

Klimaatadaptatie in de stad Middelburg

Onderzoek naar mogelijkheden om negatieve gevolgen van droge perioden in de toekomst tegen te gaan



bron: S. Reineck, Panoramio

december 2016
Gemeente Middelburg
Stefan Bruinooge

Colofon

Titel	Klimaatadaptatie in de stad Middelburg
Ondertitel	Onderzoek naar mogelijkheden om negatieve gevolgen van droge perioden in de toekomst tegen te gaan
Status	definitief
Datum	december 2016
Projectuitvoering / auteur	A.P. Bruinooge, student Hogeschool van Hall Larenstein
Contactpersoon	ir. P.F. Groenhuijzen, docent hogeschool van Hall Larenstein te Velp peter.groenhuijzen@hvhl.nl
Opdrachtgever	Gemeente Middelburg Contactpersoon: Bas Kole Bezoekadres: Kanaalweg 3, 4330 LA Middelburg Postadres: Postbus 6000, 4330 LA Middelburg Telefoon: (0118) 67 52 10 Fax: (0118) 62 37 17 E-mail: b.kole@middelburg.nl

Voorwoord

Voor u ligt het rapport waarin beschreven staat welke maatregelen de gemeente Middelburg kan nemen om regenwater in de stad langer vast te houden, waardoor de stad klimaatbestendiger wordt. Dit rapport is tot stand gekomen door onderzoek in opdracht van de gemeente Middelburg. Dit onderzoek was voor mij een mooie manier om afstuderen en verdieping van mijn vak te combineren. Tijdens dit onderzoek heb ik verschillende theorieën, die ik geleerd heb in de praktijk, toe kunnen passen. De grootste uitdaging was om uit veel informatie en gesprekken bruikbare informatie te filteren en te verwerken. Daarbij was de verleiding erg groot om te verdiepen in bijzaken.

Tijdens de stageperiode was mijn functie: stagiair op de afdeling ruimtelijk beleid van het Stads kantoor van de gemeente Middelburg. Op die afdeling had ik de beschikking over een bureau met computer en alle voorzieningen die nodig waren. Mijn ervaring is geweest dat het goed mogelijk is afspraken met mensen te maken om gesprekken te voeren. Verder reageren de meesten heel snel op e-mails en is iedereen erg behulpzaam. Ik heb gemerkt dat de onderwerpen die ik onderzocht heb, leven bij de mensen die ik gesproken heb. Daardoor is er veel belangstelling en wil iedereen graag meedenken.

Verder heb ik geleerd dat de provincie, de gemeente en het waterschap ieder hun eigen verantwoordelijkheden hebben op het gebied van stedelijk water, maar dat ze niet afzonderlijk van elkaar kunnen werken. Ook heb ik gezien en gemerkt dat er op het stadskantoor een 'binnenloopcultuur' is. Dat betekent dat het heel laagdrempelig is en iedereen dus vrij bij elkaar kan binnenlopen.

Hetgeen ik geleerd heb kan ik gebruiken als ik daadwerkelijk ga werken bij een overheid of adviesbureau. Maar ook in mijn huidige werk, aardrijkskunde doceren op het voortgezet onderwijs, kan ik gebruik maken van de ervaringen die ik heb opgedaan in het werkveld.

Ik wil de volgende personen hartelijk bedanken, omdat zij informatie hebben gedeeld en conceptrapporten hebben voorzien van opbouwende kritiek:

Gemeente Middelburg: Bas Kole, Carolyn Jonkers, Willem Reijnierse en Dion Reijnders

Waterhouderij Walcheren: Wim van Nieuwenhuijzen

Deltares: Esther van Baaren

Aequator Groen&Ruimte: Marco Arts

Provincie Zeeland: André van de Straat, Wendy Wösten en Leo Caljouw

Waterschap Scheldestromen: Martijn van Kalmthout en Maurits Schipper

Walcherse Archeologische Dienst: Bernard Meijlink en Bram Silkens

Hogeschool van Hall Larenstein: Peter Groenhuizen en Bert Meijer

Ik hoop dat dit rapport mag bijdragen aan het klimaatbestendiger maken van onze leefomgeving.

Stefan Bruinooge
december 2016

Samenvatting

In het landelijk gebied van Walcheren, een regio in Zeeland, is Deltares bezig met een proef om hemelwater langer vast te houden in de bovenste, onverzadigde zone van een kreekkrug. Bij de gemeente Middelburg is de vraag gerezen of deze methode ook geschikt is voor stedelijk gebied. Of dat er misschien andere maatregelen zijn om ook in stedelijk gebied water langer vast te houden. Het doel hiervan is om de stad meer klimaatadaptief te maken, in het bijzonder voor langdurige droge perioden. Hierbij komt de gemeente ook tegemoet aan het beleid van de rijksoverheid die de trits vasthouden, bergen, afvoeren voorstaat, als het gaat om hemelwater.

Middelburg is gebouwd op een kruising van kreekkruggen, door latere uitbreidingen ligt nu nog ongeveer 20% van het stedelijk gebied op kreekkruggen. Kreekkruggen bestaan uit zandig materiaal, de directe omgeving zijn zogenaamde poelgronden. Poelgronden bestaan uit klei en veen. De verdamping van het stedelijk gebied van Middelburg is weliswaar 38% kleiner dan in landelijk gebied. 40% van alle neerslag wordt echter afgevoerd naar het riool. Dit kan dus niet het grondwater aanvullen. Als gevolg van meer warmere perioden in de toekomst kan het neerslagtekort verder oplopen: het W+ scenario van het KNMI (worst-case) voorspelt een verdubbeling van het aantal warme dagen (warmer dan 20°C) in 2050 ten opzichte van 2006. De langjarig gemiddelde grondwaterspiegel was in de periode van 1981 tot en met 2010 in de zomer 62mm (binnenstad) tot 175mm (kreekkrug) lager dan in de winter. Als er geen maatregelen getroffen worden om de grondwaterstand op peil te houden zal deze fluctuatie verder toenemen.

Bij langdurige droge perioden loopt vegetatie gevaar. Vooral op kreekkruggen omdat het grondwater hier sneller wegzakt vanwege de porositeit en hogere ligging. Op poelgronden kunnen door langdurige droge perioden zettingsverschillen gaan optreden waardoor huizen en infrastructuur kunnen verzakken. Ook kunnen leidingen die bij langdurige droge perioden droog komen te liggen, oververhit raken omdat het grondwater zakt.

Kreekkruggen zijn bruikbaar om water vast te houden door middel van: water passerende verharding, peilgestuurde drainage en actieve infiltratie. Ook groene daken en ontharding van particulier terrein kunnen bijdragen aan het vasthouden van hemelwater. Kreekkruggen zijn geschikter dan poelgronden omdat de porositeit groter is en kreekkruggen één tot twee meter hoger liggen dan de poelgronden. Op poelgronden kan ook, naast peilgestuurde drainage, meer openbaar groen, groene daken en ontharding van particuliere terreinen bijdragen aan het vasthouden van regenwater. In poelgronden gaat dit wel moeizamer dan in kreekkruggen omdat het grondwater langzamer stroomt. Daar staat tegenover dat door de langzame grondwaterstroming er ook minder kans is op verdroging.

Uit een berekening van drie straten blijkt dat door middel van peilgestuurde drainage van een IT-riool, een bui T=100 onder de weg geïnfiltreerd kan worden in een droge periode. In combinatie met actieve infiltratie kan het grondwater op een relatief vast peil van 0,7 meter onder maaiveld gehouden worden. Actieve infiltratie is ongeveer 5% duurder dan alleen peilgestuurde drainage. Actieve infiltratie is ook minder duurzaam omdat daarbij een pomp in werking moet treden en er kans op verdroging optreedt in de gebieden waar het water vandaan gepompt wordt.

Inhoudsopgave

Colofon	3
Voorwoord	4
Samenvatting.....	6
1 INLEIDING	9
1.1 Probleembeschrijving.....	9
1.2 Onderzoeksvraag en deelvragen.....	10
1.3 Onderzoeksdoel.....	10
1.4 Projectgebied	11
1.5 Methodiek	11
Literatuurstudie en veldbezoek stedelijk gebied Middelburg.....	11
Literatuurstudie en veldbezoek Waterhouderij Walcheren	11
Indeling in deelgebieden	12
Brainstormsessie	12
1.6 Leeswijzer	12
2 HET BODEM- EN WATERSYSTEEM VAN MIDDELBURG	13
2.1 Kreekruggen en poelgronden.....	13
2.2 Grondwater	16
2.3 Oppervlaktewater	17
2.4 Neerslag en verdamping.....	17
3 GEVOLGEN VAN DALENDE GRONDWATERSTAND PER DEELGEBIED.....	20
3.1 Binnenstad.....	21
3.2 Gebieden die op een kreekrug liggen.....	21
3.3 Wijken die geheel op poelgronden liggen.....	22
4 MAATREGELEN PER DEELGEBIED	23
4.1 Binnenstad.....	23
4.2 Gebieden die op een kreekrug liggen.....	26
4.3 Gebieden die geheel op poelgronden liggen	27

5	CASUS KLARENBEЕК	29
5.1	Begrenzing	29
5.2	Huidige geohydrologische situatie	30
5.3	Infiltratie- en drainagemaatregel	31
5.3.1	Uitgangspunten	31
5.3.2	Ontwerp	32
5.4	Financiële haalbaarheid	34
6	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	35
6.1	Conclusie	35
6.2	Aanbevelingen	36
7	REFLECTIE	37
	BIBLIOGRAFIE	38
	BIJLAGEN	42
	Bijlage 1 - Topografische kaart	42
	Bijlage 2 - Geomorfologische kaart	43
	Bijlage 3 - AHN	44
	Bijlage 4 - Bodemkaart	45
	Bijlage 5 - Bodemkaart Bennema & van der Meer	46
	Bijlage 6 – Grondboringen	47
	Bijlage 7 – Berekening infiltratie- en drainagemaatregel	48
	Bijlage 8 – Begroting maatregelen casus Klarenbeek	50
	Bijlage 9 - verslag interviews	53
	Interview Willem Reijnierse	53
	Interview Dion Reijnders	54
	Interview met Martijn van Kalmthout	54
	Interview met Leo Caljouw	54
	Interview met Wim van Nieuwenhuijzen	55
	Brainstormsessie	55
	Bijlage 10 – stichting Waterhouderij Walcheren	56

1 INLEIDING

Zeeuwen vechten al eeuwen tegen te veel water met als motto: 'Luctor et Emergo'. Deze strijd krijgt een andere wending op Walcheren, een regio in het westen van Zeeland, waar een groep agrariërs de strijd is aangegaan tegen te weinig water. Deze agrariërs zijn verenigd onder de naam 'Stichting Waterhouderij Walcheren'. Deze stichting wil water langer vasthouden om effecten van een te lage grondwaterstand op grondgebonden landbouw en natuur tegen te gaan. Dit gebeurt onder andere door neerslagoverschot te bufferen met stuwen en peilgestuurde drainage, zodat de onverzadigde zone in de bodem zoveel mogelijk benut wordt. Hiermee wordt getracht om het grondwater zo lang mogelijk op het gewenste peil te houden en het brakke en zoute water terug te dringen.

Net als het landelijk gebied, heeft ook de stad Middelburg te maken met perioden van droogte en warmte. Als gevolg van de klimaatverandering zullen deze perioden vaker voorkomen en nog droger en warmer zijn. De overheid moet hierop anticiperen en de leefomgeving aanpassen aan het klimaat, de zogenaamde klimaatadaptatie. De overheid en in het bijzonder de gemeente heeft als taak om overlast voor bewoners tegen te gaan en te zorgen voor een zo optimaal mogelijke leefomgeving. Daarbij hoort het voorkomen van grondwateroverlast en grondwateronderlast. Dit rapport gaat in op de ernst van het watertekort in de stad Middelburg en de vraag welke maatregelen de gemeente Middelburg kan nemen om watertekort en de gevolgen daarvan te beperken. Daarbij wordt bekeken of de manier van watermanagement door de stichting Waterhouderij Walcheren duurzaam toe te passen is in het stedelijk gebied van de gemeente Middelburg. En welke mogelijkheden er nog meer zijn om watertekort en gevolgen daarvan te beperken.

1.1 Probleembeschrijving

Er is al veel onderzoek gedaan naar watertekort en klimaatadaptatie in stedelijk gebied, bijvoorbeeld in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (Graaf d. , 2013); (Bosch, 2011); (Deltares, 2012); (Deltares, 2013). Deze onderzoeken gaan over stedelijke gebieden in het algemeen, of een toepassing op bepaalde gebieden. Een concrete uitwerking voor klimaatadaptatie van het stedelijk gebied van Middelburg is er niet.

Klimaatscenario's wijzen aan dat er in de toekomst meer perioden van langdurige droogte zijn te verwachten. Het beleid van de rijksoverheid is daarom ook om water zolang mogelijk vast te houden volgens de trits vasthouden, bergen, afvoeren. Er zijn in de stad Middelburg nog geen negatieve effecten geconstateerd die direct een gevolg waren van watertekort door langdurige droge perioden, maar de gemeente wil maatregelen treffen om eventuele gevolgen in de toekomst te voorkomen.

In dit rapport wordt alleen ingegaan op mogelijke problemen en oplossingen voor te weinig water, dus waterkwantiteit. Wateroverlast, verzilting, verzuring en dergelijke, worden in dit rapport wel genoemd, maar zijn niet verder uitgewerkt of gekwantificeerd. Te weinig water is een thema wat vaak onderbelicht is.

Gevolgen van een watertekort kunnen voor de gemeente Middelburg zijn:

- zettingsverschillen
- verdroging van groenvoorzieningen
- verhitting van electriciteitskabels in de bodem
- verzilting
- kwaliteitsverslechtering oppervlaktewater

1.2 Onderzoeksvraag en deelvragen

Watertekort zorgt dus indirect voor een vermindering van de leefbaarheid en een lagere volksgezondheid. De gemeente is daarom op zoek naar duurzame maatregelen die effectief toe te passen zijn in het stedelijk gebied van Middelburg, om zo de stad meer klimaatadaptief te maken. Deze maatregelen moeten financieel haalbaar zijn. De gemeente Middelburg heeft met belangstelling de werkwijze en de resultaten van de stichting Waterhouderij Walcheren bekeken en is daarover enthousiast. Daarbij is de vraag ontstaan of deze werkwijze ook duurzaam toe te passen is in de stad Middelburg. In agrarisch gebied is water vasthouden betrekkelijk eenvoudig. Je hebt immers alleen maar te maken met onbebouwd gebied. In het stedelijk gebied is het veel lastiger. Niet alleen vanwege verharding en infrastructuur, maar ook omdat het grootste gedeelte van de stad particulier bezit is. Naast de stichting Waterhouderij Walcheren hebben ook andere instituten, zoals Deltares en TNO, onderzoek gedaan naar mogelijkheden om water in stedelijk gebied te vast te houden. Deze mogelijkheden zijn wellicht ook toe te passen in de stad Middelburg.

De volgende onderzoeksvraag is opgesteld:

Welke mogelijkheden om hemelwater vast te houden, zijn effectief en haalbaar toe te passen in de verschillende gebieden van de stad Middelburg?

Deze onderzoeksvraag is onderverdeeld in deelvragen:

1. *Wat is het bodem- en watersysteem van de stad Middelburg?*
2. *Welke verschillende gebieden zijn, op basis van het bodem- en watersysteem, te onderscheiden?*
3. *Wat zijn de mogelijke gevolgen van droge perioden voor de verschillende gebieden in de stad Middelburg?*
4. *Welke maatregelen om hemelwater vast te houden zijn er in landelijk en stedelijk gebied?*
5. *Wat is de effectiviteit van de maatregelen in de verschillende gebieden van de stad Middelburg?*
6. *Wat is de haalbaarheid van de maatregelen in de verschillende gebieden van de stad Middelburg?*

1.3 Onderzoeksdoel

Het doel is om toekomstbestendige maatregelen weer te geven, om in het stedelijk gebied van de gemeente Middelburg water langer vast te houden. Toekomstbestendig houdt in dat de gevolgen van langdurig droog door het watersysteem in het gebied opgevangen kan worden zonder bovenmatige negatieve gevolgen. Hierdoor wordt de stad Middelburg meer klimaatadaptief en voldoet de gemeente aan het beleid van de rijksoverheid om hemelwater zo lang mogelijk vast te houden, dan te bergen en daarna pas af te voeren.

1.4 Projectgebied

Het onderzoeksgebied bevat het bebouwd gebied van de stad Middelburg (Zeeland) en de directe omgeving, weergegeven in figuur 1.



figuur 1 – het onderzoeksgebied

1.5 Methodiek

De onderzoeksmethodes die gebruikt zijn, worden in deze paragraaf toegelicht en in hoofdstuk 7 gereflecteerd. In bijlage 9 worden de resultaten van gehouden interviews weergegeven.

Literatuurstudie en veldbezoek stedelijk gebied Middelburg

Er is een literatuurstudie uitgevoerd en er is een veldbezoek geweest, om antwoord te vinden op deelvraag 1, 2 en 3. Tijdens dit veldbezoek hebben interviews plaatsgevonden met medewerkers van de gemeente, het waterschap en de provincie. Deze informatie is geanalyseerd om te weten of mogelijke maatregelen effectief toe te passen zijn. En om te weten wat mogelijke gevolgen zijn van droge perioden. De huidige situatie en de verwachting voor de toekomst van het projectgebied is beschreven. Dit is gedaan op het gebied van de bodem en het watersysteem. Aan de hand van deze beschrijving zijn deelgebieden geformuleerd. Bij de beschrijving van deze deelgebieden is aangegeven wat mogelijke gevolgen zijn van droge perioden.

Literatuurstudie en veldbezoek Waterhouderij Walcheren

Het doel van deze literatuurstudie en het veldbezoek is: inzicht verkrijgen in de maatregelen van de stichting Waterhouderij Walcheren, deelvraag 4. Daarbij is gebruik gemaakt van informatie, verkregen van Deltares en Aequator Groen&Ruimte. Een andere belangrijke informatiebron was een gesprek met de voorzitter van de Waterhouderij Walcheren. Tijdens deze literatuurstudie en het veldbezoek is het principe van de Waterhouderij Walcheren in landelijk gebied in beeld gebracht: de doelstellingen, de toegepaste maatregelen, de daaruit vloeiende resultaten, de knelpunten en de aanbevelingen. Hierbij is inzicht verkregen in de maatregelen, die de Waterhouderij Walcheren toepast. Dit inzicht is gebruikt als inspiratiebron voor mogelijke maatregelen in de stad Middelburg om verdroging tegen te gaan. Het principe van de Waterhouderij Walcheren is weergegeven in bijlage 10.

Indeling in deelgebieden

Op basis van de literatuurstudie en het veldbezoek van de stad Middelburg is het onderzoeksgebied ingedeeld in deelgebieden. Per deelgebied is beschreven welke maatregelen mogelijk zijn om verdroging tegen te gaan. Hierbij is weergegeven wat de voor- en nadelen zijn van deze maatregelen. De informatie hiervoor komt van websites van bedrijven, die duurzame producten leveren op het gebied van watermanagement en informatie van de gemeente, de provincie en het waterschap. Om een inschatting te maken van de haalbaarheid, effectiviteit en verwachte kosten is ingezoomd op de wijk Klarenbeek en zijn drie maatregelen uitgewerkt. Het resultaat is een inschatting van de effectiviteit en haalbaarheid van water passerende bestrating, peilgestuurde drainage en actieve infiltratie. Hierbij is effectief of het inderdaad bijdraagt om het grondwater op peil te houden. En haalbaar vooral of het financieel haalbaar is.

Brainstormsessie

In een brainstormsessie met de gemeente als opdrachtgever, de provincie, het waterschap en de Waterhouderij Walcheren zijn mogelijke maatregelen besproken. Dit had als doel: informeren en eventueel aanpassen van de maatregelen. Ook zijn er in deze sessie nieuwe ideeën ontstaan voor andere maatregelen die nader uitgewerkt zijn. Het resultaat is een maatregelenplan waarbij alle betrokken partijen het zoveel mogelijk eens zijn.

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 1: In dit inleidende hoofdstuk zijn de probleemstelling, de hoofdvraag met deelvragen, het doel, het projectgebied en de methodiek beschreven.

Hoofdstuk 2: In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het bodem- en watersysteem van de stad Middelburg.

Hoofdstuk 3: Naar aanleiding van de fysisch-geografische beschrijving in hoofdstuk 2 is in hoofdstuk 3 het projectgebied verdeeld in deelgebieden. Hierbij is per deelgebied toegelicht wat de gemeente Middelburg voor mogelijkheden en beperkingen ziet. Tevens is in hoofdstuk 3 per deelgebied aangegeven wat de gevolgen kunnen zijn van droge perioden.

Hoofdstuk 4: Vervolgens worden in hoofdstuk 4 maatregelen weergegeven die de stad zou kunnen nemen om gevolgen van langdurige, droge perioden tegen te gaan. Bij deze maatregelen worden ook de voor- en nadelen weergegeven.

Hoofdstuk 5: In hoofdstuk 5 zijn voor een aantal straten op een kreekrug mogelijkheden uitgewerkt om te zien of water passerende bestrating, peilgestuurde drainage en actief infiltreren inderdaad effectief en haalbaar zijn.

Hoofdstuk 6: In hoofdstuk 6 staat de conclusie en worden aanbevelingen gegeven.

Hoofdstuk 7: Hoofdstuk 7 is een reflectie op de hierboven beschreven methodiek.

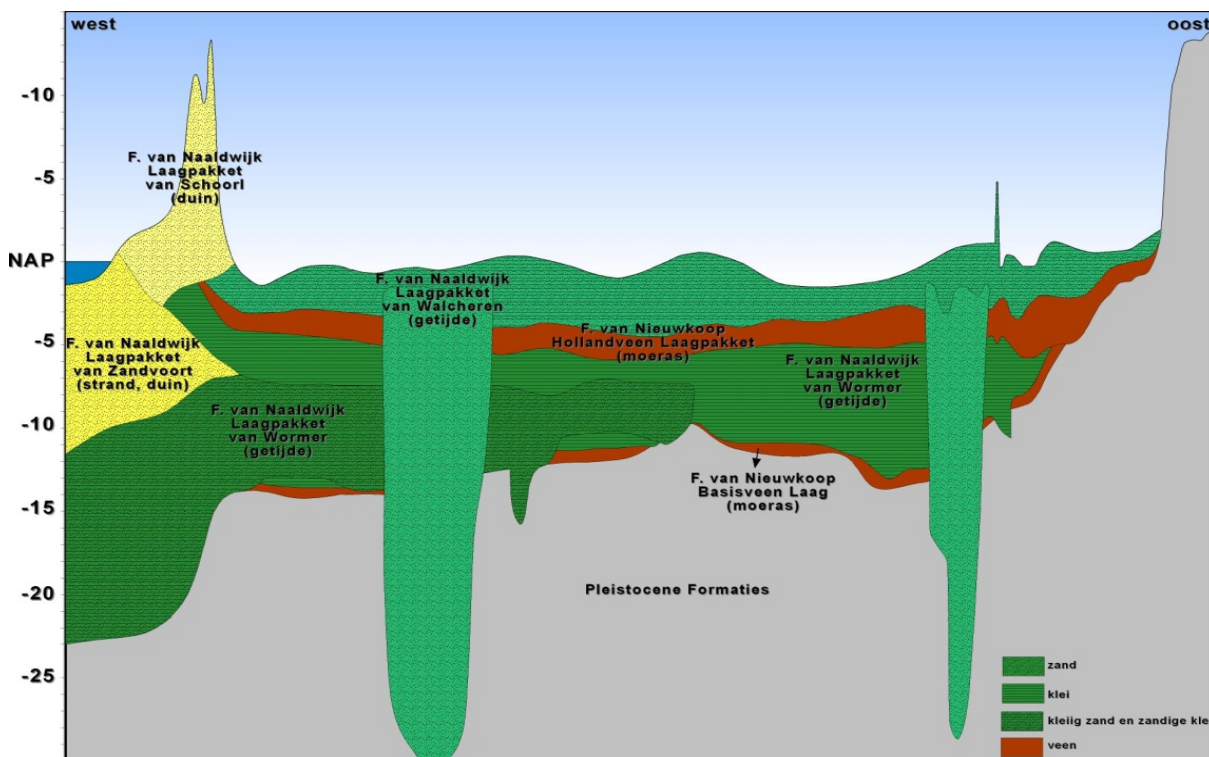
Na deze kernhoofdstukken volgen de bijlagen. Deze bijlagen bevatten voornamelijk kaartmateriaal, als ondersteuning van de fysisch-geografische beschrijving in hoofdstuk 2. De persoonlijke reflectie van de auteur is opgenomen in het voorwoord.

2 HET BODEM- EN WATERSYSTEEM VAN MIDDELBURG

Om te weten welke maatregelen effectief toe te passen zijn in het stedelijk gebied van Middelburg moet eerst duidelijk zijn hoe de ondergrond is opgebouwd en welk water de stad inkomt en uitgaat. Hieruit zal blijken of er inderdaad een watertekort is en of dit overal in Middelburg gelijk is. In dit hoofdstuk is achtereenvolgens iets geschreven over de opbouw van de bodem, het grond- en oppervlaktewater en de neerslag en verdamping.

2.1 Kreekruggen en poelgronden

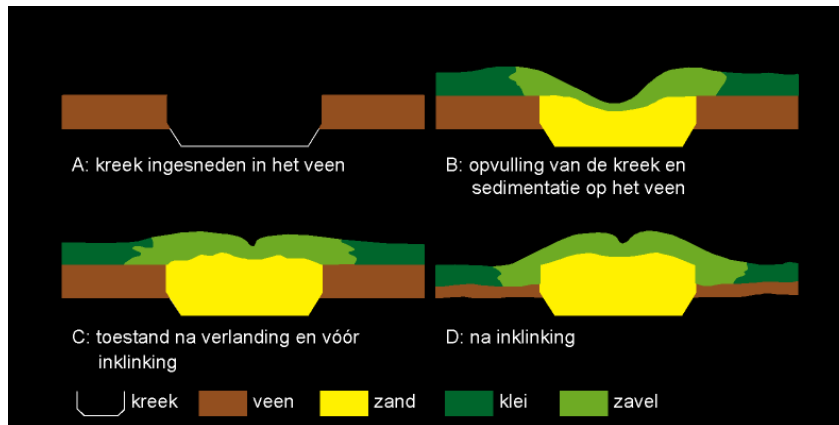
Op Walcheren ligt de Naaldwijk Formatie aan het oppervlak, in de vorm van post-romeinse kreekruggen met poelgronden (Berendsen, 2005). In deze paragraaf is beschreven hoe deze formatie is gevormd, welke verschillende lagen in de bodem van Middelburg voorkomen en hoe het reliëf is gevormd. De geologische opbouw is te zien op figuur 2.



figuur 2 – de geologische opbouw van Zeeland (Dinoloket, 2015)

De eerste Holocene formaties liggen op zandige, Pleistocene formaties. De diepte van deze Pleistocene formaties verschilt erg per plaats in Middelburg. In het centrum ligt deze zandlaag op 18 meter onder NAP. In bijvoorbeeld de wijk Dauwendaele (zie bijlage 1) op 5 meter onder NAP. Aan het begin van het huidige Holoceen (circa 10.000 jaar geleden) ontstond er een veenpakket. Dit is het basisveen, formatie van Nieuwkoop. Door de zee is het Wormer Laagpakket afgezet. Deze laag bestaat onderin uit overwegend zandig materiaal en verder bovenin meer kleilig. Achter strandwallen vormde zich weer een nieuwe laag veen, die bijna heel Zeeland bedekte. Dit is het Hollandveen Laagpakket, Formatie van Nieuwkoop.

Vanaf 3000 jaar geleden ging de zee steeds meer door deze strandwallen breken en werd het veen weggeslagen of bedekt met klei vanuit kreek. Telkens als bij vloed het water kreek instroomde, werd zand afgezet. Na verloop van tijd verzandde de kreek. Het hele gebied is talloze keren overstroomd door de zee. Tijdens deze overstromingen werd zavel afgezet. Ook de verzande kreek werd bedekt met 20 tot 50 cm zavel. Toen na bedijking (vanaf 1200 na Chr.) het klei en veen steeds meer inklonk kwam de kreek hoger te liggen door het zand en trad reliëf-inversie op, zie figuur 3.



figuur 3 – de ontwikkeling van een kreekrug (Berendsen, 2005)

Deze zogenaamde kreekruigen, of getij-inversieruigen, vormden de basis voor de eerste bewoning en de eerste wegen. De ringburgwal, waaraan Middelburg zijn naam te danken heeft, is gebouwd op een kruising van drie kreekruigen. De lage gebieden worden poelgronden genoemd. De kreekruigen en de poelgronden vormen het grootste reliëf in het landschap. Het verschil kan soms wel 2 meter bedragen. Toch is niet al het reliëf gevormd door kreek. Veel lokaal hoogteverschil komt doordat klei en veen niet overal gelijkmatig is ingeklonken (differentiële klink). De hogere gebieden die ontstaan zijn door deze differentiële klink, worden gorsgronden genoemd en bestaan meestal uit zavelige sedimenten. De lagere gebieden worden broekgronden genoemd en bestaan uit zware mariene sedimenten.

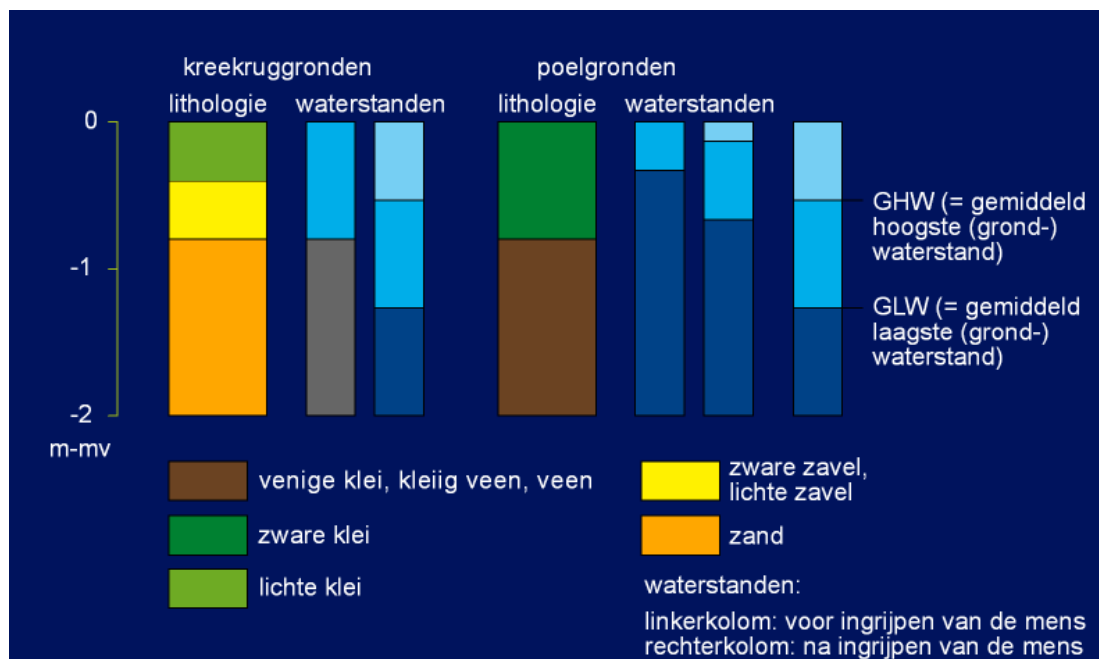
Volgens de geomorfologische kaart, bijlage 2, zijn de kreekruigen onder Middelburg 200 meter breed. Op de kaart van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) zijn de kreekruigen ook goed te volgen, omdat ze hoger liggen. Volgens deze kaart zijn de kreekruigen in Middelburg 100 tot 200 meter breed. Op de bodemkaart van Bennema uit 1952 is duidelijk te zien dat Middelburg op een kreekrug gebouwd is, zie bijlage 5. De code 'Mok' op deze kaart zijn namelijk de zandige, oude kreekruggronden en 'MMr' is jonge kreekruggrond met een zavelige bovengrond. 'Mop' is de code voor oude poelgrond. Op de huidige kaart van de Stiboka (bijlage 4) is de loop van de kreekrug wat minder goed te volgen, omdat Middelburg erg is uitgebreid. Maar ook op deze kaart is de kreekrug te zien als polderaaggrond, lichte zavel. Dit betekent dat er tussen de 8 en 17,5% lutum in zit. De oude poelgrond op deze kaart is de geëgaliseerde en verweerde zeekleigrond met plaatselijk veen. Boringen op de kreekrug en naast de kreekrug bevestigen deze theorie, zie figuur 4. De resultaten van deze boringen zijn weergegeven in bijlage 6.



figuur 4 – zand aangeboord in de kreekrug

Naast de kreekrug ligt klei, met op een diepte van ongeveer 90 cm veen. Dit bevestigt ook de lithologische opbouw die Berendsen beschreven heeft, figuur 5.

Ongeveer 20% van het stedelijk gebied van Middelburg is gebouwd op kreekruggen.



figuur 5 – lithologisch profiel van kreekruggronden en poelgronden met een indicatie van de grondwaterspiegel (Berendsen, 2005)

Uit archeologisch onderzoek (Walcherse archeologische dienst, 2012) is gebleken dat in de binnenstad de kreekrug niet meer aan de oppervlakte ligt, maar dat daar lagen opgelegd zijn. Deze ophogingen uit de late Middeleeuwen bestaan onder andere uit klei. In en boven deze ophogingen zijn vondsten van redelijk intacte, leren schoenen en zwaardschedes. Deze kunnen alleen intact gebleven zijn als ze zuurstofarm afgesloten geweest zijn, onder water dus. Dit bewijst dat water niet tot de kreekrug weg zijgt, maar boven de ondoordringbare lagen blijft hangen. Op figuur 6 zijn deze lagen goed te zien, inclusief Middeleeuwse funderingen. Daar is dus een schijngrondwaterspiegel. Meetgegevens van Dinoloket wijzen een grondwaterspiegel aan op een diepte van meer dan 3 meter, zie figuur 12.



figuur 6 – opgraving aan de Bachtensteene met de locatie (Walcherse archeologische dienst, 2012)

2.2 Grondwater

Het grondwatersysteem van Middelburg wordt voornamelijk gevoed door de Noordzee vanuit het westen. Dit water gaat onder de duinen door en is dus zout water. De invloed van dit water reikt tot aan de westkant van het kanaal door Walcheren. Onderweg komt er geïnfiltreerd regenwater bij. Vanuit het zuiden heeft de Westerschelde invloed tot aan de oostkant van het kanaal door Walcheren. Dit is ook zout water. Vanuit het noorden heeft het Veerse meer ook invloed tot aan de oostkant van het kanaal door Walcheren, dit is zoet water.

Het bepalen van de huidige grondwaterstanden (GHG en GLG) en de gewenste grondwaterstanden is lastig. De gemeente Middelburg heeft namelijk geen grondwatermeetnet. Er zijn twee meetputten waar gegevens van bekend zijn van de periode 1958 tot en met 2000. Deze putten geven de grondwaterstanden aan van twee specifieke plaatsen (bijlage 1). Op deze punten fluctueert het grondwater tussen de 310 en de 323 cm onder maaiveld in de binnenstad en tussen de 68 en de 97 cm op een kreekrug. Uit gegevens van andere onderzoeken die de gemeente uit heeft laten voeren, in verband met het uitgeven van vergunningen, blijken andere waarden, zie tabel 1. Deze waarden zijn echter van een momentopname, dus erg onbetrouwbaar.

Locatie	kreekrug	cm-mv	Datum
Churchillaan	nee	50	15/12/2005
Molenwater	nee	150	29/06/2006
Nieuwenhovenseweg	ja	170	27/06/2008
Sandberglaan	nee	100	10/06/2011
Seispark	nee, grens	120	04/05/2015

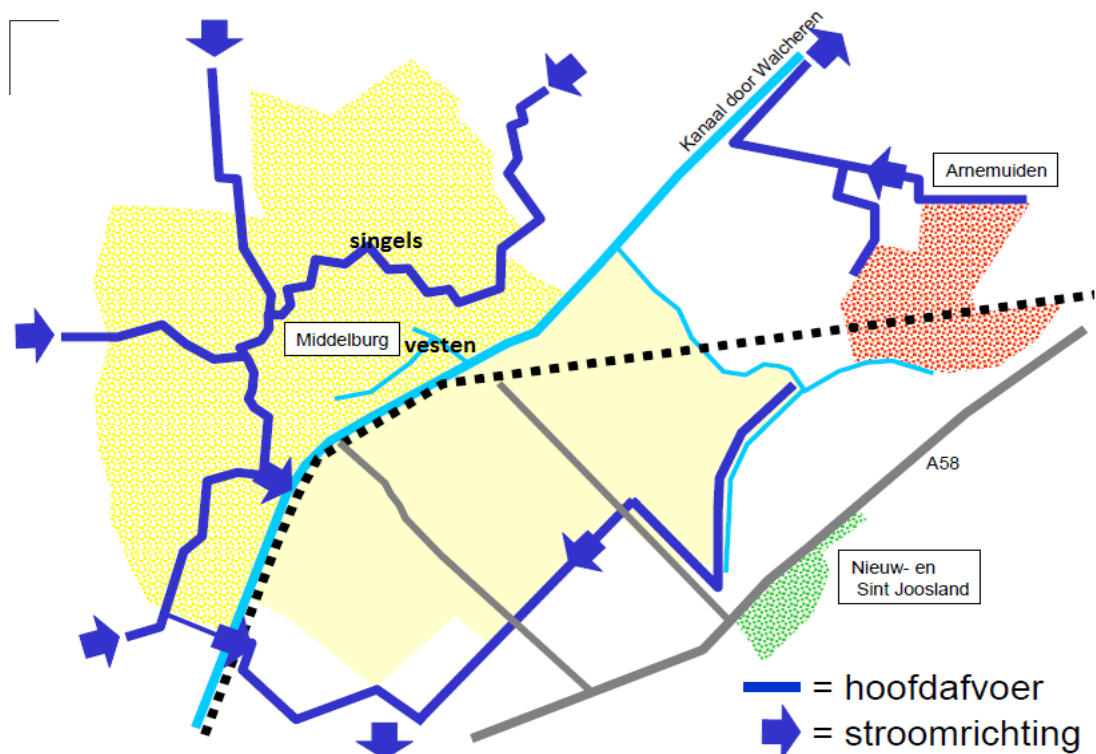
tabel 1 – gegevens bodem-informatie-systeem Middelburg

De gegevens van de putten en de onderzoeken kunnen dus niet gebruikt worden bij het bepalen van de effectiviteit van eventuele maatregelen in een ander gebied van de stad Middelburg. Wel kan hieruit de conclusie getrokken worden dat in een kreekrug het water meer fluctueert dan in de poelgronden. Dit is ook logisch omdat in een zandige ondergrond het water sneller stroomt dan in klei of veen. Bij het doorrekenen van maatregelen in hoofdstuk 5 worden aannames gedaan.

2.3 Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater beïnvloedt direct het grondwater, daarom is in deze paragraaf het oppervlaktewatersysteem beschreven. Walcheren kan gezien worden als een groot, diep bord waarvan de randen aan de noord-, west- en zuidzijde de duinen zijn en aan de oostzijde de hoger gelegen polders van Zuid-Beveland. Middelburg ligt op het laagste punt van dit bord en ontvangt dus het water uit het landelijk gebied. In de bebouwde kommen van Middelburg is ongeveer 85,5 km waterloop aanwezig en ongeveer 25 grotere waterpartijen. De singels vormen de spil van dit watersysteem en worden gevoed door poldergemalen en grote waterlopen uit het landelijk gebied, zie figuur 7.

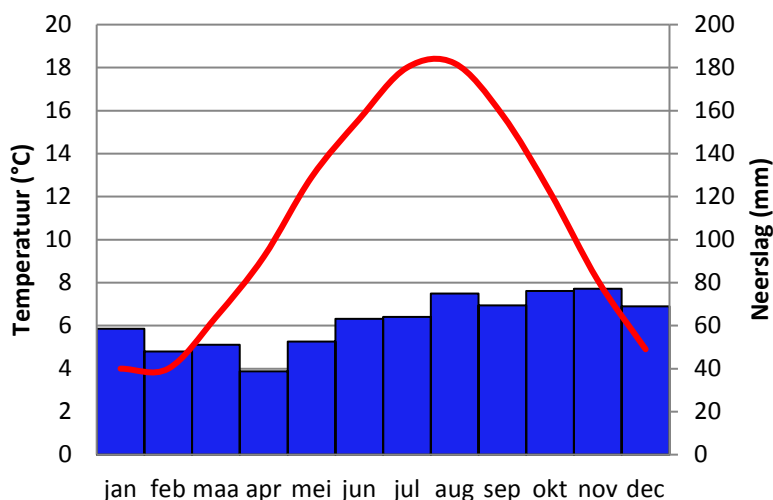
Omdat het centrum van Middelburg op een kruising van kreekruigen is gebouwd en opgehoogd is in de late Middeleeuwen, ligt het hoger dan de directe omgeving. Daarom is ook het oppervlaktewater in het centrum van de stad hoger dan in het landelijk gebied en wordt opgevoerd via gemalen. Bij een overschot aan water wordt het water uitgeslagen op het kanaal door Walcheren. De vesten staan in directe verbinding met het kanaal en hebben dus ook hetzelfde peil als het kanaal. Het peilbesluit van het kanaal en de vesten is 90 cm boven NAP, in de zomer en in de winter. Het peilbesluit van de singels is in de winter 1,85 m boven NAP en in de zomer 2,05 m boven NAP.



figuur 7 – schematische weergave van het watersysteem van Middelburg (Ontwerpwaterplan Middelburg, 2004)

2.4 Neerslag en verdamping

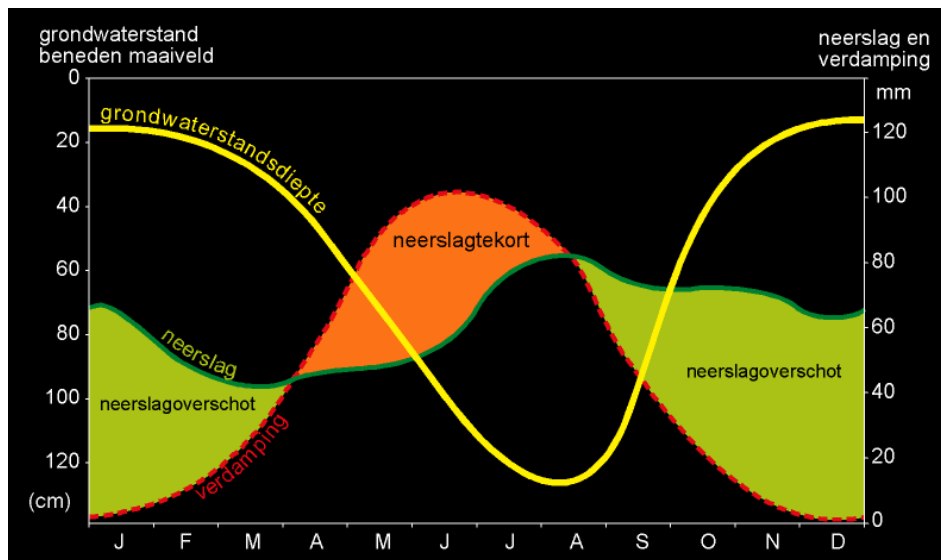
De neerslag en de verdamping heeft ook invloed op de kwantiteit van het grondwater. In deze paragraaf is beschreven wat het huidige klimaat is en wat de verwachting is voor de toekomst. Middelburg heeft een gematigd zeeklimaat. De klimaatgrafiek van figuur 8 is gebaseerd op het langjarig gemiddelde van 1981 tot 2010, van het weerstation Vlissingen. Dit weerstation ligt ongeveer 5 km bij de binnenstad van Middelburg vandaan.



figuur 8 – klimaatgrafiek Middelburg 1981-2010 (KNMI, 2015)

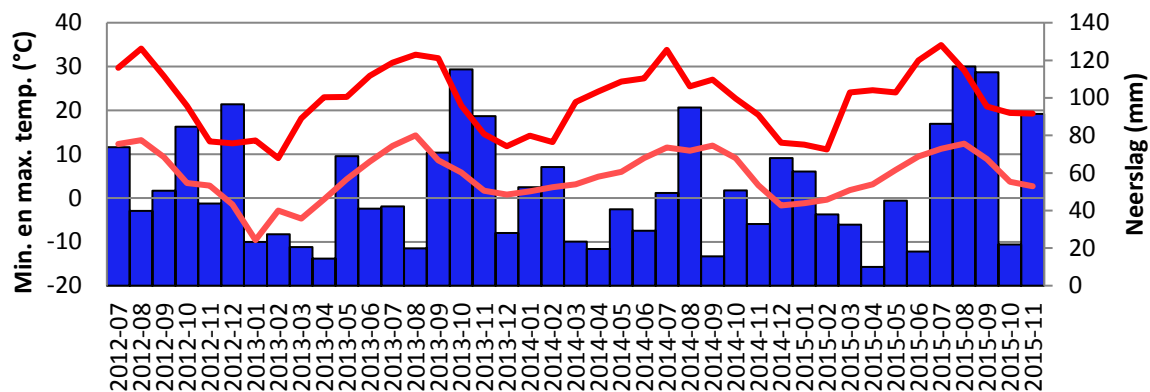
Het klimaat is aan het veranderen. De primaire gevolgen van deze klimaatverandering, als temperatuur en neerslagverandering, zijn door het KNMI geïnterpoleerd naar provinciaal schaalniveau. Het KNMI heeft in 2006 de KNMI'06 scenario's ontwikkeld van deze klimaatverandering. Deze scenario's zijn combinaties van meerdere klimaatvariabelen. Deze scenario's zijn indicatief, omdat zoiets complex als klimaatverandering onmogelijk geheel is in te schatten. In dit rapport is er voor gekozen om vooral naar het W+ scenario te kijken. Het verschil tussen W en W+ is dat het W scenario uitgaat van geen verandering in de luchtstromingspatronen. Het W+ scenario gaat uit van meer westenwind en meer oostenwind. Het G en G+ scenario is in de meeste variabelen de helft van W en W+. Dit rapport gaat dus uit van het worst-case-scenario. De verwachting van het KNMI volgens het klimaatscenario W+ is, dat het aantal warme dagen (hoger of gelijk aan 20°C) verdubbeld zal zijn in 2050. In 2100 is deze temperatuurstijging nog eens tweemaal zo groot. Temperatuurextremen zullen sneller stijgen dan de gemiddelde temperatuur.

Bovendien is het in de stad warmer dan in landelijk gebied door het hitte-eiland-effect. Kennisinstituut TNO heeft onderzoek gedaan naar het hitte-eiland-effect. In Middelburg is het verschil tussen de stad en het omliggende gebied 2-4 °C overdag en 3-4 °C 's nachts, gebaseerd op de hittegolf van de zomer van 2006 (TNO, 2012). In het huidige klimaat is de temperatuur in april al flink aan het stijgen, waardoor de potentiële verdamping toeneemt en de grondwaterspiegel snel daalt, zie figuur 9. De verwachting is dat door de stijging van het aantal warme dagen deze verdamping alleen maar zal toenemen.



figuur 9 - de gemiddelde neerslag, potentiële verdamping en grondwaterstandsdiepte in Nederland (Berendsen, 2005)

Daar komt nog bij dat er in de maanden juli en augustus korte, hevige buien zijn. Deze buien zorgen ervoor dat de gemiddelde neerslagsom in die maanden vrij hoog is. Deze buien worden nu zo snel mogelijk afgevoerd om overlast te voorkomen, waardoor het grondwater niet aangevuld kan worden. Dit is ook zichtbaar in figuur 10. In de afgelopen drie jaar is namelijk het verschil in neerslag in de maand augustus erg groot. Dit wijst erop dat er korte hevige buien geweest zijn, zogenaamde stijgingsregens. De verwachting is dat deze buien in de toekomst alleen maar meer zullen voorkomen.

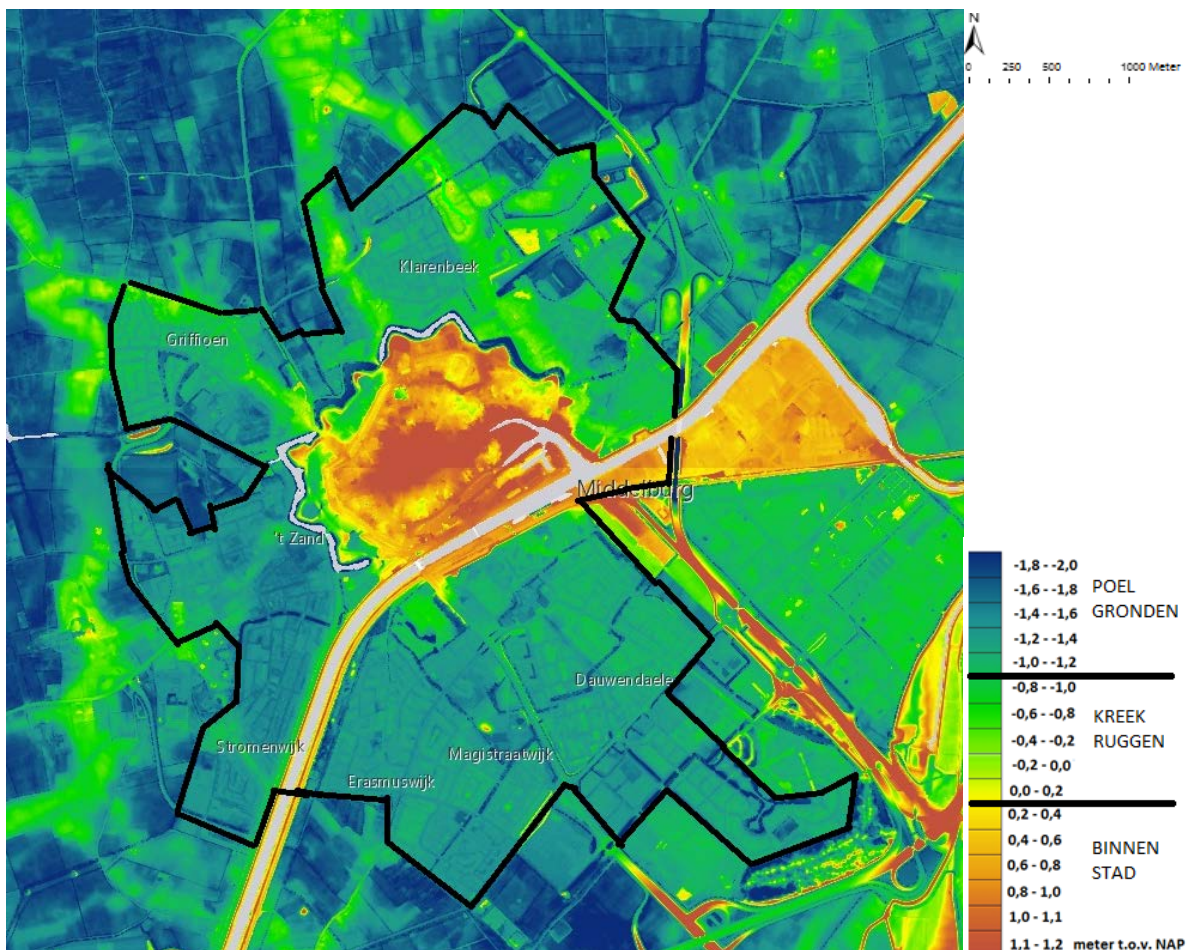


figuur 10 – gegevens weerstation Middelburg (KNMI, 2015)

De gemiddelde neerslag in het zomerhalfjaar neemt in het G en W scenario toe en in het G+ en W+ scenario sterk af. Die verandering kan dus zowel positief als negatief zijn voor de verdroging. De potentiële verdamping zal echter wel toenemen door hogere temperaturen. Als gevolg van de ligging aan de kust heeft Zeeland bovendien de meeste zonuren van Nederland. Middelburg wijkt dus iets af van de gemiddelde neerslag en potentiële verdamping in Nederland, met als gevolg dat de kans op verdroging groter is dan de rest van Nederland. Als gevolg van de klimaatverandering moet Middelburg dus rekening houden met perioden waarin het grondwaterpeil laag is.

3 GEVOLGEN VAN DALENDE GRONDWATERSTAND PER DEELGEBIED

Uit het vorige hoofdstuk blijkt dat het verschil in ondergrond vooral wordt bepaald door de aan- of afwezigheid van een kreekrug. Op basis van dit verschil zijn in dit hoofdstuk deelgebieden van de stad Middelburg geformuleerd. Een verschil in bodem vraagt namelijk om een verschil in maatregelen. Eerst is in dit hoofdstuk de binnenstad beschreven, omdat deze wat betreft bodem en inrichting uniek is. Daarna de gebieden die op een kreekrug liggen en de gebieden die niet op een kreekrug liggen. Op de hoogtekaart, figuur 11 is het beste te zien waar de kreekruggen onder Middelburg zich bevinden. Het zwarte kader is het bebouwde gebied, rood/oranje is het centrum, groen/geel zijn de kreekruggen en blauw de poelgronden. Voor deze deelgebieden met unieke eigenschappen worden in het volgende hoofdstuk mogelijke maatregelen weergegeven. In dit hoofdstuk is per deelgebied aangegeven welke problemen kunnen ontstaan bij een dalende grondwaterstand. Bij deze problemen speelt de ondergrond ook een grote rol.



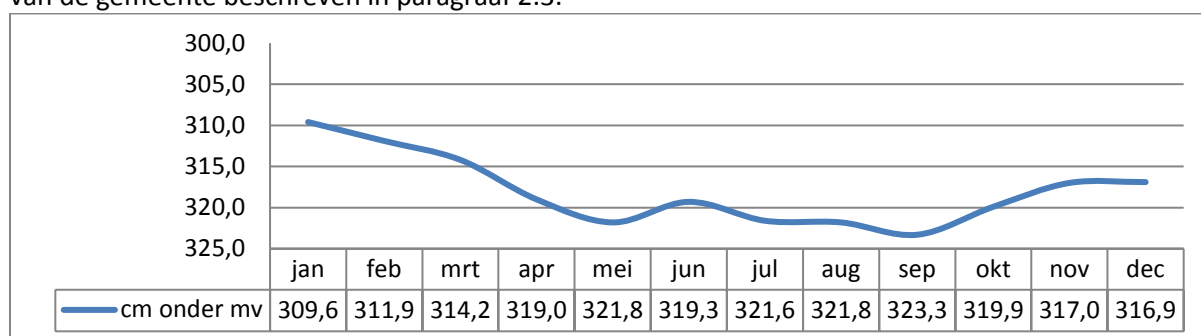
figuur 11 – hoogtekaart Middelburg (AHN)

3.1 Binnenstad

De binnenstad is het gebied binnen de singels aan de noordzijde van het kanaal door Walcheren. Dit deelgebied is uniek, want onder de binnenstad bevindt zich waarschijnlijk een onbereikbare kreekrug. Deze kreekrug is vrijwel overal onbereikbaar voor infiltratie. Dit komt omdat in de Middeleeuwen deze kreekrug bedekt is door bewoningsafval en opgebrachte klei. In de kleiige gronden van de binnenstad is infiltratie een moeizaam en langdurig proces. Bovendien is de binnenstad bijna volledig volgebouwd waardoor er weinig ruimte is voor eventuele infiltratievoorzieningen. Er zijn nog enkele open plekken: In het noordoosten van de binnenstad, ter hoogte van de Oostkerk, is rond de singel natuur hersteld, het zogenaamde Veerse Bolwerk. Tevens is op het voormalige Molenwater een stadspark wat nog heringericht moet worden, nadat Miniatuur Walcheren verplaatst is naar de rand van de stad. Het Molenwater was oppervlaktewater, wat afgesloten was van de haven door middel van een sluis. Deze sluis werd dichtgezet bij de hoogste vloedstand, waarna bij eb de sluis openging, waardoor het water krachtig door de haven stroomde om verzanding tegen te gaan. Dit stromende water werd ook gebruikt om een molen te laten draaien om graan te malen. De straten Molenwater en Spuistraat herinneren nog aan dit fenomeen.

Gevolgen van een dalende grondwaterstand in de binnenstad

Ondanks dat het peil in het kanaal en de singels op een vast peil worden gehouden, fluctueert de grondwaterspiegel behoorlijk, in ieder geval op het punt wat door de gemeente gemeten is. Figuur 12 geeft namelijk de gemiddelde waarden per maand aan van één van de grondwatermeetputten van de gemeente beschreven in paragraaf 2.3.



figuur 12 – gemiddelde grondwaterstand in de binnenstad in de periode 1981 – 2000

Als er in de toekomst nog meer droge perioden komen, zou dit zettingsverschillen in de binnenstad kunnen veroorzaken. Doordat de grondwaterspiegel daalt, gaat de bodem namelijk inklinken. Wanneer het water door ontwatering uit deze gronden verdwijnt, komen de kleideeltjes dichter op elkaar te zitten en daalt de bodem. Omdat dit nooit geleidelijk gebeurt, is er een verhoogde kans op zettingsverschillen. In de bodem onder de binnenstad bevinden zich bovendien allerlei verstoringen zoals oude funderingen en verweerd bewoningsafval. Deze verstoringen vergroten de kans op zettingsverschillen. Zettingsverschillen kunnen leiden tot schade aan gebouwen en infrastructuur.

3.2 Gebieden die op een kreekrug liggen

De naam Middelburg komt uit de tijd van de Vikingen. Door de aanhoudende invallen van de Vikingen op Walcheren hebben plattelandsnederzettingen de handen ineengeslagen en drie ringburgwallen opgeworpen. Eén daarvan lag in het zuiden van Walcheren: Souburg, één in het duingebied: Domburg en één in het midden: Middelburg. De plek van de ringburgwal, het huidige Middelburg, was gunstig gekozen op de kruising van verschillende kreekruggen. Dit was het hoogste en droogste punt in de omgeving. Zoals aangegeven in de vorige paragraaf is de kreekrug onder de binnenstad vrijwel onbereikbaar geworden, buiten de singels zijn de kreekruggen echter nog wel terug te vinden.

Gevolgen van een dalende grondwaterstand in de gebieden die op een kreekrug liggen

Een gevolg van een droge periode zou voor de gebieden op een kreekrug kunnen zijn dat het groen verdroogd. Uit gegevens van Dinoloket blijkt dat de fluctuatie van het grondwater in de kreekruggen nu al groter is dan in de poelgronden (Dinoloket, 2015). De verwachting is dat deze fluctuatie in de toekomst nog groter zal zijn. Tot nu toe heeft de gemeente Middelburg het openbaar groen niet hoeven te irrigeren. Dit is niet persé nodig, omdat vegetatie zich aanpast aan de omstandigheden. Dus als de grondwaterspiegel zakt, groeien de wortels mee. Bij irrigatie groeien de wortels minder diep en is een boom of plant dus kwetsbaarder. Uiteraard kan dit meegroeien maar tot een bepaalde diepte, afhankelijk van de soort vegetatie. Dus bij een te lage grondwaterspiegel ondervindt vegetatie wel hinder. Vooral boompjes die jonger zijn dan drie jaar kunnen slecht tegen droogte (Deltares, 2012). De gemeente houdt nu bij beplanting geen rekening met het verschil in ondergrond.

3.3 Wijken die geheel op poelgronden liggen

Op figuur 11 zijn de poelgronden zichtbaar als de blauwe gebieden. Het grootste gedeelte van het stedelijke gebied van Middelburg is dus poelgrond. Dit komt omdat de kreekruggen niet toereikend waren voor alle stadsuitbreidingen die Middelburg, vooral in de vorige eeuw, heeft gehad.

Gevolgen van een dalende grondwaterstand in de gebieden die geheel op poelgronden liggen

Poelgronden bestaan vooral uit klei en veen. Als het grondwater zakt kunnen op deze plekken verzakkingen voorkomen als gevolg van zettingsverschillen. Bovendien geldt voor zowel de wijken die op een kreekrug liggen als de wijken die geheel op poelgronden liggen, dat het zakken van het grondwater verhitting van waterleiding en elektriciteitskabels tot gevolg kan hebben. Als kabels zich namelijk onder de grondwaterspiegel bevinden, hebben bovengrondse temperatuurschommelingen minder invloed op kabels en leidingen als wanneer deze kabels en leidingen zich boven de grondwaterspiegel bevinden. Daar staat tegenover dat de eerste bewoners in dit gebied op de kreekruggen zijn gaan wonen, omdat het daar het droogst is. Grondwaterstromingen in klei en veen gaan erg langzaam, waardoor het grondwater ook erg langzaam zal zakken. Bovendien liggen deze gebieden 1 tot 2 meter lager dan de kreekruggen. In deze gebieden zal dus veel eerder sprake zijn van wateroverlast dan van watertekort.

4 MAATREGELEN PER DEELGEBIED

In dit hoofdstuk is beschreven welke maatregelen genomen kunnen worden om de gevolgen van een dalende of fluctuerende grondwaterstand, beschreven in het vorige hoofdstuk, te beperken. Net als in hoofdstuk 3 is er onderscheid gemaakt tussen het centrum, gebieden die op een kreekrug liggen, en gebieden die geheel op poelgronden liggen. Per maatregel is kort aangegeven wat de voor- en nadelen zijn. Bij de keuze voor maatregelen is in eerste instantie uitgegaan van de maatregelen die de stichting Waterhouderij Walcheren toepast in het landelijk gebied. Daarnaast is ook gekeken naar andere mogelijkheden om watertekort en gevolgen daarvan te beperken. De maatregelen die de stichting Waterhouderij Walcheren toepast worden toegelicht in bijlage 10 en zijn in het kort:

- stuwen van oppervlaktewater
- peilgestuurd draineren
- infiltreren in een kreekrug

Andere mogelijkheden die in dit hoofdstuk worden toegelicht zijn:

- water bergen in oppervlaktewater
- groene daken en meer openbaar groen
- infiltratie op privéterrein door particulieren
- infiltratie onder wegen
- ophogen van het terrein voor nieuwbouw

In dit hoofdstuk wordt de maatregelen dus alleen beschreven. In hoofdstuk 5 is voor een klein gebied een aantal maatregelen uitgewerkt om aan te geven of die maatregelen effectief en haalbaar zijn.

4.1 Binnenstad

Zoals aangegeven in paragraaf 2.1 bestaat de bodem onder de binnenstad weliswaar uit zandig materiaal, omdat het grotendeels op kreekruggen ligt, maar door natuurlijke en antropogene bedekking met klei en bewoningsafval is deze kreekrug onbereikbaar voor infiltratie. Daar komt bij dat de ruimte onder de straten gevuld is met allerlei infrastructuur zoals riolering, gas, water, elektriciteit, telefoon- en internetkabels, waardoor de ruimte voor eventuele infiltratievoorzieningen heel erg beperkt is. In deze paragraaf staan de maatregelen genoemd die toch genomen kunnen worden in de binnenstad om watertekort tegen te gaan.

Water bergen in oppervlaktewater

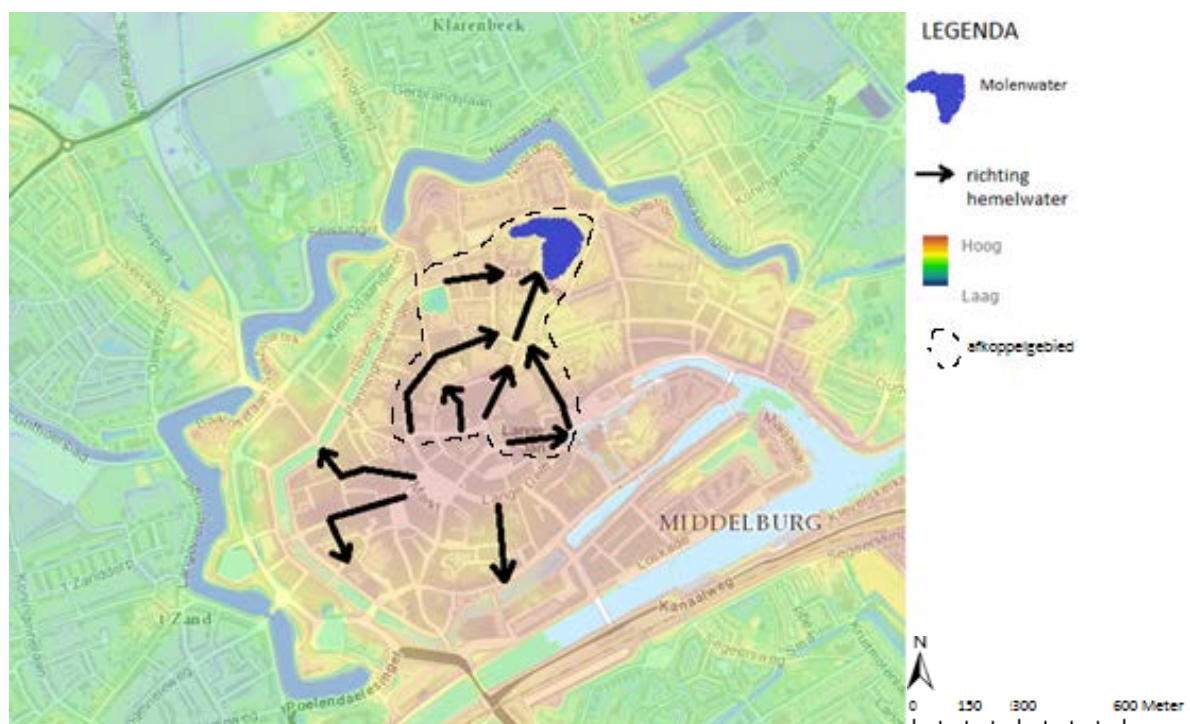
De stichting Waterhouderij Walcheren houdt, in het landelijk gebied, water onder andere langer vast door water te stuwen (zie bijlage 10). In de stad kunnen de singels en de grachten niet opgestuwd worden, omdat de bruggen dan te dicht op het wateroppervlak komen. Bovendien kan dit zorgen voor grondwateroverlast. De singels en de grachten lopen namelijk niet overal door een, relatief hogere, kreekrug. Dit is zichtbaar op de hoogtekkaart, bijlage 3.

Water bergen is wel mogelijk in het voormalige Molenwater. Aan de noordzijde van de binnenstad is het voormalige Molenwater het laagste punt. Op deze plek was het park miniatuur Walcheren. Dat is in 2009 verhuisd naar de rand van de stad. Nog steeds is er geen concreet plan voor dit gebied. Dit stadspark zou heringericht kunnen worden als waterberging en ontmoetingsplek voor mensen in Middelburg. Op de hoogtekkaart (bijlage 3) is te zien dat het voormalig Molenwater relatief laag ligt, zodat water daarheen geleid zou kunnen worden door middel van goten of straten met open fundering.

Op figuur 13 is aangegeven welk gebied afgekoppeld zou kunnen worden. De gedeelten van de binnenstad die hierbuiten vallen kunnen beter afwateren naar ander oppervlaktewater in de stad, de zuidkant naar de Binnengracht en de Binnenhaven. Daar is nu al een overstort van het gemengde riool. De westkant kan naar de Herengracht, de noordkant naar de Noordsingel en de oostkant naar het Prins Hendrikdok afstromen. Water bergen in de veste of de singel zal weinig bijdragen aan het verminderen van het watertekort, omdat de bodem van de veste waarschijnlijk bedekt is met een dikke laag slib en de veste lang niet overal door een kreekrug loopt. Water in de veste en de singel kan dus zeer moeilijk infiltreren.

In 2013 is besloten door de gemeenteraad, dat het stadspark heringericht gaat worden op basis van burgerparticipatie, daardoor heeft de gemeente minder invloed op de inrichting van het park. Dit zal de haalbaarheid van deze maatregel negatief beïnvloeden. Bovendien moeten vrijwel alle straten opnieuw worden aangelegd, wat zal zorgen voor veel weerstand bij winkeliers en burgers.

Door meer groen, het ontbreken van bestrating en de aanwezigheid van water kan het aanpassen van het voormalig Molenwater bijdragen aan het tegengaan van verdroging. Dat is een voordeel. Een nadeel is dat dit hoge kosten met zich mee zal brengen, omdat straten aangepast moeten worden. Bovendien moet de gemeente voor iedere maatregel draagvlak creëren bij de bewoners. Dit zal de uitvoer van deze maatregel vertragen.

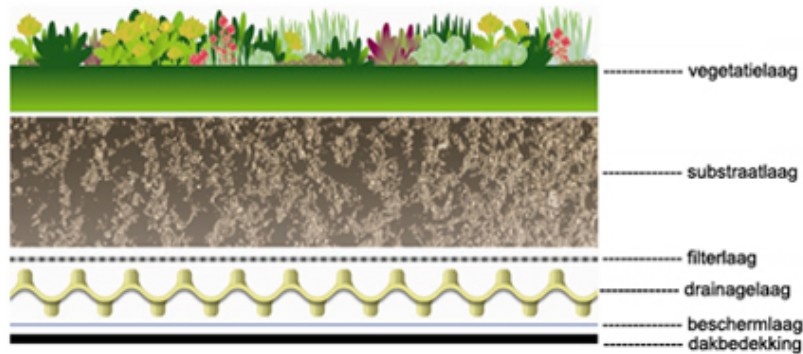


figuur 13 – hemelwater afvoeren naar voormalig Molenwater (APB)

Groene daken en openbaar groen

Naast het opstuwten van water, infiltreert de stichting Waterhouderij Walcheren ook actief zoet water. Dit is, op veel kleinere schaal, ook in Middelburg mogelijk door middel van groene daken en openbaar groen. Groene daken kunnen water vasthouden en vertraagd afvoeren. Om deze maatregel ook effectief te laten zijn tegen een lage grondwaterspiegel, moet het opgevangen water worden geïnfiltreerd in de bodem. Een gedeelte van het water verdampt, wat overblijft kan gebruikt worden om verdroging tegen te gaan. Dit kan door de afvoer, via de drainagelaag, uit te laten komen op onverhard terrein of een infiltratievoorziening in de weg. Het voordeel boven niet-groene daken is, dat het water geleidelijk wordt afgevoerd en dus beter kan infiltreren, omdat het meer tijd heeft. In de binnenstad gaat deze infiltratie moeizaam.

Dus om verdroging tegen te gaan is deze voorziening effectiever in wijken waar de kreekrug bereikbaar is voor infiltratie. Zie figuur 14 voor een schematische weergave van een groen dak. De kosten voor groene daken zijn laag, omdat de gemeente alleen subsidie hoeft te verlenen. De gemeente Middelburg verleent nu nog geen subsidie, andere gemeenten doen dit wel. Daar is de subsidie tussen de 25 en de 30 euro per m² dakoppervlak, of 50% van de aanlegkosten (groenedaken.net, 2015). Een bijkomend voordeel is, dat uit verschillende onderzoeken gebleken is dat groenvoorzieningen zorgen voor een betere leefbaarheid, waardoor kosten voor gezondheidszorg en ziekteverzuim zullen afnemen. (Stowa en stichting Rioned, 2015)



figuur 14 – schematische weergave groen dak (bespaarenergiescan, 2015)

Een voordeel van groene daken en openbaar groen is dat ze, op kleine schaal, kunnen bijdragen aan het tegengaan van verdroging. Een bijkomend voordeel is dat de leefbaarheid zal verbeteren. De kosten voor deze maatregel zijn laag zijn in vergelijking met de andere maatregelen die in dit hoofdstuk genoemd zijn.

Infiltratie door particulieren

De gemeente Middelburg is in het kader van burgerparticipatie en burgerinitiatief aan het onderzoeken of het haalbaar en effectief is om particulieren te motiveren tenminste één vierkante meter onverhard terrein te hebben, figuur 15. Deze maatregel zorgt er voor dat er meer water infiltreert in de bodem. In de binnenstad infiltreert het water echter lastig, daardoor zal deze maatregel op een kreekrug meer effect hebben. Een bijkomend voordeel van deze maatregel is, dat wateroverlast verminderd wordt, omdat het water niet afstroomt naar de riolering. Bij deze maatregel is het heel belangrijk om burgers te betrekken. Dit kan bijvoorbeeld door het organiseren van een wedstrijd. Ook woningbouwverenigingen moeten hierbij betrokken worden, omdat die uiteindelijk verantwoordelijk zijn voor de buitenzijde van de woningen.



figuur 15 – tenminste één vierkante meter onverhard (APB)

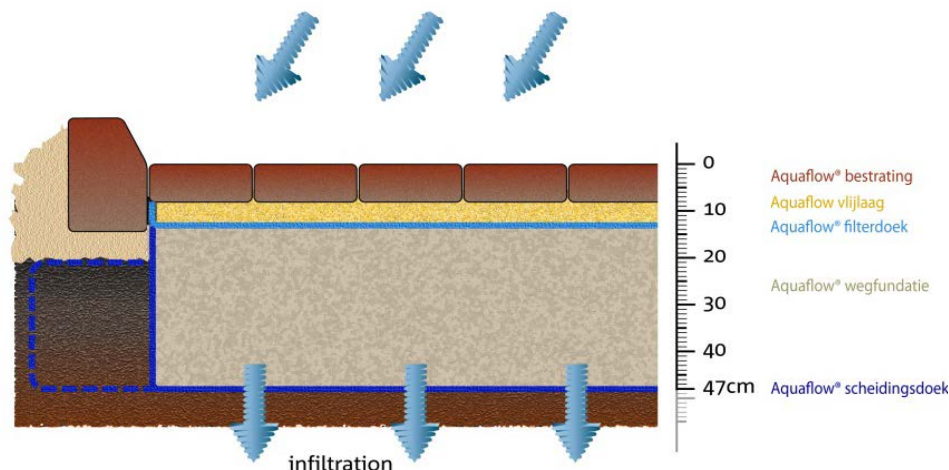
Door middel van goede voorlichting is deze maatregel haalbaar. De ruimte in de binnenstad is echter beperkt, daarom zal niet iedere particulier dit kunnen realiseren. De kosten zijn minimaal, omdat particulieren zelf hun tuin aanleggen.

4.2 Gebieden die op een kreekrug liggen

Kreekruggen onder woonwijken zijn niet direct bereikbaar voor infiltratie, omdat na het ontstaan van kreekruggen deze in de loop van de eeuwen afgedekt zijn met een laag zavel van 20 tot 50 cm, zie paragraaf 2.1. In deze paragraaf wordt uitgelegd wat wel toepasbaar is in gebieden die gedeeltelijk op een kreekrug liggen.

Water passerende bestrating

In wijken, die op een kreekrug liggen, kan water passerende bestrating worden toegepast. In deze wijken zijn meestal één of twee straten, met ongeveer 50 meter van de zijstraat, geschikt voor infiltratie. In de wijk Griffioen (zie bijlage 1) is dat bijvoorbeeld de Walcherseweg en de Seisweg. Aquaflow bv, Drainvast bv en andere bedrijven hebben manieren ontwikkeld om water in de wegfundatie te bufferen en geleidelijk te infiltreren. De techniek van Aquaflow is weergegeven in figuur 16. Het bedrijf geeft aan dat er een doorlatendheid van 12.500 liter per seconde per hectare (4500 liter per m² per uur) gecreëerd kan worden door speciale Aquaflow® straatstenen. Asphalt, beton of grastegels zijn ook mogelijk. Dit is een ideale situatie. Als gevolg van vervuiling zal dit in de praktijk veel minder zijn. Door het aanleggen van de straat, met fundering, is de afdekkende laag zavel doorbroken.



figuur 16 - Aquaflow® infiltratie systeem (Aquaflow, 2015)

Op kreekruggen is er de mogelijkheid om water te infiltreren door middel van water passerende bestrating. Als deze water passerende bestrating wordt aangelegd op het moment dat de straten toch gerenoveerd moeten worden zijn de kosten ongeveer 30% hoger dan bij standaard bestrating (Aquaflow, 2015).

Meer openbaar groen en groene daken.

Onder openbaar groen wordt in dit geval verstaan: bomen, struiken, planten, bloemen en gras in de openbare ruimte. Groen in de wijk houdt water langer vast. Het water wat het groen niet nodig heeft kan infiltreren in de bodem.

Groene daken kunnen in wijken die gedeeltelijk op een kreekrug liggen ook effectief zijn voor het tegengaan van verdroging. Het overtollige water wat op groene daken valt bij een extreme bui kan vertraagd worden geïnfiltreerd op particulier terrein, of via een infiltratievoorziening in de openbare ruimte, bijvoorbeeld via de weg. Zoals beschreven in paragraaf 4.1 zijn de kosten voor groene daken voor de gemeente laag.

Infiltratie door particulieren

Als de gemeente ervoor gaat kiezen om particulieren meer te stimuleren om regenwater op te vangen op eigen terrein, zoals beschreven in de vorige paragraaf, dan geldt dat ook voor wijken die gedeeltelijk op een kreekrug liggen. Hier zal de effectiviteit groter zijn dan in de binnenstad omdat water beter kan infiltreren. De haalbaarheid is in deze wijken ook groter omdat er meer ruimte is op particulier terrein.

Peilgestuurde drainage

Een andere optie om het grondwaterpeil op het gewenste peil te houden is het peilgestuurd maken van drainage. Dit wordt ook toegepast door de stichting Waterhouderij Walcheren. Als de drainagebuizen of buizen voor de afvoer van hemelwater peilgestuurd gemaakt worden, kunnen deze buizen gebruikt worden om het grondwaterniveau op een peil te houden. Door deze buizen te gebruiken voor infiltratie, zogenaamde omgekeerde drainage, kan ook in droge perioden het grondwaterniveau hoog worden gehouden. Dit kan door de buizen aan te sluiten op open water (Buck, 2012). In het landelijk gebied worden de kosten afgehaald van de meeropbrengst van de gewassen. Deze maatregel wordt wel genoemd als mogelijkheid voor een klimaatadaptieve stad door onder andere Witteveen en Bos (Witteveen en Bos, 2016).

Het grote voordeel van peilgestuurde drainage is, dat het een mogelijkheid vormt om de grondwaterstand zoveel mogelijk op één gewenst niveau te houden. Een nadeel is dat deze maatregel gecontroleerd en gemonitord moet worden. Bovendien zijn de kosten voor deze maatregel hoog omdat er regelbare putten aangelegd moeten worden. Dit wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.

4.3 Gebieden die geheel op poelgronden liggen

In gebieden die niet op een kreekrug liggen maar op poelgronden, is infiltratie moeizaam. Poelgronden bestaan namelijk uit klei en veen.

Meer openbaar groen en groene daken

Net als in de binnenstad is het toepassen van openbaar groen en groene daken een mogelijkheid om negatieve gevolgen van verdroging te voorkomen. In de wijk Mortiere is dit al toegepast door het aanleggen van met gras bedekte wadi's. Hierdoor heeft hemelwater meer tijd om te infiltreren en kan water op een natuurlijke manier langzaam afstromen.

De voor- en nadelen van openbaar groen en groene daken staan beschreven in paragraaf 4.1.

Peilgestuurde drainage

Een andere optie om het grondwaterpeil te regelen is ook in wijken op poelgronden het peilgestuurd maken van drainage. In de wijk Mortiere zijn bij de aanleg drainagebuizen aangelegd. Als deze drainagebuizen peilgestuurd gemaakt worden, kunnen deze buizen gebruikt worden om het grondwaterniveau op een vast peil te houden. De voor- en nadelen hiervan zijn beschreven in paragraaf 4.2 en zijn verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.

Ophogen

Omdat de kreekruggen al volgebouwd zijn, worden de nieuwbouwwijken ook aangelegd op poelgronden met een slappe, slecht doorlatende bodem. In de randstad is er veel ervaring met het bouwen op slappe bodem. Daar lopen op dit moment proeven met bims (lavasteen) en bouwen op EPS-ophogingsblokken (piepschuimblokken) (Platform slappe bodem, 2015). Andere mogelijkheden zijn fosforslakken, betongranulaat, hoogovenslakken, geïnfiltreerd zand en schuimbeton (Deltares, 2009). Het grote voordeel van deze maatregelen is, dat water gemakkelijk in de ondergrond kan infiltreren. Deze materialen hebben namelijk een hoge porositeit. Als deze wijken even hoog of iets hoger dan de kreekruggen aangelegd worden, kan het geïnfiltreerde water naar de kreekruggen stromen. Daar kan het gebruikt worden om het grondwater aan te vullen via een infiltratiesysteem.

De kostentoeename voor deze fundering is afhankelijk van het gebruikte materiaal. Zand wordt nu vaak gebruikt, maar dat is niet wenselijk als ophoogmateriaal, omdat dit zorgt voor zetting. Een indicatie van de kosten van ophoogmaterialen staat weergegeven in tabel 2.

	prijs per m ²	prijs per strekkende meter weg
ophoogzand	€ 14,-	€ 84,-
EPS ophogingsblokken	€ 88,-	€ 582,-
schuimbeton	€ 52,50	€ 315,-

tabel 2 – indicatie prijs ophogingsmaterialen (Cobouw, 2016)

Ophogen van woonwijken wordt in de praktijk nog niet vaak toegepast, maar is een mogelijkheid om de negatieve gevolgen van verdroging tegen te gaan. Een nadeel is dat de kosten hoog zijn, vergeleken met de andere maatregelen die in dit hoofdstuk genoemd zijn.

5 CASUS KLARENBEEK

Het doel van dit hoofdstuk is om de effectiviteit en haalbaarheid van een aantal maatregelen, die in het vorige hoofdstuk genoemd zijn, weer te geven. Het is binnen de termijn van het onderzoek niet mogelijk om dit voor heel Middelburg te doen. Daarom is gekozen voor een representatief casusgebied, namelijk een gedeelte van de wijk Klarenbeek in het noorden van de stad Middelburg, zie bijlage 1. Dit gebied is gekozen omdat het op een kreekrug ligt en omdat deze straten op de lijst staan van de gemeente Middelburg om op korte termijn gerenoveerd te worden. Voor dit gebied is de mogelijkheid voor water passerende bestrating, peilgestuurde drainage en actieve infiltratie onderzocht. In de eerste paragraaf wordt aangegeven wat precies de begrenzing is van het onderzoeksgebied. Daarna wordt de huidige geohydrologische situatie beschreven. Vervolgens worden de mogelijkheden uitgewerkt en wordt aangegeven wat de verwachte effectiviteit is van deze mogelijkheden. In de laatste paragraaf worden de kosten beschreven om aan te geven of de maatregel ook haalbaar is.

5.1 Begrenzing

Het plangebied omvat vier straten in deze wijk met bijbehorende bebouwing, zie figuur 17. Van west naar oost is dat de Lodo van Hamelstraat, de Pieter Gootjesstraat en de Frans Duwaerstraat. Deze straten lopen van noordwest naar zuidoost. Haaks op deze straten loopt van zuidwest naar oost de Arie van Driellaan. Deze laan verbindt de drie andere straten aan de zuidzijde en is ook de verbinding met de rest van de wijk. Aan de noordzijde zijn de drie straten verbonden door wandelpaden. Aan de oostzijde en aan de zuidzijde wordt het plangebied begrenst door een watergang. Aan de westzijde wordt het plangebied begrenst door de perceelgrenzen van de woningen aan de westzijde van de Lodo van Hamelstraat. De grens aan de noordzijde wordt gevormd door een groenstrook langs de President Rooseveltlaan.



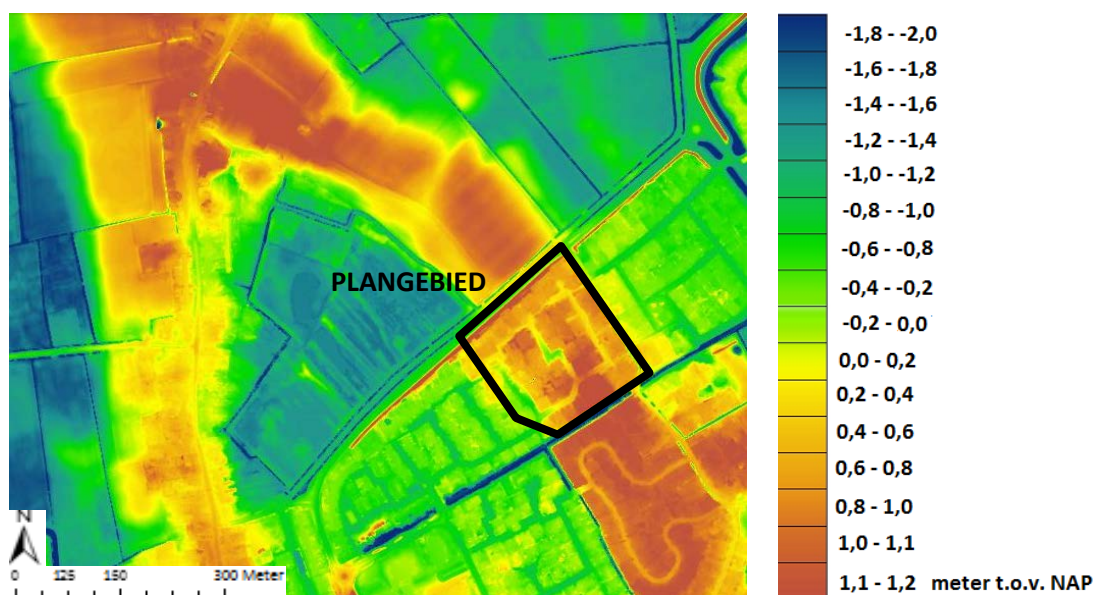
figuur 17 – onderzoeksgebied met ligging in Middelburg

5.2 Huidige geohydrologische situatie

Omdat het plangebied op een kreekrug ligt bestaat de bodem voornamelijk uit zandig materiaal. Volgens de bodemkaart bestaat het gebied net buiten de bebouwde kom uit kalkrijke poldervaaggrond lichte zavel, profielverloop 2. Dit houdt in dat de toplaag van 20 tot 50 cm bestaat uit lichte zavel met een luthumgehalte van 8-17,5%. Daaronder bevindt zich zand. Dit wordt bevestigd door eigen boringen, zie bijlage 6. Ook wordt dit bevestigd door een rapport van SMA. Dit rapport bevat een bodemonderzoek in opdracht van de gemeente op het perceel net naast het onderzoeksgebied in de meest zuidwestelijke hoek. Dit is dus op de rand van de kreekrug. Volgens dit rapport bestaat de bovenste laag tot ongeveer 150 cm uit *zand, uiterst fijn, kleiig* (SGS EcoCare B.V., 1996).

Er zijn zeer weinig gegevens bekend over de hoogte van het grondwater in het onderzoeksgebied. Volgens een rapport van SMA (Sagro Milieu Advies Zeeland), bevindt het grondwater zich op 170 cm onder maaiveld in de zomer (27 juni 2008). Dit is een momentopname. In de wijk 't Zand bevindt zich een peilput (bijlage 1). Deze bevindt zich ook op een kreekrug en geeft als laagste gemiddelde 97 cm onder maaiveld aan met een daling tot 120 cm onder maaiveld in een droge zomer en als hoogste gemiddelde 68 cm onder maaiveld met een stijging tot 25 cm in een natte winter. Op basis van deze gegevens wordt een aanname gedaan van een GLG van 100 cm onder maaiveld en een GHG van 70 cm onder maaiveld.

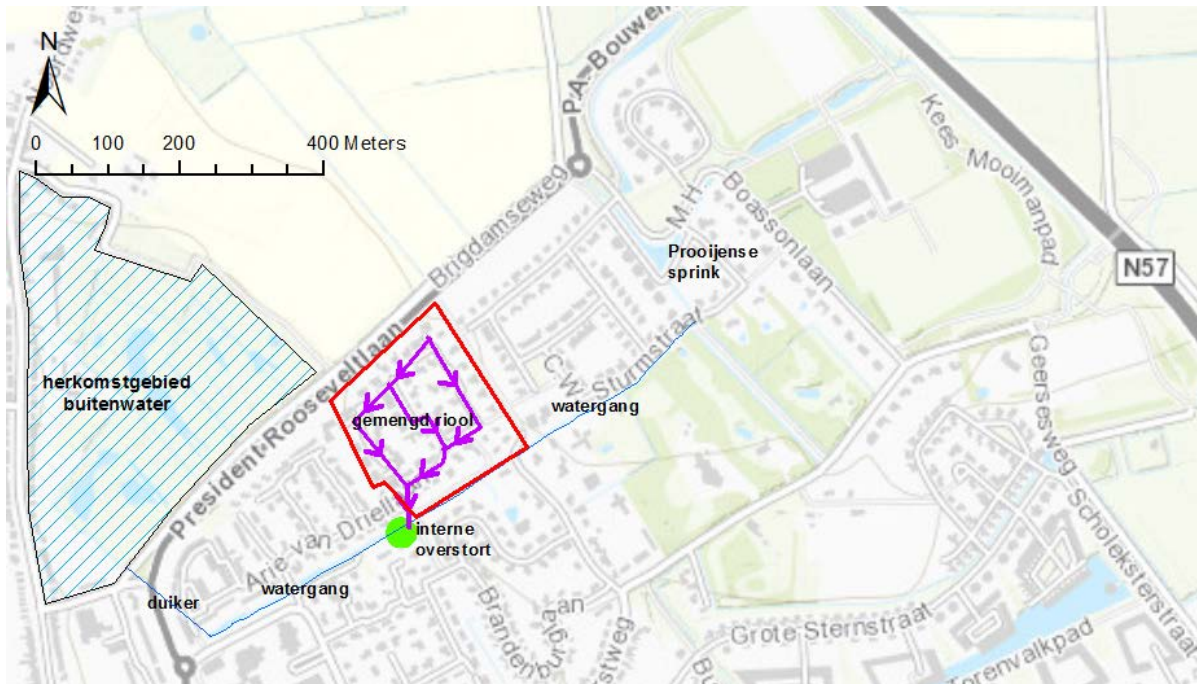
De kreekrug is duidelijk te zien op figuur 18. Het onderzoeksgebied ligt hoger dan de omgeving ten westen en ten oosten. De kreekrug is ook duidelijk zichtbaar in het landelijk gebied ten noorden van het plangebied. De Lodo van Hamelstraat ligt het laagst, het straatpeil schommelt tussen 16 cm boven NAP en 42 cm onder NAP. Logischerwijs wordt dus het rioolwater van oost naar west afgevoerd en stroomt in zuidwestelijke richting naar de RWZI (rioolwaterzuiveringsinstallatie).



Het plangebied is voorzien van een gemengd rioolstelsel. Dit stelsel is gelijk met de straten aangelegd in 1977. In het gebied is alleen een gemengd rioolstelsel aanwezig. Dit in tegenstelling tot de straten die om het plangebied heen liggen, daar is ook een RWA (regenwaterafvoer) aanwezig. Onder de Pieter Gootjesstraat, de Frans Duwaerstraat en de Arie van Driellaan liggen rioolbuizen met een doorsnede van 300 mm. Onder de Lodo van Hamelstraat ligt een buis met een doorsnede van 600 mm. In deze grote buis wordt dus het rioolwater van de andere drie straten verzameld en via de Arie van Driellaan in zuidwestelijke richting afgevoerd. Op deze buis komt ook het rioolwater van de omliggende wijken en via verschillende gemalen wordt het rioolwater afgevoerd naar de RWZI in

Ritthem. Het plangebied kan gezien worden als een apart systeem omdat de afvoer de enige verbinding is met de overige rioolstelsels in Middelburg.

Het hemelwater zoekt nu zijn weg naar de bodem of wordt afgevoerd naar de gemengde riolering. Bij langdurige neerslag vult het rioleringssysteem zich geheel en voert een deel van het overtollige (gemengde) rioolwater via een interne overstort met bergbezinkleiding af op de Prooijense Sprink, zie figuur 19. De watergang aan de zuidzijde van het gebied staat ook in verbinding met de Prooijense Sprink. Deze sprink is een onderdeel van de waterafvoerketen van het landelijk gebied ten noorden en westen van Middelburg, via de stad naar het kanaal door Walcheren, zie paragraaf 2.3.



figuur 19 - elementen huidig watersysteem

5.3 Infiltratie- en drainagemaatregel

Er worden voor dit gebied maatregelen voorgesteld, die tot doel hebben om de grondwaterstand te kunnen regelen en dus te voorkomen dat de grondwaterstand te ver daalt of te veel fluctueert. Tevens wordt er rekening mee gehouden, dat het grondwater niet te ver kan stijgen waardoor wateroverlast optreedt. Eerst wordt beschreven welke uitgangspunten worden gehanteerd, daarna wordt een ontwerp weergegeven met verschillende mogelijkheden. Per maatregel zijn voor- en nadelen genoemd om daaruit een conclusie te kunnen trekken.

5.3.1 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- Om overlast te voorkomen zijn de volgende minimale ontwateringsdiepten nodig:
 - 0,7 m ter plaatse van de straten;
 - 0,5 m ter plaatse van openbaar of particulier groen;
 - 0,3 m ter plaatse van de woningen bij kruipruimteloos bouwen;
 - 0,7 m ter plaatse van de woningen met een kruipruimte.

Omdat in het onderzoeksgebied verschillende woningen zijn met kruipruimten en de breedte van openbaar en particulier groen maximaal enkele meters is wordt overal uitgegaan van minimaal 0,7 m.

- Cunetten rond en boven buizen zijn aangevuld met goed doorlatend zand (flugsand). Er bevindt zich boven de buis dus geen laag zavel meer.
- Buizen worden in het openbaar terrein gelegd in verband met het onderhoud.

- Maximale lengte strengen circa 100 m in verband met onderhoud.
- Geen haakse bochten in de strengen.
- Doorspuitpunten ter plaatse van eindstukken of indien een haakse bocht gemaakt dient te worden.
- Doorspuitpunten worden toegepast wanneer buizen op verschillende hoogtes samenkomen.
- Kruising buis met beplanting worden als 'blinde buis' uitgevoerd in verband met wortelgroei.
- Het onderzoeksgebied heeft de volgende oppervlakten:

	aant. kavels	verhard opp. in m2	opp weg in m2	lengte weg in m	verhard opp weg (-groen) in m2	groen in m2	totaal verhard opp. in m2
Lodo van Hamelstr.	21	4460	2730	193	2670	60	7130
Pieter Gootjesstr.	15	4077	1740	166	1695	45	5772
Frans Duwaerstr.	15	4998	1965	174	1915	50	6913
Arie van Driellaan	13	3829	1835	167	1790	45	3625
Totaal	64	17363	8270	700	8070	200	23440

tabel 3 – gegevens van het onderzoeksgebied

5.3.2 Ontwerp

Voor het onderzoeksgebied zijn de volgende mogelijkheden weergegeven:

1. Water passerende bestrating zonder afvoerbuizen voor regenwater
2. Een IT-riool met daarboven standaard bestrating (gebakken klinkers)
3. Een pomp met persleiding in combinatie met een IT-riool

1. Open bestrating zonder afvoerbuizen voor regenwater

Bij een doorlatende ondergrond kan water passerende bestrating worden toegepast. Bij deze mogelijkheid wordt het regenwater dus rechtstreeks geïnfiltreerd onder de straat. Hierbij kan ook het hemelwater van de huizen geloosd worden op de straat. Bij deze maatregel moet dus alleen de oude bestrating worden weggehaald en afgevoerd en de nieuwe bestrating worden aangelegd. De kosten daarvan zijn weergegeven in paragraaf 5.4.

Het voordeel van deze maatregel is dat er alleen een DWA (droogweerafvoer, dus vuil water riolering) aangelegd hoeft te worden. Het nadeel is dat er bij extreme buien geen regenwater afgevoerd kan worden naar een plek buiten het gebied. Op figuur 18 is te zien dat er in het midden van het plangebied een lage plaats is. Hier zal bij een extreme bui het water naar toe stromen wat zal zorgen voor wateroverlast.

2. Een IT-riool met daarboven standaard bestrating (gebakken klinkers)

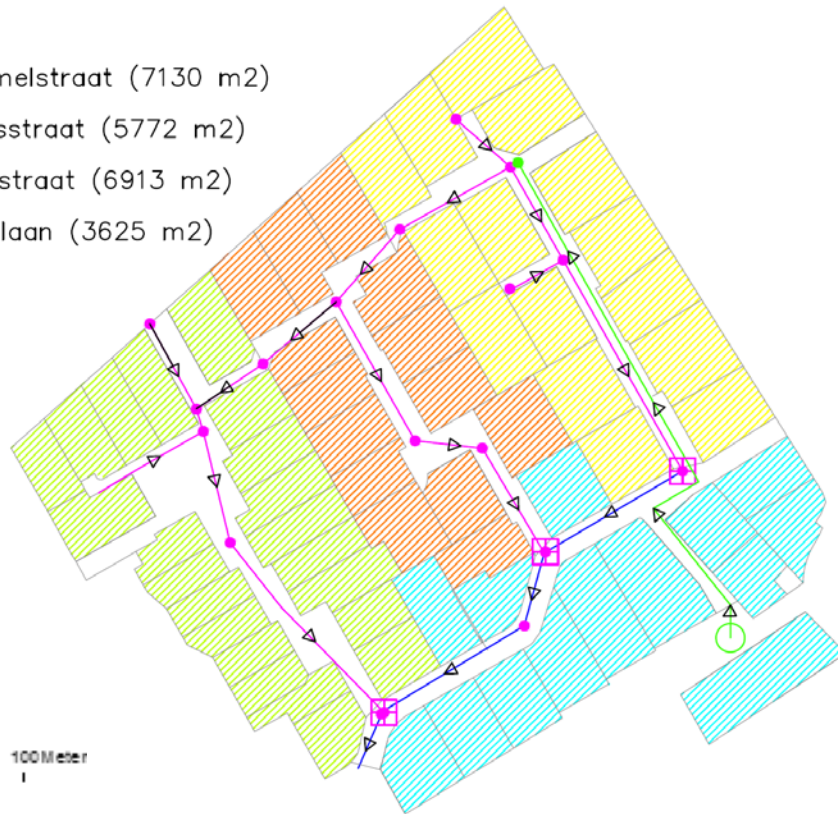
Als een gebied wordt afgekoppeld in de gemeente Middelburg wordt een HWA (hemelwaterafvoer) aangelegd. Hierbij wordt het hemelwater afgevoerd naar open water. Als in plaats van gesloten buizen voor HWA een IT-riool (infiltratie-transport-riool) wordt aangelegd kan regenwater worden geïnfiltreerd. Bij een langdurige natte periode kan het overschot worden gedraineerd. Deze maatregel is weergegeven in figuur 20. Zoals aangegeven op de tekening worden hierbij aan het einde van de Pieter Gootjesstraat, de Frans Duwaerstraat en de Lodo van Hamelstraat een regelpuut geplaatst die bij een lage grondwaterstand het water vasthoudt en bij een hoge grondwaterstand het water door laat stromen naar een verzamelbuis onder de Arie van Driellaan. Deze buis is aangesloten op een overstort naar open water. De buis voor gemengde riolering die nu onder de Arie van Driellaan ligt, ligt op een diepte van 1,13 m tot 1,62 m onder NAP (binnen-onderkant-buis, bob).

LEGENDA

- Lodo van Hamelstraat (7130 m²)
- Pieter Gootjesstraat (5772 m²)
- Frans Duwaerstraat (6913 m²)
- Arie van Driellaan (3625 m²)
- inspectieput
- ⊕ regelput
- IT-riool
- verzameldrain
- pomp
- persleiding



0 25 50 100 Meter



figuur 20 – maatregel met IT-riool en pomp en persleiding

De hemelwaterafvoer van de huizen kan hierbij rechtstreeks op het IT-riool worden aangesloten. Als de verzamelbuis op dezelfde diepte wordt aangelegd, kan het IT-riool onder vrij verval hierop worden aangesloten. Het IT-riool wordt dan aangelegd op een diepte van 1 meter onder NAP. Op deze diepte kan namelijk een ontwateringsdiepte van 0,7 meter worden gehandhaafd zonder dat de buis te hoog ligt met kans op beschadiging.

Een T=8 bui is maatgevend in de huidige plannen voor riolering in Middelburg. Om echter voorbereid te zijn op klimaatverandering gaat de gemeente steeds meer uit van een T=10 bui. Volgens het bestemmingsplan van de wijk Klarenbeek moet ook een T=100 bui opgevangen kunnen worden zonder overlast te veroorzaken (gemeente Middelburg, 2014). Deze maatregel om verdroging tegen te gaan moet natuurlijk dit streven niet tegenwerken. In bijlage 7 zijn de berekeningen opgenomen voor de drie straten die voorzien zouden moeten worden van een IT-riool. Uit deze berekeningen blijkt dat bij een IT-rioolbuis van 25 mm doorsnede er geen water op de weg komt bij een bui T=10 en ook niet bij een bui T=100. Als de IT-rioolbuis 20 mm wordt dan komt er in de Frans Duwaerstraat 1 mm water op straat halverwege de bui. Bij deze berekening wordt uitgegaan van de volgende gegevens:

diameter buis	0.20 m
k-waarde zand	5 m/dag
porositeit zand	0.4
initiele berging	0.002 m
oppervlakte cunet	5 m ²

De meest onzekere factor hierin is het oppervlakte van het cunet. Bij het graven van een cunet voor een buis van 20 cm die op een diepte van 1 meter onder maaiveld komt te liggen is het natuurlijk niet nodig om een cunet te graven met een doorsnede oppervlakte van 5 m². Maar er is uitgegaan van 5 m² omdat de buis in een kreekrug gelegd wordt die bestaat uit zandig materiaal. Het cunet is dus

net zo groot als de kreekkrug, maar niet overal zal het water even snel kunnen infiltreren. In de praktijk zal door monitoring moeten blijken of 5 m² een realistische waarde is.

Het voordeel van deze maatregel is dat er meer invloed uitgeoefend kan worden op de grondwaterstand. Bij droge perioden kan het water namelijk zo lang mogelijk worden vastgehouden en piekbuien kunnen in het gebied gebruikt worden om het grondwater aan te vullen. Deze piekbuien (stijgingsregens) komen vooral voor in de warmste periode van het jaar, met dus de meeste verdamping en dus de laagste grondwaterstand, zie paragraaf 2.4. Bij een hoge grondwaterstand kan er grondwater worden afgevoerd als er een hevige bui wordt verwacht. Door het afvoeren van grondwater wordt er plaats gemaakt voor de bui. Alleen bij langdurig droge perioden (langer dan een maand) zal het grondwater te ver zakken en kan deze maatregel geen invloed meer uitoefenen.

3. Een pomp met persleiding in combinatie met een IT-riool

Bij langdurig droge perioden, als het grondwater alsnog onder de buis komt, kan er actief geïnfiltreerd worden. Hiervoor kan het water gebruikt worden dat vanuit het landelijk gebied, via de Prooijense Sprink, naar het kanaal wordt gemalen. Dit water stroomt langs het plangebied. Hiervoor moet er een pomp geplaatst worden in de watergang naar de Prooijense Sprink en een persleiding naar de meeste noordwestelijke hoek van het plangebied, zodat dit water zich verspreidt door het IT-riool en het grondwater kan aanvullen in langdurige droge perioden.

Het voordeel van deze maatregel is dat het grondwater op peil gehouden kan worden, ook als er langdurig geen neerslag valt. Het nadeel is dat er kans op verdroging optreedt van het buitengebied en de watergang waaruit water onttrokken wordt. Ook moeten bij deze maatregel hoge kosten gemaakt worden, zie paragraaf 5.4.

5.4 Financiële haalbaarheid

In de vorige paragraaf zijn drie mogelijkheden beschreven om water vast te houden door infiltratie en peilgestuurde drainage en eventueel aan te vullen in droge perioden. Voor deze drie mogelijkheden is in bijlage 8 een begroting opgesteld, zodat de haalbaarheid aangegeven kan worden. De eindbedragen worden aangegeven in tabel.

Maatregel	totaalbedrag
Water passerende verharding	€ 258,350.00
IT-riool	€ 311,361.20
Pomp met persleiding met een IT-riool	€ 327,465.20

tabel 4 – kosten maatregelen om water vast te houden

Uit deze begroting blijkt dat water passerende verharding zonder buizen voor het afvoeren van hemelwater het goedkoopst is. Maar zoals aangegeven in de vorige paragraaf is het nadeel, dat er dan bij extreme buien geen regenwater afgevoerd kan worden naar een plek buiten het gebied. Het meest effectief is het aanleggen van een persleiding, zodat water actief geïnfiltreerd kan worden. Het blijkt dat dit echter ook het duurst is en hierbij is er ook een kans dat er verdroging optreedt op andere plaatsen. Het meest haalbaar en effectief is dus het aanleggen van een IT-riool zoals beschreven in de vorige paragraaf.

6 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk staat de conclusie beschreven en worden aanbevelingen gegeven voor de gemeente Middelburg, om met dit onderwerp verder te gaan. Ook andere gemeenten die stedelijke gebieden meer klimaatadaptief willen maken, kunnen gebruik maken van deze aanbevelingen.

6.1 Conclusie

In dit rapport is de hoofdvraag: welke mogelijkheden om hemelwater vast te houden, zijn effectief en haalbaar toe te passen in de verschillende gebieden van de stad Middelburg? De volgende conclusies zijn getrokken:

- De stad Middelburg bevindt zich in een landschap met kreekruigen en poelgronden. Kreekruigen zijn bruikbaar om water vast te houden door middel van onder andere: water passerende verharding, peilgestuurde drainage en actieve infiltratie. Kreekruigen zijn geschikter dan poelgronden omdat de porositeit groter is en kreekruigen één tot twee meter hoger liggen dan de poelgronden. Kreekruigen beslaan ongeveer 20% van het oppervlak van het stedelijk gebied van Middelburg.
- Uit een berekening van drie straten op een kreekrug is gebleken dat door middel van peilgestuurde drainage van een IT-riool, een bui T=100 onder de weg geïnfiltreerd kan worden in een droge periode. In combinatie met actieve infiltratie kan het grondwater op een relatief vast peil van 0,7 meter onder maaiveld gehouden worden.
- Actieve infiltratie is ongeveer 5% duurder dan alleen peilgestuurde drainage. Actieve infiltratie is ook minder duurzaam omdat daarbij een pomp in werking moet treden en er kans op verdroging optreedt in de gebieden waar het water vandaan gepompt wordt. Een IT-riool met putten die de drainage regelen is dus de beste optie.
- Maatregelen om water vast te houden blijken vooral effectief bij piekbuien (stijgingsregens) in een droge periode met veel verdamping omdat dan het grondwater laag staat en snel aangevuld kan worden.
Bij de uitvoering van genoemde maatregelen is monitoring erg belangrijk omdat dergelijke maatregelen niet eerder in bebouwd gebied zijn uitgevoerd.
- Bij langdurige droge perioden loopt vegetatie gevaar. Vooral op kreekruigen omdat het grondwater hier sneller wegzakt vanwege de porositeit en hogere ligging. Naast de genoemde maatregelen om water vast te houden kan ook water passerende verharding, groene daken en ontharding van particuliere terreinen bijdragen aan het vasthouden van hemelwater.
- Op poelgronden kunnen door langdurige droge perioden zettingsverschillen gaan optreden waardoor huizen en infrastructuur kunnen verzakken. Ook kunnen leidingen die bij langdurige droge perioden droog komen te liggen, oververhit raken omdat het grondwater zakt. Om deze negatieve gevolgen te beperken kan ook op poelgronden, naast peilgestuurde drainage, meer openbaar groen, groene daken en ontharding van particuliere terreinen bijdragen aan het vasthouden van regenwater. In poelgronden gaat dit wel moeizamer dan in

kreekruggen omdat het grondwater langzamer stroomt. Daar staat tegenover dat door de langzame grondwaterstroming er ook minder kans is op verdroging.

6.2 Aanbevelingen

Om tot een betere onderbouwing van de ideeën in dit rapport te komen en om verdroging nog beter tegen te gaan, worden aanbevelingen gedaan.

- **In kaart brengen van de bodem**

Als eerste is het noodzakelijk om in kaart te brengen waar de kreekruggen bereikbaar zijn voor infiltratie. In dit rapport is op basis van de hoogtekkaart, de bodemkaart van Bennema en gegevens van Dinoloket een inschatting gemaakt van de ligging van de kreekruggen. Maar voordat maatregelen worden uitgevoerd, is eerst noodzakelijk om te weten waar de kreekruggen exact liggen. Dit kan door de gegevens van Dinoloket te vergelijken met sonderingen tot ongeveer 5 meter. Hiermee kan beter worden gekeken welke maatregelen op welke locatie het meest effectief en haalbaar zijn. Om de kosten hiervan te beperken kunnen ook sonderingen worden uitgevoerd op het moment dat een straat, plein of andere openbare ruimte opnieuw ingericht moet worden.

- **Uitgewerkte maatregel toepassen in Klarenbeek en in andere gebieden**

Voor drie straten in Klarenbeek is aangegeven hoe peilgestuurde drainage kan worden aangelegd om een zo optimaal mogelijk grondwaterbeheer te bereiken. Er wordt aanbevolen om deze mogelijkheid ook toe te passen in andere gebieden van Middelburg die op een kreekrug liggen. Deze gebieden zijn aangegeven in figuur 11 en bijlage 2 t/m 4 en kunnen exacter bepaald worden na het in kaart brengen van de bodem. Hierdoor zullen deze gebieden in de toekomst beter voorbereid zijn op klimaatveranderingen.

- **Aanleggen water passerende verharding en straatfundering.**

Als bekend is wat de ondergrond is bij een nieuw aan te leggen of te vervangen straat, kan ook de bestrating en de straatfundering hierop aangepast worden. Als ergens in de stad riolering of straatwerk vervangen moet worden, wordt aanbevolen om de mogelijkheid voor water passerende verharding te onderzoeken. Het beste resultaat wordt behaald in combinatie met open wegfundering. Vooral bij straten die op een kreekrug liggen, wordt water passerende verharding aanbevolen.

- **Aanleggen openbaar groen en groene daken**

Naast het aanpassen van de straten, blijkt uit dit rapport dat het aanleggen van beplanting en groene daken verdroging tegen kan gaan en het leefklimaat kan verbeteren. Daarom wordt aanbevolen om particulieren subsidie te verlenen voor groene daken. Het initiatief tot het stimuleren om één vierkante meter onverhard terrein te hebben, verdient een vervolg.

- **Grondwatermeetnet**

Om de effecten van verdroging en de effecten van maatregelen tegen verdroging te meten, wordt aanbevolen om een grondwatermeetnet aan te leggen. Hierdoor komt er meer gedetailleerde informatie beschikbaar over de noodzaak van maatregelen tegen verdroging. Deze meetpunten zouden dan evenredig over de stad verdeeld moeten worden, waarbij rekening gehouden moet worden met een afwisseling van kreekruggen en poelgronden. Uiteraard moet er een meetpunt komen in het midden van het onderzoeksgebied in Klarenbeek waarvoor in hoofdstuk 5 peilgestuurde drainage is voorgesteld. Hierdoor kunnen de effecten van de maatregel gemeten worden.

7 REFLECTIE

In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op de methodiek van het onderzoek.

Als eerste heb ik een literatuurstudie gedaan naar het bodem- en watersysteem van de stad Middelburg. Deze informatie heb ik, waar mogelijk, getoetst in het veld. Dit was nodig om te weten te komen of de maatregelen van de Waterhouderij Walcheren, en andere maatregelen die ik tegengekomen ben in de literatuur, ook toe te passen zijn in de stad. Tijdens de literatuurstudie ben ik erachter gekomen dat er veel belangrijke informatie niet beschikbaar is.

De volgende gegevens ontbreken:

- De opbouw van de bodem van de binnenstad
- De GHG en GLG
- Het grensvlak van zoet- en brak grondwater
- De grondwaterstroming

De gegevens die ik wel heb kunnen vinden, heb ik vergeleken met de maatregelen van de Waterhouderij Walcheren. Aan de hand daarvan heb ik een aanname gedaan voor de grondwaterstand en maatregelen opgesteld.

Om dit onderzoek goed uit te kunnen voeren zijn er langjarige meetreeksen nodig van de grondwaterstand door het plaatsten van grondwatermeetputten. Ook moet meerdere jaren de hoeveelheid water die afgevoerd wordt gemonitord worden. Dit zorgt ervoor dat de conclusies enigszins vaag blijft.

Vervolgens is een literatuurstudie over de stichting Waterhouderij Walcheren uitgevoerd. Tevens is er samen met Wim van Nieuwenhuijzen, betrokken bij de stichting Waterhouderij Walcheren, een veldbezoek gedaan. Tijdens de literatuurstudie kwam ik erachter dat er meer initiatieven zijn dan alleen de stichting Waterhouderij Walcheren. De grootste uitdaging was om uit alle informatie datgene te halen wat bruikbaar was voor mijn onderzoek.

De brainstormsessie was eigenlijk te vroeg in het traject. Maatregelen waren nog niet zodanig uitgewerkt, dat er echt over de inhoud gediscussieerd kon worden. Hierdoor zijn er wel andere ideeën ontstaan, die nu ook opgenomen zijn in dit rapport, zoals het ophogen van nieuwbouwwijken. De brainstormsessie heeft dus wel nut gehad. Uiteraard zijn er op latere momenten nog regelmatig contacten geweest met betrokken partijen.

Tot slot is het heel lastig gebleken om voor iedere maatregel aan te geven wat de kosten en de effecten zijn. Het uiteindelijke resultaat van iedere maatregel moet zijn dat de grondwaterstand minder fluctueert. Dit is uiteraard te meten, maar vrijwel onmogelijk te voorspellen.

Een persoonlijke reflectie is opgenomen in het voorwoord.

BIBLIOGRAFIE

- AHN. (2015). *AHN-viewer*. Opgeroepen op 2015, van AHN: <http://www.AHN.nl/viewer>
- Alterra Wageningen UR. (2015). Hoeveel water verdampt de stad. *H2O-online*, 2.
- Aquaflow. (2015). *Eigenschappen Aquaflow*. Opgeroepen op 2015, van Aquaflow BV: <http://www.aquaflow.nl/body.php?page=169>
- Bennema&van_der_Meer. (1952). bodemkaart Walcheren.
- Berendsen. (2005). *Landschappelijk Nederland*. Assen: Van Gorcum & Comp. B.V.
- bespaarenergiescan. (2015). *besparingstips*. Opgeroepen op 2015, van bespaarenergiescan: <http://www.bespaarenergiescan.nl/index.php/nieuwsberichten/743-energiebesparing-door-middel-van-groen-isoleren-hoe-werkt-het>
- Bosch. (2011). *Fysieke bouwstenen voor de knelpuntenanalyse nieuwbouw en herstructurering*. den Haag: Climate Proof Cities consortium.
- bouwgroep-peters. (2013). *nieuw-middelburg*. Opgeroepen op 2015, van bouwgroep-peters: <http://www.bouwgroep-peters.nl/projecten/projects-category:renovaties-en-verbouwning/projects-item:841-nieuw-middelburg>
- Buck, A. d. (2012, Januari 6). *kenniscentrum kennisakker*. Opgeroepen op 2016, van kennisakker.nl: <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/samengestelde-peilgestuurde-drainage>
- CBS. (2006, augustus 30). *artikelen en persberichten 2006*. Opgeroepen op 10 21, 2015, van cbs: <http://www.cbs.nl/nr/exeres/CA1F091F-F641-47E6-AB18-D517143A609D.htm>
- Cobouw. (2003, Augustus 18). Bims, van alle markten thuis. *newwaytrading*, p. 5.
- Cobouw. (2016). *kosten informatie*. Opgeroepen op 2016, van kosteninformatie.nl: <http://www.kosteninformatie.nl/gww>
- Davies, H. (1981). *the water balance of urban impermeable surfaces. Catchment and process studies*. Londen: University of Londen.
- Deltares. (2009). *Leidraad balans, onderdeel van Duurzame onderhoud strategie voor voorzieningen op slappe bodem*. Den Haag: StudioWat.
- Deltares. (2012). *Effect van droogte op stedelijk gebied*. Deltares.
- Deltares. (2012). *schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2013). *naar een bestendige stedelijke waterbalans*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2015). *GO-FRESH - Valorisatie kansrijke oplossingen robuuste zoetwatervoorziening*. Opgeroepen op 2015, van publiekwiki van Deltares:

<https://publicwiki.deltares.nl/display/ZOETZOUT/GO-FRESH+-+Valorisatie+kansrijke+oplossingen+robuuste+zoetwatervoorziening>

Dinoloket. (2015). *Data en informatie van de Nederlandse Ondergrond*. Opgeroepen op 2015, van Dinoloket: <http://www.dinoloket.nl>

Drain Products. (2015). *Permavoid*. Opgeroepen op 2015, van website van Drain Products: <http://www.drainproducts.nl/permavoid/>

Drainvast bv. (2016). *producten van Drainvast bv*. Opgeroepen op april 2016, van drainvast.nl: <http://drainvast.nl/producten/algemeen/>

gemeente Middelburg. (2011). *Middelburg Griffioen bestemmingsplan*. Middelburg: RBOI-Middelburg bv.

gemeente Middelburg. (2012). *Middelburgse visie milieu 2013-2018*. Middelburg: gemeente Middelburg.

gemeente Middelburg. (2014). *bestemmingsplan "Klarenbeek"*. Middelburg: gemeente Middelburg.

gemeente Middelburg. (2014). *Verbreed GRP Middelburg 2014-2018*. Middelburg: gemeente Middelburg.

gemeente Middelburg. (2015). *Bestemmingsplan Dauwendaele*. Middelburg.

gemeente Middelburg. (2015). *Middelburg - wonen en verbouwen - wijken en dorpen*. Opgeroepen op 2015, van website van de gemeente Middelburg: https://www.middelburg.nl/Inwoners/Wonen_en_verbouwen/Wijken_en_dorpen/Binnenstad

google maps. (2015). *google maps*. Opgeroepen op 2015, van google: <http://www.google.nl/maps>

Graaf, d. (2013). *Studie naar de huidige en toekomstige waterbehoefte van stedelijke gebieden*. Delft: DeltaSync BV.

Graaf, D. i. (2013). *Studie naar de huidige en toekomstige waterbehoefte van stedelijke gebieden*. Delft: deltasync.

groenedaken.net. (2015). *landelijke subsidieregeling voor groene daken*. Opgeroepen op 2016, van [www.groenedaken.net](http://www.groenedaken.net/c-2052707/subsidie/): <http://www.groenedaken.net/c-2052707/subsidie/>

Henk van Wieringen, D. (2009). *HAAS-HEMELWATERAFVOER ANALYSE SYSTEMATIEK*. Utrecht: stowa.

Kennis voor Klimaat. (2014). *Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten*. Stowa.

KNMI. (2011). *De Bosatlas van het klimaat*. De Bilt: Noordhoff Uitgevers bv.

KNMI. (2014). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.

- KNMI. (2015). *klimaatscenario's_kerncijfers*. Opgeroepen op 2015, van klimaatscenario's:
<http://www.klimaatscenario.nl/kerncijfers/>
- Mansell, M. (2008). *the effect of surface texture on evaporation, infiltration and storage properties of paved surfaces*. Edinburgh, Scotland.
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2012). *Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012*. den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Platform slappe bodem. (2015). *slappe boedem, sterke samenwerking*. Opgeroepen op 2016, van slappebodem: <http://www.slappebodem.nl/Nieuws/Slappe-bodem-op-Kennislink/>
- provincie Zeeland. (2015). *waterbeleid*. Opgeroepen op 2015, van website van de provincie Zeeland: <http://www.zeeland.nl/water/waterbeleid>
- provincie Zeeland. (2015). *Waterkansenkaart*. Opgeroepen op 2015, van Geoloket Provincie Zeeland: <http://zldgwb.zeeland.nl/gw411sl/?Viewer=Waterkansenkaart>
- PZC. (2008, juni 25). Een plaats om natte voeten te kunnen krijgen. *Provinciale Courant Zeeland (PZC)*.
- Reineck, S. (sd). *Middelburg*. Panoramio, Middelburg.
- RIONED. (2010). *Extreme neerslag in bebouwd gebied*. Delft: RIONED.
- Rutten, P. (2013). *The Urban water cycle: A case study of the Prinseneiland, Amsterdam*. Delft: TU Delft.
- samenwerken aan water. (2013). *SAZ+ samenwerking (afval)waterketen Zeeland*. Opgeroepen op 2015, van samenwerken aan water: <http://samenwerkenaanwater.nl/wiki/de-65-regios/samenscholing-in-de-afvalwaterketen-zeeland/>
- SGS EcoCare B.V. (1996). *verkennend bodemonderzoek nadorstweg 73 Middelburg*. Middelburg.
- staat der Nederlanden. (2008). *nationaal bestuursakkoord water*. 's-Gravenhage.
- stadsraad Veere. (2011, juni 2). *stadsraad Veere - nieuws*. Opgeroepen op 2015, van stadsraad Veere: <http://www.stadsraadveere.nl/pages/Nieuwsitem.aspx?id=Het%20sluizencomplex%20Veere>
- Stapel, W. (2015). *klimaatstressscan*. (p. 7). Goes : Royal Haskoning.
- Stowa en stichting Rioned. (2015). *Groene daken nader beschouwd*. Bennekom: Modern.
- TNO. (2012). *De stedelijke hitte-eilanden van Nederland in kaart gebracht met satellietbeelden*. Utrecht: TNO.
- walcherse archeologische dienst. (2015). *walcherse archeologische dienst - Historie*. Opgeroepen op 2015, van archeologische walcheren: <http://www.archeologiewalcheren.nl/archeologie/historie.htm>

Walcherse archeologische dienst. (2015). *walcherse archeologische dienst - projecten*. Opgeroepen op 2015, van archeologische walcheren:
<http://www.archeologiewalcheren.nl/projecten/projecten/gemeente:gemeente-middelburg/plaats:middelburg/project:bachtensteene.htm>

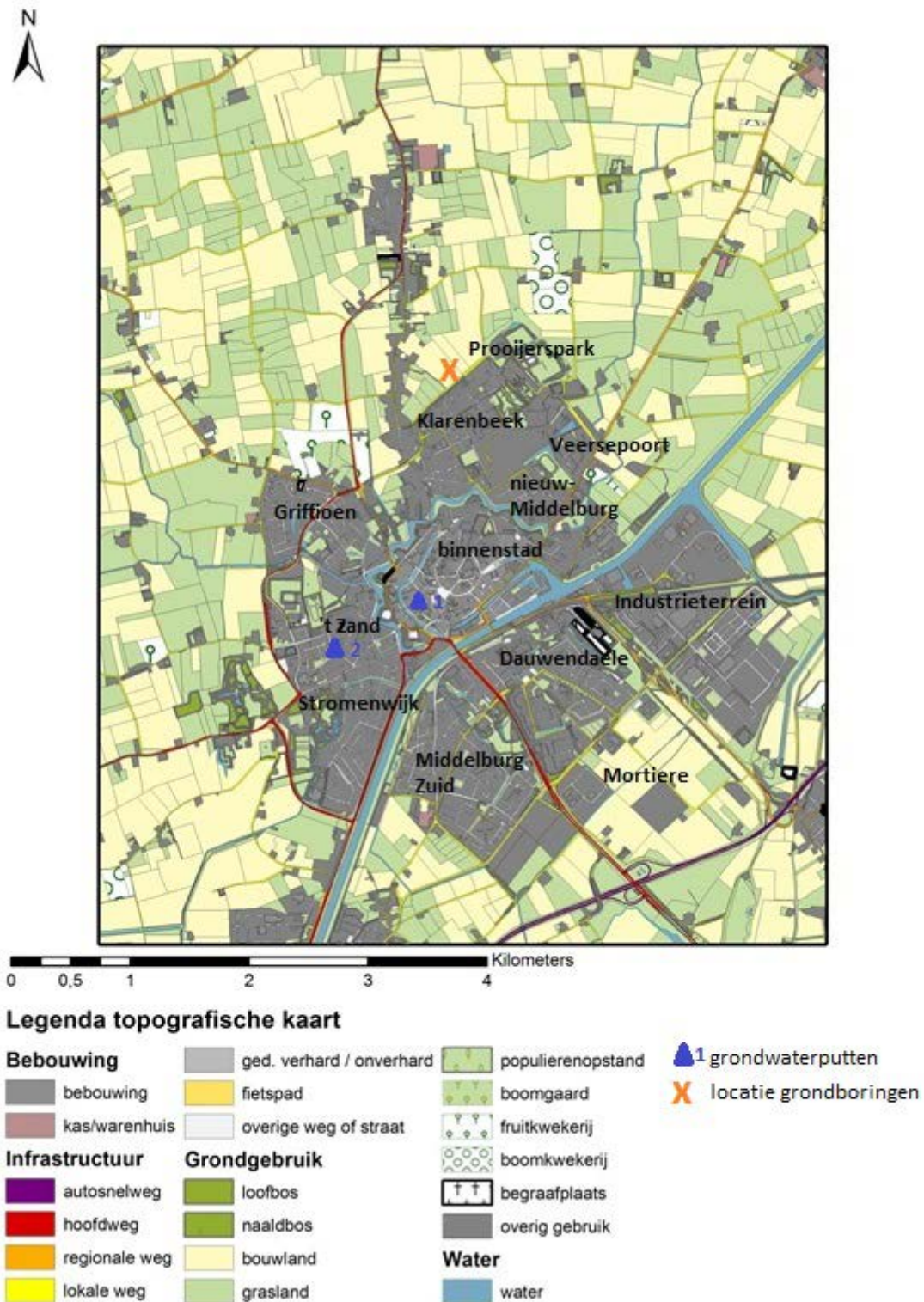
Walcherse archeologische dienst. (2012). *Archeologisch bureauonderzoek plangebied Bachtensteene te Middelburg, gemeente Middelburg*. Middelburg.

wikipedia. (2012, november 13). *wikipedia*. Opgeroepen op 2015, van wikipedia:
https://nl.wikipedia.org/wiki/Kanaal_van_Welzinge

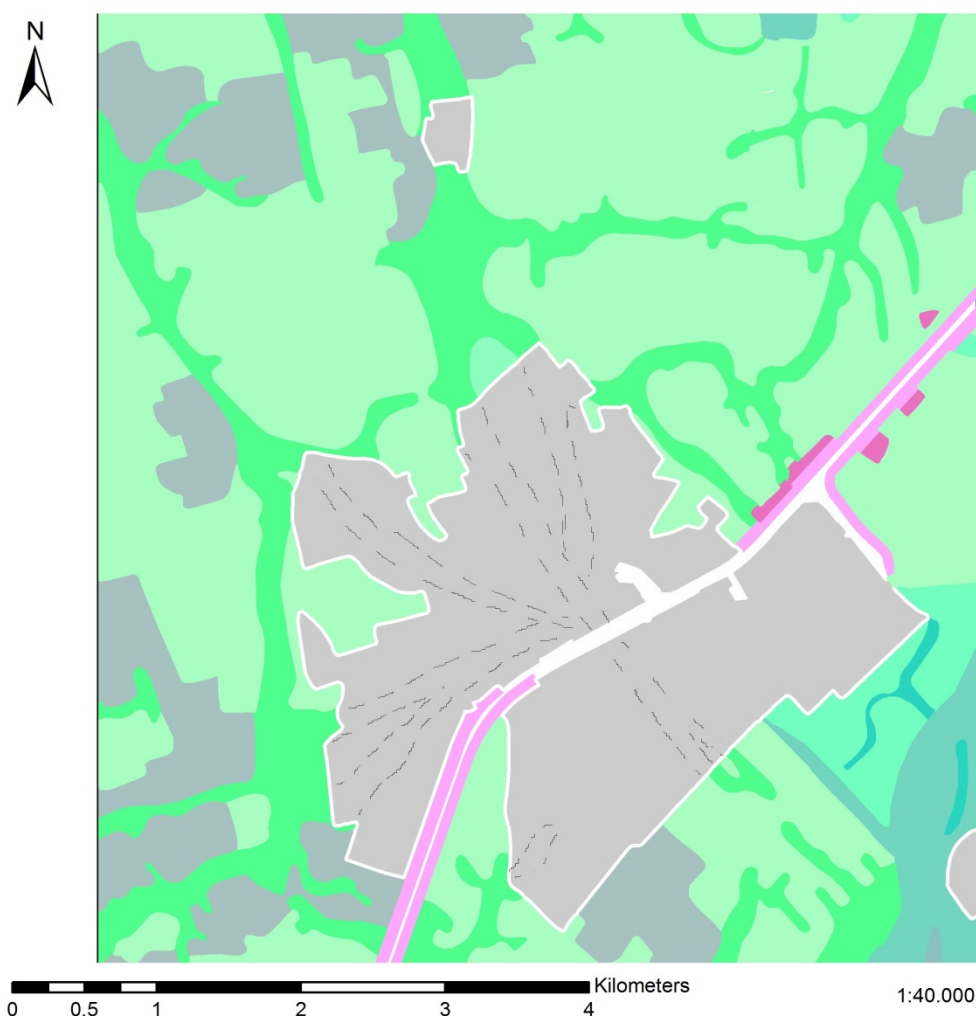
Witteveen en Bos. (2016). *Adaptation Solutions*. Opgeroepen op 2016, van climateapp van Witteveen en Bos: <http://www.climateapp.nl/>

BIJLAGEN

Bijlage 1 - Topografische kaart



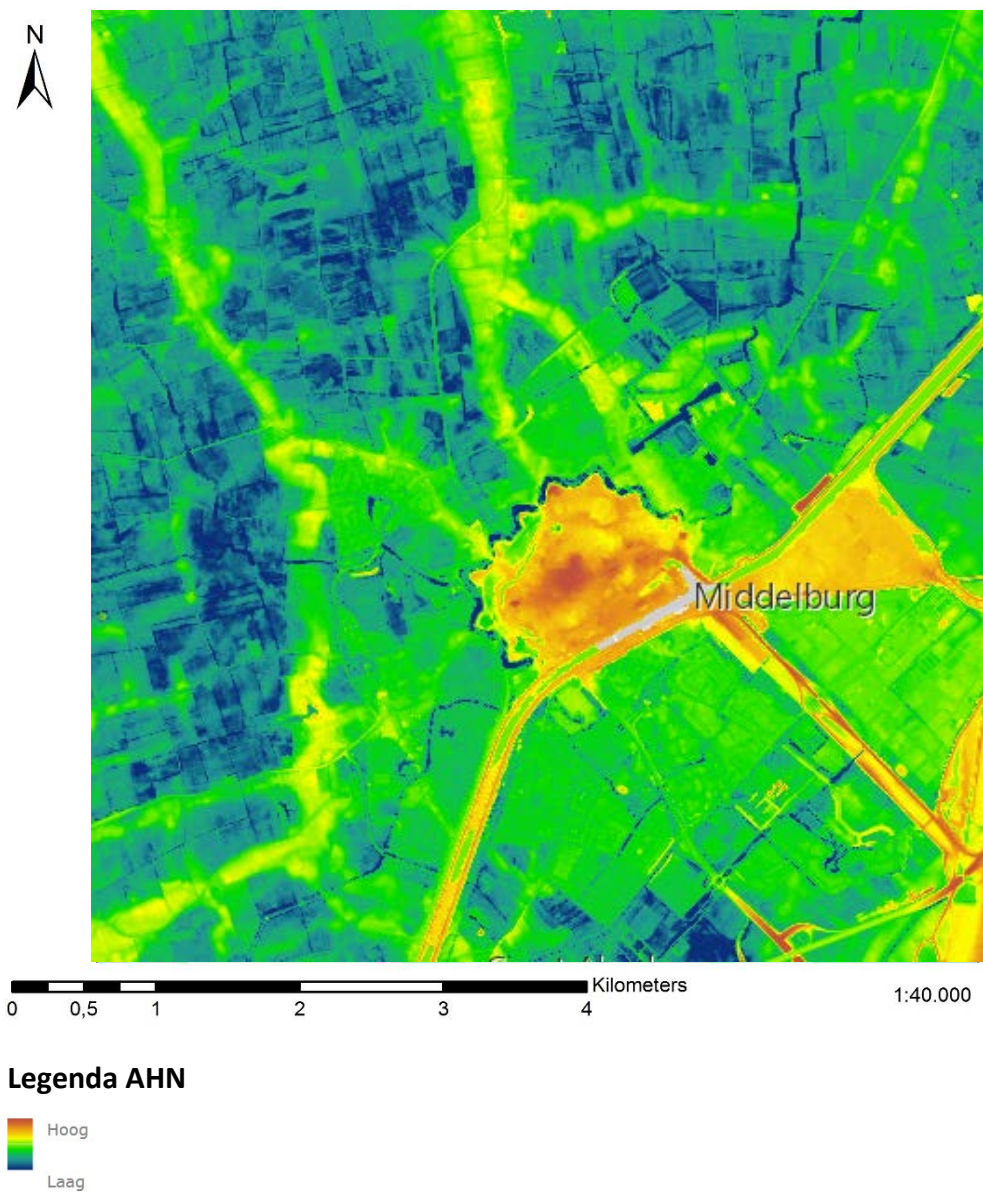
Bijlage 2 - Geomorfologische kaart



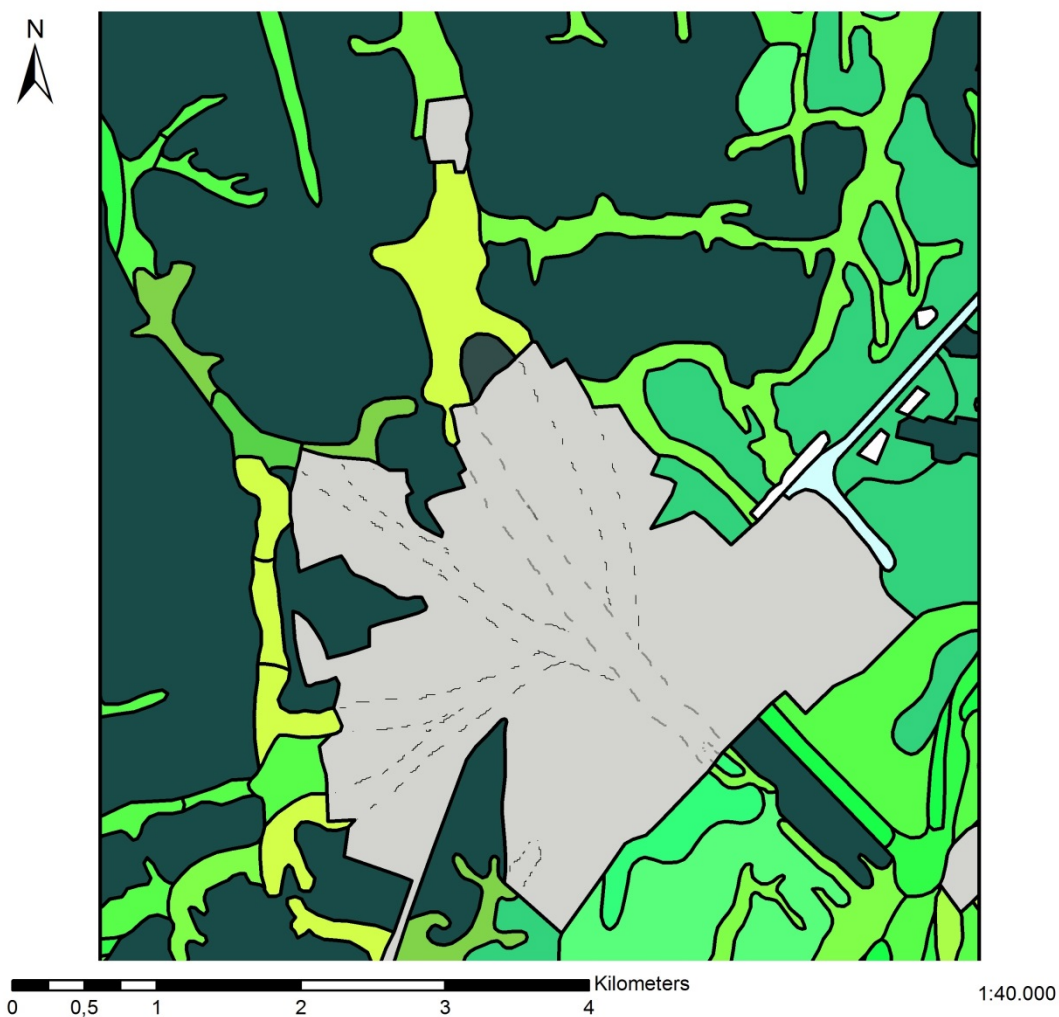
Legenda geomorfologische kaart

- 2M35 Vlake van getij-afzettingen
- 2M35a Vlake van getij-afzettingen, rel. hooggel.
- 2M51 Vlake van plaatselijke gemoerde getijafzettingen
- 2R13 Getij-kreekbedding
- 3F12 Storthoop, opgehoogd of opgespoten terrein
- 3K33 Getij-inversierug (kreekrug)
- 3L20 Welvingen in getijafzettingen
- 3L26 Welvingen in plaatselijk gemoerde getijafzettingen (poelgrond)
- 3L27 Welvingen in plaatselijk gemoerde getij-afzettingen, geegaliseerd (poelgrond)
- 4F12 Storthoop, opgehoogd of opgespoten terrein
- Bebouwing
- D1 Lage dijk
- Waarschijnlijke verloop kreekrug onder bebouwd gebied

Bijlage 3 - AHN



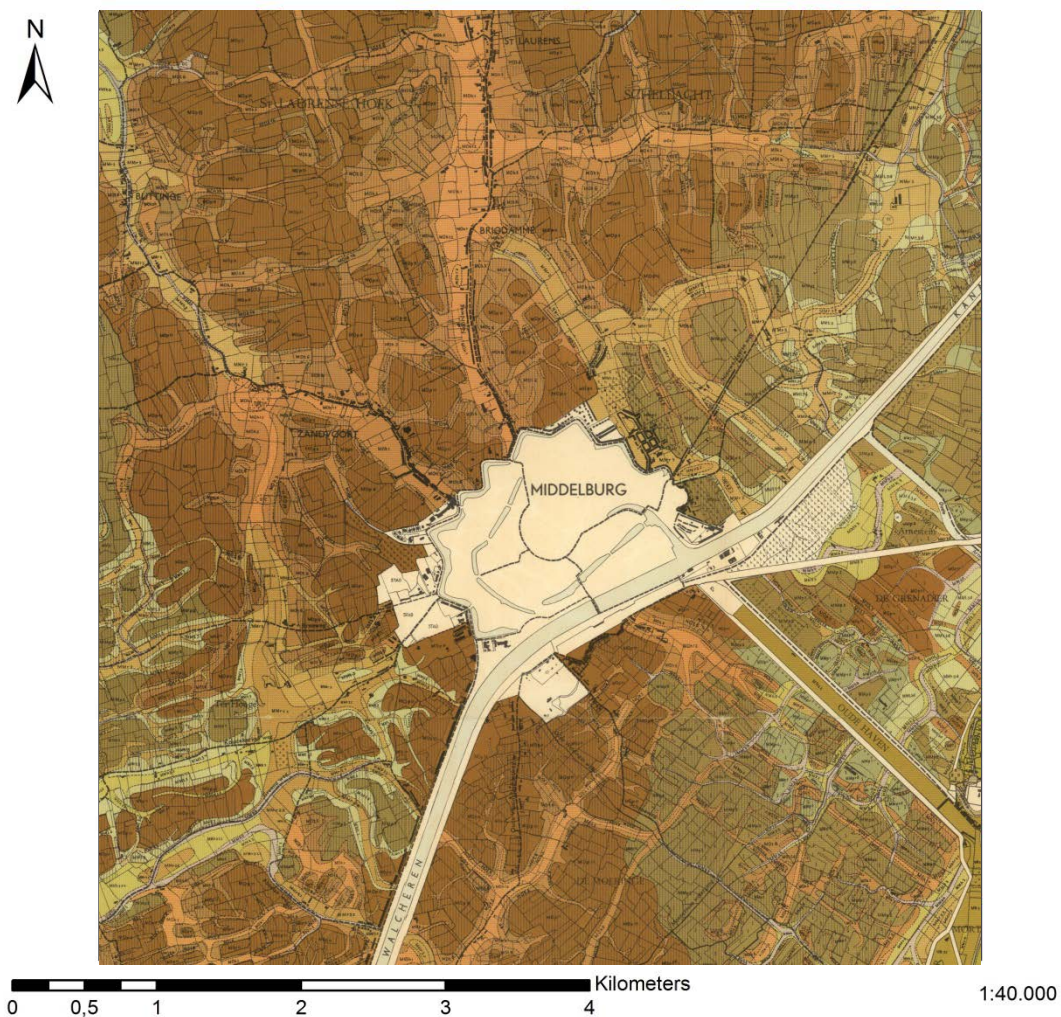
Bijlage 4 - Bodemkaart



Legenda bodemkaart stiboka

	Kalkrijke leek-/woudeerdgronden; zavel, 2		Zeekleigronden met plaats. veen binnen 120 cm; klei
	Kalkarme leek-/woudeerdgronden; zavel, 5		Kalkrijke poldervaaggronden; lichte klei, 5
	Kalkrijke poldervaaggronden; klei, 3, of 3 en 4, of 4		Kalkrijke poldervaaggronden; klei, 2
	Kalkarme poldervaaggronden; lichte zavel, 5		Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, 5
	Kalkrijke poldervaaggronden; zware klei, 5		Kalkrijke poldervaaggronden; zavel, 3, of 3 en 4 of 4
	Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, 2		Hollebollige, gemoerde zeekleigronden; zw. zavel en l. klei
	Kalkrijke poldervaaggronden; zware zavel, 2		Opgehoogd of opgespoten
	Kalkrijke poldervaaggronden; zware zavel, 5		Water
	Kalkarme poldervaaggronden; klei, 3, of 3 en 4, of 4		Bebouwing
	Waarschijnlijke verloop kreekrug onder bebouwd gebied		

Bijlage 5 - Bodemkaart Bennema & van der Meer



Toelichting bodemkaart Bennema & van der Meer

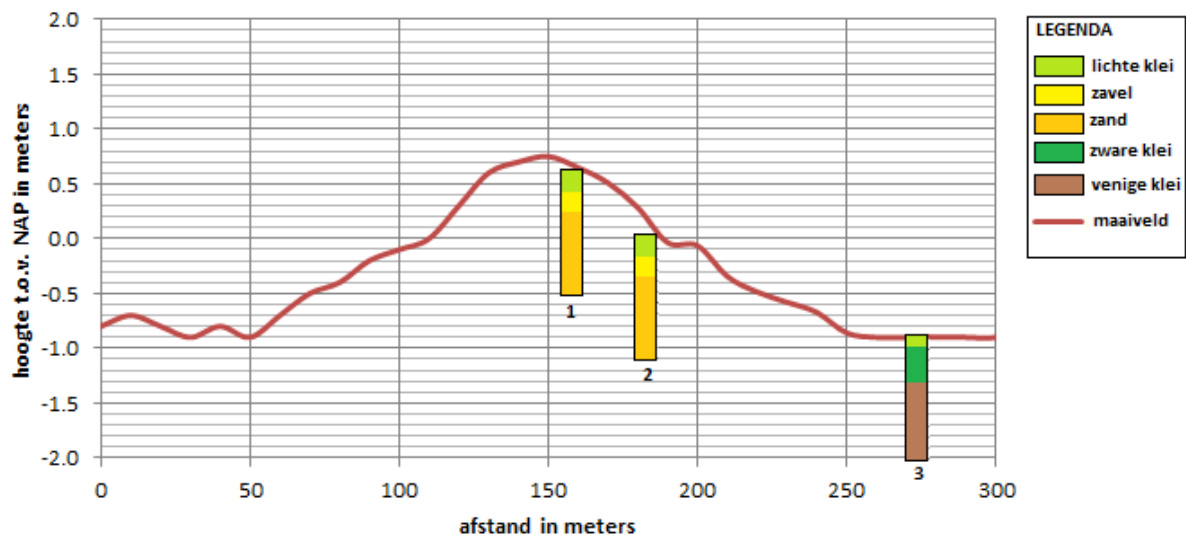
De kreekruggen zijn zichtbaar als de lichtere kleuren, de donkerder kleuren zijn de poelgronden. De code 'Mok' op deze kaart zijn namelijk de zandige oude kreekruggronden en 'MMr' is jonge kreekruggrond met een zavelige bovengrond. 'Mop' is de code voor oude poelgrond.

Bijlage 6 – Grondboringen

Op donderdag 19 november 2015 zijn er een drietal boringen uitgevoerd. Dit is gedaan om te onderzoeken of de theorie over de grondsoorten in de kreekruggronden en poelgronden overeenkomt met de praktijk. Deze boringen zijn zo dicht mogelijk bij de bebouwde kom uitgevoerd, ter hoogte van de wijk Klarenbeek, deze locatie is aangeven op de topografische kaart, bijlage 1. De keuze voor deze locatie is de aanwezigheid van een kreekrug. Deze kreekrug loopt door onder de bebouwde kom, dit is zichtbaar op de bodemkaart van Bennema & van der Meer (bijlage 5) en de hoogtekaart (bijlage 3).

Boring 1 is uitgevoerd op het midden van de kreekrug, boring 2 op de helling van de kreekrug en boring 3 naast de kreekrug, dus in de poelgrond, zie figuur 25. De resultaten van deze boringen waren als volgt (hoogte t.o.v. NAP in meters):

Boring 1:		Boring 2:		boring 3:	
0,7 <-> 0,4	lichte klei	0,0 <-> -0,3	lichte klei	-0,9 <-> -1,0	lichte klei
0,4 <-> 0,2	zavel	-0,3 <-> -0,7	zavel	-0,1 <-> -0,8	zwarte klei
0,2 <-> -1,2	zand	0,2 <-> -1,2	zand	-0,8 <-> -1,2	venige klei



figuur 21 - boorstaten

Deze resultaten komen dus inderdaad overeen met de theorie van onder andere Berendsen, zie figuur 6.

Bijlage 7 – Berekening infiltratie- en drainagemaatregel

In deze bijlage is de berekening opgenomen voor de drie straten waarvan in hoofdstuk 5 de haalbaarheid en effectiviteit van een drainage en infiltratie voorziening is weergegeven.

In de tabel is te zien hoeveel neerslag er valt in welk tijdsbestek (RIONED, 2010). De afvoer is bepaald aan de hand van de effectieve oppervlakte van een IT-riool. Daarbij is aangenomen dat de helft van de buis daadwerkelijk water doorlaat en 10% is dichtgeslibd.

De initiële berging is de berging door particulieren, plantsoenen, etc. Hierbij is uitgegaan van 2 mm.

De benodigde berging is de ruimte die nog nodig is om het hemelwater te bergen. Dit is dus al het water min de afvoer, min de initiële berging en min de inhoud van het cunet waarin de IT-rioolbuis ligt. Hierbij is uitgegaan van een cunet met doorsnede van 5 m². Dit is de meest onduidelijke factor omdat de buis in een kreekrug wordt gelegd. Een kreekrug bestaat uit zand, dus daar kan veel water in infiltreren. Het cunet is dus net zo groot als de kreekrug, maar niet overal zal het water even snel kunnen infiltreren. In de praktijk zal door monitoring moeten blijken of 5 m² een realistische waarde is.

Uit de berekening blijkt dat bij een IT-riool met een doorsnede van 20 cm er alleen in de Frans Duweestraat net 1 mm water op straat komt te staan bij een bui die één keer in de 100 jaar voorkomt. Er zou dus voor gekozen kunnen worden om onder deze straat een buis te leggen met een diameter van 25 cm.

Lodo van Hamelstraat T=10

Tijd (uren)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	8	12	16	24	36	48
Neerslag (mm)	-	19.85	25.52	28.43	30.34	33.06	34.73	38.10	40.46	45.94	49.52	52.66	57.03	61.99	65.26
Neerslag (m3)	0.00	141.56	181.93	202.72	216.29	235.74	247.64	271.65	288.47	327.55	353.11	375.46	406.64	441.97	465.34
Afvoer (m3)	-	2.84	5.68	8.53	11.37	17.05	22.74	34.11	45.47	90.95	136.42	181.90	272.85	409.27	545.69
Initiele berging (m3)	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26
Benodigde berging (m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
water op straat (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Lodo van Hamelstraat T=100

Tijd (uren)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	8	12	16	24	36	48
Neerslag (mm)	-	32.56	38.05	42.11	44.61	48.14	50.03	54.61	57.68	64.27	68.55	72.61	77.97	84.17	87.86
Neerslag (m3)	0.00	232.18	271.27	300.23	318.07	343.23	356.74	389.35	411.28	458.25	488.79	517.70	555.96	600.10	626.45
Afvoer (m3)	-	2.84	5.68	8.53	11.37	17.05	22.74	34.11	45.47	90.95	136.42	181.90	272.85	409.27	545.69
Initiele berging (m3)	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26
Benodigde berging (m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
water op straat (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pieter Gootjesstraat T=10

Tijd (uren)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	8	12	16	24	36	48
Neerslag (mm)	-	19.85	25.52	28.43	30.34	33.06	34.73	38.10	40.46	45.94	49.52	52.66	57.03	61.99	65.26
Neerslag (m3)	0.00	114.60	147.28	164.11	175.09	190.84	200.47	219.91	233.52	265.17	285.86	303.95	329.19	357.79	376.71
Afvoer (m3)	-	2.44	4.89	7.33	9.78	14.67	19.56	29.33	39.11	78.23	117.34	156.45	234.68	352.02	469.35
Initiele berging (m3)	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54
Benodigde berging (m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
water op straat (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pieter Gootjesstraat T=100

Tijd (uren)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	8	12	16	24	36	48
Neerslag (mm)	-	32.56	38.05	42.11	44.61	48.14	50.03	54.61	57.68	64.27	68.55	72.61	77.97	84.17	87.86
Neerslag (m3)	0.00	187.96	219.60	243.04	257.49	277.86	288.79	315.19	332.95	370.97	395.69	419.10	450.07	485.81	507.13
Afvoer (m3)	-	2.44	4.89	7.33	9.78	14.67	19.56	29.33	39.11	78.23	117.34	156.45	234.68	352.02	469.35
Initiele berging (m3)	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54
Benodigde berging (m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
water op straat (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Frans Duwaerstraat T=10

Tijd (uren)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	8	12	16	24	36	48
Neerslag (mm)	-	19.85	25.52	28.43	30.34	33.06	34.73	38.10	40.46	45.94	49.52	52.66	57.03	61.99	65.26
Neerslag (m3)	0.00	137.25	176.39	196.55	209.71	228.57	240.10	263.39	279.69	317.59	342.36	364.03	394.27	428.51	451.17
Afvoer (m3)	-	2.56	5.12	7.69	10.25	15.37	20.50	30.75	41.00	82.00	122.99	163.99	245.99	368.98	491.97
Initiele berging (m3)	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83
Benodigde berging (m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
water op straat (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Frans Duwaerstraat T=100

Tijd (uren)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	8	12	16	24	36	48
Neerslag (mm)	-	32.56	38.05	42.11	44.61	48.14	50.03	54.61	57.68	64.27	68.55	72.61	77.97	84.17	87.86
Neerslag (m3)	0.00	225.12	263.01	291.09	308.39	332.79	345.88	377.50	398.77	444.30	473.91	501.94	539.04	581.84	607.38
Afvoer (m3)	-	2.56	5.12	7.69	10.25	15.37	20.50	30.75	41.00	82.00	122.99	163.99	245.99	368.98	491.97
Initiele berging (m3)	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83
Benodigde berging (m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.67	-	-	-	-	-
water op straat (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-

Bijlage 8 – Begroting maatregelen casus Klarenbeek

1. Water passerende verharding zonder afvoerbuizen voor regenwater

Project: Klarenbeek				
d.d. december 2016				
Globale kostenraming	eenheid	aantal	ppe	totaal
Verwijderen bestaande verharding en afvoeren	m2	5500.00	10.00	€ 55,000.00
Aanbrengen en leveren waterpasserende verharding	m2	5500.00	25.00	€ 137,500.00
Subtotaal				€ 192,500.00
Overige kosten				
Verkeersmaatregelen, Klikmelding, V&Gplan	Eur	1.00	2500.00	€ 2,500.00
Algemene kosten, winst en risico	%	20.00		€ 38,500.00
Aanneemsom				€ 233,500.00
Vorbereiding, directie en toezicht	%	10.00		€ 23,350.00
Grondonderzoek	Eur	1.00	1500.00	€ 1,500.00
-exclusief kabels en leidingwerkzaamheden				
-exclusief saneringswerkzaamheden				
-exclusief verwijderen/aanbrengen groen				
Totaal				€ 258,350.00
				excl. btw
Bron: bouwkosten online en ervaringscijfers gemeente Middelburg				

2. Een IT-riool met daarboven standaard bestrating (gebakken klinkers)

Project: Klarenbeek				
d.d. december 2016				
Globale kostenraming	eenheid	aantal	ppe	totaal
Verwijderen bestaande verharding en afvoeren	m2	5500.00	10.00	€ 55,000.00
Grond ontgraven t.b.v. aanleggen IT-riool	m3	750.00	25.00	€ 18,750.00
Aanbrengen en leveren IT-riool 200mm	m1	600.00	50.00	€ 30,000.00
Aanbrengen en leveren doorspuitputten	st	5.00	1200.00	€ 6,000.00
Aanbrengen en leveren putten met regelbare stuw	st	3.00	5000.00	€ 15,000.00
Grond aanvullen en leveren met flugsand	m3	726.00	35.00	€ 25,410.00
Aanbrengen gebakken klinkers	m2	5500.00	15.00	€ 82,500.00
Subtotaal				€ 232,660.00
Overige kosten				
Verkeersmaatregelen, Klicmelding, V&Gplan	Eur	1.00	2500.00	€ 2,500.00
Algemene kosten, winst en risico	%	20.00		€ 46,532.00
Aanneemsom				€ 281,692.00
Vorbereiding, directie en toezicht	%	10.00		€ 28,169.20
Grondonderzoek	Eur	1.00	1500.00	€ 1,500.00
-exclusief kabels en leidingwerkzaamheden				
-exclusief saneringswerkzaamheden				
-exclusief verwijderen/aanbrengen groen				
Totaal				€ 311,361.20
				excl. btw
Bron: bouwkosten online en ervaringscijfers gemeente Middelburg				

3. Een pomp met persleiding in combinatie met een IT-riool

Project: Klarenbeek				
d.d. december 2016				
Globale kostenraming	eenheid	aantal	ppe	totaal
Verwijderen bestaande verharding en afvoeren	m2	5500.00	10.00	€ 55,000.00
Grond ontgraven t.b.v. aanleggen IT-riool	m3	750.00	25.00	€ 18,750.00
Aanbrengen en leveren IT-riool 200mm	m1	600.00	50.00	€ 30,000.00
Aanbrengen en leveren doorspuitputten	st	5.00	1200.00	€ 6,000.00
Aanbrengen en leveren putten met regelbare stuw	st	3.00	5000.00	€ 15,000.00
Grond aanvullen en leveren met flugsand	m3	726.00	35.00	€ 25,410.00
Aanbrengen gebakken klinkers	m2	5500.00	15.00	€ 82,500.00
Aanbrengen en leveren pompput Prooijense Sprink	Eur	1.00	10000.00	€ 10,000.00
Aanbrengen en leveren persleiding systeem	m1	220.00	10.00	€ 2,200.00
Subtotaal				€ 244,860.00
Overige kosten				
Verkeersmaatregelen, Klicmelding, V&Gplan	Eur	1.00	2500.00	€ 2,500.00
Algemene kosten, winst en risico	%	20.00		€ 48,972.00
Aanneemsom				€ 296,332.00
Voorbereiding, directie en toezicht	%	10.00		€ 29,633.20
Grondonderzoek	Eur	1.00	1500.00	€ 1,500.00
-exclusief kabels en leidingwerkzaamheden				
-exclusief saneringswerkzaamheden				
-exclusief verwijderen/aanbrengen groen				
Totaal				€ 327,465.20
				excl. btw
Bron: bouwkosten online en ervaringscijfers gemeente Middelburg				

Bijlage 9 - verslag interviews

Tijdens het onderzoek zijn verschillende interviews afgenomen bij deskundigen in de gemeente Middelburg, het waterschap Scheldestromen, de provincie Zeeland en de stichting Waterhouderij Walcheren. Bij de gemeente is gesproken met Willem Reijnierse, dit is de waterbeheerder. En met Dion Reijnders, dit is de beheerder van civiele techniek. Bij het waterschap is gesproken met Martijn van Kalmthout, hij is ingenieur op het gebied van (stedelijk) water. Bij de provincie heb ik gesproken met Leo Caljouw, hij is beleidsmedewerker water bij de provincie. De belangrijkste bevindingen uit deze gesprekken zijn in deze bijlage vermeld.

Interview Willem Reijnierse

Grondwaterverhoging in de stad is niet wenselijk, omdat er nu al behoorlijk wat klachten zijn over te hoog grondwater. Bewoners zijn soms genoodzaakt om waterdichte kelders, kruipruimtes en dergelijke aan te leggen. Over klachten van te lage grondwaterstand is nauwelijks iets bekend. Er is één klacht bekend over paalrot van een bewoner in de buurt van het kanaal. De bewoner en de gemeente vermoeden dat dit komt omdat het water 2 keer per jaar 60cm verlaagd wordt i.v.m. inspectie van het kanaal. Dit wordt bevestigd door een reparatie die in 2014 uitgevoerd moest worden aan de fundering van de kademuur. Paalrot is een proces dat kan ontstaan wanneer een deel van de houten fundering, als gevolg van de daling van de grondwaterspiegel, boven of vlak onder het grondwaterniveau komt te liggen. Doordat er dan zuurstof bij het hout kan komen kunnen schimmels de palen aantasten, wat rotten tot gevolg heeft. Gebouwen die op houten palen gefundeerd zijn, al dan niet met betonnen kop, kunnen schade oplopen als de sterkte van de fundering afneemt door deze rotting. Er bestaat ook een vorm van paalrot door bacteriële aantasting, ook wel palenpest genoemd. Paalrot is in de gemeente Middelburg dus niet zo aan de orde in vergelijking met bijvoorbeeld Amsterdam. Er is in het verleden in Middelburg namelijk veel op staal gebouwd en de jongere bebouwing heeft heipalen van beton. Als de grondwaterspiegel in de toekomst voor langere perioden zou dalen door klimaatverandering is de kans op paalrot een stuk groter voor de huizen die wel op hout gefundeerd zijn.

Zoet water opslaan in de bodem i.v.m. het voorkomen van verzilting is blijkbaar ook niet nodig, omdat de bomen die langs het (brakke) kanaal staan prima groeien en bloeien.

Sinds 2008 gaat de gemeente wel anders om met regenwater, omdat toen de 100 miljoen regeling ingegaan is. Deze 100 miljoen is door de regering éénmalig beschikbaar gesteld om een impuls te geven aan het snel uitvoeren van maatregelen om wateroverlast te bestrijden. Met dit geld zijn vooral maatregelen uitgevoerd om regenwater af te koppelen. Voorbeelden van deze maatregelen zijn wadi's en bovengrondse afvoer. In Mortiere zijn wadi's en in nieuw-Middelburg komen hemelwaterafvoeren van huizen uit op straat.

In de gemeente Goes is een proef uitgevoerd om regenwater te gebruiken voor het doorspoelen van toiletten. Deze proef is echter op niets uitgelopen.

De singel in Middelburg is een boezem waar water kan worden opgeslagen in tijden van teveel water. Dit water wordt op peil gehouden door het gemaal Boreel. Dit gemaal pompt overtollig water uit de singel in het kanaal. Het kanaal staat in directe verbinding met de grachten. Bijna geheel Walcheren watert af via Middelburg in het kanaal en via de sluizen bij Vlissingen en Veere naar de Westerschelde en het Veerse meer.

Drainage wordt alleen toegepast bij aanleg om droog te kunnen werken. Deze drainage wordt daarna niet meer gemonitord.

Interview Dion Reijnders

Het oudste riool van Middelburg is onder de huidige Spuistraat. Dit riool is nu nog zo hoog dat je op de meeste plaatsen kunt lopen. Dit riool was eerst een open riolering. Deze open riolering werd gebruikt om sedimenten uit de haven weg te spoelen. Aan de noordkant van deze open riolering was namelijk het Molenwater. Dit was een bassin waar water in werd gelaten bij vloed. Als de vloed op z'n hoogst was, werd er een sluis dichtgezet. Deze werd opengezet bij eb zodat het water met grote kracht via deze riolering de haven in spoelde. Aan de zuidkant stond ook een molen die draaide op deze waterkracht. Later is het riool afgedekt en zijn er huizen en straten op gebouwd.

In de loop der jaren zijn alle huizen en gebouwen aangesloten op een rioleringssysteem. De gemeente is nu volop bezig om gescheiden riolering aan te leggen. Middelburg is bezig met een nieuwe inventarisatie van het verharde oppervlak, maar voor zover nu bekend kent de stad ongeveer 600 ha verhard oppervlak. 85 ha daarvan is niet aangesloten op het riool en watert dus af in bermen e.d. Ongeveer 290 ha van het verharde oppervlak is aangesloten op gemengde stelsels. 220 ha is aangesloten op RWA-stelsels. Momenteel wordt in Middelburg hard gewerkt aan het afkoppelen van verharde oppervlakten van het gemengde stelsel. Het doel is dat in 2050 de helft van het gemengde stelsel afgekoppeld is. Er wordt naar gestreefd om ieder jaar 1% af te koppelen. 17% is nu afgekoppeld, dus het is op schema. Bij rioolrenovatie (relining van oude riolen) wordt vaak een schoonwaterriool mee gelegd. In de binnenstad is daar vaak geen ruimte voor, bovendien wordt daar het riool voorzien van een kous. Relining met een kous houdt in dat men een kous door het riool blaast, die gevuld is met twee componenten epoxy hars. Deze wordt uitgehard door water of stoom. Het oude riool kan dan gewoon blijven liggen en hoeft niet afgevoerd te worden en zelfs niet opgegraven. Dit voorkomt veel overlast voor winkeliers en inwoners van de binnenstad.

Er is binnen de gemeente een aantal drainageleidingen op openbaar gebied aanwezig. Deze leidingen worden echter niet actief onderhouden. Een deel van de drainageleidingen is niet in beeld. De drainageleidingen bij sportvelden en begraafplaatsen zijn wel goed in beeld en worden planmatig onderhouden. Als er riolering moet worden vervangen, wordt dit afgestemd met het restaureren van straten. Er is een overzicht van de straten die in 2016 opgeknapt gaan worden.

Interview met Martijn van Kalmthout

Martijn is bij het waterschap verantwoordelijk voor peilbesluiten in de gemeente Middelburg. In de binnenstad van Middelburg is nu nog veel oppervlaktewater in de vorm van grachten en singels. De grachten staan in verbinding met het kanaal, het peilbesluit is zowel in de zomer, als in de winter 90 cm boven NAP. Het peilbesluit van de singels is in de winter 1,85 m boven NAP en in de zomer 2,05 m boven NAP. De singels worden gevoed vanuit het landelijk gebied van Walcheren ten westen van de stad. Het overtollige water wordt via gemaal Boreel geloosd in het kanaal.

Het waterschap maakt deel uit van de Samenwerking (Afval)waterketen Zeeland (SAZ). Het SAZ is een samenwerking van provincie, waterschap, gemeenten en drinkwaterbedrijf Evides. Het SAZ houdt zich ook bezig met voorkomen van verdroging. De samenwerking heeft onder andere als doel om binnen iedere gemeente plannen te bedenken om de kosten die gepaard gaan met het verwerken van afvalwater te beperken. In het kader van deze samenwerking is een onderzoek gedaan naar wateroverlast in Kloosterzand, Zeeuws-Vlaanderen. Er is in kaart gebracht waar overlast optreedt, wat de oorzaak daarvan is, en wat oplossingen kunnen zijn. Het is de bedoeling dat iets dergelijks voor Middelburg in de toekomst ook wordt gemaakt.

Interview met Leo Caljouw

De provincie houdt zich vooral bezig met waterveiligheid, dus het voorkomen van overstromingen. Er is binnen de gemeenten, ook binnen Middelburg, weinig animo voor het nadenken over gevaar voor overstromingen. Middelburg zou wel degelijk gevaar kunnen lopen, bij Oost-Souburg is er namelijk maar één waterkering tussen de Westerschelde en de stad.

Verder is de provincie bezig met het verkrijgen van informatie over de diepte van zout grondwater in Zeeland. Deze informatie wordt verkregen door middel van vluchten met een helikopter over de provincie. Deze helikopter zendt signalen uit en vangt deze ook weer op. Aan de hand van deze signalen wordt informatie verkregen over de diepte van zout grondwater. Deze gegevens zijn echter pas in december 2016 beschikbaar. Bovendien vliegt deze helikopter niet boven bebouwde kom.

Interview met Wim van Nieuwenhuijzen

In de driehoek Oostkapelle-Vrouwenpolder-Serooskerke in Walcheren begonnen in 2010 acht agrariërs samen na te denken over een manier om zoet water te bufferen in de bodem. Deze agrariërs hebben zich verenigd in de stichting Waterhouderij Walcheren, waarvan Wim van Nieuwenhuijzen de voorzitter was. In de winter is er namelijk sprake van een regenwateroverschot, doordat er meer neerslag valt dan dat er verdampt. Als het groeiseizoen begint, in april, daalt de grondwaterspiegel. In een droog jaar zakt dit water zo ver dat er geïrrigeerd moet worden om te voorkomen dat zoute kwel naar boven komt of planten verdrogen. Er is gezocht naar een manier om het aanbod van het regenwater beter over het jaar te verdelen.

Er lopen proeven met het vasthouden van regenwater in drainage buizen. Dit kan door een bocht van 90° te plaatsen aan het einde van de drainagebuizen en deze te draaien naar gelang de behoefte aan water. Op sommige percelen is dit wat uitgebreider, door het plaatsen van putten aan het einde van de drainagebuizen. Door het plaatsen van een cilinder van pvc in de put, voorzien van gaten op verschillende hoogten, kan de grondwaterstand beïnvloed worden.

Het vasthouden van water in het hele gebied gebeurt door middel van vertragingsdrempels, in de vorm van schotten in de sloten en het afsluiten van duikers. Walcheren heeft namelijk de vorm van een kom, waarvan de duinen de rand zijn en Middelburg het laagste punt. De driehoek waarbinnen de proeven plaatsvinden bevindt zich tegen de rand van deze kom. Deze schotten en afgesloten duikers kunnen tegelijkertijd helpen om het zoet en zout water te scheiden.

Als het water in de zoete sloot hoog genoeg staat, wordt er zelf water actief geïnfiltreerd via de drainagebuizen. Deze proef loopt nog en heet de kreekrug-infiltratieproef. Deze proef loopt onder supervisie van Deltares en is onderdeel van het project GO-FRESH. Bij deze proef is in de zomer ongeveer evenveel water geïnfiltreerd als het overschot in de winter (1 mm/d, dus 182.5 mm/jr).

Bij Deltares is hierover nog veel meer informatie beschikbaar zoals:

- 20141021 KvK T2 Fresh Water Options Optimizer_Definitief
- *Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands* van Pieter S. Pauw; Esther S. van Baaren; Martijn Visser; Perry G. B. de Louw; Gualbert H. P. Oude Essink
- KennisVoorKlimaat_2014_Eindrapportage_HSZD3_2_GO-FRESH_KvK151_2014

Brainstormsessie

Tijdens de brainstormsessie zijn we met elkaar tot de volgende conclusies gekomen:

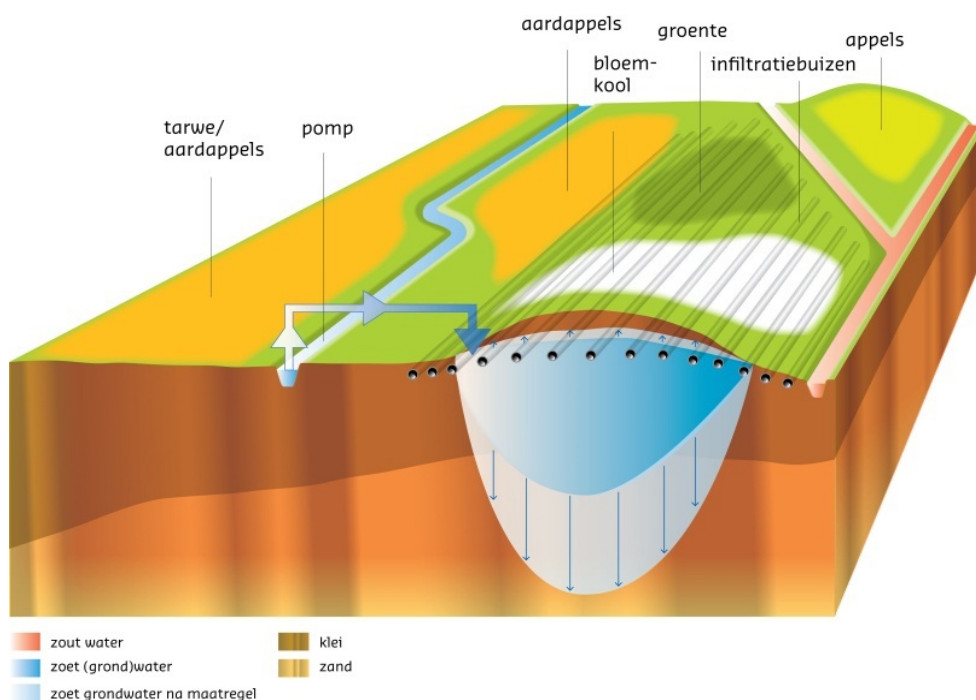
- De maatregelen moeten vooral gaan over waterkwantiteit en niet over waterkwaliteit. Deze neiging is namelijk heel groot omdat ze veel met elkaar te maken hebben.
- Door het ophogen van nieuwbouwwijken komt er tussen de funderingen (van huizen en wegen) en de kleiige ondergrond, ruimte voor de opslag van water. In de omgeving van Gouda lopen hiermee proeven.
- In de praktijk blijkt dat overal waar gegraven wordt in Middelburg, de bovenste laag klei is. Van een zandige ondergrond is dus niet zoveel te merken, dit kan verklaard worden door de laag van 20 tot 50 cm zavel op de kreekruigen. Dit moet door boringen worden onderzocht.

Bijlage 10 – stichting Waterhouderij Walcheren

Op Walcheren, een regio in het westen van Zeeland, zijn 8 agrariërs verenigd onder de naam: 'Stichting Waterhouderij Walcheren'. Deze stichting is onderdeel van GO-FRESH, een samenwerkingsverband van instituten, overheden en hogescholen met Deltares als trekker. GO-FRESH staat voor 'Geohydrological Opportunities Fresh Water supply' met andere woorden: 'Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwater-voorziening in laag Nederland'. Dit samenwerkingsverband onderzoekt in hoeverre lokale maatregelen de zoetwaterbeschikbaarheid voor landbouw kunnen vergroten in gebieden die niet beïnvloed worden door een zoet hoofdwatersysteem. Hierbij wordt de ondergrond gebruikt voor opslag van het zoete water in perioden van wateroverschot, om te gebruiken in droge perioden (Deltares, 2015).

De sloten van Walcheren zijn brak of zelfs zout door zoute kwel en vermenging van zoet en zout water. Daardoor is oppervlaktewater voor irrigatie bijna niet mogelijk. Grondwateronttrekking is ook niet altijd mogelijk, door zout grondwater wat binnen kwelt vanuit de Noordzee. Omdat zout water zwaarder is dan zoet water drijft het zoete grondwater op het zoute grondwater. Dit betekent dat het regenwater wat infiltreert op het zoute grondwater, gaat drijven en bruikbaar is voor irrigatie. Dit zijn de zogenaamde zoetwaterlenzen. Deze zoetwaterlenzen zijn het grootst (5 tot 30 meter hoog) in kreekruggen omdat deze bestaan uit zandig materiaal, waardoor er genoeg ruimte is tussen de korrels. De Stichting Waterhouderij Walcheren wil deze zoetwaterlenzen vergroten en op peil houden, om verdroging en verzilting van landbouwpercelen tegen te gaan. Dit doen ze door:

- stuwen van oppervlaktewater
- peilgestuurd draineren
- het kreekrug infiltratie systeem (figuur 23)



figuur 22 – het kreekrug infiltratie systeem (Deltares, 2015)

Stuwen van oppervlaktewater

De afvoer van het zoet water in het hele gebied wordt verminderd door het plaatsen en aansturen van stuwen in de sloten, om daardoor de infiltratie van oppervlaktewater in de bodem te vergroten. Het slootpeil is gebaseerd op het opzetten van de stuw op een moment, dat afhankelijk is van de

hoeveelheid neerslag in de winter. Hierbij worden zoete en zoute stromen zo veel mogelijk gescheiden, zodat er geen brak of zout water infiltreert.

Peilgestuurde drainage

Peilgestuurde drainage gebeurt op het moment dat het niet schadelijk is voor de landbouw en als er genoeg overschot is. Dit gaat nu heel eenvoudig met de hand, door een pvc-buis in een hoek aan het einde van de drainagebuis te plaatsen. Door het draaien van deze hoek kan bepaald worden hoeveel water er in de drainagebuizen blijft. Op sommige plaatsen worden putten gemaakt aan het einde van een drainagebuis, waarin handmatig, met een verticale buis met gaten, bepaald kan worden wanneer water wordt afgevoerd. Met behulp van deze putten kan het peil goed geregeld worden per 'smalle' strook. Dit is op een kreekrug noodzakelijk in verband met de hoogteverschillen die op kunnen lopen tot 2 meter. Dit systeem zou relatief eenvoudig geautomatiseerd kunnen worden. In de praktijk is gebleken dat de grondwaterstand in de kreekrug tot 50 cm onder het maaiveld verhoogd kan worden, zonder dat de grondwaterstand in de omgeving ernstig wordt beïnvloed. De zoet-brak grens is binnen één jaar, 2 meter gezakt in het midden van de kreekrug, aan de randen is dit enkele decimeters. Dit zorgt voor een significante toename van de zoetwatervoorraad. In de praktijk is ook gebleken, dat de plantengroei positief beïnvloed wordt, als het beheer van het regiem goed wordt aangepast.

Kreekrug infiltratiesysteem

Bij het kreekrug infiltratiesysteem wordt zoet oppervlaktewater gebruikt om actief te infiltreren. Hierbij worden de peilgestuurde drainagebuizen gebruikt als infiltratiebuizen. Nu wordt er in de zomer ongeveer evenveel water geïnfiltreerd als het neerslagoverschot in de winter. Dat is 1 mm per dag dus 182,5 mm per zomerhalfjaar.