

Kennis voor Klimaat - Hot Spot Regio Rotterdam

Terms of Reference 1: Impact of climate change on urban water systems (surface, ground, sewerage) and required adaptation strategies

ToR-titel in het Nederlands: Impact van klimaatverandering op het stedelijk watersysteem

Werkpakket 1 (WP1): Onderscheiden van toekomstige eisen aan het stedelijke watersysteem veroorzaakt door een veranderend klimaat

Eric van Nieuwkerk
Hans Geerse
Erik Dekker

Deltares
Witteveen+Bos
Witteveen+Bos

1 Inleiding

Het klimaat zal veranderen de komende decennia, wat gevolgen zal hebben op het functioneren van het stedelijke watersysteem. De klimaatsscenario's van het KNMI (2006) laten voor Nederland zien dat de winters zachter worden en de zomers warmer. De winters zullen gemiddeld natter worden en extreme neerslag zal toenemen. Ook in de zomer zal extreme neerslag vaker voorkomen, maar gemiddeld worden de zomers droger en zal het neerslagtekort dus toenemen. Verder zullen de zeespiegel en de rivierafvoeren stijgen in alle KNMI scenario's. Al deze veranderingen zullen direct of indirect de stedelijke waterhuishouding beïnvloeden.

De effecten van klimaatsverandering op het functioneren van het stedelijk watersysteem in Rotterdam zal op volgende manieren een impact hebben op stedelijke functies. Water op straat, grondwateroverlast en inundatie van watergangen zal vaker en meer voorkomen. Het binnendringen van water kan leiden tot schade aan woningen en bedrijfsgebouwen. Water op straat leidt tevens tot verkeersopstoppen. De toenemende droogte zal met name effect hebben op het dalen van de grondwaterstand wat leidt tot schade aan met name historische bebouwing en groenvoorzieningen. Ook zal de waterkwaliteit negatief kunnen worden beïnvloed door lange periodes van droogte en de te verwachte hogere temperaturen.

In deze rapportage zijn de effecten van klimaatsverandering op het stedelijk watersysteem en de gevolgen voor stedelijke functies globaal verkend.

1.1 Doelstelling

Het doel van deze deelstudie is het onderscheiden van toekomstige eisen aan het stedelijk watersysteem, veroorzaakt door een veranderend klimaat en de verwachte stedelijke ontwikkeling. Als uitgangspunt voor deze analyse gelden de 4 klimaatscenario's gepubliceerd door het KNMI. Geïnterviewd zal worden welke gevolgen maatgevend zijn.

1.2 Globale aanpak

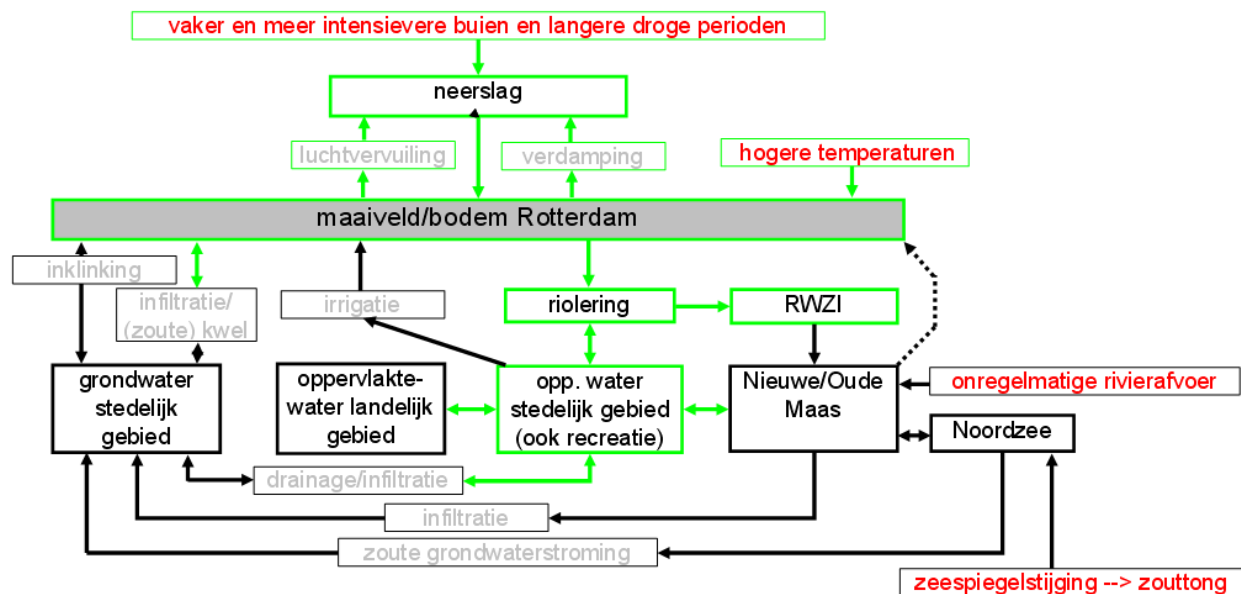
De activiteiten die worden uitgevoerd binnen werkpakket I zijn opgedeeld in de volgende deelactiviteiten:

- Activiteit 1: Analyse gevolgen van klimaatverandering voor het stedelijke watersysteem. Basis voor de analyse is beschikbare kennis bij de deelnemers en literatuurstudie.
- Activiteit 2: Kwantificeren van deze gevolgen voor een stad als Rotterdam. Dit is een fase waarin het effect van de geanalyseerde gevolgen wordt gekwantificeerd op basis van grove modellering van het stedelijke watersysteem van Rotterdam, expert judgement en aanvullende literatuurstudie. Hierbij worden reeds beschikbare modellen gebruikt. De effecten zijn beschouwd voor een aantal karakteristieke gebieden. Het gaat om een indicatieve studie waarbij met name wordt ingezoomd op de orde grootte van de gevolgen van klimaatverandering en op de tijdschaal van een bepaald gevolg (uren – dagen – weken).
- Activiteit 3: Bepaling maatgevendheid: Analyse en weging van gekwantificeerde gevolgen.
- Activiteit 4: Formuleren eisen aan het stedelijk watersysteem: Uit de weging van activiteit 3 blijkt wat het belang is van de verschillende gevolgen. Tevens is de omvang bekend. Deze informatie vormt de input voor het formuleren van eisen aan het stedelijk watersysteem.
- Activiteit 5: Aanbevelingen Tranche 2, project Kennis voor Klimaat Rotterdam, Stedelijk Water. Hierbij worden op grond van de opgedane kennis en ervaring aanbevelingen gedaan voor vervolg-onderzoek dat in tranche 2 van het project plaats kan vinden.
- Activiteit 6: Overleg en Opstellen eindrapportage en onderzoeksagenda.

Als uitgangspunt gelden de KNMI'06 klimaatsscenario's.

2 Conceptuele analyse

Om richting te geven aan het onderzoek is in eerste instantie gebrainstormd over de vraag welke wa-terhuishoudkundige en watergerelateerde processen gevoelig zijn voor klimaatverandering. Daartoe is een workshop gehouden met als thema 'conceptueel modelleren'. Dit om te voorkomen dat allerlei modelberekeningen zouden worden gemaakt die wellicht geen antwoord geven op de vraag of waarbij een detailniveau wordt berekend op één aspect terwijl andere aspecten niet aan bod komen (omdat daar bijvoorbeeld geen modellen voor zijn). Het conceptuele model is weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Conceptueel model invloed klimaatverandering op waterhuishouding

2.1 Maaiveld/Bodem

Stedelijke functies op het maaiveld (bebouwing, groenvoorzieningen, wegen) of in de bodem (ondergrondse constructies, infrastructuur) kunnen schade ondervinden als gevolg van het effect van klimaatsverandering op het stedelijke watersysteem (b.v. wateroverlast of droogte). Het effect aan het maaiveld in de (ondiepe) bodem staat derhalve centraal.

Diverse bodemprocessen zijn medebepalend in hoeverre er in de toekomst schade aan stedelijke functies door wateroverlast of droogte ontstaat:

- Bodemdaling door inklinking van klei- en veenlagen; hierdoor daalt het maaiveld plaatselijk waardoor die gebieden meer kans lopen op wateroverlast
- Het bodemgebruik (met name de hoeveelheid verharding) is bepalend voor de infiltratiecapaciteit van hemelwater in de bodem en dus in de mate waarin de bodem een bergende werking heeft.

Veel is nog onduidelijk over de relatie tussen de te verwachte droogte en het al dan niet versneld optreden van bodemdaling. Ook is het nog niet goed bekend in welke mate de bodem bijdraagt aan het bergen van piekafvoeren.

2.2 Neerslag (en klimaat)

De processen die mogelijk van invloed zijn op de neerslag zijn als volgt:

- luchtvervuiling;
- opwarming;
- windklimaat;
- verdamping.

2.2.1. Luchtvervuiling

Luchtvervuiling heeft zowel een kwalitatieve als een kwantitatieve invloed op de neerslag. Er valt op het moment in Rotterdam al relatief meer neerslag, wat vermoedelijk onder meer samenhangt met de mate van luchtverontreiniging.

Ook de kwaliteit van de neerslag wordt nadelig beïnvloed. Het effect van de klimaatverandering op de luchtkwaliteit is nog onzeker. Door allerlei vervuilingreducerende maatregelen neemt de luchtvervuiling op het moment weer af. Onduidelijk is of dit in de toekomstige neerslagreeksen kan worden waargenomen. In deze studie zal het effect van luchtvervuiling op de neerslag niet meegenomen worden.

2.2.2. Opwarming

Door de stijging van de temperatuur zal de neerslag in Rotterdam toe gaan nemen. De winters worden natter en extreme neerslaghoeveelheden in de winter nemen toe. Het aantal regendagen in de zomer neemt af, de hevigheid van extreme regenbuien neemt echter toe.

In de studie: 'Klimaatverandering in Nederland: Aanvullingen op de KNMI '06 scenario's' van het KNMI, wordt beschreven dat de gemiddelde uurintensiteit in De Bilt bij extreme buien met 14% per graad temperatuurstijging toe kan nemen. De verwachte temperatuurstijging in de zomer en herfst is 1 tot 3 graden Celsius, afhankelijk van het klimaatscenario. Ook is vastgesteld dat de neerslaghoeveelheden in Rotterdam bij het huidige klimaat 14% hoger liggen dan in de Bilt.

2.2.3. Windklimaat

Bij bepaalde luchtstromingspatronen kan aan de kust tot ongeveer 15% meer neerslag vallen per graad Celsius temperatuurstijging van de Noordzee. Dit zijn voornamelijk situaties waarbij koude en onstabiele lucht over een warme Noordzee wordt aangevoerd. Dit effect is het sterkst tot ongeveer 30 kilometer landinwaarts, en doet zich vooral voor in de tweede helft van de zomer en in de herfst.

2.2.4. Verdamping

Door de te verwachte temperatuurstijging zullen er langere periodes van droogte optreden en is het groeiseizoen langer dan nu. Dit zorgt ervoor dat de verdamping sterk zal toenemen en dus neemt het neerslagtekort in de zomer toe. Door het Urban Heat Island effect wordt dit proces vermoedelijk versterkt.

2.3 Riolering

De processen die van invloed zijn op functioneren van de riolering zijn als volgt:

- afstroming van verhard (onverhard) oppervlak;
- waterpeil van oppervlaktewater waar via overstorten op wordt geloosd bij hevige neerslag;
- debiet overstortbemaling;

Met name de toename van de extreme regenbuien heeft een groot effect op het functioneren van de riolering. Door de beperkte afvoercapaciteit van het rioolstelsel zal water-op-straat en

wateroverlast toe gaan nemen. De kans op ziekten neemt toe door frequentere blootstelling aan verdund afvalwater. Water in huizen en winkels en gestremde wegen zullen vaker voorkomen. Ook zal het stedelijke oppervlaktewater vaker en langduriger belast worden vanuit de rioolstelsels. Doordat er langere droge perioden voor komen zal er mogelijk meer slib in de riolering achterblijven. Bij hevige neerslag na een droge periode kan de belasting op het oppervlaktewater daardoor nog extra vergroot worden. Door hogere temperaturen zal afvalwater en slib in het rioolstelsel sneller worden omgezet, wat kan leiden tot stankoverlast.

In de gemeente Rotterdam beschikt men over zogenaamde bemalen overstorten. Dit zijn pompinstallaties die bij hevige regenval het ingezamelde rioolwater - van gemengde samenstelling - rechtstreeks afvoeren naar de rivieren de Nieuwe en de Oude Maas. Door een toename van de neerslag zal de frequentie van deze bemalen overstorten toenemen. Dit heeft vooral een effect op de vuiluitworp van de gemengde riolering en niet op het probleem van wateroverlast. De pompcapaciteiten van de bemalen overstorten zijn namelijk klein in verhouding tot de debieten die bij hevige neerslag overstorten op de singelsystemen.

2.4 RWZI

De RWZI zal door de toename van de neerslag meer belast worden. Door de toename van met regen-water verdund afvalwater zal het rendement daarbij afnemen waardoor de jaarvrucht van de emissies toenemen. Anderzijds kunnen processen in de RWZI efficiënter gaan werken door de hogere gemiddelde temperatuur. Dit zou het rendement van de zuiveringen juist ten goede komen.

2.5 Stedelijk Oppervlaktewater

In de winter zal het stedelijke oppervlaktewater meer toevoer krijgen van regenwater en grondwater. Hierdoor hoeft er minder water ingelaten te worden vanuit het landelijke gebied of vanuit de Nieuwe Maas. Dit komt de waterkwaliteit ten goede. Er zullen echter ook vaker en langduriger riooloverstortingen zijn. Dit heeft een negatief effect op de waterkwaliteit.

Door langere droge perioden en door hogere temperaturen in de zomer zal er meer water ingelaten moeten worden. Er zal meer water verdampen en er zal minder zuurstof in het water zijn. Dit heeft een negatief effect op de waterkwaliteit. Door extreme neerslag zal de kans op inundatie toenemen. Ook de toename van riooloverstortingen heeft een negatief effect op de waterkwaliteit.

In de zomer zullen grotere peilfluctuaties voorkomen. Dit werkt door in de grondwaterstand.

2.6 Stedelijk grondwater

De grondwaterstand 'bolt' in gebieden met een neerslagoverschot van nature op tussen ontwateringsmiddelen (watergangen of drainagemiddelen) doordat infiltrerend regenwater onder vertraging afstroomt naar de ontwateringsmiddelen. In natte periodes zal deze opbolling groter zijn dan gemiddeld en in droge periodes kan de grondwaterstand geheel uitzakken doordat er sprake is van een neerslagtekort onder invloed van de verdamping en transpiratie door beplanting. De grondwaterstand fluctueert dus door het jaar heen waarbij het effect van seizoenale verschillen en op sommige locaties zelfs het effect van individuele neerslagbuien in de grondwaterstandstijdreeksen tot uiting komen.

De dynamiek van het grondwatersysteem zal de komende decennia veranderen en daarmee de dynamiek van de ondiepe freatische grondwaterstand in het stedelijke gebied. Dit zal niet alleen plaatsvinden door de effecten van klimaatsveranderingen, maar met name ook door het intensiever gebruik van de ondergrond (lit.1). In de regio Rotterdam speelt bovendien dat de

bodem langzaam daalt door inklinking van slappe bodemlagen, waardoor het maaiveld steeds dichterbij het grondwater zal komen.

2.7 Rivierafvoer

Door de extremere weersomstandigheden zullen de afvoeren van de grote rivieren eveneens sterker gaan fluctueren. Dit kan onder meer leiden tot hogere en langdurigere waterstanden in de rivier, wat zijn weerslag heeft op vooral de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket dichtbij de rivier. Ook zeespiegelstijging beïnvloedt de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. De doorwerking naar de grondwaterstand van verhoogde stijghoogtes zal beperkt zijn in Rotterdam aangezien de ondiepe (holocene) bodem uit een 10 a 15 m dikke klei- en veenlagen bestaat.

3 Kwantificeren gevolgen van klimaatverandering op de waterhuishouding

3.1 Aanpak

Het kwantificeren van de gevolgen van klimaatverandering op de waterhuishouding is moeilijk om een aantal redenen. Hier worden twee belangrijke redenen genoemd:

1. De gevolgen van klimaatverandering zijn het meest duidelijk bij zeer zware neerslag en langdurige droogte. In beide gevallen betreft het extreme situaties. Dergelijke situaties kenmerken zich door relatief grote onzekerheden in de belasting die optreedt (frequentie en omvang). Het gaat immers om gebeurtenissen die laag frequent voorkomen. Dan nemen de onzekerheden in het bepalen van de statistiek van de belasting (neerslag, verdamping, droogte) toe ten opzichte van frequente gebeurtenissen.
2. De rekenmodellen die nodig zijn voor het bepalen van de gevolgen van klimaatverandering zijn altijd beperkt en hebben zich grotendeels bewezen door toetsing aan de huidige praktijk. Als men echter bijvoorbeeld een frequentie van water op straat van eenmaal per twee jaar berekend is het helemaal niet gezegd dat deze frequentie ook daadwerkelijk op treedt. Wat wel bekend is, is dat het berekenen van een rioolstelsel op een belasting van een bepaalde standaardbui (Bui 8 uit de Leidraad Riolering, herhalingstijd is 2 jaar) in de praktijk betekent dit dat een dergelijk stelsel als 'goed functionerend' wordt beschouwd en doorgaans geen aanleiding geeft tot klachten.
3. Voor grondwater geldt dat in stedelijk gebied lokale verschillen in de ontwatering (lekkende riolering, heterogeniteit van de bodem, etc.) en tijdelijke ingrepen (bemalingen, bouwprojecten) mede bepalend zijn voor de trends in de grondwaterstanden. Voor de grondwaterhuishouding zijn de volgende klimaatseffecten van belang:
 - Hogere afvoeren van de rivier: door deze hogere afvoeren zal er dus ook vaker sprake zijn van hoge rivierstanden.
 - Door een toename van het neerslagtekort in de zomer zullen grondwaterstanden in het stedelijk gebied verder uitzakken dan nu het geval is. Dit kan in zettingsgevoelige gebieden leiden tot het eerder optreden van schade aan bebouwing, infrastructuur en groenvoorzieningen.
 - De toename van de totale hoeveelheid neerslag zal leiden tot hogere stijghoogtes en grondwaterstanden. Dit kan leiden tot een toename van het drainageafhankelijke gebied en dus tot meer grondwateroverlast.
4. Klimaatverandering (hogere temperaturen en extremere weersomstandigheden) zal een impact hebben op de waterkwaliteit. De waterkwaliteit in Rotterdam wordt momenteel niet of nauwelijks gemeten, waardoor het volgen van trends onmogelijk is.

Ondanks de hiervoor genoemde reserves is er toch een verkenning uitgevoerd van de gevolgen van klimaatverandering. Daarbij is deels ook getracht de effecten te kwantificeren. De volgende paragrafen beschrijven per deelproces de uitgevoerde werkzaamheden en de resultaten. Omdat het om een verkenning gaat, is vooralsnog alleen gerekend met het zogenaamde KNMI W-scenario. Desgewenst kunnen de andere scenario's op dezelfde manier worden doorgerekend.

De verkenning voor de riolering en het stedelijk oppervlaktewater is gedaan door twee cases door te rekenen met bestaande modellen. De grondwater aspecten zijn geanalyseerd aan de hand van tijdreeksen van grondwaterstanden langs 5 raaien met peilbuizen in verschillende wijken.

In dit werkpakket wordt alleen ingegaan op de effecten van klimaatverandering van het binnendijksgebied. Effecten van klimaatverandering (en zeespiegelrijzing) op bijvoorbeeld de kans op overstroming door dijkdoorbraak is geen onderdeel van deze studie. Dit aspect wordt meegenomen in TOR 2 van het project Kennis voor Klimaat Rotterdam.

3.2 neerslagbelasting W-scenario

Als eerste stap voor de verkenning is uitgegaan van het W-scenario voor het jaar 2050. De ontwikkelde methode is echter volledig toepasbaar voor andere scenario's en andere tijdshorizonten.

Om de neerslagbelasting te bepalen voor het jaar 2050 voor scenario W is de volgende methode ontwikkeld:

1. Basis voor de neerslagbelasting zijn reeksen van het KNMI, locatie De Bilt.
 - Voor doorrekening van de riolering is een reeks gebruikt van 1955 - 1964. Deze reeks wordt doorgaans gebruikt voor vuiluitworpberoeeningen van rioleringsstelsels. Tevens bevat de reeks een aantal zware buien die gebruikt kunnen worden voor hydraulische toetsing van rioolstelsels;
 - Voor doorrekening van het oppervlaktewatersysteem zijn circa 200 neerslagsituaties gebruikt die door Hollandse Delta worden gebruikt voor toetsing van het watersysteem. Deze neerslagsituatie bestrijken de periode 1906 tot 1997.
2. De basisreeks wordt gecorrigeerd voor de neerslag van Rotterdam. Volgens het rapport 'Klimaatverandering in Nederland, Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's' is de neerslag in Rotterdam structureel 14% hoger dan in de Bilt. Daarom zijn alle basisreeksen gecorrigeerd met de factor 1,14.
3. De gecorrigeerde basisreeks wordt geconverteerd naar een W-scenario 2050 reeks. Deze correctie wordt uitgevoerd met een programma dat door het KNMI is ontwikkeld. Met dit programma kunnen reeksen worden geconverteerd voor een zelf te kiezen klimaatscenario. Het is overigens niet mogelijk om een specifieke bui te converteren. Het programma werkt namelijk met reeksen waarbij ook de droge perioden langer worden (dan houdt conversie dus in dat er minder neerslag valt). Het gaat dus om een conversie waarbij over een langere periode het klimaateffect is verdisconteerd.

3.3 Riolering

Voor het verkennen van de gevolgen voor de stedelijke riolering zijn de wijken Spangen en Oud-Mathenesse geselecteerd. Kenmerken van deze wijken zijn: hoge dichtheid van bebouwing c.q. relatief hoge verhardingsgraad en weinig stedelijk oppervlaktewater. Voor de berekening is gebruik gemaakt van een rioleringsmodel in het programma SOBEK dat door Gemeentewerken ter beschikking is gesteld. De analyse is als volgt uitgevoerd.

1. Doorrekening van Spangen met de tienjarige reeks zoals die geldt voor Rotterdam. Deze reeks heet 'Rotterdam 10-years current'
2. Bepalen situatie water op straat: Normaal gesproken wordt het hydraulisch functioneren van riolering vaak getoetst op 'bui 8 uit de Leidraad Riolering'. In dit geval kan dat niet want het is niet mogelijk om deze bui 8 te converteren voor klimaatverandering. Daarom is de volgende aanpak gekozen:
 - A. Reken Spangen door met bui 8
 - B. Selecteer in de 10 jaar reeks 'Rotterdam 10-years current' een aantal gebeurtenissen die een vergelijkbare reactie op neerslag vertonen als bui 8.
 - C. Reken Spangen door met de voor het W-scenario 2050 gecorrigeerd 10 jaar reeks 'Rotterdam 10-years W-2050'
 - D. Vergelijk de reacties voor de bij B geselecteerde gebeurtenissen.

3.3.1 Effecten op functioneren riolering

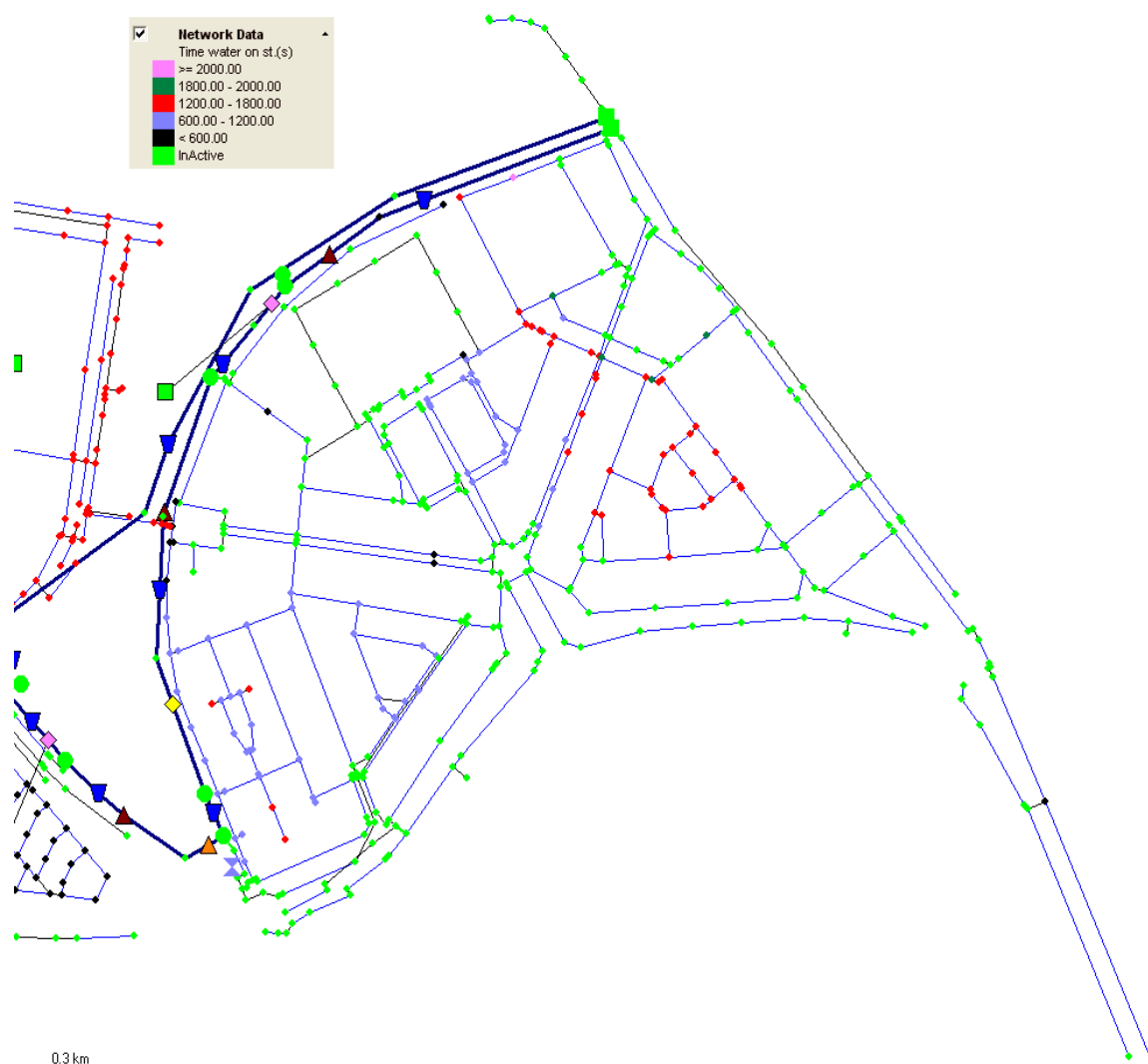
Voor het nagaan van het effect van klimaatverandering op de riolering is de analyse uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 3.2. In de figuren 3.1 tot en met 3.5 zijn de resultaten gepresenteerd.

In figuur 3.1 is het functioneren van het rioolstelsel gepresenteerd bij een belasting met bui 8 van de Leidraad Riolering. De gemeente Rotterdam houdt als norm aan dat bij deze belasting een duur van wateroverlast van circa 20 minuten acceptabel is. In het oostelijke deel van het stelsel ligt een gebied met een duur van water op straat van circa 20 minuten (1800 seconden). Het stelsel voldoet dus inderdaad aan de norm die Rotterdam stelt.

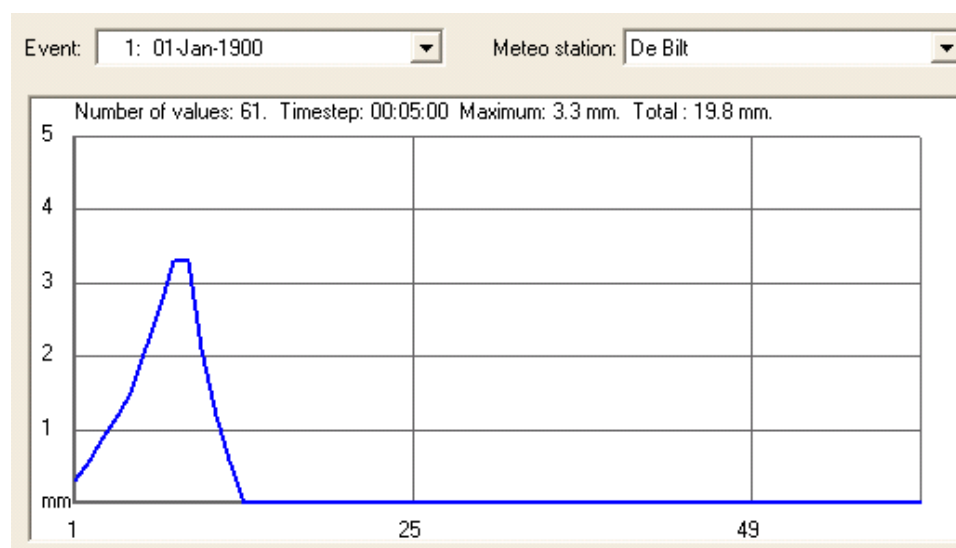
Vervolgens laat figuur 3.3 een situatie zien zoals berekend met de reeks van het KNMI te de Bilt na correctie voor de situatie van Rotterdam (dus een neerslagreeks +14%). De gepresenteerde situatie laat een vergelijkbare systeemreactie zien.

Tenslotte laat figuur 3.5 de systeemreactie zien na belasting met de neerslag van 11 december 1958 maar dan geconverteerd naar klimaatscenario W 2050. Deze conversie is berekend met een programma dat door het KNMI is ontwikkeld. Met het programma kunnen gemeten neerslagreeksen worden geconverteerd naar reeksen met klimaatverandering. De neerslagsom neemt hierbij toe met circa 50%. Dat is overigens meer dan de gemiddelde toename van 25% voor het W 2050 scenario. Het is daarmee waarschijnlijk een bovengrensbepijndering. De duur van water op straat in het kritische gebied van het stelsel neemt echter toe met een factor van circa 3. De duur van water op straat ligt nu in de orde van 4000 tot 6000 seconden. Met andere woorden: een belasting toename met een factor 1,5 levert een toename in de duur van water op straat op met een factor 3. Dat is dus een niet lineair effect.

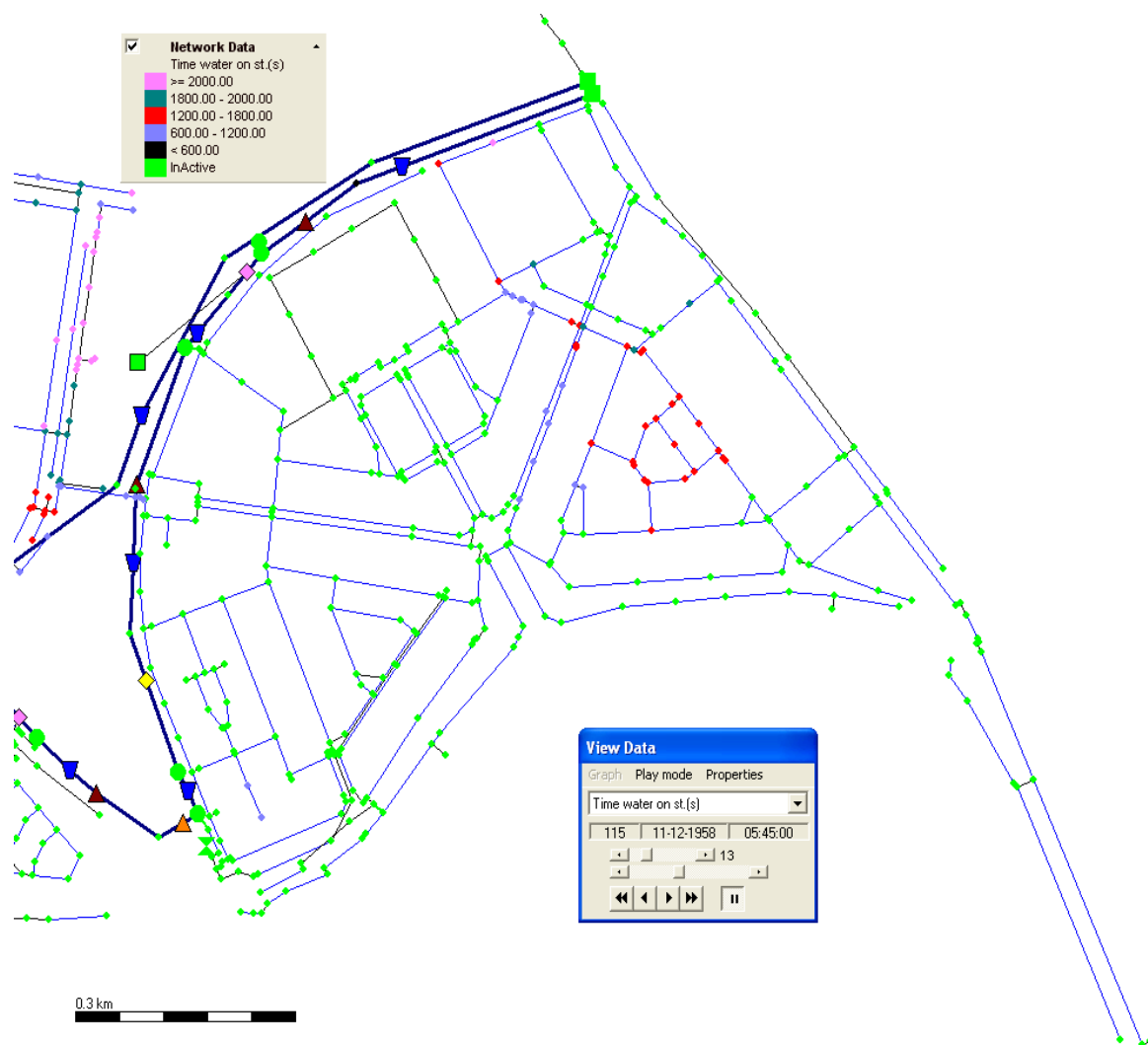
Opmerking: het betreft hier een verkenning op basis van één gebeurtenis. Om onderbouwde conclusies te kunnen trekken zou een aantal berekeningen moeten worden gemaakt. De uitgevoerde berekeningen zijn gemaakt om een eerste indruk te krijgen van de effecten van klimaatverandering maar ook om de rekenmethode te toetsen.



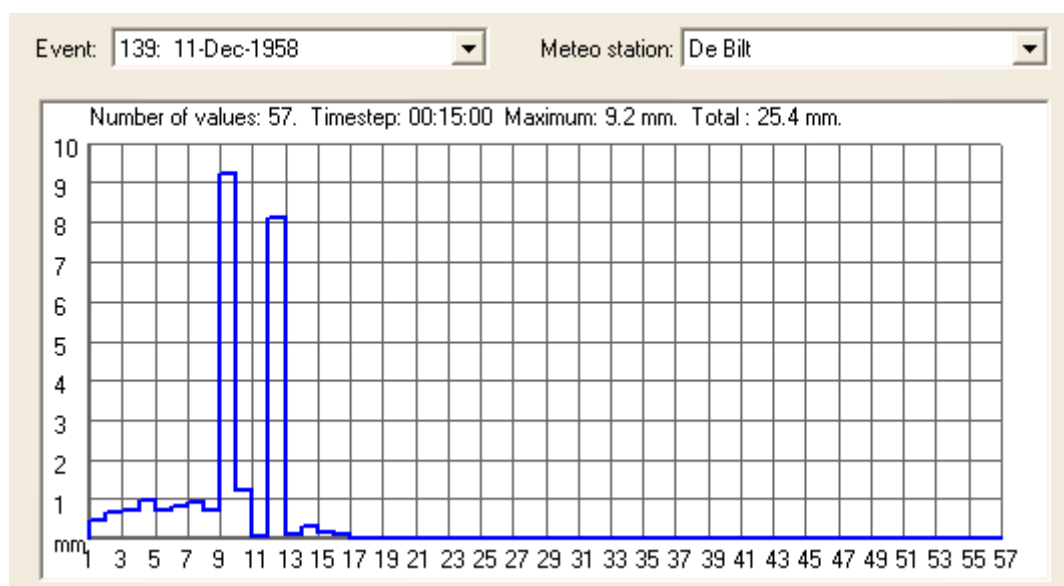
Figuur 3.1 Water op straat (Bui8)



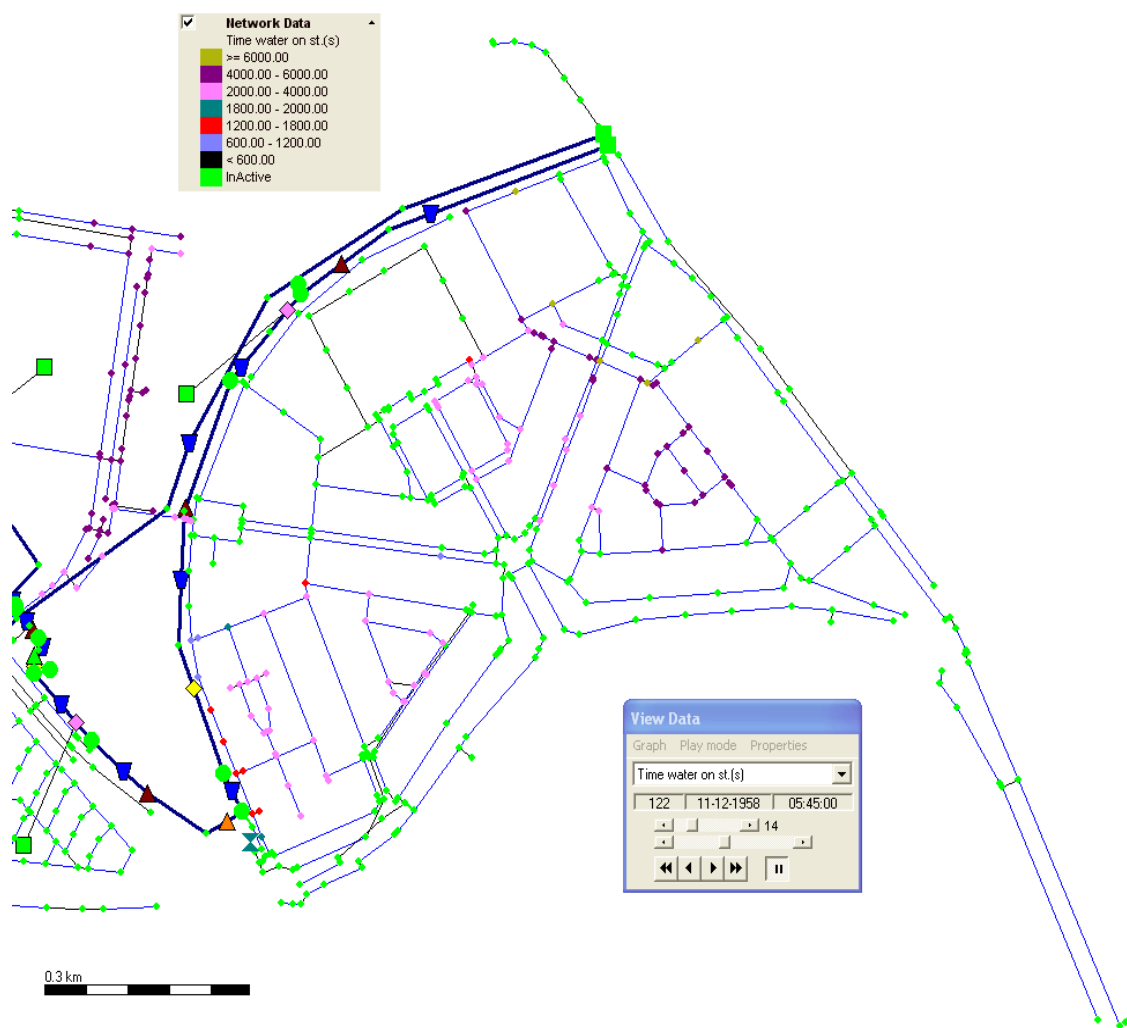
Figuur 3.2 Bui 8 Leidraad Riolerings



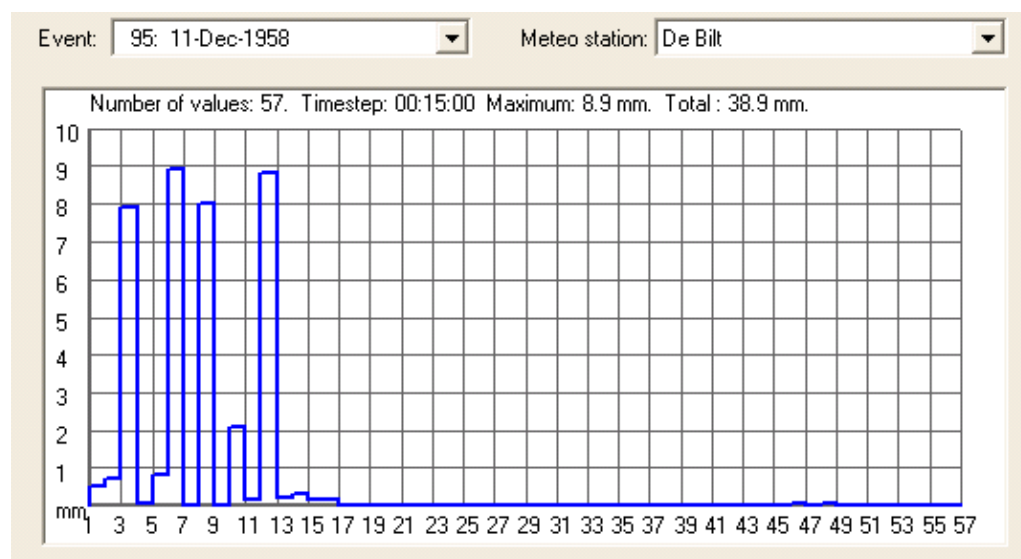
Figuur 3.3 Water op straat (situatie 11-12-1958 met correctie voor Rotterdam)



Figuur 3.4 NMI bui van 11-12-1958 met correctie voor Rotterdam



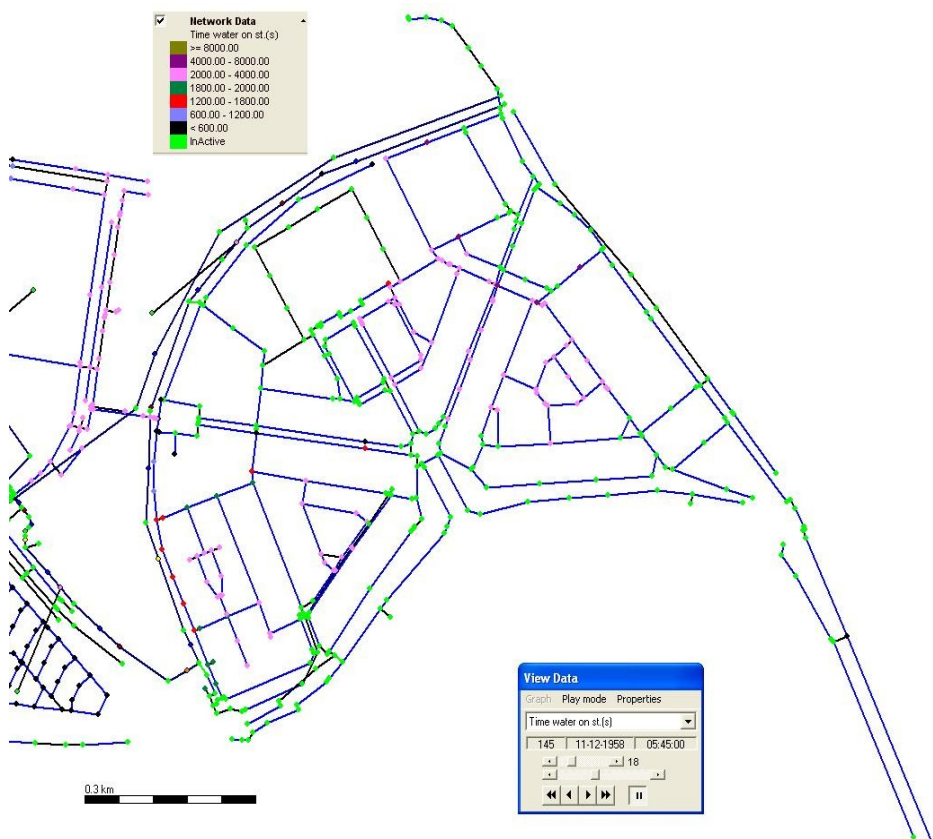
Figuur 3.5 Water op straat (situatie bui 11-12-1958 na klimaatscenario W-2050)



Figuur 3.6 bui van 11-12-1958 na conversie met klimaatscenario W-2050

3.3.2 Effect toepassing groene daken

Om een eerste inzicht te krijgen in het effect van maatregelen is onderzocht in welke mate het toepassen van vegetatie- of groene daken zou kunnen helpen om piekafvoeren en de wateroverlast die daarmee gepaard gaat te beperken. Ook hier betreft het een modelberekening die nader getoetst zou moeten worden aan praktijkwaarnemingen. In het model is aangenomen dat op een plat vegetatiedak ongeveer 10 mm neerslag geborgen kan worden. Indien er meer neerslag valt dan stroomt deze naar de riolering in de straat. Het geval wil dat in de wijk Spangen ongeveer 30% van het verharde oppervlak bestaat uit platte daken. Deze maatregel lijkt dus voor deze wijk een goede optie te zijn. Na doorrekening van het effect van de toepassing van groene daken voor Spangen blijkt een aanzienlijke reductie van duur en uitgebreidheid van de wateroverlast. De reductie ten opzichte van de eerder berekende waarden voor het klimaatscenario W 2050 is ongeveer 50%. De duur van overlast zou in het geval van Spangen door toepassing van vegetatiedaken nog wel toenemen ten opzichte van de huidige situatie zonder klimaatverandering.



Figuur 3.7 Effect toepassing groene daken voor situatie W 2050

3.3.3 conclusies en aanbevelingen riolering

Indien het huidige rioolstelsel niet zou worden aangepast vanwege klimaatverandering zullen periodes van kortdurende wateroverlast toenemen wat betreft hun frequentie en duur. Beide aspecten nemen sterk niet lineair toe. Bij een toename van een buivolume van 50% blijkt voor het riool-district Spangen dat de duur van wateroverlast met een factor 3 toe neemt en het gebied waar water op straat zal voorkomen neemt toe met een factor 2. Deze effecten kunnen niet worden veralgemeniseerd maar geven wel aanleiding tot verder onderzoek.

Het exact bepalen van de verwachte toename van de neerslag voor de verschillende klimaatscenario's moet nog nader worden onderzocht. Dit is immers de basis voor het bepalen van de ernst van de effecten.

3.4 Stedelijk oppervlaktewatersysteem

Van het stedelijk oppervlaktewatersysteem is een inmiddels gedateerd model beschikbaar in SOBEK Ru-ral/Channelflow/Urban. Het model betreft Rotterdam-Zuid. Dit deel van de stad kenmerkt zich door delen met relatief veel oppervlaktewater (Zuiderpark) en door delen met slechts enkele singels. Het model bevat zowel verhard als onverhard gebied, alsmede het oppervlaktewatersysteem op strengniveau. De stedelijke riolering is als reservoirmodel meegenomen en geeft daarom geen informatie over het gedrag van het rioolstelsel. Alleen de afvoer van het rioolstelsel richting zuivering en oppervlaktewatersysteem wordt berekend. Het model is niet up to date maar doel van deze studie is niet om de werkelijkheid exact na te bootsen. Het oppervlaktewatersysteem is echter wel in detail gemodelleerd (als kanalen, duikers en overige constructies). Daarom is het model geschikt om de effecten van klimaatverandering op het stedelijk oppervlaktewatersysteem te bepalen. Het model is beschikbaar gesteld door het waterschap Hollandse Delta.

De analyse is als volgt uitgevoerd:

1. Doorrekening van Rotterdam-Zuid met de 80 jarige reeks zoals die geldt voor Rotterdam. Deze reeks heet 'Rotterdam 80-years current'
2. Bepalen maximale peilstijgingen per berekende gebeurtenis. Bepalen peilstijging bij $T=10$ jaar en bij $T = 100$ jaar.
3. Doorrekening van Rotterdam-Zuid met de geconverteerd 80 jarige reeks zoals die geldt voor Rotterdam. Deze reeks heet 'Rotterdam 80-years W-2050'
4. Bepaling herhalingstijd van onder punt 2. berekende peilstijgingen

Toelichting stap 4.

Het is ook mogelijk om de peilstijgingen te bepalen bij herhalingstijden van $T=10$ en $T=100$ jaar. Echter, het interpreteren van dergelijke informatie is moeilijk. Wat zegt het wanneer de huidige peilstijging bij $T = 10$ jaar bijvoorbeeld 40 centimeter is en na klimaatverandering 50 centimeter. Is dat erg? Het waterschap toetst bij $T = 100$ jaar. En eist dan nog een bepaalde waking. Het kan natuurlijk zijn dat door klimaatverandering de waking te klein wordt. Is dat dan de norm voor het bepalen van het effect? Dit zijn kwesties die zich nog moeten uitkristalliseren. Daarom is gekeken wat er met de herhalingstijd gebeurt van de peilstijgingen bij respectievelijk $T=10$ jaar en $T=100$ jaar. Dan blijkt uiteraard dat deze herhalingstijden dalen en dat dus de frequentie van voorkomen van deze waterstanden stijgt.

De resultaten voor de berekeningen van het oppervlaktewatersysteem zijn voor twee locaties gepresenteerd. Het betreft een locatie in het systeem van Lombardijen (Lomb-15) en een locatie in het Zuiderpark (Park16).

De resultaten zijn samengevat in tabel 3.1 en gepresenteerd in de figuren 3.8 en 3.9. Het blijkt dat de resultaten per punt verschillen. Verder is te zien dat bij in de huidige situatie met een gemiddelde herhalingstijd van 10 jaar in het Zuiderpark een peilstijging plaats vindt van 32 centimeter. Bij het klimaatscenario W-2050 wordt dat een herhalingstijd van 6 jaar. In de situatie van een huidige gemiddelde herhalingstijd van 100 jaar hoort bij het Zuiderpark een peilstijging van 73 centimeter. In het klimaat-scenario W-2050 wordt dat een gemiddelde herhalingstijd van 23 jaar.

Tabel 3.1 Resultaten effect klimaatscenario W-2050 op het oppervlaktewatersysteem

locatie	huidige peilstijging (m)		toekomstige peilstijging (m)	
park 16	0,32	0,73	0,32	0,73
	T=10 jaar	T=100 jaar	T=6 jaar	T=38 jaar
lomb_15	0,36	0,94	0,36	0,94
	T=10 jaar	T=100 jaar	T=7 jaar	T=69 jaar

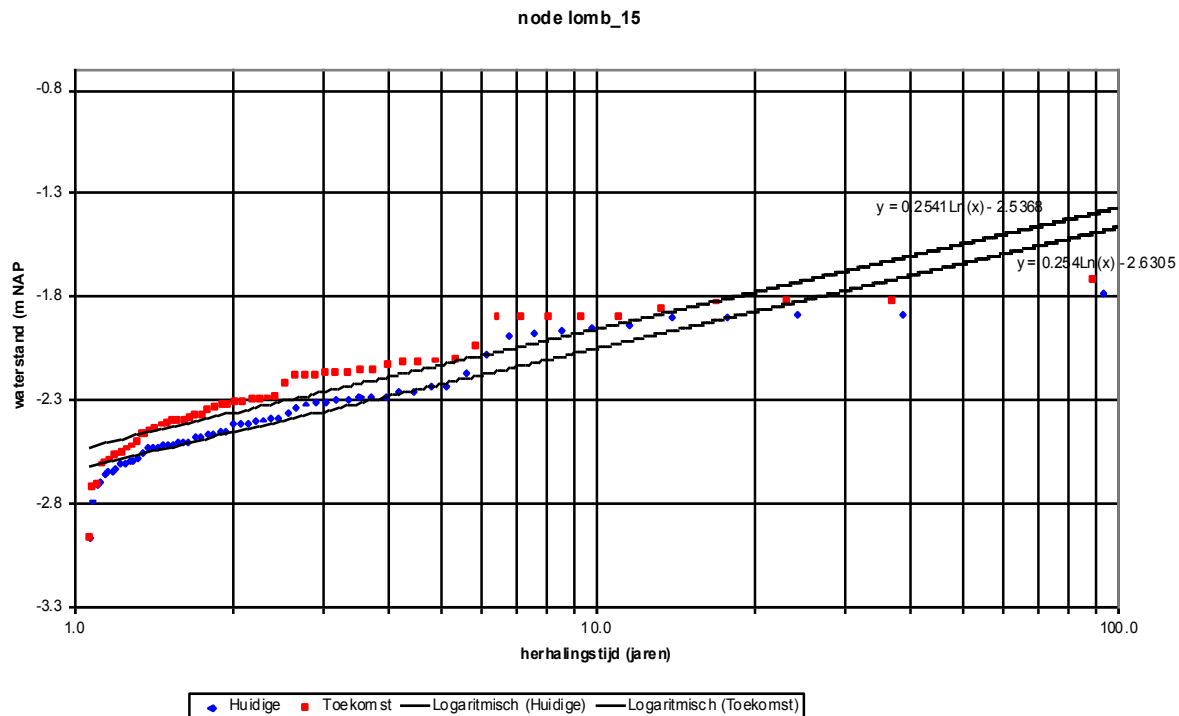
Indien uit wordt gegaan van het volledig compenseren van de stijging van de waterstand bij een herhalingstijd van 100 jaar, zou voor het Zuiderpark een extra open water oppervlak van 16,6 ha moeten worden aangelegd. Voor Lombardijen gaat het om 16,7 ha. De berekening van het oppervlak open water wordt aangehouden een effectieve peilstijging van 0,4 meter. Dit is gebruikelijk voor deze berekening.

In de huidige situatie bedraagt het percentage open water voor het gebied Zuiderpark en Lombardijen tezamen circa 3% van het gehele gebied. Dat zou moeten toenemen tot 5 % om te compenseren voor de berekende klimaatverandering voor het scenario W 2050.

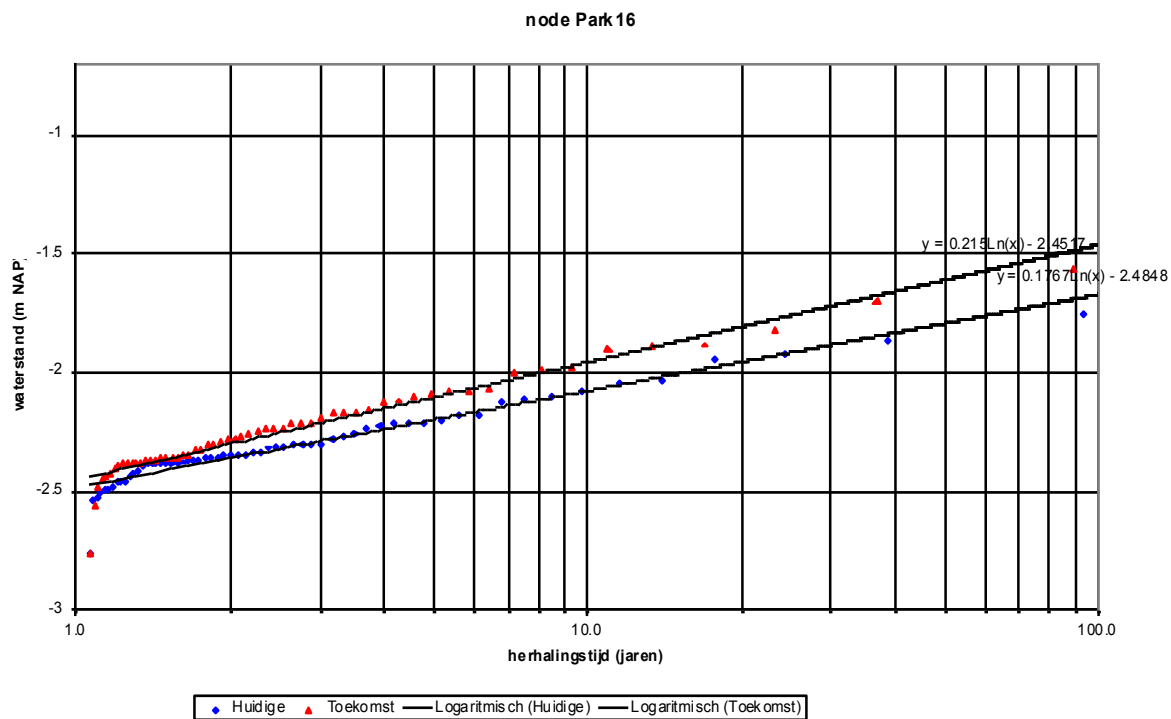
3.4.1 Conclusie en aanbevelingen oppervlaktewatersystemen

Een eerste verkenning van de effecten van het klimaatscenario W 2050 levert op dat de herhalingstijd van peilstijgingen ruwweg halveren voor de beschouwde herhalingstijden van 10 en 100 jaar. Tevens blijkt voor de onderzochte locaties dat het benodigde open wateroppervlak om de peilstijgingen met een herhalingstijd van 100 te compenseren ongeveer 50 % bedraagt van het huidige oppervlak.

Het exact bepalen van de verwachte toename van de neerslag voor de verschillende klimaatscenario's moet nog nader worden onderzocht. Dit is immers de basis voor het bepalen van de ernst van de effecten.



Figuur 3.8 Berekende waterstanden Lombardijen, huidige situatie en W-scenario 2050



Figuur 3.9 Berekende waterstanden Zuiderpark, huidige situatie en W-scenario 2050

3.5 Stedelijk grondwater

3.5.1 Grondwateroverlast

Er is sprake van een te hoge grondwaterstand wanneer de grondwaterstand structureel te dicht bij het maaiveld staat en stedelijke functies schade ondervinden. Verschillende objecten in de stedelijke omgeving kunnen schade leiden door te hoge of te lage grondwaterstanden. Er is sprake van grondwateroverlast wanneer door structureel hoge grondwaterstanden de volgende overlastsituaties optreden:

- water in de kruipruimte of kelder veroorzaakt optrekkend vocht en schimmelvorming in de woning. Dit kan leiden tot gezondheidsrisico's en schade aan de woning;
- natte tuinen kunnen leiden tot onder meer schade aan beplanting en voorzieningen in de tuin;
- verweking en opvriezen van het wegdek leidt tot vermindering en zelfs directe schade aan wegen;
- vernatting van groenvoorzieningen leidt tot schade aan beplanting en kan zelfs leiden tot het omvallen van bomen.

In de literatuur zijn diverse criteria voor ontwateringsdiepte per inrichtingsvorm opgenomen als richtlijn, zoals opgenomen in tabel 3.1. Deze criteria zijn gebaseerd op praktijkervaring aangaande wenselijke ontwateringsdieptes bij verschillende inrichtingsvormen (SBR, 2007).

Tabel 3.1: Criteria voor ontwateringsdiepte

gebruiksfunctie	ontwateringsdiepte (m beneden maaiveld)
<u>Verantwoordelijkheid gemeente:</u>	
Primaire wegen	1,00
Secundaire wegen	0,70
Tuinen, plantsoenen, parken en sportvelden	0,50
<u>Verantwoordelijkheid perceeleigenaar:</u>	
Woningen/gebouwen met kruipruimte	0,70*
Woningen/gebouwen zonder kruipruimte	0,50*

** afhankelijk van het vloerpeil van de woning en de dikte van de vloer; uitgangspunt is een grondwaterstand van 10 á 20 cm onder de onderkant van de kruipruimte of 50 cm onder de onderkant van de vloer bij kruipruimteloos bouwen*

Voor gebouwen geldt dat niet alle gebouwen evenveel schade door te hoge grondwaterstanden ondervinden. Sinds de jaren '90 is in het Bouwbesluit opgenomen dat de begane grond vloer waterdicht moet worden aangelegd. Ook worden woningen tegenwoordig steeds meer kruipruimteloos aangelegd. Beide maken dat te hoge grondwaterstanden maar beperkt tot overlast leiden. Bebouwing van voor de jaren '60 is vaak aangelegd met een houten begane grond vloer en een kruipruimte. Bij te hoge grondwaterstanden kan het hout gaan rotten. Deze bebouwing is dus zeer gevoelig voor grondwateroverlast. Bebouwing aangelegd tussen '60 en '80 is in de regel wel aangelegd met een betonnenvloer, maar die is vaak niet waterdicht. Deze bebouwing is dus wel gevoelig voor grondwateroverlast, maar in minder dan oudere bebouwing met een houten vloer.

Om de grondwateroverlast in verschillende wijken van Rotterdam te vergelijken is gekozen om te kijken naar de ontwateringsdiepte per wijk. Hiervoor zijn in vijf gekozen raaien de grondwaterstandsmetingen gelegen in de wijken Kralingen Spang-Mathenesse, Kralingse Veer, Oud-Charlois en Bloemhof Hillesluis geanalyseerd. De grondwaterstandsmetingen zijn voor de periode 1982-heden geanalyseerd waarbij de minimale, maximale, gemiddelde

grondwaterstanden van deze grondwaterstanden zijn berekend. Hierna is de ontwateringsdiepte berekend door de grondwaterstand af te trekken van de maaiveldhoogte. In tabel 3.2 is te zien dat de meeste grondwateroverlast plaats vindt in Kralingse Veer. De minimale ontwateringsdiepte is hier slechts 0.26m en in 209 meettijdstippen van grondwaterstanden is de ontwateringsdiepte groter dan 0.7m. Spangen-Mathenesse kan ook te maken hebben met grondwateroverlast, maar in geringere mate dan Kralingse Veer. Verder is in deze tabel te zien dat Kralingen en Oud-Charlois minder risico hebben op grondwateroverlast.

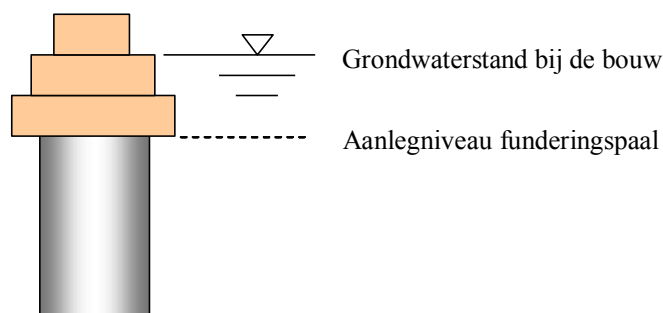
Tabel 3.2: analyse grondwateroverlast

	Kralingen	Spangen-Mathenesse	Kralingse Veer	Oud-Charlois	Bloemhof/Hillesluis
Min ontwateringsdiepte [m-mv]	0.81	0.58	0.26	0.98	0.51
Max ontwateringsdiepte [m-mv]	3.07	2.81	1.36	2.01	2.52
Gemiddelde ontwateringsdiepte [m-mv]	1.64	1.73	0.80	1.50	1.54
Frequentie: ontwateringsdiepte > 0.7m	0	32	209	0	2

Hoe de grondwateroverlast zal toenemen is nog onduidelijk. Lokale factoren zijn veelal meer bepalend voor het al dan niet optreden van grondwateroverlast. Voorts voert de Gemeente Rotterdam een actief beleid om drainagemiddelen mee te leggen bij rioolrenovatie. Dit vermindert de grondwateroverlast ter plekke. Wel is het duidelijk dat de ontwateringsdiepte in de onderzochte wijken nu al tamelijk gering is. Een beperkte toename van de hoeveelheid en intensiteit van de neerslag zal al leiden tot meer grondwateroverlast bij oudere bebouwing en maakt grote delen van Rotterdam afhankelijk van drainagemiddelen.

3.5.2 Grondwateronderlast

In de klei- en veengebieden in het noorden en westen van Nederland worden gebouwen gefundeerd op palen om schade door zetting van het maaiveld tegen te gaan. In het verleden gebruikte men daarbij alleen houten funderingspalen. Zolang de houten funderingspaal geheel onder de grondwaterstand is blijft deze intact. Door verlaging van de grondwaterstand kan de houten paalkop droogvallen en gaan rotten. Deze 'grondwateronderlast' kan optreden wanneer de grondwaterstand daalt tot beneden het aanlegniveau van de houten paalkop van historische bebouwing (figuur 3.10). In deze paragraaf zijn de problemen voor een viertal wijken van Rotterdam geïnventariseerd.



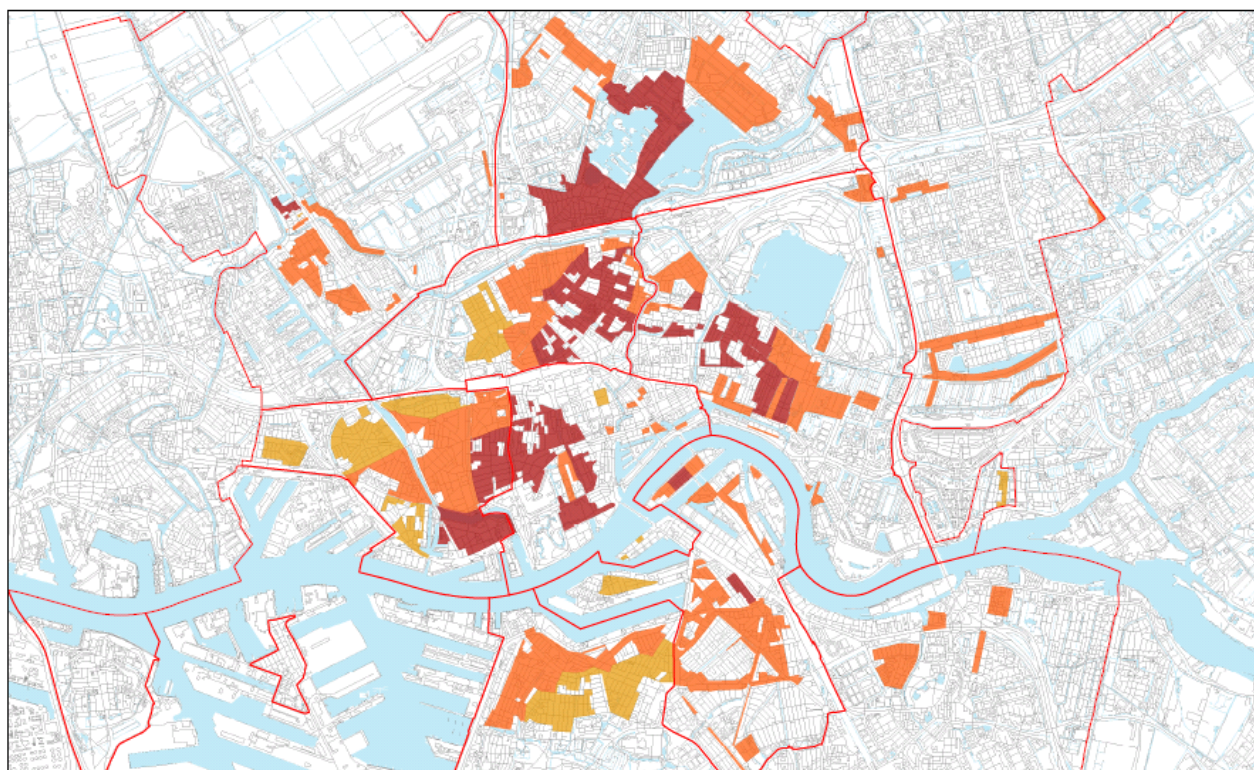
Figuur 3.10: aanlegniveau houten funderingspalen en grondwaterstandfluctuatie

In tabel 3.3 is te zien dat met name Kralingen en in mindere mate Spangen-Mathenesse in de huidige situatie al grondwaterstanden kent die lager zijn dan het aanlegniveau van de paalkop. In de eerste rij van de tabel is het percentage panden dat funderingsproblemen heeft ter plaatse van de geanalyseerde raaien weergegeven. Deze getallen zijn gehaald uit de kaart in figuur 3.11 (risicogebieden houten paalfunderingen Rotterdam) verkregen van Gemeentewerken Rotterdam. Deze kaart geeft een percentage van het aantal panden met funderingsproblemen weer op basis van binnengekomen meldingen van inwoners. Te zien is dat Kralingen en Spangen-Mathenesse het meeste meldingen heeft binnengekregen. Verder is het verschil tussen de minimale grondwaterstand en het minimale aanlegniveau van de paalkop in Kralingen het grootst. Hierbij dient gezegd te worden dat het om een uitschieter in de metingen gaat, zie de grafiek met de grondwaterstandsmetingen voor Kralingen. Verder zie je ook dat de gemiddelde grondwaterstand in Kralingen beneden het gemiddelde aanlegniveau van paalkoppen ligt (0.17m). In de overige wijken ligt de gemiddelde grondwatersand wel boven het aanlegniveau van de paalkoppen. Uit deze analyse komt naar voren dat Kralingen het grootste risico heeft op problemen met houten funderingen door grondwateronderlast.

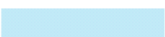
Tabel 3.3: analyse grondwateronderlast

	Kralingen	Spangen-Mathenesse	Oud-Charlois	Bloemhof/Hillesluis
Percentage aantal panden met funderingsproblemen tpv gws metingen *	1-30%	1-30%	1-5%	1-5%
verschil minimale grondwaterstand – minimaal aanlegniveau paalkop [m]	-0.45 (slechts 1 meting, uitschieter)	-0.25	-0.1	-0.2
verschil maximale grondwaterstand – minimaal aanlegniveau paalkop [m]	1 (hierbij metingen bij kralingse plas niet meegenomen, omdat hier geen info aanlegniveau paalkopfunderingen)	2.25 (meting 128565 niet meegenomen)	1.25	1
Verskil gemiddelde grondwaterstand - gemiddelde aanlegniveau paalkop [m]	-0.17 (hierbij metingen bij kralingse plas niet meegenomen, omdat hier geen info aanlegniveau paalkopfunderingen)	0.3	0.3	0.65

* Informatie verkregen van Gemeentewerken Rotterdam: "Risicogebieden Houten Paalfunderingen Rotterdam, dossiernr: 2006-047, 16-9-2008)



Legenda

	Deelgemeentegrenzen
	Funderingsproblemen houten paalfunderingen <1% van het aantal panden
	Funderingsproblemen houten paalfunderingen 1% tot 5% van het aantal panden
	Funderingsproblemen houten paalfunderingen 5% tot 30% van het aantal panden
	Oppervlaktewater

Figuur 3.11 Risicokaart houten paalfunderingen Rotterdam

3.6 Effecten van klimaatverandering op de kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater

Kwantitatieve informatie over de kwaliteit van het oppervlaktewater specifiek in het stedelijk gebied is schaars. Ook stedelijk oppervlaktewater moet voldoen aan de eisen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) van een goede chemische en ecologische kwaliteit, maar omdat het hier in het algemeen om morfologisch niet-natuurlijke waterlopen gaat is er niet direct een duidelijke referentie. Deze notitie is daarom vooral oriënterend en kwalitatief van opzet. Uitgaande van de huidige situatie en van de verwachte veranderingen in het klimaat en daarop volgende reacties in gedrag en beleid wordt geschetst waar bij veranderend klimaat mogelijke knelpunten liggen voor wat betreft de kwaliteit van het water in het oppervlaktewatersysteem.

3.6.1 Uitgangspunten

Huidige problemen t.a.v. waterkwaliteit (Waterplan 2, Rotterdam):

- te hoge concentraties nutriënten (vooral fosfor)
 - algenbloei in zwemwater
 - lage zuurstofconcentraties
- overschrijding normen voor metalen
- overschrijding normen bestrijdingsmiddelen
- effecten van inrichting op kwaliteit
- i.h.a. onvoldoende ecologische kwaliteit

Verwachte klimaatverandering (zie conceptueel model Geerse, 2009):

- hogere T (zowel in zomer als winter)
- langere droge periodes in zomer, heftiger neerslag-episoden
- meer neerslag in winter
- in totaal meer neerslag
- minder aanvoer rivierwater in zomer, meer in winter
- zeespiegelstijging, verder indringen zouttong in opp. water

Verwachte adaptaties aan klimaatverandering:

waterbeheer en beleid:

- vergroten bergend vermogen stedelijk oppervlakte water, o.a. via blauwe pleinen
- afkoppeling regenwaterafvoer
- i.h.a. vergroten zelfvoorzienendheid, dus minder afhankelijk van en minder afwenteling op buitenstedelijk gebied (de Graaf et al., 2007)

bevolking:

- meer waterrecreatie binnen en nabij stad
- meer waterverbruik voor baden en wassen, dus relatief hogere riool-afvoerdebieten in warme en droge periodes

3.6.2 Mogelijke effecten voor de waterkwaliteit

Plagen en bestrijding daarvan

Als gevolg van de hogere temperatuur neemt de winter-overlevingskans van bijvoorbeeld muggen toe. Ook andere plagen zouden bij hogere temperatuur frequenter kunnen worden en moeilijker te bestrijden zijn. Als daarom meer of andere bestrijdingsmiddelen worden ingezet, zullen deze deels ook terug te vinden zijn in het stedelijk oppervlaktewater met mogelijk negatieve effecten voor de oppervlaktewater ecosystemen (Budd et al., 2007; Hintzen et al., 2009). Vanwege de omgevings-temperatuurstijging wordt verwacht dat ook de kans op het

voorkomen van legionella in de drinkwataeraanvoer toe zal nemen, en is al gesuggereerd om daarom ook in Nederland over te gaan op drinkwater chlorinering (van Bronswijk, ND 24 aug. 2009). Niet alleen zijn de bij-producten daarvan niet geheel onschadelijk voor de gezondheid, maar ook is er een effect op oppervlaktewater-ecosystemen te verwachten. Extra waterzuivering is mogelijk ook aan de orde bij blauwe pleinen, ook daarvan moet het effect op kwaliteit binnen het oppervlaktewatersysteem als geheel worden bekeken.

Nutrienten, verontreinigingen

Als onvoldoende resultaat behaald wordt bij het verminderen van de nutrienten in het oppervlaktewater, zal als gevolg van de stijgende temperatuur ook de frequentie van algenbloeien toe kunnen nemen. De toename van de waterrecreatie stelt enerzijds hogere eisen aan de oppervlaktewater kwaliteit, en brengt anderzijds die kwaliteit juist in gevaar. Het gaat daarbij naast nutrienten en biologische kwaliteit ook om de mogelijke invloed van zogenaamde PPCP (pharmaceuticals & personal care products, Erikson et al, 2008), waaronder bijvoorbeeld ook anti-zonnebrand middelen. Ook hier geldt dat gekeken moet worden wat het effect is van een eventuele zuiverings-inspanning voor het zwemwater op het totale systeem.

Run-off van geplaveide oppervlakken wordt in het algemeen gezien als een belangrijke potentieel negatieve bijdrage aan de kwaliteit van het oppervlaktewater vanwege het gehalte aan PAKs, PCBs en metalen (Keliang et al., 2007; Jartun et al., 2008). Studies hiernaar zijn mede gedaan in het kader van de keuze om regenwaterafvoer wel of niet af te koppelen van de riolering (bijv. Boogaard et al, 2003). Verwacht wordt dat de klimaatverandering ook nadelige effecten zal hebben voor de verwerking van gebouwen (Brimblecombe & Grossi, 2007). Mogelijk zal ook de bijdrage aan stoffen in de run-off vanuit andere bronnen dan alleen bouwmaterialen (bijv. autobanden, remmen, asfalt) toenemen tengevolge van een warmer en vochtiger klimaat.

Een extremer neerslagregime van langere droge perioden afgewisseld met forsere buien betekent ook dat de potentiële toevoer via run-off van verontreinigingen naar het oppervlakte water een sterker episodisch karakter krijgt. Voor het lokale watersysteem kan dit zowel voordelig als nadelig uitpakken. Voordelig is dat de verontreiniging letterlijk van voorbijgaande aard is, nadelig is dat piekconcentraties of vrachten acute ecosysteem-toxiciteitsgrenzen kunnen overschrijden. Als vanuit de wens van meer zelfvoorzienendheid overgegaan wordt tot het vertragen van piek run-off of het on site reiniging en hergebruik van regenwater/run-off, dan draagt dit bij aan een vermindering van de verontreinigingsvracht vanuit deze bron naar het stedelijk oppervlaktewater (Jones & Macdonald, 2007; Nolde, 2007).

Het grondwater onder stedelijk gebied bevat nog vaak aanzienlijke verontreinigingspluimen van bijvoorbeeld VOC. De invloed daarvan op de oppervlaktewater-kwaliteit lijkt alsnog beperkt (Ellis & Rivett, 2007).

Balans tussen neerslag, rivieraanvoer en grondwataeraanvoer(kwel)

In de winter is meer neerslag te verwachten, maar in deze periode is ook de aanvoer vanuit de rivier het grootst, en zal op plaatsen waar het peilbeheer minder direct invloed heeft, het grondwater hoger staan. Zonder uitgebreidere modellering valt niet te voorspellen wat dit betekent voor de relatieve bijdrage van deze drie componenten aan het oppervlaktewatersysteem en daarmee voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. In de zomer is er eveneens meer neerslag, maar door de grotere piek-frequentie wordt een groter deel afgevoerd via het rioolstelsel of rechtstreeks via run-off naar het oppervlaktewater, en zal er minder infiltratie en grondwataeraanvulling zijn binnen de stad. Ook vanwege de overwegend lagere rivieraanvoer zal op plaatsen het grondwaterpeil meer dalen. Ook in de zomersituatie valt niet direct te voorspellen wat de onderlinge verhouding tussen rivier-, grondwater- en neerslag-

aanvoer voor het oppervlakte water zullen zijn. In aanvulling op modelberekeningen kan met behulp van chemische tracers (bijvoorbeeld “antropogeen Gd”, Knappe et al, 2005) mogelijk meer inzicht gekregen worden in de mengverhoudingen.

Duidelijk is in ieder geval dat, buiten de piekperioden, de gecombineerde aanvoer ‘s zomers minder zal zijn. Hierdoor is er mogelijk niet altijd voldoende verversing van het oppervlaktewater (doorstroming) wat een risico voor de biologische en ecologische kwaliteit betekent. De plotseling grotere doorspoeling tijdens piekperioden (ook als de totale bergingscapaciteit voldoende vergroot is) heeft (naast chemische, zie hierboven) mogelijk morfologische effecten binnen het stedelijk oppervlaktewatersysteem en daarmee ook effecten op de ecologie.

Het vergroten van de interne waterberging binnen de stad kan bereikt worden door vergroting van het areaal (potentieel) oppervlaktewater, maar ook door fluctuatie naar hogere grondwaterpeilen toe te staan. Vanuit een beleidsdoel van meer zelfvoorzienendheid komt het laatste ook meer in beeld. De keuzes die hierin gemaakt worden beïnvloeden zowel op de korte termijn van een bui, als op de langere termijn van seizoenen, de relatieve bijdragen van de verschillende typen aanvoer naar het oppervlaktewater en daarmee de kwaliteit.

Verandering van en grotere variatie in het type aangevoerde water kan de efficiënte van RWZI's beïnvloeden. Een groter waterverbruik in droge warme periodes vergroot de bijdrage van water met van oorsprong drinkwaterkwaliteit (met daarin zepen/wasmiddelen) aan de toevoer naar de RWZI's en/of de overstorten. Bij niet-afkoppelen leiden piekbuien tot een hogere bijdrage aan water met van oorsprong regenwaterkwaliteit, bij wel afkoppelen neemt over het hele jaar deze bijdrage juist af. In die laatste situatie bereikt meer neerslagwater het oppervlaktewater-systeem via het grondwater.

Indringen zouttong

Ook brak oppervlaktewater kan van goede chemische en ecologische kwaliteit zijn en visueel aantrekkelijk. Uiteraard moet het ecosysteem de kans krijgen zich aan te passen aan deze omstandigheden. Slechte doorstroming vormt bij brak water een extra risico, vanwege mogelijke sulfidevorming en stankoverlast.

3.6.3 Voorlopige conclusie

Vanwege de beperkte kwantitatieve informatie en verdere onzekerheden is een eenduidige prioritering van thema's of kennisleemten moeilijk te geven. Op basis van de ernst van de potentiële gevolgen verdient plaagontwikkeling (inclusief algenbloei) en de effecten van de bestrijding daarvan zeker aandacht. Voor de ontwikkeling naar meer zelfvoorzienendheid lijkt allereerst meer kwantitatieve kennis nodig over de samenstelling van stedelijk regenwater/run-off en de mogelijkheden tot on-site reiniging.

4 Toekomstige eisen

Hoewel de resultaten van deze verkenning niet zonder meer kunnen worden vertaald naar andere wijken, kan worden gesteld dat wateroverlast en droogte vaker en op meer plaatsen zal optreden en meer schade zal veroorzaken aan stedelijke functies. Het watersysteem zal in de toekomst niet meer voldoen aan de gestelde eisen. Wanneer het omslagpunt is, kan op dit moment nog niet worden aangegeven. Deels hangt dat af van de gradualiteit van de klimaatsverandering.

De gevolgen van klimaatsverandering op het functioneren van het stedelijk watersysteem lijken niet zodanig van aard te zijn dat acuut en actief ingrijpen nodig is. Wel dient in de planontwikkeling duidelijk rekening gehouden te worden met de gevolgen van klimaatsverandering.

Literatuur

TNO, 2007, Schetsen van het Nederlandse grondwatersysteem in 2050, TNO-rapport 2007-U-R0225/B

Gemeentewerken Rotterdam, 2005, Waterplan Kralingen-Crooswijk, Deelstudie inventarisatie knelpunten grondwater, projectcode 2005-0616, interne rapportage

SBR, 2007, Ontwatering in stedelijk gebied, GD112-7 Publicatie in kader Beter Bouw- en Woonrijpmaken

Oude Essink, G.H.P., 2007, Effect zeespiegelstijging op het grondwatersysteem in het kustgebied, H₂O, nr. 19, 60-64

Beter Bouw en Woonrijp Maken, SBR, 2009, Waterrobuust Bouwen, de kracht van kwetsbaarheid in een duurzaam ontwerp, ISBN: 978 90 5367 496 3

TNO, 2007, Inventarisatie van hersteltechnieken bij problemen met houten funderingen

Bogaard, D.F., van der Meijden, H. en Speelman, J., 2003. Onderzoek naar samenstelling en kwaliteit afstromend regenwater in steden: nieuwe beslisboom voor aan- en afkoppelen verharde oppervlakken. *H₂O* **36**:(18)41-43.

Brimblecombe, P. and Grossi, C.M., 2007. Damage to Buildings from Future Climate and Pollution. *APT Bulletin* **38**:13-18.

Budd, R., Bondarenko, S., Haver, D., Kabashima, J. and Gan, J., 2007. Occurrence and Bioavailability of Pyrethroids in a Mixed Land use Watershed. *Journal of Environmental Quality* **35**:1006-1012.

Ellis, P.A. and Rivett, M.O., 2007. Assessing the impact of VOC-contaminated groundwater on surface water at the city scale. *Journal of Contaminant Hydrology* **91**:107-127.

Eriksson, E., Andersen, H.R. and Ledin, A., 2008. Substance flow analysis of parabens in Denmark complemented with a survey of presence and frequency in various commodities. *Journal of Hazardous Materials* **156**:240-259.

Graaf, R.de, van der Brugge, R., Lankester, J., van der Vliet, W. and Valkenburg, L., 2007. Local water resources and urban renewal. A Rotterdam case study. Proceedings NOVATECH 2007, SESSION 1.3 189-196.

Hintzen, E.P., Lydy, M.J. and Belden, J.B., 2009. Occurrence and potential toxicity of pyrethroids and other insecticides in bed sediments of urban streams in central Texas. *Environmental Pollution* **157**:110-116.

Jartun, M., Ottesen, R.T., Steinnes, E. and Volden, T., 2008. Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps. *Science of the Total Environment* **396**:147-163.

Jones, P. and Macdonald, N., 2007. Making space for unruly water: Sustainable drainage systems and the disciplining of surface runoff. *Geoforum* **38**:534-544.

Keliang, C. Xiaodong, Z. and Xianghua, M.Y., 2007. Study on Management and Control of Nonpoint Source Pollution from Urban Surface Runoff. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment* **5**:39-44.

Knappe, A., Möller, P., Dulski, P. and Pekdeger, A., 2005. Positive gadolinium anomaly in surface water and ground water of the urban area Berlin, Germany. *Chemie der Erde* **65**:167-189.

Nolde, E., 2007. Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination* **215**:1-11.