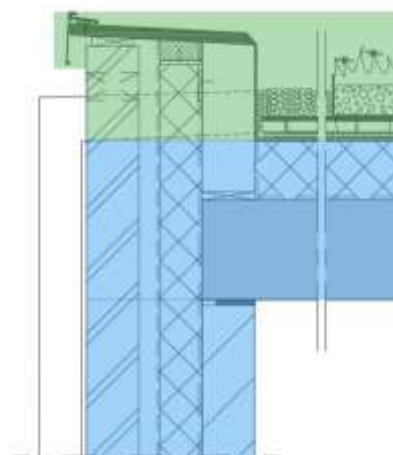


Figuur 15 - Bestaand dakdetail, Blauwtjes te Breda (Gemeente Breda, 2018)

Vernieuwde detail

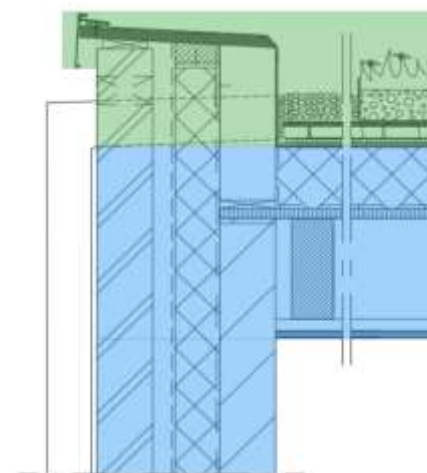
Hiernaast in figuur 16 is het vernieuwde betonnen dakdetail ontworpen dat is voorzien van een retentiedak meander 30. In dit detail is te zien dat de dakopbouw is gewijzigd. De nieuwe toevoegingen zijn in groen gearceerd en de bestaande opbouw in het blauw. Zoals te zien is de dakopstand opgehoogd en de aansluiting van het HWA is zichtbaar. Dit detail is aan de hand van de twaalf punten van SBRCURnet gemaakt. Binnen dit detail is een zelfde soort detail ontworpen waarin de positie van de controleschacht zichtbaar is.

Voor meer informatie en om de vernieuwde details op een groter formaat te bekijken zie Bijlage E2. Voor het detail met de controleschacht zie Bijlage E3.



Figuur 16 - Nieuw dakdetail van het betonnen dak (eigen figuur)

In figuur 17 is het detail te zien met houtconstructie. Hierbij is ook in het detail te zien dat de dakopbouw is gewijzigd. De nieuwe toevoegingen zijn in groen gearceerd en de bestaande opbouw in het blauw. Dit detail is gelijk gehouden aan het voorgaande nieuwe detail met betonnen constructie omdat in de bestaande details van de woningen veel informatie ontbreekt. Daarom is ervoor gekozen om dit detail fictief te houden zodat waterberging op het dak mogelijk wordt gemaakt. In dit vernieuwde detail is de houtconstructie te zien, waarbij de afmetingen van de houten balken zijn afgeleid van hoofdstuk 6 Dakconstructie. Ook voor dit detail is een extra detail ontworpen waarin de controleschacht is te zien. Voor meer informatie en om de vernieuwde details op een groter formaat te bekijken zie Bijlage E4. Voor het detail met de controleschacht zie Bijlage E5.



Figuur 17 - Nieuw dakdetail van het houten dak (eigen figuur)

Voor de overige tekeningen van bestaande woningbouwprojecten zie Bijlage E6 t.e.m. E8.

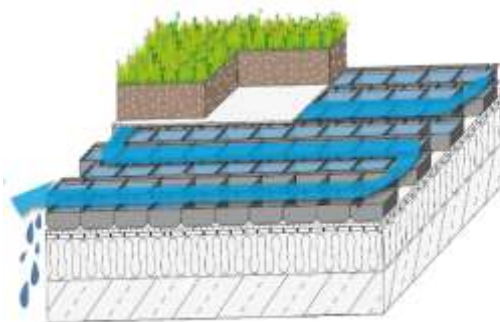
7.4 HEMELWATERAFVOER

De regenintensiteit voor het hemelwaterafvoer (HWA) systeem bedraagt volgens NTR 3216 300 l/s/ha gedurende een tijd van 15 minuten. De hoeveelheid neerslag in die tijd komt dan neer op 27 l/m².

Bij een normaal plat dak dient al het water afgevoerd te worden via de HWA naar de riolering. De HWA's op daken dienen een bepaalde diameter te hebben om de hoeveelheid water te kunnen afvoeren. Volgens Rob Steltenpöhl, groendak expert bij Optigroen, zijn de diameters voor het HWA binnen de woningbouw standaard 80 mm. Daarbij moet volgens NTR 3216 bij een dakoppervlak welk kleiner is dan 100 m² minimaal 1 HWA geplaatst worden. Bij een dakoppervlak boven de 100 m² dient er meer dan één HWA toegepast te worden. Eveneens moet de onderlinge afstand tussen de HWA's bij platte daken beperkt blijven tot 10 à 20 meter.

Bestaande huizen zijn volgens deze eisen ontworpen. Gedurende een regenbui zal al het water zo snel mogelijk via deze HWA's afgevoerd worden naar de riolering. Zo ontstaat er een hoogtepunt in de afvoer tijdens de regenbui. Dit heeft als gevolg dat de HWA's en de riolering flink belast worden.

Wanneer een retentiedak type meander 30 is toegepast wordt de waterafvoer – volgens het productblad – met 99% gereduceerd. Door de meanderplaten die de drainage-bufferlaag vormen ontstaat er een meanderend effect (zie figuur 18) waardoor het water aanzienlijk vertraagd wordt afgevoerd. Zo wordt tijdens een, volgens NTR 3216, regenbui 0,3 l/m² water afgevoerd in tegenstelling tot een normaal plat dak waar 27 l/m² afgevoerd moet worden. Ook komt het hoogtepunt van de waterafvoer later en wordt de rest van het water afgevoerd over een tijdsperiode van 24 uur. Hierdoor worden zowel de HWA's als de riolering ontlast.



Figuur 18 - Meanderende werking van het retentiedak meander 30 (Optigroen 2014)

Vanwege het gunstige effect van het retentiedak wordt het hemelwaterafvoersysteem niet nader onderzocht. Wel wordt er rekening mee gehouden of er voldoende HWA's worden toegepast naar aanleiding van de eisen zoals gesteld in NTR 3216. De casestudy is gebaseerd op de situatie van de Blauwtjes te Breda. Hier zijn een tiental rijwoningen aan elkaar gekoppeld die gezamenlijk één dakoppervlak opleveren dat groter is dan 100 m². Elke woning moet minimaal voorzien zijn van één HWA. (Normcommissie Gebouwriolering, 2012), (Optigroen, 2014)

7.5 BOUWKUNDIGE MAATREGELEN

Voordat gestart wordt met de uitvoering van het retentiedak, worden er aanpassingen verricht aan bestaande daken. Zo stelt Matthijs Monkelbaan, polderdak ingenieur bij Polderdak, dat onder andere de dakopstanden verhoogd moeten worden voor een nieuwe situatie met een groendak. Dit betekent dat er extra metselwerk komt om die hoogte te creëren. De kleur van het nieuwe metselwerk kan hierdoor afwijken van het bestaande metselwerk. De eigenaar of een architect kan zelf invulling geven aan de kleur van het nieuwe metselwerk. Daarnaast moet er een ander isolatiemateriaal in het dak komen om de nieuwe Rc-waarde van 3,5 te behalen. Zo dient er gecontroleerd te worden op de kwaliteit van de dakbedekking en of deze bestand is tegen de wortels van de sedum planten. Wanneer deze niet voldoet, dient de dakbedekking vervangen te worden. Voor de dakbedekking van een dakopstand wordt aangeraden om dit deel direct te vernieuwen als het dak een waterbergende functie krijgt. Er is kans op schade wanneer de bestaande dakbedekking losgetrokken wordt en aangevuld moet worden met een nieuwe dakbedekking. Bovendien dienen de hemelwaterafvoeren op huidige staat en verstoppingen gecontroleerd te worden. Zodra de aanpassingen aan het bestaande dak uitgevoerd zijn, dient dit gecontroleerd te worden op juistheid door de uitvoerende partij.

7.6 UITVOERING

De uitvoering van het retentiedak kan starten nadat de controle van de aanpassingen aan het dak heeft plaatsgevonden. Het retentiedak is een licht systeem dat eenvoudig op het bestaande dak gelegd kan worden. De duur van het realiseren van het retentiedak is onder andere afhankelijk van de grootte van het dakoppervlak. Tevens speelt de hoogte en de bereikbaarheid van het dak een rol. Zo heeft ieder project een andere realisatietermijn. Na de uitvoering geldt ook dat het retentiedak gecontroleerd moet worden op de kwaliteit van de uitvoering. Voor de stappenplan van de uitvoering van een retentiedak zie Bijlage E.

7.7 ONDERHOUD

Een retentiedak dient onderhouden te worden om de conditie van het dak op peil te houden. Volgens zowel Polderdak als Optigroen wordt voor het retentiedak een onderhoud van twee keer per jaar geadviseerd. Hoe meer onderhoud wordt gepleegd, des te verzorgder het dak eruit blijft te zien. Bij onderhoud op het dak worden de waterafvoeren gecontroleerd op mogelijke verstopping en zo nodig schoongespoeld, ongewenste beplanting wordt verwijderd, kale plekken in het retentiedak worden aangevuld met sedum-planten en de dakranden worden vrijgehouden. Ook kunnen er verstoppingen in de dak- en noodafvoer ontstaan waardoor het water op het dak langdurig kan blijven staan en in de loop van de tijd toenemen. Dit heeft direct gevolgen op de onderliggende constructie, met kans op bezwijken van het dak.

7.8 RISICO'S

Risico's zijn niet weg te denken wanneer je iets vernieuwd, zoals het aanleggen van een retentiedak op een bestaand dak. De belangrijkste risico's zijn dat bij de uitvoering van het retentiedak schade aan het dakbedekking kan ontstaan. Bij een opening in deze laag, kan er lekkage aan het dak geconstateerd worden wat leidt tot schade aan de woning. De kosten voor het opsporen en repareren van de lekkage kunnen hoog oplopen. Bij het opsporen van de lekkage wordt door een dakdekker een deel van het retentiedak tijdelijk weggehaald. Vervolgens wordt het lek gedicht door bijvoorbeeld een extra laag aan dakbedekking op de schade vast te zetten. De eigenaar dient de kosten voor het dichten van dit lek te betalen, omdat dakbedekking niet onder de garantie van het retentiedak valt. Wel krijgt een eigenaar een garantie op het retentiedak zelf. Het is zaak dat de uitvoering van een retentiedak secuur verloopt. Daarnaast trekt een retentiedak aandacht van onder andere vogels en andere diersoorten. Dieren kunnen schade veroorzaken aan het dak.

7.9 CONCLUSIE

Wanneer een bestaand dak een waterbergende functie krijgt moet het dak bouwtechnisch aangepast worden. Zo moeten de dakopstanden onder andere verhoogd worden en dient de dakbedekking hoogstwaarschijnlijk vervangen te worden. Bij het vernieuwen van de dakdetails dient ook rekening gehouden te worden met de twaalf controlepunten van SBRCURnet om kwalitatief hoogwaardige details te garanderen. Ook dient er bij de uitvoering van een retentiedak secuur gewerkt te worden om risico's als schade aan de dakbedekking te voorkomen.

8. EFFECTIEF INFORMEREN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag “Op welke manier kan de informatie visueel geschikt worden gemaakt voor de tool Share My City?”. We bespreken waarom het visualiseren van informatie belangrijk is. Vervolgens wordt er besproken hoe de informatie effectief gevisualiseerd kan worden. Ten slotte worden enkele vragen, die gesteld kunnen worden, in het stroomschema gevisualiseerd.

8.1 VISUALISEREN VAN INFORMATIE

Zoals is besproken de aanleiding (hoofdstuk 1), weet een woningeigenaar vaak niet of de constructie van het dak stevig genoeg is en wat voor waterbergende maatregelen getroffen kunnen worden op het dak en wat daarvan de consequenties zijn voor het dak. Om ervoor te zorgen dat woningeigenaren eenvoudig kunnen zien welke constructieve en bouwtechnische maatregelen nodig zijn om waterberging op hun dak te realiseren, dient deze informatie visueel duidelijk gemaakt te worden.

Volgens Erik Zoomers (2018) een internetondernemer in online marketing, willen bezoekers die een webpagina bezoeken zo snel mogelijk antwoord hebben op hun vraag. Tijdverlies is iets waar bezoekers een hekel aan hebben. Het schrikt ze af om verder te lezen op een webpagina. Bezoekers lezen pas een webpagina wanneer deze snel een antwoord op hun vraag laat zien. Websites gebruiken hiervoor onder andere tekstkoppen, beeld en heldere opmaak. Bezoekers worden ook afgeschrikt door teveel informatie. Daarom is het gebruik van korte blokken tekst, opsommingen, feiten en duidelijke afbeeldingen belangrijk. Zo wordt de informatie visueel uitnodigend gemaakt om de aandacht van bezoekers te trekken. (Zoomers, 2018)

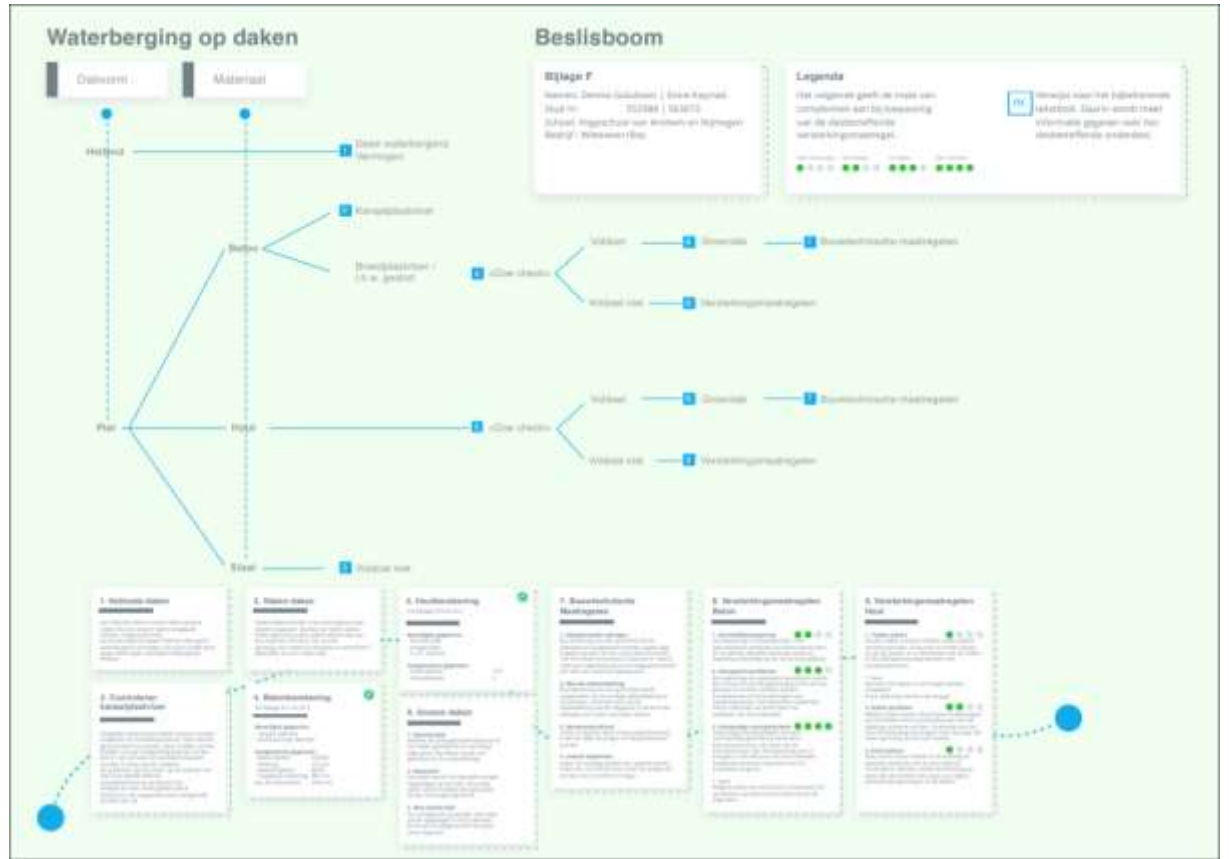
8.2 STROOMSCHEMA

Om een eigenaar van een woning te helpen bij de keuze voor het realiseren van waterberging op hun dak, kan de informatie gegeven worden door een stroomschema in de vorm van een beslisboom. Volgens het Landelijk Expertise Centrum Speciaal Onderwijs (2018) kan een stroomschema de verschillende stappen in een proces of werkwijze visueel maken. Om te zorgen dat iedereen het schema begrijpt, is het belangrijk om op eenduidige wijze gebruik te maken van het stroomschema. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van een programma om een stroomschema op te zetten, is de keuze uit verschillende symbolen om te laten zien wat een stap inhoudt. (Landelijk Expertise Centrum Speciaal Onderwijs, 2018)

8.3 CREËREN VAN STROOMSCHEMA

Om een woningeigenaar te helpen bij het maken van deze keuzes moet het duidelijk zijn waar het over gaat. De eerste vraag moet zijn om welk dak het gaat: een hellende of een plat dak. De tweede vraag uit welk materiaal het dak bestaat. Hierbij kan uitgelegd worden hoe woningeigenaar zelf kan uitzoeken welke dakconstructie hij heeft. Hierna kan de persoon een check doen of zijn dak sterk genoeg is om water te bergen, is dit niet het geval dan wordt eigenaar verwezen naar de diverse versterkingsmaatregelen. Een betonnen dakconstructie zal hoogst waarschijnlijk voldoen waarna er direct doorverwezen kan worden naar een constructeur voor een definitieve berekening. Voor de uitgewerkte stroomschema zie Bijlage F.

8.4 CONCLUSIE



Figuur 19 - Beslisboom met betrekking tot waterberging op bestaande daken (eigen figuur)

9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag: “Op welke wijze kunnen wij een methode ontwikkelen zodat eigenaren van woningen eenvoudig geïnformeerd kunnen worden of waterberging op hun dak constructief en bouwtechnisch haalbaar is?”. Vervolgens worden aanbevelingen gegeven voor uitbreiding van het onderzoek.

9.1 CONCLUSIE

Op basis van de verrichtte berekeningen, tekeningen en onderzoek kan geconcludeerd worden dat middels een stroomschema woningeigenaren eenvoudig geïnformeerd kunnen worden en een indicatie gegeven kan worden of waterberging op hun dak zowel constructief als bouwtechnisch haalbaar is.

Vanuit de eisen die worden gesteld door de waterschappen. Is waterberging alleen mogelijk door een water- of retentiedak. Deze type daken kunnen alleen gerealiseerd worden op platte daken.

Wegens de gereduceerde partiële factoren die aangehouden worden bij verbouw volgens NEN 8700 is er een aannemelijke kans dat woningen met platte daken bestaande uit zowel een houten als een betonnen dakconstructie in principe voldoen bij belasting van een retentiedak meander 30 of minder. In dit geval zijn dan geen versterkingsmaatregelen nodig. Toch bestaat de mogelijkheid dat een dak niet voldoet. Bij een houten dak is die kans groter dan bij een betonnen dak. Dit komt omdat een houten dak verhoudingsgewijs gevoeliger is voor extra belasting. Als een zwaarder type waterbergend dak gerealiseerd moet worden kunnen houten daken eenvoudig versterkt worden. Het versterken van een betonnen dak wordt afgeraden wegens hoge kosten en technische complexiteit.

Bij het realiseren van een groendak dient niet alleen de bestaande dakconstructie op orde te zijn. Zo moeten er op het gebied van bouwtechniek ook maatregelen getroffen worden op het dak, omdat de dakopbouw van het bestaande dak wijzigt. Daarom dienen er nieuwe details gemaakt te worden voordat er verbouw gepleegd kan worden om te garanderen dat er in de toekomst zich geen problemen voordoen.

Het stroomschema dat is opgesteld om woningeigenaren te informeren is alleen bedoeld voor woningen met platte daken waarvan het dak van bouwmuur naar bouwmuur overspant (ligger op twee steunpunten). Daarbij geeft de “check” in het stroomschema geen definitief antwoord maar een indicatie of waterberging op het dak toepasbaar is. Bij toepassing van een groendak moet een constructeur altijd het dak controleren of het daadwerkelijk extra belasting kan dragen.

9.2 AANBEVELINGEN

Aanbevelingen uit dit onderzoek zijn als volgt:

- Er is veel oppervlak te winnen voor waterberging door gebruik te maken van daken binnen de utiliteitsbouw. Er wordt aangeraden om een vervolgstudie hiernaar te doen.
- Naast platte daken zijn er in Nederland veel percelen met hellende daken omdat deze praktisch bedoeld zijn voor het afvoeren van water. Een vervolgstudie naar het realiseren van waterberging op hellende daken door middel van een slim systeem wordt ook aangeraden.
- In NEN-EN 1991 zijn belastingen en belastingcombinaties van groene daken niet beschreven. Vanuit ons perspectief bevelen wij aan om hierover een norm te schrijven en zodoende de NEN-EN 1991 aan te vullen.

VERWIJZINGEN

- Arcadis. (2010, Oktober 6). *Nieuws*. Opgehaald van Actueel Hoogtebestand Nederland: <http://www.ahn.nl/binaries/content/assets/hwh---ahn/nieuws/2010/06/ahncongres2010bakker.pdf>
- Aritkel 3.6, Waterwet. (2018, 02 25). *Overheidsinformatie*. Opgehaald van Overheid: http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2018-02-17#Hoofdstuk3_Paragraaf1_Artikel3.6
- Betoncentrale Twenthe BV, Betoncentrale Rijnmond BV, Betoncentrale Diamant BV. (2018, 5 08). *Downloadcentrum*. Opgehaald van Betoncentrale: <http://www.betoncentrale.nl/media/bestanden/betonnormen1.pdf>
- Bouwbesluitonline. (2018, april 2). *Artikel 2.1. Algemene sterkte van de bouwconstructie*. Opgehaald van BRIS bouwbesluitonline: <https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd2/afd2-1>
- Bouwbesluitonline. (2018, mei 8). *Artikel 5.3. Thermische isolatie*. Opgehaald van Bris Bouwbesluitonline: [https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012\[16\]/hfd5/afd5-1#art5.1](https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012[16]/hfd5/afd5-1#art5.1)
- Bouwbesluitonline. (2018, mei 3). *Artikel 5.6. Verbouw*. Opgehaald van Bris Bouwbesluitonline: <https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-1/art5-6>
- Bouwen met Staal. (2006). Wateraccumulatie. *Bouwen met Staal*, 20.
- Bouwen met Staal. (2010). *Geprofileerde staalplaat voor daken en gevels*. Zoetermeer: Bouwen met Staal.
- Breda Vandaag. (2018, Mei 20). *Foto's*. Opgehaald van Breda Vandaag: <http://www.bredavandaag.nl/fotoalbums/2017-09-14/wateroverlast-september-2017/wateroverlast-14-9-2017-0>
- Denoël, J.-F. (2018, Mei 9). *Publicaties*. Opgehaald van Febelcem: https://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/autres-publications/nl/docref_feu_nl.pdf
- Derksen, G.-J. (2018, April 29). *Hogeschool van Arnhem en Nijmegen*. Opgehaald van specials.han.nl: <https://specials.han.nl/themasites/sbc/nieuws/nieuwsberichten/innovatief-gebruik-van-da/Presentatie-Roof-Update.pdf>
- Dirven-van Breemen, E., Hollander, A., & Claessens, J. (2011, Augustus 29). *Documenten en publicaties*. Opgehaald van RIVM: <https://www.rivm.nl/dsresource?objectid=4a632b65-744b-4797-b0e0-832e62b0184d&type=org&disposition=inline>
- Encyclo. (2018, Mei 1). *Definities*. Opgehaald van Encyclo: <http://www.encyclo.nl/begrip/waterberging>
- Encyclo. (2018, Mei 5). *Definities*. Opgehaald van Encyclo: <http://www.encyclo.nl/begrip/accumulatie>
- Estrada, F., Botzen, W., & Tol, R. (2017, Mei 29). *Links*. Opgehaald van Hitte-eilanden: <https://hitteiland.files.wordpress.com/2017/05/estrada-tol-botzen-2017-city-policies-to-reduce-climate-impacts-ncc.pdf>
- Gemeente Breda. (2012). *Hemel- en Grondwaterbeleid*. Breda: Gemeente Breda.
- Hoekstra, T. (2016). *Blauwe daken nader beschouwd*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- J. Distel B.V. (2018, mei 1). *Plat dak*. Opgehaald van Dakdekkeramsterdam: <http://www.dakdekkeramsterdam24.nl/plat-dak/>

- Kool, E., & Kolner, W. (2003). *Instortingen van lichte platte daken*. Den Haag: VROM.
- Laeven, M., & Broks, K. (2016, November 23). *vakartikelen*. Opgehaald van h2owaternetwerk: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/742-hoe-gaan-waterschappen-om-met-waterberging-op-groene-daken>
- Landelijk Expertise Centrum Speciaal Onderwijs. (2018, Maart 26). *Downloads*. Opgehaald van Lecso: https://www.lecso.nl/file/53265/Symbolengebruik%20in%20stroomschema_lecso%20versie.pdf
- Lucidchart. (2018, Mei 10). *Wat is een beslisboomdiagram?* Opgehaald van Lucidchart: <https://www.lucidchart.com/pages/nl/alles-over-beslisbomen>
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2000). *Anders omgaan met water*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2006). *NPR 6703 "Wateraccumulatie - Aanvullende rekenregels en vereenvoudigingen voor het belastingsgeval regenwater in NEN 6702"*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2011). *NEN 8700: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren - Grondslagen*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie Gebouwriolering. (2012). *NTR 3216 "Riolering van bouwwerken"*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- NOS. (2018, Mei 07). *Burgers met natte voeten kijken naar overheid, maar willen niet meer betalen*. Opgehaald van NOS: <https://nos.nl/googleamp/artikel/2230728-burgers-met-natte-voeten-kijken-naar-overheid-maar-willen-niet-meer-betalen.html>
- Optigroen. (2014, November). *Technische Handleiding Online*. Opgehaald van Optigroen: http://dev.optigruen.de/fileadmin/contents//sprache_niederlaendisch/blaetterkatalog/files/assets/basic-html/index.html#1
- Rainproof. (2018, Mei 5). *Maatregelen*. Opgehaald van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/waterdaken>
- SBRCURnet. (2018, maart 11). *Studiechecklist Referentiedetails*. Opgehaald van SBRCURnet: <http://www.sbrcurnet.nl/producten/kennispapers/studiechecklist-referentiedetails>
- Technicum. (2018, mei 11). *Wat is een koudebrug?* Opgehaald van Technisch werken: <http://www.technischwerken.nl/kennisbank/duurzaamheid/wat-is-een-koudebrug/>
- Vebidak. (2018, Februari 16). *Wateraccumulatie*. Opgehaald van Vebidak: <https://www.vebidak.nl/wateraccumulatie>
- VROM . (2003). *Instortingen van lichte platte daken*. Den Haag: VROM.
- Waterschap Brabantse Delta. (2018, Mei 07). *Hydrologische uitgangspunten bij de Keurregels voor afvoeren van hemelwater, Brabantse waterschappen*. Opgehaald van Brabantse Delta: http://decentrale.regelgeving.overheid.nl/cvdr/xhtmloutput/Historie/Waterschap%20Brabantse%20Delta/358707/358707_1.html
- Witteveen+Bos. (2017). *Bedrijfscode*. Deventer: Witteveen+Bos.

Witteveen+Bos. (2018, Mei 9). *Historie*. Opgehaald van Witteveen+Bos:
<http://www.witteveenbos.nl/nl/historie>

Zoomers, E. (2018, Mei 8). *Artikelen*. Opgehaald van Webusers: <https://webusers.nl/eens-of-oneens-website-bezoekers-lezen-toch-niet/>