

Hoe gemeenten om kunnen gaan met extreme regenval in de stad

Afstudeerrapport
Zwolle, 25 maart 2008
Anne Steenbergen
Universiteit Twente
s0023213



Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

Hoe gemeenten om kunnen gaan met extreme regenval in de stad

**Een onderzoek naar de effecten van extreme regenval op het
stedelijk waterbeheer en naar mogelijke oplossingen.**

**Afstudeerrapport
Zwolle, 25 maart 2008
Anne Steenbergen
Universiteit Twente
s0023213**

Verantwoording

Titel	Hoe gemeenten om kunnen gaan met extreme regenval in de stad
Uitgevoerd voor	Universiteit Twente
Auteur	Anne-Maartje Steenbergen
Bedrijf	Tauw BV, afdeling Water
Aantal pagina's	68 (exclusief bijlagen)
Datum	

Colofon

Anne-Maartje Steenbergen
Sprengpad 23
8043 HD Zwolle
Telefoon 06 45518356

Afstudeercommissie:

Universiteit Twente	Dr. Ir. M.S. Krol	053 4892615
	Dr. Ir. M.J. Booij	053 4892564
Tauw BV	Ir. J. Kluck	0570 699224

Voorwoord

Voor u ligt het afstuuronderzoek, dat ik heb uitgevoerd ter afsluiting van mijn studie Civil Engineering and Management aan de Universiteit Twente. Het afstudeeronderzoek beslaat de laatste fase van de master Water Engineering and Management.

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met het adviesbureau en ingenieursbureau Tauw BV, locatie Deventer.

Ik wil graag van de gelegenheid gebruik maken om hier enkele personen te bedanken voor hun advies en steun bij het tot stand komen van dit rapport.

Allereerst wil ik mijn afstudeerdocent Dhr. Krol bedanken voor de procesmatige en inhoudelijke begeleiding van het onderzoek.

Ook wil ik Dhr. Booij bedanken voor zijn begeleiding bij het onderzoek en de tussentijdse feedback op het onderzoek en het rapport.

Ik wil graag mijn begeleider bij Tauw, Dhr. Kluck, bedanken voor alle inhoudelijke adviezen en voor alle interessante discussie over onderwerpen in het stedelijk water beheer. Hier heb ik veel aan gehad tijdens het onderzoek en bij het schrijven van dit rapport.

Hiernaast wil ik ook mijn collega's bij Tauw bedanken voor de prettige werksfeer en voor alle informatie over riolering en stedelijk waterbeheer.

Anne Steenbergen

Zwolle, 25 maart 2008

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	7
Inhoudsopgave	9
Samenvatting	11
1 Inleiding.....	15
1.1 Problemen in stedelijk gebied en beleid.....	15
1.2 Klimatologische veranderingen	17
1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen	19
1.4 Afbakening	19
1.5 Opbouw rapport.....	20
2 Methode van onderzoek	21
2.1 Neerslagstatistieken	21
2.1.1 Methoden neerslagstatistieken.....	21
2.1.2 Gevolgen stedelijk waterbeheer	24
2.2 Infoworks	25
2.3 Maatregelen	25
2.3.1 Vergroten rioolbuizen	26
2.3.2 Onderhoud riool verbeteren	26
2.3.3 Aanleg van stoepranden	27
2.3.4 Afkoppelen regenwater	27
2.4 Criteria	28
3 Driepuntsbenadering	31
3.1 Principe van de driepuntsbenadering	31
3.2 De driepuntsbenadering aangepast	33
4 Case Studie Brummen	37
4.1 Brummen.....	37
4.2 Schematische weergave Brummen.....	38
4.3 Aannames Infoworks.....	40
4.4 Invulling maatregelen in Infoworks	40
4.4.1 Onderhoud riolering verbeteren	40

4.4.2	Riolering vergroten	41
4.4.3	Afkoppelen	43
4.4.4	Stoepen terug in centrum	43
4.5	Simulaties	44
5	Resultaten en discussie	45
5.1	Huidige situatie	45
5.2	Resultaten maatregelen	47
5.2.1	Verbetering onderhoud riolering	47
5.2.2	Vergroten riolering	50
5.2.3	Afkoppelen	54
5.2.4	Stoepen terug in centrum	56
5.2.5	Totaaloverzicht effecten maatregelen	58
5.2.6	Terugkoppeling naar driepuntsbenadering	59
5.3	Discussie	61
6	Conclusies en aanbevelingen	63
6.1	Conclusies	63
6.2	Aanbevelingen	65
	Literatuurlijst	67
	Documenten	67
	Websites	68
	Interviews	68
	Bijlage 69	
	Bijlage 1 Regenduurlijnen	71
	Meteoconsult (2006)	71
	Buishand en Wijngaard (2007)	74
	Conclusie	77
	Bijlage 2 Omrekenen ruwheidswaarde	79

Samenvatting

Regenwater wordt in de stad vaak via de riolering samen met het afvalwater afgevoerd naar een rioolwaterzuivering. Voor buien met een herhalingstijd van 2 jaar of korter wordt geacht dat het regenwater probleemloos kan worden afgevoerd. Bij heviger regenbuien kunnen problemen als water in huizen en winkels ontstaan. Door veranderingen in het klimaat worden heviger buien vaker verwacht. De problemen in het stedelijk gebied kunnen dus gaan toenemen.

Doordat het niet eenvoudig blijkt voorspellingen te maken voor de toekomst is het moeilijk voor gemeenten om in te schatten waar zij rekening mee moeten houden in hun stedelijk watersysteem.

Een instrument om hiermee om te gaan is de driepuntsbenadering, waarin de norm, kleine herhalingstijden en de grote herhalingstijden (extreme buien) centraal staan. De koppeling van de extreme naar de dagelijkse situatie is hierin belangrijk voor het waterbeheer. Om schade te voorkomen tijdens hevige regenbuien moeten maatregelen genomen worden, die in de dagelijkse situatie een grote invloed kunnen hebben op de leefomgeving. Door mensen in de dagelijkse situatie bewuster te maken van regenwaterafvoer, door bijvoorbeeld het zichtbaar maken van de afvoer ook tijdens kleine regenbuien, kunnen mensen de noodzaak meer gaan inzien van de maatregelen, waardoor ze meer begrip zullen krijgen voor maatregelen voor extreme situatie. Deze effecten worden weergegeven in een grafiek, de presentatie van de driepuntsbenadering, waarin de effecten op schade en de beleving zijn uitgezet tegen de herhalingstijd van een bui.

In dit onderzoek wordt een extra y-as voor de grafiek voorgesteld om het effect op de beleving en bewustwording van de leefomgeving en de schade te kunnen scheiden. Een maatregel kan namelijk een positief effect hebben op de schade en door bijvoorbeeld beslaglegging op de ruimte een negatief effect hebben op de beleving. Door ze gescheiden te presenteren kan het effect van maatregelen en klimaatveranderingen duidelijk worden weergegeven voor kleine en grote herhalingstijden.

Er zijn simulaties gemaakt met het computerprogramma Infoworks om gemeenten meer inzicht te geven in de effecten van hevige regenbuien op hun watersysteem in vergelijking met buien met een kleine herhalingstijd en inzicht te geven in mogelijke maatregelen. In de simulaties is het rioolstelsel van de Gelderse plaats Brummen gebruikt. Dit is een licht hellende gemeente met een gemengd rioolstelsel. De huidige situatie en de mogelijke maatregelen als het vergroten van de riolering, het verbeteren van het onderhoud aan de riolering, stoepen terugbrengen in het centrum en het afkoppelen van het regenwater zijn gesimuleerd. De simulaties zijn uitgevoerd voor regenbuien met een herhalingstijd van 2, 10 en 100 jaar.

Uit de resultaten bleek dat de problemen met water tijdens een bui met een herhalingstijd van 10 jaar vooral in het noordoosten van Brummen, het laagste deel van de stad, ontstonden. Deze resultaten zijn conform praktijkervaringen. Bij een bui met een herhalingstijd van 100 jaar worden op basis van de simulatieresultaten in heel Brummen problemen verwacht, waarvan het zwaartepunt in het noordoosten en het zuidwesten ligt. Deze problemen konden niet worden geverifieerd met de werkelijkheid omdat de stad geen ervaring heeft met een bui met een dergelijk grote herhalingstijd.

De maatregelen bleken een positief effect te hebben op de hoeveelheid water op straat en de hoeveelheid water dat boven de stoepen uit komt. Door een grote vervuiling in de vorm van sedimentatie in de buis te simuleren en dit te vergelijken met de huidige, schone situatie bleek dat een dergelijke vervuiling grote wateroverlast kan veroorzaken. Vooral afkoppelen en het vergroten van de riolering bleken een groot effect (een afname van meer dan de helft) te hebben op de hoeveelheid water op straat en boven het straatprofiel. De maatregel 'stoepen terug in het centrum' leek niet veel effect te hebben, omdat het centrum relatief hoog ligt in Brummen. Het kan grote effecten hebben als het centrum lager gelegen is dan de omgeving, omdat dan het water uit de omgeving die kant opstroomt en daar niet lokaal in het straatprofiel kan worden geborgen, waardoor het winkels en huizen in kan stromen en schade kan veroorzaken.

De maatregelen zijn tevens kwalitatief getoetst op hun effect op de leefomgeving door te bepalen in hoeverre de fysieke omgeving wordt veranderd en in hoeverre de maatregel mensen bewust maakt van de afvoer van regenwater in de stad. Afkoppelen is de enige maatregel die de leefomgeving positief kan beïnvloeden. De andere maatregelen hebben geen of een negatief effect op de leefomgeving. Afkoppelen en het terugbrengen van stoepen in het centrum hebben beide een positief effect op de bewustwording, omdat bij beide de afvoer van regenwater zichtbaar kan worden gemaakt. De andere maatregelen hebben hier geen invloed op, omdat deze onder de grond worden uitgevoerd.

Op basis van dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat de maatregel afkoppelen het beste aansluit bij de driepuntsbenadering. Deze maatregel heeft niet alleen een groot effect op de hoeveelheden water op en boven de straat, maar ook een positief effect op de beleving en bewustwording van inwoners.

Het bleek nuttig de extra y-as toe te voegen aan de driepuntsbenadering, omdat het vooral voor kleine herhalingstijden lastig is tegelijk iets over de beleving en bewustwording en de schade te zeggen. De lijn kan dan het effect op de één teniet doen door het effect op de ander.

Afkoppelen heeft op beide een positief effect, maar door het in één lijn te presenteren kan het effect makkelijk aan één aspect worden toegeschreven. Door beide apart weer te geven kan de waterbeheerder zelf de keuze maken over waar hij de prioriteit wil leggen. Dit verschilt per gemeente en zelfs per herhalingstijd. De driepuntsbenadering is goed te

gebruiken om gemeenten te adviseren over hoe zij met stedelijk waterproblemen om kunnen gaan. Door de norm, de extreme situatie en de dagelijkse situatie duidelijk in kaart te brengen worden alle problemen en mogelijke oplossingen duidelijk.

Samenvattend is de driepuntsbenadering een goede methode om de mogelijkheden voor een gemeente op een duidelijke en gestructureerde manier weer te geven, zodat de gemeente goed onderbouwde keuzes kan maken voor de aanpak van de stedelijke waterproblemen.

1 Inleiding

1.1 Problemen in stedelijk gebied en beleid

Een regenbui hoeft geen problemen te veroorzaken in de stad. De riolering kan de regen afvoeren naar de rioolwaterzuivering(RWZI) of naar het oppervlakte water. Tevens kan regenwater in groene gebieden, zoals tuinen en parkjes, infiltreren. Wanneer een regenbui heviger wordt en er meer regen valt dan direct kan worden afgevoerd, kunnen er problemen ontstaan in het stedelijke gebied. Zodra de capaciteit van de riolering niet meer voldoet, moet het regenwater tijdelijk worden opgeslagen buiten de riolering of op een andere manier gecontroleerd worden afgevoerd. Anders blijft het water op straat staan en kan het hinder veroorzaken door grote plassen op straat of zelfs schade door regenwater wat winkels of huizen binnenloopt.

De nationale en regionale overheden hebben beleid ontwikkeld om dergelijke situaties te voorkomen. In de Leidraad Riolering is bijvoorbeeld vastgelegd dat de riolering een bui met een herhalingstijd van eens in de twee jaar probleemloos moet kunnen verwerken [Rioned, 2004]. Tevens is in het Nationaal Bestuursakkoord Water vastgelegd dat overstroming vanuit oppervlakte water in stedelijk gebied slechts eens in de honderd jaar mag voorkomen [Ministerie V&W, 2003]. In het advies van de Commissie Waterbeleid 21^e eeuw (WB21) is de trits ‘vasthouden, bergen, afvoeren’ gepresenteerd [Commissie WB21, 2000]. Ook voor stedelijk water kunnen hier oplossingen liggen, omdat regenwater vasthouden en bergen en later afvoeren betekent dat de piek van de regenbui wordt weggenomen, waardoor de riolering veel minder belast wordt en grotere regenbuien aankan.

In de decembernota KRW/WB21 staat dat wateroverlast als gevolg van hevige regenval moet worden aangepakt voor 2027. In urgente situaties moet de wateroverlast voor 2015 zijn aangepakt [Ministerie V&W, 2006]. Dit zijn situaties waarbij al schade optreedt in de huidige situatie.

Een belangrijke nieuwe ontwikkeling is dat begin 2009 de nieuwe Waterwet in werking treedt. De gemeente is nu belast met de lokale ruimtelijke inpassing van de maatregelen en heeft een zorgplicht voor het stedelijke water. Zij krijgt naast de zorgplicht voor afvalwater ook een zorgplicht voor hemelwater en grondwater, wat leidt tot een verbreed Gemeentelijk Rioleringsplan (verbreed GRP). Deze zorgplicht heeft als doel verontreinigingen van afval-, hemel- en grondwater te voorkomen. In de aanloop naar de nieuwe Waterwet is dit al vastgelegd in de Wet Gemeentelijke Watertaken. Deze zal begin 2009 opgaan in de nieuwe Waterwet. De verantwoordelijkheid van het voorkomen van wateroverlast in het stedelijke gebied ligt dan dus bij de gemeente. [VNG, 2005].

De gemeente kan instrumenten als het waterplan en de watertoets gebruiken om doelstellingen als het verminderen van wateroverlast in de stad te behalen. In een waterplan

kunnen de gemeente en het waterschap en alle andere verantwoordelijken een gezamenlijke visie opstellen, waarin hun wensen en plichten naar voren komen. [Grontmij, 2007]. Om ervoor te zorgen dat de waterhuishouding in een vroeg stadium wordt betrokken bij de ontwikkeling van ruimtelijke plannen voor de inrichting van stedelijk gebied, is de watertoets ontwikkeld. De watertoets is een proces, waarin wordt gestreefd naar een juiste toepassing en uitvoering van de koppeling tussen het waterhuishoudkundig en ruimtelijk beleid. De uitvoering van een watertoets is sinds 1 november 2003 verplicht voor plannen in het kader van de Wet op de Ruimtelijke Ordening. [Landelijk Bestuurlijk Overleg Water, 2007].

Stichting Rioned heeft een visie op het stedelijk water probleem met regenwater opgesteld om waterbeheerders richting te geven in het oplossen. Zij stelt dat er drie soorten situaties kunnen ontstaan in het stedelijk gebied: [Rioned, 2006]

- Hinderlijk, waarbij er een beperkte hoeveelheid water (van enkele centimeters) niet langer dan een half uur op straat staat. Hierbij kan gedacht worden aan plassen op straat die hinderlijk kunnen zijn als je er doorheen moet fietsen of lopen.
- Ernstig hinderlijk, waarbij er grote hoeveelheden water (van enkele tientallen centimeters tot meters) op straat staan wat tot 2 uur kan duren. Hierbij moet gedacht worden aan ondergelopen tunnels of opdrijvende putdeksels.
- Overlast, waarbij er grote hoeveelheden water langdurig op straat staan en het water winkels en huizen inloopt, waardoor schade ontstaat.

Verder stelt zij dat oplossingen gericht moeten zijn op het voorkomen van ernstige hinder en overlast. Dit zijn situaties waarbij schade en/of menselijk leed kan ontstaan. Hinder kan vervelend uitkomen voor mensen, maar bij een regenbui hoort nou eenmaal kortstondig water op straat, waardoor hiervoor geen oplossingen hoeven te komen. [Rioned, 2007].

Ook stelt zij dat de eerste stap in het oplossen van regenwateroverlast de acceptatie van regenwater op straat is. Het gaat vaker heviger regenen (een gemiddelde stijging van 18,5% voorspeld voor zomerse buien in 50 jaar), waardoor er vaker water op straat kan komen te staan. Als men accepteert dat er tijdens regenbuien water op straat staat, hoeven er voor dergelijke hoeveelheden regenwater geen maatregelen genomen te worden. Voorwaarde is hierbij wel dat wanneer er water op straat staat er geen levensbedreigende situaties ontstaan en dat er geen schade aan huizen of winkels ontstaat. [Rioned, 2007].

Een instrument voor gemeenten om om te gaan met bovenstaande problemen in het stedelijk waterbeheer is de driepuntsbenadering. Deze benadering legt de nadruk op drie verschillende punten, namelijk de norm, de dagelijkse situatie en de extreme situatie. De norm is wettelijk vastgelegd en moet gehaald worden, maar door ook te kijken naar extreme situaties kan het watersysteem ook ingericht worden op hevige regenval. Belangrijk in de driepuntsbenadering is vervolgens de terugkoppeling naar de dagelijkse situatie, waarin inwoners moeten leven met regen en hevige regenval en eventuele maatregelen. Belangrijk is dat maatregelen in de leefomgeving geaccepteerd kunnen worden, omdat medewerking steeds belangrijker wordt als er steeds meer regen wordt verwacht en daarvoor steeds

ingrijpendere maatregelen moeten worden genomen. Tevens is het van belang dat er bewust wordt omgegaan met het bergen en afvoeren van regenwater [Tauw, 2007].

Door mensen meer bewust te maken van de afvoer van regenwater in de stad, kan de noodzaak van maatregelen hiervoor duidelijker worden gemaakt. Ook zal er dan meer begrip zijn voor water op straat in de vorm van (diepe) plassen. Dit sluit aan bij de visie van Rioned dat water op straat in die vorm geaccepteerd moet worden en oplossingen moeten worden gezocht voor situaties, waarin water op straat schade kan veroorzaken.

1.2 Klimatologische veranderingen

Wetenschappers over de hele wereld hebben vastgesteld dat het klimaat aan het veranderen is door een toename van het CO₂ gehalte in de lucht. [IPCC, 2007]. Door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) zijn in het Waterbeleid 21^e eeuw [KNMI, 2000] en in het document “Klimaatscenario’s 2006” [KNMI, 2006] projecties gepresenteerd van deze klimaatsveranderingen in Nederland. Beide methoden zijn gebaseerd op de mondiale temperatuurstijgingen van de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) projecties en beide gebruiken als basisjaar 1990. De IPCC projecties worden elke 5 jaar gepresenteerd en zijn gebaseerd op emissiescenario’s, terwijl deze weer gebaseerd zijn op de ontwikkeling van de wereldbevolking.

Een verschil tussen beide scenario’s is dat er in WB21 van uit wordt gegaan dat de luchtstromingen niet veranderen, terwijl in de klimaatscenario’s van 2006 de verandering in luchtstroming is meegenomen voor de indeling van de scenario’s. Voor de klimaatscenario’s 2006 zijn tevens de uitkomsten van een groot aantal rekenmodellen gebruikt ten opzichte van een beperkt aantal voor WB21. Daarnaast is op basis van nieuwe metingen het laagste scenario uit WB21 al komen te vervallen. [KNMI, 2007].

De scenario’s zien er voor Nederland in 2050 als volgt uit:

	WB21			KNMI'06			
	Laag	Centraal	Hoog	G	G+	W	W+
Zomer (juni, juli, augustus)							
gemiddelde temperatuur (°C)	+0.5	+1	+2	+0.9	+1.4	+1.7	+2.8
warmste zomerdag (°C)				+1.0	+1.9	+2.1	+3.8
gemiddelde neerslag (%)	+0.5	+1	+2	+3	-10	+6	-19
aantal natte dagen (%)				-2	-10	-3	-19
neerslag op 1% natste dag (%)	+5	+10	+20	+13	+5	+27	+10
referentieverdamping (%)	+2	+4	+8	+3	+8	+7	+15
windsnelheid (%)				0	+1	0	+2
zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35
Winter (december, januari, februari)							
gemiddelde temperatuur (°C)	+0.5	+1	+2	+0.9	+1.1	+1.8	+2.3
koudste winterdag (°C)				+1.0	+1.5	+2.1	+2.9
gemiddelde neerslag (%)	+3	+6	+12	+4	+7	+7	+14
aantal natte dagen (%)				0	+1	0	+2
neerslag op 1% natste dag (%)	+5	+10	+20	+4	+6	+8	+12
referentieverdamping (%)	+2	+4	+8	+3	+8	+7	+15
windsnelheid (%)				0	+1	0	+2
zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35

Tabel 1, klimaatscenario's WB 21 en KNMI'06, [Ruimte voor Geo-informatie, 2006].

In bovenstaande tabel is te zien dat op het gebied van de neerslag verschillende veranderingen voor mogelijk worden gehouden. Bij de KNMI scenario's staat de G voor een gemiddelde stijging en W voor een sterke stijging en + scenario's zijn scenario's waar een verwachte verandering in luchtstromen wordt meegenomen.

De projecties lopen sterk uiteen doordat er gemiddelde en hoge scenario's worden gepresenteerd. Tevens blijkt dat er in beide documenten verschillende veranderingen worden gepresenteerd. Opvallend is dat in WB21 voor de zomer en winter de neerslag op de één procent natste dag dezelfde verandering staat, terwijl in de klimaatscenario's uit 2006 voor de winter veel minder verandering staat dan voor de zomer.

Uit de tabel is op te maken dat het projecteren van de veranderingen in het klimaat moeilijk is en dat verschillende methoden leiden tot verschillende uitkomsten. Het is onmogelijk vast te stellen wat de verandering gaat zijn; niet alleen vanwege het verschil in methodes om te gebruiken, door het grillige karakter van het klimaat en de onzekerheden die ontstaan door het nabootsen van de realiteit door een computermodel, maar vooral ook door de projectie in de toekomst, waarbij alle omgevingszaken als bevolkingsdichtheid ook veranderen. Beide documenten zijn het slechts eens over het feit dat de neerslag op de één procent natste dag groter wordt.

Hierdoor wordt het zeer lastig voor gemeenten om hun watersysteem voor te bereiden op de verwachte toenames van regenval, omdat zij geen idee hebben wat die toename zal zijn.

1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen

Bovenstaande heeft geleid tot de volgende probleemstelling:

Door grote onzekerheden in de projecties van de toekomstige veranderingen in de regenintensiteiten is het moeilijk voor gemeenten om in te schatten hoe zij hun watersysteem hierop kunnen aanpassen om wateroverlast te verminderen of te voorkomen zonder hiervoor de leefomgeving te zwaar te belasten, maar deze juist positief te beïnvloeden.

Het doel van het onderzoek is gemeenten te adviseren over hoe zij moeten anticiperen op (onzekerheden in) extreme regenbuien en toename in neerslagintensiteiten en hoe zij dit kunnen inpassen in hun stedelijk gebied.

Door gemeenten inzicht te geven in de effecten van verschillende regenbuien op hun watersysteem en door het laten zien van effecten van maatregelen bij normale en extreme buien op de hoeveelheid water op straat en op de leefomgeving kunnen gemeenten wellicht beter keuzes maken wat betreft de inrichting van hun watersysteem.

Hierbij worden de volgende vragen gesteld:

1. Wat is de verwachte toename in extreme regenintensiteiten en hoe onzeker is deze?
2. Wat zijn de mogelijke oplossingen voor wateroverlast binnen het stedelijk gebied en wat zijn de effecten van deze maatregelen voor verschillende buien op wateroverlast en de leefomgeving?
3. In hoeverre is de driepuntsbenadering toepasbaar bij het adviseren aan gemeenten over hoe zij om moeten gaan met problemen in het stedelijk waterbeheer?

1.4 Afbakening

Hier worden de onderwerpen besproken, die buiten het onderzoek vallen.

In het onderzoek wordt het ondergrondse en bovengrondse watersysteem in stedelijk gebied bestudeerd. Het landelijk gebied, oppervlakte water en eventuele overstromingen van daaruit in het stedelijk gebied vallen buiten de scope van het onderzoek.

Er wordt gekeken naar regenwater in de stad, regen is dus dé vorm van neerslag, waar in het onderzoek naar gekeken wordt. Andere vormen van neerslag, zoals sneeuw en hagel, worden buiten beschouwing gelaten. Hevige sneeuw- of hagelbuien veroorzaken andere problemen dan regenwater. Hevige regenbuien kunnen ineens voor een afvoerprobleem zorgen, waardoor er water op straat blijft staan. Dit kan grote schade veroorzaken. Sneeuw- en hagelbuien kunnen juist problemen veroorzaken door hun eigen belasting, maar niet voor de directe afvoer tijdens en vlak na de bui.

In dit onderzoek wordt gekeken naar neerslagbuien, waardoor gelijk problemen optreden door te weinig afvoercapaciteit of bergingscapaciteit. Dit is minder van toepassing op sneeuw- en hagelbuien.

De focus ligt op de korte, hevige regenbuien. Het gaat dan om een maximale duur van de totale neerslagperiode van 24 uur, waarbij de meeste neerslag binnen één of twee uur valt. Het gaat hierbij om grote hoeveelheden regen van meerdere tientallen millimeters. Dit zijn de regenbuien, waarbij problemen in het stedelijk gebied worden verwacht.

Er wordt niet gekeken naar de waterkwaliteit. Bij waterkwaliteit spelen andere problemen een rol dan bij waterkwantiteit. Deze blijven buiten beschouwing.

De focus van het onderzoek ligt op het Nederlandse stedelijke gebied. Problemen, ideeën en oplossingen uit het buitenland kunnen gebruikt worden. Echter als toepassing op de Nederlandse gemeenten.

1.5 Opbouw rapport

In het eerste hoofdstuk is het probleem geschetst en het ontwikkelde beleid op het gebied van stedelijk waterbeheer. Hier zijn ook de probleem- en doelstelling gepresenteerd met de onderzoeksvragen.

In hoofdstuk 2 wordt vervolgens de methode van onderzoek beschreven, dat bestaat uit de afbakening, de neerslagstatistieken voor extreme regenbuien, het gebruikte computerprogramma Infoworks voor de simulaties, de mogelijke maatregelen om de problemen op te lossen en de criteria, waaraan de resultaten van de maatregelen worden getoetst.

In hoofdstuk 3 wordt vervolgens de driepuntsbenadering beschreven en wordt een uitbreiding hierop gepresenteerd, die de benadering meer bruikbaar en duidelijk maakt. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de case studie Brummen uitgewerkt, waarin het watersysteem van Brummen en de invulling van de maatregelen in Infoworks worden besproken.

Hierop volgen in hoofdstuk 5 de resultaten van de simulaties en de terugkoppeling hiervan naar de criteria en de driepuntsbenadering. Hier wordt ook de discussie van de verschillende maatregelen gepresenteerd.

In hoofdstuk 6 worden tot slot de conclusies en de aanbevelingen gepresenteerd.

2 Methode van onderzoek

In dit hoofdstuk wordt de aanpak van het onderzoek beschreven. Eerst worden de neerslagstatistieken besproken om inzicht te geven in extreme regenbuien. Daarna wordt het computerprogramma besproken, waarmee de simulatie worden gedaan. Daarop volgen de maatregelen en de criteria waaraan de maatregelen getoetst moeten worden.

2.1 Neerslagstatistieken

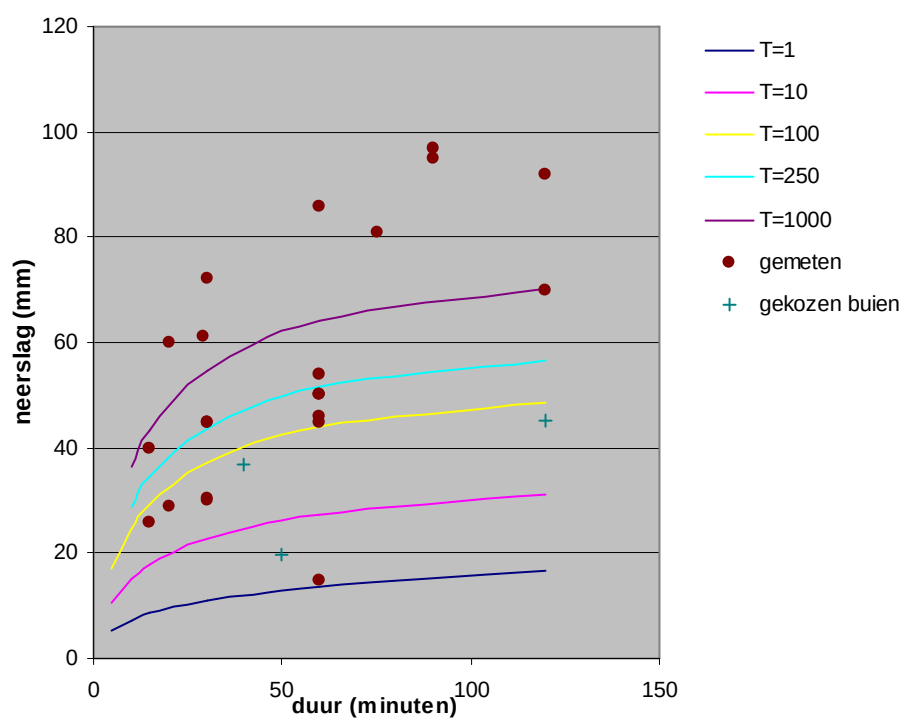
2.1.1 Methoden neerslagstatistieken

Om te bepalen op welke neerslagsituaties het watersysteem van een stad moet worden getoetst, zijn gegevens nodig over verschillende neerslagsituaties.

Voor Meteoconsult hebben Malda en Terpstra in 2006 regenduurlijnen opgesteld voor korte duren voor verschillende herhalingstijden. Het onderzoek van Meteoconsult is gebaseerd op de Braakkromme uit 1933, die gegevens van De Bilt heeft gebruikt. Het onderzoek van Meteoconsult is gebaseerd op de neerslaggegevens van 23 meetstations, inclusief de Bilt. Het gaat om neerslaggegevens van 10-minuten reeksen. Zij hebben gegevens van 11 jaar (1995-2006) gebruikt om te bepalen hoe vaak een bepaalde hoeveelheid regen viel in een bepaalde tijdsduur; de herhalingstijden zijn bepaald. Deze zijn uitgezet in een grafiek en deze grafiek is geëxtrapoleerd van 11 jaar naar 1000 jaar. Voor de toekomst is een correctiefactor van 17,5 % gebruikt. Dit getal is gebaseerd op de voorspellingen van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KNMI) in 2006, waarbij is uitgegaan van het zwaarste scenario. Het gemiddelde van de W en W+ scenario's zijn voor de zomer en winter bij elkaar opgeteld met in acht neming van een verhouding van 10% gebeurtenissen in de winter en 90% in de zomer.

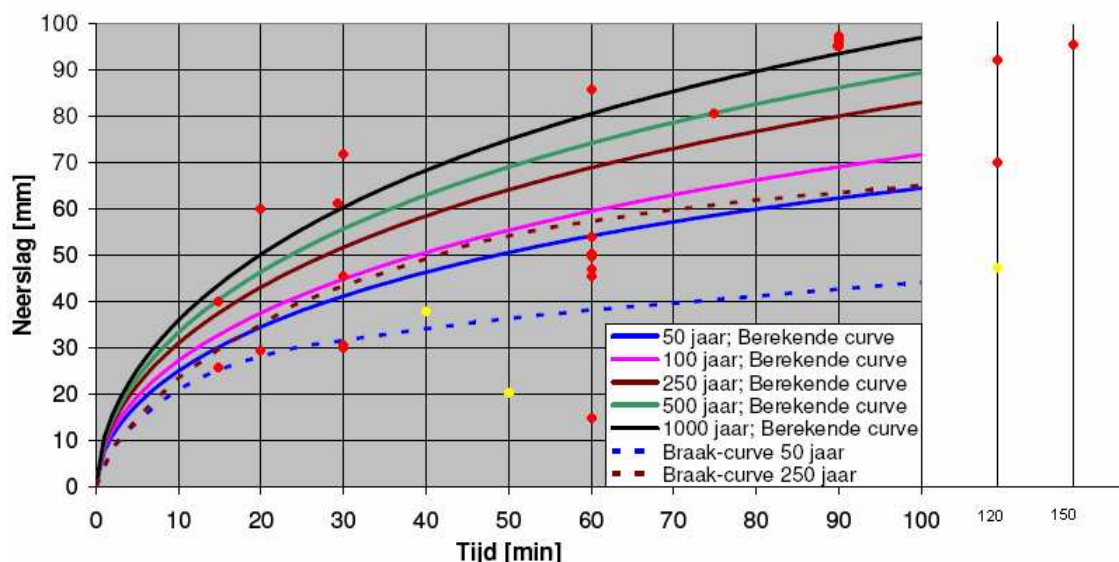
Buishand en Wijngaard hebben in 2007 regenduurlijnen opgesteld voor buien korter dan 2 uur voor verschillende herhalingstijden. Het onderzoek is gebaseerd op maximale neerslaghoeveelheden per jaar van 1906 tot 1990, gemeten in De Bilt. Buishand en Wijngaard hebben geen correctiefactor voor veranderingen in het klimaat gebruikt.

In Nederland is door de jaren heen op verschillende plaatsen extreme neerslag gemeten. Deze metingen zijn hieronder uitgezet in de lijnen van Buishand en Wijngaard en Meteoconsult.



Figuur 2.1: regenduurlijnen van Buishand en Wijngaard, gemeten regenbuien weergegeven met rode stippen, gekozen regenbuien voor simulaties weergegeven met blauwe plusjes, [Buishand en Wijngaard (2007) en Meteonet (2007)]

In figuur 1 is duidelijk te zien dat ruim één derde (8/21) van de gemeten waarden boven de regenduurlijnen liggen, wat een onderschatting kan betekenen door de gebruikte methode. Als de gemeten waarden worden toegevoegd aan de lijnen van Meteoconsult vallen ze beter binnen de lijnen:



Figuur 2.2: regenduurlijnen van Meteoconsult, gemeten regenbuien ingetekend met rode stippen, gekozen regenbuien voor simulaties ingetekend met gele stippen, [Meteoconsult (2006) en Meteonet (2007)]

In deze figuur is te zien dat de gemeten waarden voor het grootste deel binnen de regenduurlijnen vallen van Meteoconsult.

Een belangrijk verschil en mogelijke reden voor het verschil tussen beide grafieken is dat Meteoconsult gegevens van 23 locaties heeft gebruikt, terwijl Buishand en Wijngaard alleen gegevens van De Bilt hebben gebruikt. Door op meerdere plekken in Nederland te meten, wordt de variabiliteit van het land zichtbaar. Het gebruik van de gegevens van één meetstation lijkt de werkelijke neerslag in de tijd te onderschatten.

Tevens speelt de klimaatfactor een rol in het verschil, die Meteoconsult heeft verwerkt in de regenduurlijnen, waardoor de lijnen ook hoger komen te liggen dan die van Buishand en Wijngaard.

Bovenstaande methoden laten zien dat het vaststellen van de regenduurlijnen voor grote verschillen in uitkomsten zorgt. Verschillende methoden berekenen zeer verschillende lijnen, terwijl er niet kan worden vastgesteld welke methode het beste is door de onzekerheden die met beide methoden gepaard gaan. De lijnen van Meteoconsult zijn gebaseerd op een extrapolatie van 11 naar 1000 jaar, er kunnen fouten opgetreden zijn in het meten van de neerslaghoeveelheden, in de data van Buishand en Wijngaard is een fout aangenomen voor het aflezen van de eerste neerslagstroken, deze fout is echter niet meegenomen in de formule voor de regenduurlijnen en ook fouten door het gebruik van methoden waarin aannames worden gedaan voor parameters spelen alle een rol bij het onderling vergelijken van de methoden.

Duidelijk is dat de lijnen van Buishand en Wijngaard lager liggen dan de lijnen van Meteoconsult. Hierdoor vallen de gemeten regenwaarden ook verder buiten de regenduurlijnen en lijkt de praktijk sterker onderschat te worden, echter in de gemeten waarden schuilen ook onzekerheden van het meten en het aflezen.

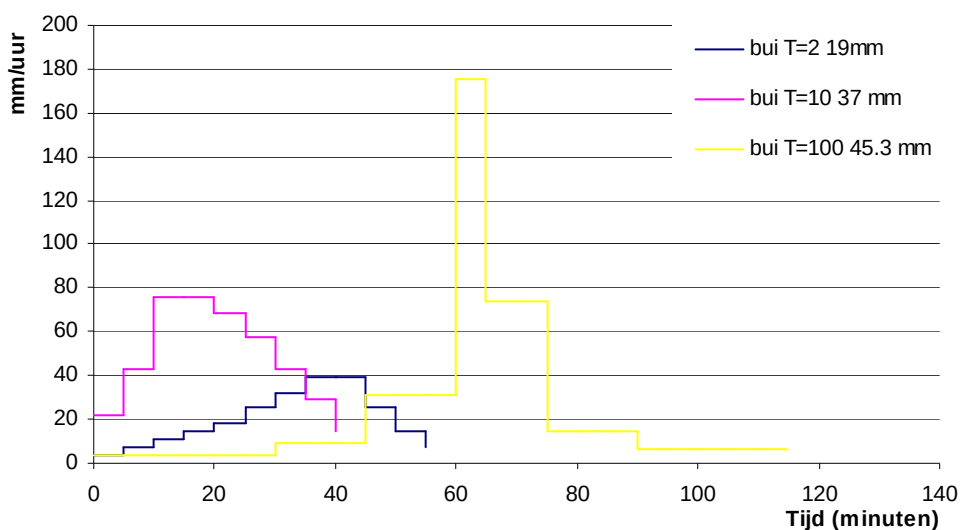
De methode van Meteoconsult lijkt de extreme waarden beter weer te geven dan de methode van Buishand en Wijngaard, hoewel de grote onzekerheden in beide methoden een uitspraak hierover moeilijk maken.

Een uitgebreide uitwerking van beide methodes met de onzekerheden en de onderlinge verschillen is te vinden in de Bijlage Neerslagstatistieken.

2.1.2 Gevolgen stedelijk waterbeheer

Voor het stedelijk waterbeheer heeft bovenstaande gevolgen, omdat het niet mogelijk blijkt uitspraken te doen over wat een extreme bui is en hoe vaak die te verwachten is. Om inzicht te krijgen in de gevolgen van extreme regenval in de stad zal er gekeken moeten worden naar de gevolgen van meerdere regenbuien op het watersysteem. Hierdoor kan inzichtelijk worden gemaakt hoe het watersysteem wordt beïnvloed door regenbuien en waar problemen kunnen ontstaan.

Hiervoor is gekozen voor de volgende regenbuien om de gevolgen van een hevige regenbui en een zeer hevige regenbui in kaart te kunnen brengen:



Figuur 2.3: regenbuien om te gebruiken in de simulaties [Leidraad Riolering, 2004].

De regenbuien zijn in §2.1.1 bijgetekend in figuur 1 en figuur 2.

2.2 Infoworks

Infoworks is een programma, waarmee een 1-dimensionaal model van rioolstelsels kan worden doorerekend. Het is ontwikkeld door Wallingford Software Ltd. en de gebruikte versie, versie 7.51, is uitgebracht in juli 2006. Heel simpel weergegeven bestaat een rioolstelsel uit putten, waarop een afvoerend oppervlak is aangesloten en buizen, die de putten verbinden en die het water afvoeren naar enkele overstorten of pompen. Aan deze onderdelen kunnen allerlei gegevens opgehangen worden. Het afvoerend oppervlak wordt bijvoorbeeld gedefinieerd door het grondgebruik en de hoeveelheid verharding. Voor buizen kunnen vorm, maten, ruwheidcoëfficiënten en sedimenthoogten worden gegeven. Hierdoor kan het rioolstelsel zo aansluitend mogelijk aan de praktijk worden gemaakt. Rekenen met Infoworks is een iteratief proces. In de putten heeft het water een waterstand en in de buizen stroomt het water met een debiet. De waterstanden in de putten en de debieten in de buizen moeten kloppen met elkaar. Doordat het water steeds langs andere putten en door andere buizen komt met andere waterstanden en debieten kunnen de berekeningen telkens worden gemaakt, totdat de debieten en waterstanden met elkaar kloppen. Door verschillende iteraties, wordt de berekening steeds nauwkeuriger uitgevoerd. Het aantal iteraties kan ingesteld worden met het oog op de snelheid en de nauwkeurigheid. Voor de putten en buizen kunnen waarden opgegeven worden voor een minimale waterdiepte en minimaal debiet.

In het model kunnen verschillende regenbuien worden ingevoegd voor de simulatieberekeningen. Het is mogelijk water over straat te simuleren door buizen met een gekozen straatprofiel op maaiveldhoogte toe te voegen aan de schematisatie van het rioolstelsel.

Hierdoor wordt het mogelijk ook de stroming van het water boven de grond weer te geven. Door verschillende parameters te veranderen kunnen maatregelen worden ingevoerd. Met deze variaties wordt een nieuw netwerk gemaakt, wat vervolgens voor simulaties kan worden gebruikt.

Belangrijk is dat in Infoworks water, dat zich buiten het straatprofiel of boven putten bevindt, zich zal ophouden op die locaties, totdat het afgevoerd kan worden. Het water kan zich dus niet buiten het straatprofiel begeven, omdat de omliggende ruimte niet in het netwerk is opgenomen.

In de case studie Brummen zal beschreven worden hoe het water op straat wordt gesimuleerd en hoe de maatregelen worden ingevoerd in het netwerk van Brummen.

2.3 Maatregelen

Hier worden de maatregelen besproken, die mogelijk problemen met wateroverlast kunnen verminderen of voorkomen. Dit zijn maatregelen, die vaak worden gebruikt in het stedelijk waterbeheer.

Als tijdens een hevige regenbui het water uit de putten komt zetten, omdat het niet meteen kan worden afgevoerd via het huidige (riool) stelsel, kan de oplossing liggen in het opvangen van het overtollige water. Door dit water gecontroleerd ruimte te geven op het maaiveld kunnen problemen als schade voorkomen worden.

Het water kan bijvoorbeeld gecontroleerd richting een bergingsvijver worden geleid. Doordat het hierbij gaat om water dat uit het riool stroomt, kan het water niet direct in de grond worden geïnfiltreerd door de vervuiling in het rioolwater. Uitvoeringen als doorlatende verharding die bij bijvoorbeeld afkoppelen wel mogelijk zijn, zijn hier dus niet mogelijk. In een bergingsvijver kan een buffer worden aangebracht, waarin het vuil kan worden opgevangen.

De maatregel sluit goed aan bij de driepuntsbenadering, maar is niet te simuleren in Infoworks, doordat hier alleen het rioolstelsel en het stratenstelsel als rioolstelsel kunnen worden gesimuleerd. Alle gebieden daarnaast vallen buiten het netwerk. Deze maatregel zal dus niet worden uitgewerkt in de rest van het rapport, omdat er geen vergelijkingen in effecten kunnen worden gemaakt tussen deze maatregel en de andere maatregelen (zie paragraaf 6.2).

De maatregelen zijn geselecteerd op de mogelijkheid om ze in Infoworks te simuleren, waardoor de effecten op de hoeveelheden water bepaald kunnen worden en deze onderling vergeleken kunnen worden voor de maatregelen.

2.3.1 Vergroten rioolbuizen

Door rioolbuizen te vergroten kan er meer water doorheen stromen, waardoor er meer regenwater direct kan worden afgevoerd en eventueel tijdelijk opgeslagen kan worden. Hierdoor neemt de druk bovengronds af, omdat er minder of geen water op straat blijft staan. De vergrootte rioolbuizen kunnen het regenwater sneller richting het oppervlakte water afvoeren.

Een rioolstelsel vergroten stuit op grote praktische problemen, zoals het moeten uitgraven van straten om de buizen te vervangen. De rioolbuizen zouden kunnen worden vervangen tijdens de onderhoudsactiviteiten die gepland staan. Dit kan echter lang duren, aangezien een rioolstelsel aangelegd wordt om rond de 50 jaar mee te gaan. Tevens is het vergroten van het riool een kostbare oplossing door het vele grondwerk wat moet worden uitgevoerd.

2.3.2 Onderhoud riool verbeteren

Gebrekkig onderhoud aan het rioolstelsel kan het dichtslibben van rioolbuizen veroorzaken. Het slib kan zorgen voor een minder grote afvoercapaciteit van de buizen door een kleiner doorstroomoppervlak en een grotere weerstand voor het water doordat de ruwheid van sediment groter is dan die van een betonnen buis. Tijdens een hevige regenbui kan er dan minder regenwater worden afgevoerd, waardoor er veel water op straat kan blijven staan. Dit hoeft niet te betekenen dat de rioolcapaciteit niet meer voldoet. Door het riool schoon te

houden kunnen dit soort problemen worden voorkomen. Verstopte riolering kan bij kleine herhalingstijden ook problemen veroorzaken. Dit soort problemen kunnen volledig worden opgelost door het onderhoud te verbeteren. Het verbeteren van het onderhoud heeft geen nadelen. Een nieuw onderhoudsplan schrijven kost tijd en geld, maar die kosten zijn éénmalig.

2.3.3 Aanleg van stoepranden

Om de binnenstad makkelijker bereikbaar te maken en het winkelen aangenamer te maken zijn in veel steden in het centrum de stoepranden verdwenen. Mensen in een rolstoel of mensen met een kinderwagen kunnen zich veel makkelijker door het centrum bewegen. Doordat er nu geen obstakels meer op de weg liggen kan het regenwater alle kanten opstromen, dus ook winkels en huizen in. Een stoeprand kan fungeren als een waterkerende constructie op zeer klein niveau, doordat het water tussen de stoepranden op straat kan blijven staan. Door het weghalen van de stoepranden wordt het water niet meer gekeerd. Herintroduceren van de stoeprand kan dus een oplossing zijn om veel schade te voorkomen tijdens een hevige regenbui doordat het water tijdelijk op straat kan worden geborgen. Juist in een winkelstraat kan veel schade ontstaan als er water gebouwen in loopt. Stoepten herintroduceren is kostbaar, doordat het hele straatprofiel moet worden aangepast. Zeker omdat deze stoepten net zijn verwijderd is het niet wenselijk de straten weer te veranderen. Tevens vermindert de toegankelijkheid van het centrum, terwijl deze juist bevorderd was, zodat hiervoor nieuwe oplossingen moeten worden gevonden, zoals het aanbrengen van hellingen in de stoepranden.

2.3.4 Afkoppelen regenwater

Door het regenwater af te koppelen, wordt voorkomen dat het regenwater bij het afvalwater in het riool terecht komt. Het regenwater wordt geheel of gedeeltelijk via een ander systeem afgevoerd naar het oppervlakte water.

Afkoppelen kan door het regenwater via aparte regenwater buizen af te voeren rechtstreeks naar het oppervlakte water (gescheiden rioolstelsel), door het water tijdelijk op te slaan en vervolgens te infiltreren in de grond of alsnog naar het riool af te voeren (tijdelijke berging) en door het regenwater rechtstreeks te infiltreren in de grond.

Tijdelijke berging kan behaald worden door het regenwater te bergen in regentonnen, maar deze hebben een te kleine capaciteit voor het regenwater van een hevige regenbui. Alleen als het op grote schaal wordt toegepast kan het effect hebben tijdens een hevige regenbui. Ook vegetatiedaken kunnen zorgen voor waterberging of een vertraging van de neerslagafvoer. Een gemiddeld vegetatiedak kan de neerslagafvoer vanaf die verharding met dertig procent verminderen. Het water wordt in de beplanting op het dak geborgen en eventueel overtollig

regenwater wordt later afgevoerd via de bestaande regenwaterafvoer of geïnfiltreerd in de tuin. Een dergelijke constructie vraagt om een sterke dakconstructie door de belasting van de beplanting en door de extra belasting van het te bergen water. [Tauw, 2003].

Een vegetatiedak is een effectieve manier om de piek van de regenwaterafvoer sterk te verkleinen. Het is echter vooral bij bestaande bebouwing moeilijk te realiseren, omdat het vaak niet wenselijk of technisch haalbaar is om de dakconstructie te versterken.

Infiltratie kan behaald worden door doorlatende verharding toe te passen of door het water te leiden naar een infiltratiegebied, zoals een tuin, grasveld of park. Doorlatende verharding is vooral goed toepasbaar op parkeerplaatsen of wegen, die niet te vaak en zwaar belast worden. Bij een groenvoorziening is het belangrijk te kijken naar de ligging hiervan ten opzichte van het oppervlak waarvan het regenwater wordt afgevoerd. De groenvoorziening moet niet hoger liggen, omdat dan het water geen natuurlijke weg er naartoe kan vinden. Tevens moet er ruimte voor waterberging zijn, omdat tijdens een hevige regenbui ook al water direct op de groenvoorziening valt dat in die grond infiltreert. Hierdoor kan de groenvoorziening al verzadigd zijn en dus geen capaciteit voor extra regenwater meer hebben. Doordat afgekoppeld water moet worden opgevangen of afgevoerd in het zelfde watersysteem als het systeem waarvan het wordt afgekoppeld is het belangrijk na te gaan of er extra voorzieningen nodig zijn in het watersysteem om het afkoppelen mogelijk te maken.

2.4 Criteria

Hieronder worden de criteria gegeven, waaraan de maatregelen worden getoetst. De toetsing aan de criteria maakt het vergelijken van de maatregelen mogelijk.

Onderstaande criteria maken het ook mogelijk de maatregelen terug te koppelen naar de driepuntsbenadering. Uit de beoordeling van de verschillende maatregelen aan de hand van de criteria kan de verandering van de lijn in de driepuntsbenadering worden vastgesteld.

- Kosten, te verdelen in twee soorten, namelijk de uitvoering van de maatregel en het onderhoud van de nieuwe situatie ten opzichte van de huidige situatie. De kosten van de maatregelen worden gebaseerd op literatuur. Voor het onderhoud zal een kwalitatieve inschatting worden gemaakt voor de kosten. Maatregelen met lagere kosten zullen beter scoren dan maatregelen met hogere kosten. De kosten van het vergroten van de riolering en het afkoppelen kunnen worden geschat aan de hand van de ervaringsgegevens van medewerkers van Tauw.
- Technische haalbaarheid/ uitvoerbaarheid. Per gemeente verschillen de mogelijkheden om verschillende maatregelen uit te voeren. Per maatregel zal bekeken worden wat de uitvoering inhoudt en of daar de ruimte voor is. Dit zal kwalitatief bepaald worden en de maatregelen zullen onderling beoordeeld worden op welke beter uitvoerbaar is.

- Effect maatregel op wateroverlast, hoe sterk wordt de wateroverlast verminderd. Hierbij gaat het om het effect bij bui 10 en bui 100 in vergelijking met de huidige situatie. Uit de resultaten zal het effect volgen, uitgedrukt in volumes water op straat en boven het straatprofiel. De mate van vermindering hiervan door de maatregelen ten opzichte van de huidige situatie zal de score bepalen, waarbij de grootste vermindering het beste zal scoren.
- Effect maatregel op de leefomgeving. Een maatregel kan de leefomgeving positief of negatief beïnvloeden. Door water meer ruimte te geven en tevens mensen bewust te maken van water in de stad door het zichtbaar maken van de regenwaterafvoer, kan dit de leefomgeving positief veranderen. Het effect op de beleving en de bewustwording zal kwalitatief beschreven worden. De onderlinge vergelijking zal bepalen welke maatregel het beste scoort en welke het slechtst.

3 Driepuntsbenadering

Bij het ontwerp of de inrichting van stedelijk gebied spelen normen een belangrijke rol. Er is vastgesteld dat het rioolstelsel eens in de twee jaar tekort mag schieten, waardoor er water op straat komt te staan. Slechts eens in de honderd jaar mag er een overstroming plaatsvinden vanuit het landelijk gebied doordat de capaciteit van het watersysteem niet toereikend meer is. [Rioned, 2006].

3.1 Principe van de driepuntsbenadering

Het watersysteem in de stad wordt gebaseerd op bovenstaande normen. Deze normen gelden doorgaans als ontwerpeis voor rioolstelsels en voor de aanleg van hemelwaterafvoerstelsels in de stad.

Echter als het watersysteem aan de gestelde normen voldoet, zal er bij hevige regenbuien toch water op straat komen te staan. Normen worden bepaald op basis van de kans dat een bepaalde waterstand/hoeveelheid regen voor kan komen en wat de gevolgen zoals schade daarbij zouden zijn. Er komen dus regenbuien voor die heviger zijn dan de norm, waardoor het watersysteem die hoeveelheid water niet ineens kan afvoeren en er schade kan ontstaan. Hevige regenbuien met herhalingstijden van bijvoorbeeld eens in de 100 jaar gaan gepaard met grote hoeveelheden regen, die met het bestaande systeem niet kunnen worden opgevangen. Deze hoeveelheden water kunnen dan voor grote overlast zorgen, zoals ondergelopen tunnels en schade aan huizen en winkels.

Een wijze om hiermee om te gaan is het watersysteem te overdimensioneren, waarbij het watersysteem wordt ingericht op basis van extremere buien dan de norm. Hiermee kan het watersysteem worden voorbereid op extra regenval. Echter een dergelijke oplossing is alleen af en toe nodig tijdens hevige regenbuien, terwijl er een ongewenste situatie kan ontstaan ten tijde van geen of weinig regenval door de inbreuk op de leefomgeving door de maatregel. Zodra maatregelen ruimte vragen van de leefomgeving gaan de belangen van inwoners meespelen. Zij moeten met de maatregelen leven.

Door mensen bewust te maken van de afvoer van regenwater en de noodzaak hiervan kan er meer draagvlak ontstaan voor maatregelen in hun leefomgeving. Wanneer mensen het nut van een maatregel inzien, staan zij hier wellicht meer voor open.

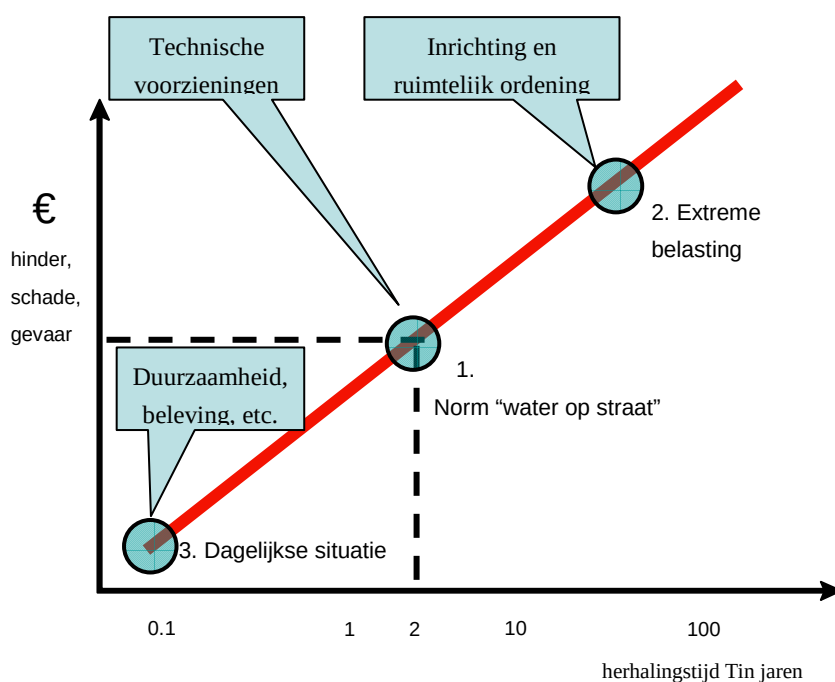
Het is dus belangrijk te overwegen of een oplossing ook wenselijk is in de dagelijkse situatie. Een oplossing moet niet op andere momenten voor overlast zorgen voor inwoners. De uitvoering van een maatregel op zich zorgt al voor overlast voor inwoners. Daarom moet rekening worden gehouden met de permanente gevolgen van een maatregel in de leefomgeving. Daarentegen hebben de inwoners ook baat bij maatregelen, omdat zij ook degene zijn die de last van water op straat ervaren. Het is dus belangrijk mensen het nut te laten inzien van maatregelen om ervoor te zorgen dat veranderingen in de leefomgeving

geaccepteerd worden. Probleem hierbij is mensen te overtuigen van de ernst van hevige regenbuien met een grote herhalingsstijd. Dergelijke situaties zijn moeilijk voor te stellen als deze nog nooit hebben plaatsgevonden. Tevens vergeten mensen dergelijke situaties snel wanneer ze toch optreden, zodat de noodzaak om wat aan wateroverlast te doen snel weer afneemt. Het zou dus elke dag de moeite waard moeten blijven om wateroverlast te voorkomen [Tauw,2007].

Voor de verantwoordelijke gemeente gelden andere wensen en eisen voor het nemen van maatregelen; namelijk de kosten en de haalbaarheid.

Tevens moeten de maatregelen in samenhang met andere disciplines (zoals verkeer of bouw) worden beoordeeld, omdat een goede oplossing voor de één, problemen voor de ander kan veroorzaken. Hierbij zijn ook de kosten belangrijk, omdat de uitvoering van een maatregel geld kost én een maatregel kosten door schade moet voorkomen.

Dit is samengevat in de driepuntsbenadering opgesteld door Tauw:



Figuur 4: driepuntsbenadering met dubbele log-schaal [Tauw, 2007].

“De rechte lijn geeft een persistente, hardnekkige situatie weer, wat betekent dat de lijn niet kan buigen. Mensen passen zich aan aan de situatie waarin zij verblijven. Als iets onveilig is zijn ze voorzichtig, maar als ze zich veilig voelen gaan ze meer risico's nemen” [Tauw, 2007]. Een maatregel kan echter op de extreme situatie een groot effect hebben, terwijl er geen effect is op de dagelijkse situatie. Het is mogelijk dat een maatregel alleen merkbaar is bij

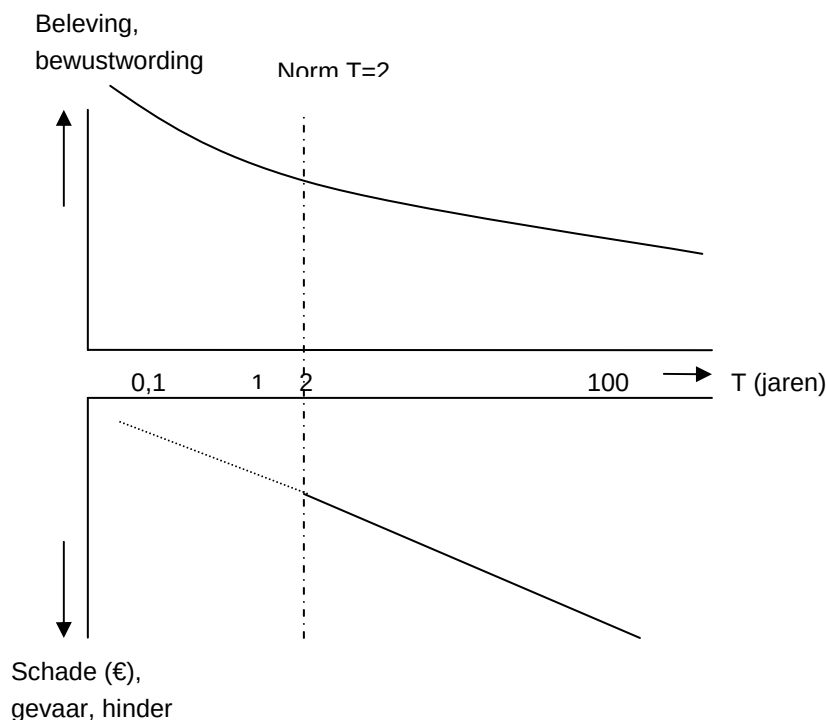
extreme buien ook wat betreft de leefomgeving, zoals bij ondergrondse maatregelen. Hierdoor zal er een knik in de lijn ontstaan vanaf de norm, omdat links van de norm de maatregel geen invloed heeft. Ook kan een maatregel een klein effect hebben in de extreme situatie, terwijl het effect in de dagelijkse situatie heel groot is door bijvoorbeeld grote veranderingen in de leefomgeving. Hierdoor zal de lijn aan de linkerkant meer zakken (of juist stijgen) dan aan de rechterkant.

“Het gewenste effect is dat de lijn naar beneden schuift. Hierdoor wordt het effect (de schade) voor alle herhalingstijden kleiner” [Tauw, 2007]. Echter een belangrijk punt van de driepuntsbenadering is dat de mensen bewust worden gemaakt van de afvoer van regenwater en het hiervoor belangrijk is dat die afvoer zichtbaar wordt gemaakt. Als de lijn in zijn geheel zou zakken, zouden de effecten in de dagelijkse situatie ook minder worden. Dit zou ook kunnen betekenen dat mensen juist minder bewust raken. Het linker deel van de lijn zou dus voor de bewustwording minder (of helemaal niet) moeten zakken ten opzichte van het rechter deel van de lijn. Voor de schade zou de lijn wél in zijn geheel moeten zakken.

3.2 De driepuntsbenadering aangepast

Uit bovenstaande blijkt dat in de driepuntsbenadering het linker deel van de lijn niet duidelijk is. Aspecten als bewustwording en beleving worden hier uitgedrukt als schade bij een herhalingstijd, terwijl dit moeilijk te combineren is. Tevens komen er andere aspecten bij kijken dan alleen schade en gevaar. Ook de aantrekkelijkheid van de leefomgeving is erg belangrijk. Er blijkt ook dat effecten op de schade anders kunnen zijn dan op de beleving en de bewustwording, waardoor vooral in de dagelijkse situatie moeilijk is vast te stellen hoe de lijn moet lopen. Omdat juist de link tussen de extreme situatie en de dagelijkse situatie belangrijk is voor het waterbeheer, is het nodig om beide goed te kunnen weergeven.

De lijn aan de linkerkant van de norm moet dus duidelijker worden weergegeven om de effecten op de beleving/bewustwording en de schade te kunnen onderscheiden. Hiervoor wordt een nieuwe y-as voorgesteld, waardoor de schade en de beleving/bewustwording van de leefomgeving elk een eigen as krijgen. Er is dan makkelijker af te lezen wat de invloed van maatregelen en veranderingen is op beide zaken. Het ziet er als volgt uit:



Figuur 5: aangepaste driepuntsbenadering met dubbele log-schaal met extra y-as

De lijn van de schade loopt recht en aan de linker kant van de norm is hij gestippeld, omdat hier geen schade optreedt (het systeem moet worden ingericht op de norm), echter er kan wel hinder optreden door plassen water op straat. De lijn loopt dus wel door links van de norm.

De lijn van de beleving/bewustwording loopt naar beneden, omdat geldt dat hoe meer water er op straat staat en hoe meer water er over de stoepen stroomt, hoe minder goed de beleving van de omgeving wordt. Echter water op straat tijdens regenbuien kan de bewustwording positief beïnvloeden, doordat de afvoer van regenwater zichtbaar wordt. Hoe heviger de bui, hoe meer zichtbaar de afvoer wordt. Dit zorgt ervoor dat de lijn niet recht naar beneden loopt. De lijn loopt niet naar boven door het effect van de vergroting van de bewustwording, omdat water op straat wat schade kan veroorzaken en ernstige hinder door bijvoorbeeld afgezette straten zwaarder gaat tellen voor mensen dan dat ze bewust zijn van de regenwaterafvoer.

Veranderingen door maatregelen of door klimaatveranderingen kunnen voor beide y-assen ingetekend worden. Maatregelen kunnen op de schade een ander effect hebben dan op het leefgenot en de bewustwording, waardoor het apart tekenen van beide lijnen dit duidelijk kan weergeven. Een lijn die beide zaken representeert zal dit verschil niet kunnen weergeven.

Door beide lijnen apart weer te geven kan een waterbeheerder zelf bepalen wat belangrijker is, de schade of de leefomgeving. Dit zal verschillen per situatie, per gemeente en per herhalingstijd. Bij kleinere herhalingstijden kan de leefomgeving belangrijker zijn, terwijl bij de groter herhalingstijden de schade belangrijker kan zijn. Die keus is aan de waterbeheerder.

In hoofdstuk 5, resultaten en discussie, zal de driepuntsbenadering terugkomen. Dan worden de maatregelen teruggekoppeld naar de driepuntsbenadering op basis van de resultaten van de maatregelen. Hier zal dus blijken wat het onderlinge effect van de maatregelen is en hoe dit kan worden weergegeven in de lijn van de driepuntsbenadering.

4 Case Studie Brummen

4.1 Brummen

Voor de simulatie van de maatregelen en de verschillende regenbuien is gekozen voor de gemeente Brummen en daarbinnen de kern Brummen. Het is een kleine kern met een overzichtelijk rioolstelsel. De gemeente is licht hellend en er ligt een groot park met bergingsvijver. Het systeem van Brummen leent zich goed om simulaties mee te maken voor de effecten van verschillende maatregelen. Doordat het een overzichtelijk systeem is kunnen resultaten goed worden teruggekoppeld naar de werkelijkheid. Hierdoor kunnen de resultaten ook vertaald worden naar watersystemen van andere gemeenten. Hieronder wordt een beschrijving gegeven van het watersysteem van Brummen in werkelijkheid en vervolgens als netwerk in Infoworks.

Brummen is een kleine plaats in Gelderland en is gelegen in het waterschap Veluwe. De ligging van de stad in Nederland is hieronder weergegeven.



Figuur 6: ligging van Brummen in Nederland, [Google, 2008].

Brummen heeft een gemengd rioolstelsel, wat inhoudt dat het afvalwater en het regenwater via dezelfde rioolbuizen worden afgevoerd naar de overstorten en de RWZI. De RWZI is gelegen ten oosten van de stad. Hieronder is deze locatie weergegeven.



Figuur 7: ligging RWZI Brummen, [Google, 2008].

Brummen is een licht hellende gemeente, waarbij het hoogste punt op ongeveer 10,5 meter +NAP ligt en het laagste punt op 8 meter. Het hoogste deel van Brummen ligt in het noordwesten en het laagste punt in het noordoosten. [Interview Brummen, 2008].

Na navraag bij de gemeente Brummen is gebleken dat van het laagste punt, het noordoosten, bekend is dat er wateroverlast optreedt. Wateroverlast bij buien van $T=100$ is niet bekend, omdat er geen ervaring bestaat met buien waarvan de herhalingsstijd zo hoog wordt ingeschat [Interview Brummen, 2008].

4.2 Schematische weergave Brummen

Het netwerk van het rioolstelsel van Brummen ziet er als volgt uit:



Water over straat

Anne Steenbergen

4.3 Aannames Infoworks

Er is een aantal aannames gedaan bij het simuleren van het watersysteem van Brummen.

Ten eerste is er vanuit gegaan dat het water altijd kan overstorten. Waterpeilen aan de achterkant van een overstort of verstopping van overstorten zijn zaken die buiten beschouwing zijn gelaten.

Tevens is voor de ruwheid van de buizen een waarde aangenomen. Er is voor de riolering en de straat van hetzelfde materiaal uit gegaan. In de Leidraad Riolering [Rioned, 2004] zijn de hydraulische ruwheden opgenomen van verschillende materialen. Hier wordt voor een betonbuis een k-waarde gegeven van 1 mm. Door deze om te rekenen naar een Strickler-Manning coëfficiënt wordt de waarde uit Infoworks verkregen, namelijk 83. Zie bijlage Omrekenen ruwheidswaarde voor de uitgebreide berekening van de Strickler-Manning coëfficiënt.

De sedimenthoogte in de buizen is op 0 ingesteld, wat betekent dat er geen slib in de buizen aanwezig is. In de praktijk zal er wel slib aanwezig zijn in de buizen, maar het is moeilijk te zeggen hoeveel dat is en wat de invloed daarvan op de afvoercapaciteit is.

De afvoer van het water uit het rioolstelsel naar het RWZI is geschematiseerd door een pomp met een capaciteit van 0,101 m³/s. Er is aangenomen dat deze capaciteit overeen komt met de capaciteit van de RWZI, zodat het simuleren van de RWZI als pomp geen invloed heeft op de afvoercapaciteit van het rioolstelsel.

In de buizen staat vóór de start van de simulatie 0,01 m water. Dit is een default waarde binnen het programma. Er is vastgesteld dat er minstens 0,01 m water in de buizen moet staan. Er is aangenomen dat dit geen effect heeft op de resultaten van de simulaties, omdat het niet in verhouding staat met de grootte van de buizen.

4.4 Invulling maatregelen in Infoworks

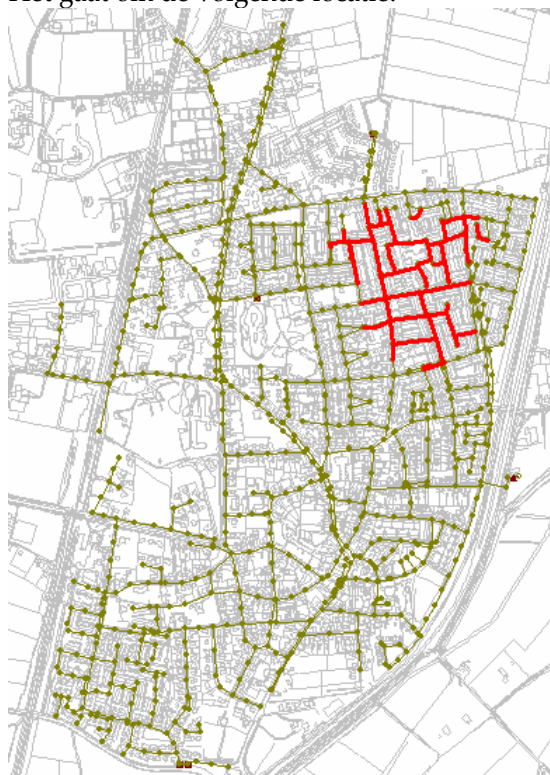
4.4.1 Onderhoud riolering verbeteren

In de schematisatie van Brummen is uitgegaan van een goed onderhouden rioolstelsel. Om te onderzoeken wat de effecten zijn van verbeterd onderhoud aan het rioolstelsel, moet het in Infoworks andersom gesimuleerd worden. Door een vervuilde riolering te simuleren en de resultaten hiervan te vergelijken met de resultaten van de huidige situatie wordt het verschil duidelijk tussen weinig tot geen onderhoud en een goed onderhouden riool. Hiermee kan onderzocht worden wat de effecten zijn van het goed uitvoeren van het onderhoud aan de riolering.

Vervuilde riolering kan gesimuleerd worden door de sedimenthoogte in de rioolbuizen aan te passen.

Voor de vervuilde riolering is een laag gelegen locatie in de stad uitgekozen, waar problemen kunnen ontstaan doordat het water uit de rest van het systeem die kant op stroomt. Er is een grote vervuiling van 2/3 van de buishoogte aangenomen.

Het gaat om de volgende locatie:



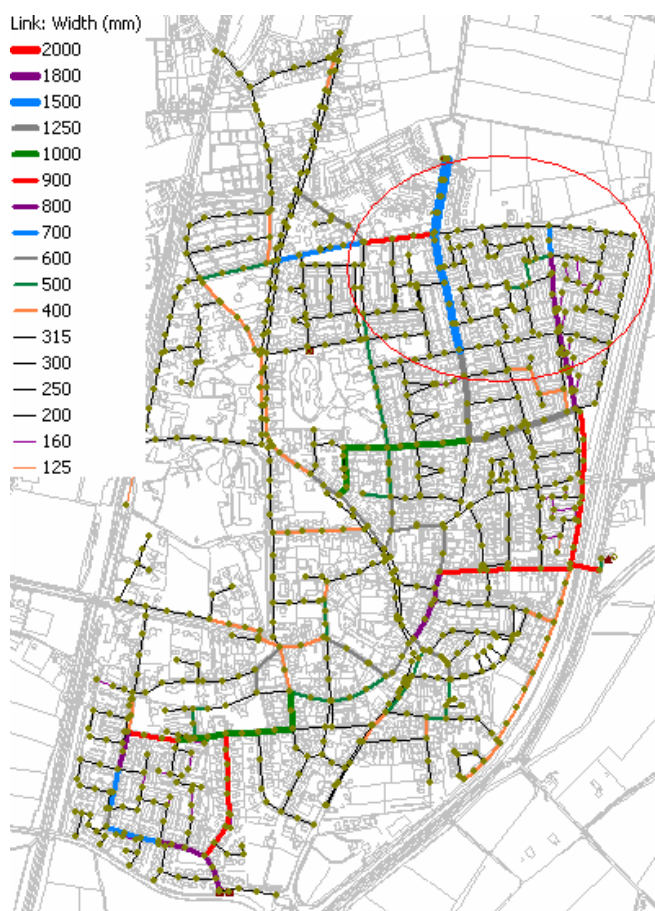
Figuur 9: locatie vervuilde riolering

Per buis kan opgegeven worden of er vervuiling aanwezig is en hoeveel vervuiling dat is. Deze vervuiling wordt niet verspreid door de stroming van het water door de rioolbuizen, maar blijft op dezelfde plek. Hierdoor ontstaat een soort drempel, die voor een kleine opstuwning kan zorgen. In de praktijk zal sediment in een rioolbuis wel worden verspreid door de waterstroming. Het aanbrengen van het sediment in de buizen zal een overschatting van de resultaten geven, maar geeft wel duidelijk inzicht in het verschil met de huidige (schone) situatie.

4.4.2 Riolering vergroten

De riolering kan vergroot worden in Infoworks door de afmetingen van de gekozen rioolbuizen per buis te veranderen. Er kan aan de hand van een overzicht van de afmetingen

van de rioolbuizen en optredende problemen een locatie voor de vergroting worden gekozen. In dit onderzoek is gekozen voor de volgende locatie, omdat hier in de huidige situatie bij bui 10 en bui 100 problemen optreden en een snellere afvoer door een vergroot rioolstelsel mogelijk de oplossing kan bieden. Dit is dezelfde locatie als bij de maatregel van een verbeterd onderhoud. Dit is het laagste deel van Brummen en hier ontstaan de grootste problemen.



Figuur 10: diameters rioolbuizen en de locatie van vergroting riolering

Duidelijk is te zien dat de uitstroom in noordoost Brummen via een zeer brede buis naar de noordelijke overstort gaat, terwijl omliggende buizen smaller zijn. Door hier enkele buizen groter te maken kan het water sneller wegstromen naar die overstort, waardoor problemen lokaal en eventueel bovenstrooms kunnen worden voorkomen. Hierbij moet worden onderzocht of de overstort groter volume aan water aan kan.

De aangrenzende buizen richting de noordelijke overstort zijn vergroot van 900 mm naar 1250 mm en een klein stukje, waar veel wateroverlast optreedt, is van 300 mm naar 1250 mm

vergroot. In de omgeving van de overstort zijn vervolgens buizen van 300 mm naar 800 mm vergroot. Dit is hieronder weergegeven:



Figuur 11: nieuwe diameter door vergroting rioolbuizen ten opzichte van oude diameter

4.4.3 Afkoppelen

Voor de simulaties in dit onderzoek is uitgegaan van een afkoppeling van 20% voor de hele stad. In de Vierde Nota Waterhuishouding is als doel gesteld bestaande bebouwing in stedelijk gebied voor 20% af te koppelen. [Ministerie V&W, 1998].

Per put is het afvoerend, verhard oppervlak gegeven. Deze kun je veranderen door met een factor te vermenigvuldigen. Om 20% van de gemeentelijk verhard oppervlak af te koppelen kunnen alle afvoerende oppervlakten met een factor 0,8 vermenigvuldigd worden.

Er zou ook voor een locatie kunnen worden gekozen om daar alleen af te koppelen. Door verdergaand onderzoek kan worden uitgezocht wat geschikte locaties voor afkoppelen zijn. Dit kan worden verwerkt in Infoworks.

4.4.4 Stoepen terug in centrum

Om het effect van stoepen in het centrum te kunnen onderzoeken kan ter vergelijking gekeken worden naar een situatie waarin de stoepen verwijderd zijn. De resultaten hiervan

kunnen vergeleken worden met de resultaten van de huidige situatie met een straatprofiel met stoepen.

Van de straten in het centrum kan het straatprofiel worden aangepast, zodat de stoepen verdwijnen. Hierbij kan de bodemligging van de straten worden opgehoogd met 10 cm tot het niveau van de stoepen, zoals in de praktijk gebeurt. De straten worden dus opgevuld.

4.5 Simulaties

Een simulatie kan worden uitgevoerd voor een netwerk (stelsel) in combinatie met regenbuien. Regenbuien kunnen worden toegevoegd aan Infoworks en deze kunnen per één of meer worden aangeroepen voor een simulatie. Om het effect te zien van bijvoorbeeld een maatregel bij verschillende soorten regenbuien hoeft slechts één simulatie te worden gemaakt.

Voor een run kan een tijdstap worden bepaald. Deze staat standaard op 60 seconden. Ook kan er worden aangegeven voor welke tijd de run moet worden gemaakt. Er is gekozen voor 240 minuten, omdat na een bui van 2 uur het systeem dan de tijd heeft om het water af te voeren. Zo kan het totale effect worden onderzocht en kan ook bekeken worden hoe lang er water op straat staat en hoe dat verschilt per locatie in de stad.

5 Resultaten en discussie

In dit hoofdstuk wordt eerst de huidige situatie besproken. Vervolgens worden de resultaten van de simulaties van de maatregelen en de analyses daarvan beschreven. De resultaten van de maatregelen worden samen met de resultaten van de huidige situatie gepresenteerd om zo het effect duidelijk te kunnen weergeven. Daarna zullen de maatregelen worden getoetst aan de criteria en teruggekoppeld naar de driepuntsbenadering. Hierop volgt een discussie over de resultaten en de onderlinge vergelijking tussen de maatregelen.

5.1 Huidige situatie

Bij het simuleren van de huidige situatie blijkt dat (zoals hoort) er geen water op straat optreedt bij bui 2. Bij bui 10 ontstaan vooral problemen in het noordoostelijk deel van Brummen. Hier komt water op straat te staan en op enkele plekken zelfs buiten het straatprofiel, wat betekent dat daar het water gebouwen in kan stromen en voor schade kan zorgen. Bij bui 100 ontstaan in bijna heel Brummen problemen met veel water buiten het straatprofiel. Het zwaartepunt ligt in de beide lager gelegen delen, namelijk het noordoosten en het zuidwesten van Brummen. Na navraag bij de gemeente Brummen blijkt dat in het noordoosten de problemen met regenwater bekend zijn. Deze treden hier op. Over buien met een herhalingsdij van 100 jaar konden zij niets zeggen doordat zij hier geen ervaring mee hebben. De wateroverlast die in het zuidwesten wordt berekend kunnen zij dus niet verifiëren, omdat deze bij een bui 100 ontstaat [Interview Brummen, 2008].

Rond de geschematiseerde pomp naar de RWZI wordt ook wateroverlast berekend, terwijl de gemeente hier geen problemen ervaart. Dit kan aan de schematisatie van de pomp liggen. Het kan zijn dat deze de werkelijkheid niet goed benadert.

Het bleek dat het simuleren van een pomp problemen kan opleveren door de gekozen tijdstap in combinatie met de pompkelder van de aanwezige pomp. Als deze pompkelder klein is, kan het zijn dat de berekening met een kleiner tijdstap moet worden uitgevoerd, omdat anders grote fouten kunnen worden gemaakt door het iteratieproces. De gemeente Brummen heeft aangegeven dat de pompkelder klein is. [Interview Brummen, 2008].

Daarom is er een extra simulatie uitgevoerd met een tijdstap van 10 seconden in plaats van 60 seconden. Echter de resultaten waren hetzelfde.

Het verschil tussen de berekeningen en de werkelijkheid zou ook kunnen liggen aan de gekozen pompcapaciteit of aan het feit dat de gemeente geen ervaring heeft met extreme buien.

Een andere verklaring kan zijn dat het straatprofiel nu zeer grof is weergegeven. Overal is hetzelfde straatprofiel weergegeven, wat betekent dat praktijksituaties als woonerven en parkeerplaatsen niet zijn weergegeven. In de praktijk kan het water dus een andere weg

zoeken dan in de simulatie, waardoor het op andere plaatsen of in mindere mate problemen kan veroorzaken.

Bij bui 10 staat er in de maximum situatie 11400 m³ water op straat en 1700 m³ water boven het straatprofiel. Bij bui 100 is dat 15370 m³ water op straat en 4617 m³ boven het straatprofiel. Dit is water dat in de praktijk buiten het straatprofiel gaat stromen, wat betekent dat het tuinen maar ook gebouwen in kan stromen, wat veel schade kan veroorzaken.

Door het hoogteverschil in de gemeente stroomt het water niet overal even snel weg en zal water van hoger gelegen delen naar lager gelegen delen stromen. Dat is hieronder beschreven.

Snelheid afvoer water van straat

Na de simulaties van de huidige situatie met verschillende buien bleek dat het water niet op elke locatie even snel wegl loopt.



Figuur 12: locaties in Brummen met verschillende hoogteligging [Google, 2008].

De oostkant van het park is relatief hoog gelegen in Brummen, namelijk tussen 9,5 en 10 m +NAP. Bij bui 2 staat er geen water op straat. Bij bui 10 staat er 35 minuten water op straat. Bij bui 100 staat er 40 minuten water op straat.

Het zuiden van Brummen ligt lager, namelijk tussen 8,7 en 9,4 m +NAP. Bij bui 2 staat er geen water op straat. Bij bui 10 staat het water 40 minuten op straat. Bij bui 100 staat het water 60 minuten op straat.

Het noordoosten van Brummen ligt het laagst, namelijk 8 tot 8,5 m +NAP. Bij bui 2 staat er geen water op straat. Bij bui 10 staat het water 75 minuten op straat. Bij bui 100 staat het water 110 minuten op straat.

Duidelijk is dat op de hoger gelegen delen het water minder lang op straat blijft staan dan op de lager gelegen delen. Doordat het water van hoog naar laag stroomt richting de overstorten en de RWZI, wordt het water verzameld op de lager gelegen delen, waardoor het langer duurt voordat al het water afgevoerd is en niet meer op straat staat.

Dit is hieronder samengevat in een tabel:

Locatie in Brummen	Oosten van park	Zuiden	Noordoosten
Hoogteligging (m +NAP)	9,5 – 10	8,7 – 9,4	8 – 8,5
Tijd water op straat T=10 (minuten)	35	40	75
Tijd water op straat T=100 (minuten)	40	60	110

Tabel 2: verschillende locatie in Brummen met hun hoogteligging en de tijd dat er water op straat staat bij bui 10 en bui 100.

5.2 Resultaten maatregelen

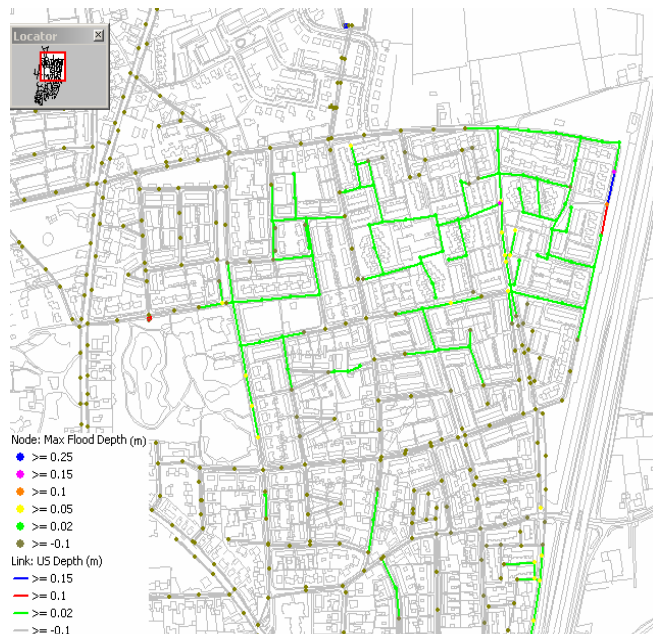
In deze paragraaf worden de resultaten van de maatregelen gepresenteerd met de resultaten van de huidige situatie om zo de verschillen te kunnen benadrukken. De resultaten zullen worden getoetst aan de criteria die in hoofdstuk 2, methode van onderzoek, beschreven zijn.

5.2.1 Verbetering onderhoud riolering

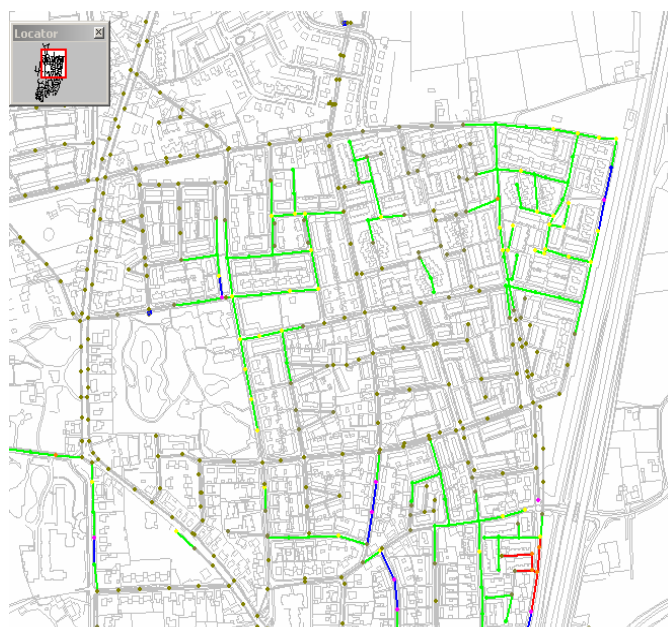
Hieronder worden de resultaten gepresenteerd van een vervuilde riolering. Deze resultaten worden voor elke regenbui gepresenteerd met de huidige situatie om het verschil te laten zien tussen effect van een regenbui bij een 'schone' en een vervuilde riolering. Bij bui 2 ontstaat al water op straat, wat betekent dat een vervuilde riolering problemen kan veroorzaken in situaties waarvan verwacht mag worden dat er geen water op straat staat. Bij bui 10 en bui 100 wordt de hoeveelheid water op straat en boven het straatprofiel steeds groter.



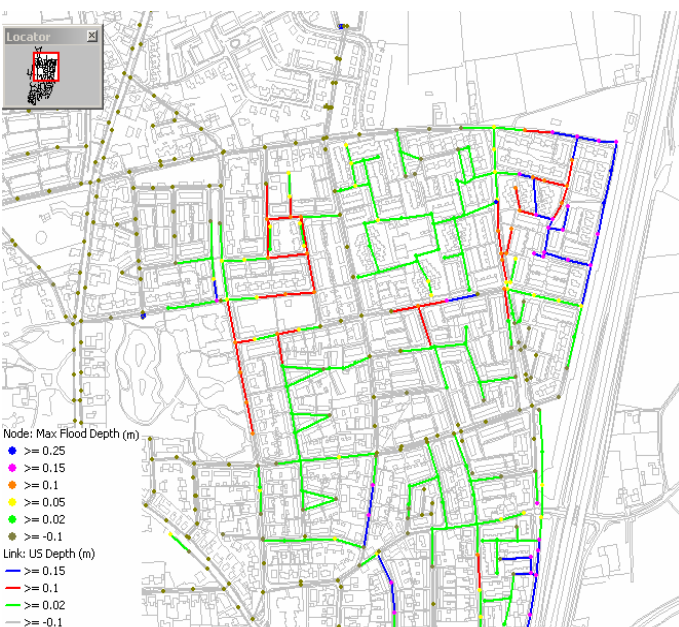
Figuur 13: huidige situatie, bui T=2, noordoosten Brummen



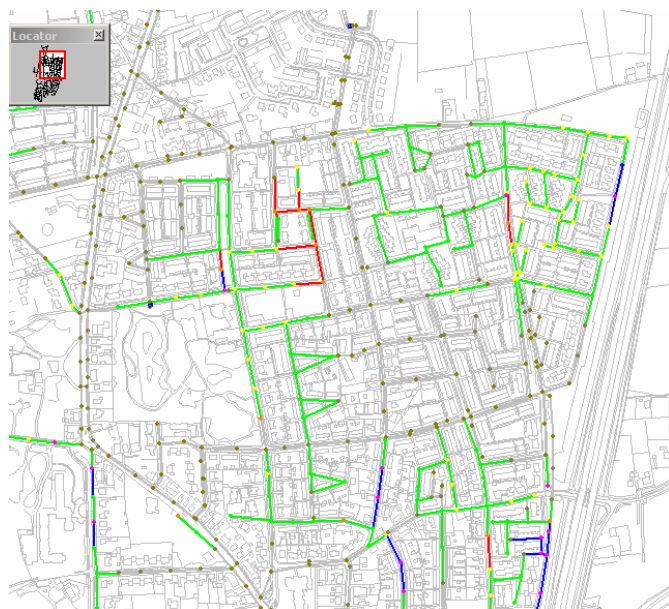
Figuur 14: vervuilde riolering, bui T=2, noordoosten Brummen



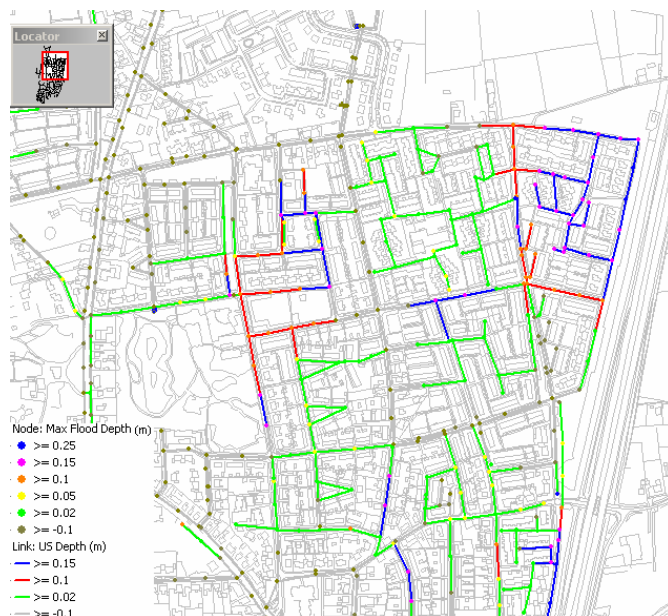
Figuur 15: huidige situatie, bui T=10, noordoosten Brummen



Figuur 16: vervuilde riolering, bui T=10, noordoosten Brummen



Figuur 17: huidige situatie, bui T=100, noordoosten Brummen



Figuur 18: vervuilde riolering, bui T=100, noordoosten Brummen

In de figuren is duidelijk te zien dat de effecten van een vervuilde riolering groot zijn bij buien van T=10 of T=100. Bij bui 10 staat in de maximum situatie bij vervuiling 7900 m³ water op straat en 4200 m³ water boven het straatprofiel tegen 4800 m³ en 900 m³ in de huidige situatie. Dit is een enorme stijging van water op straat. Dit lijkt vooral in het meest noordoostelijke deel voor te komen.

Bij bui 100 staat in bijna het hele geselecteerde gebied water op straat en water boven het straatprofiel. Hier staat 9800 m³ water op straat en 6400 m³ boven het straatprofiel in de maximum situatie bij vervuiling tegen 6600 m³ en 1700 m³ in de huidige situatie, wat betekent dat er veel water extra buiten het straatprofiel zal gaan stromen, wat voor veel schade kan zorgen.

In de hoofdafvoer naar de overstort in het noorden is ook een vervuiling aangebracht. Het kan zijn dat hierdoor extra problemen optreden, omdat in een 'schone' situatie het water richting de hoofdafvoer gaat en dan richting de overstort. Door de vervuiling kan hierdoor extra veel water niet doorstromen, wat betekent dat het de straat op zal stromen en schade kan veroorzaken. Het lijkt dus extra belangrijk te zijn de hoofdafvoer schoon te houden.

Terugkoppeling naar de criteria

De kosten van een verbeterd onderhoud zijn alleen de nieuwe onderhoudskosten. Er zijn geen aanlegkosten voor deze maatregel. Nauwkeuriger en vaker onderhoud zal meer geld kosten dan minder onderhoud plegen, maar het verschil zal niet groot zijn.

Het is zeker haalbaar om het onderhoud aan het riool te verbeteren. Oude handelingen zullen verscherpt en uitgebreid moeten worden, maar er zullen geen nieuwe vaardigheden worden gevraagd.

Het effect in de figuren laat duidelijk zien dat bij hevige regenbuien (T=10 en verder) veel meer water op straat en buiten de straat komt te staan als de riolering vervuild is. Bij bui 10 stijgt de hoeveelheid water buiten het straatprofiel van 900 m³ naar 4200 m³. Dit zijn grote effecten vanwege een zeer grote vervuiling. Een kleinere vervuiling zal minder water op straat veroorzaken. Deze resultaten laten duidelijk zien dat een vervuiling wateroverlast kan veroorzaken en dat het dus nuttig is het riool goed te onderhouden en dergelijke situaties te voorkomen.

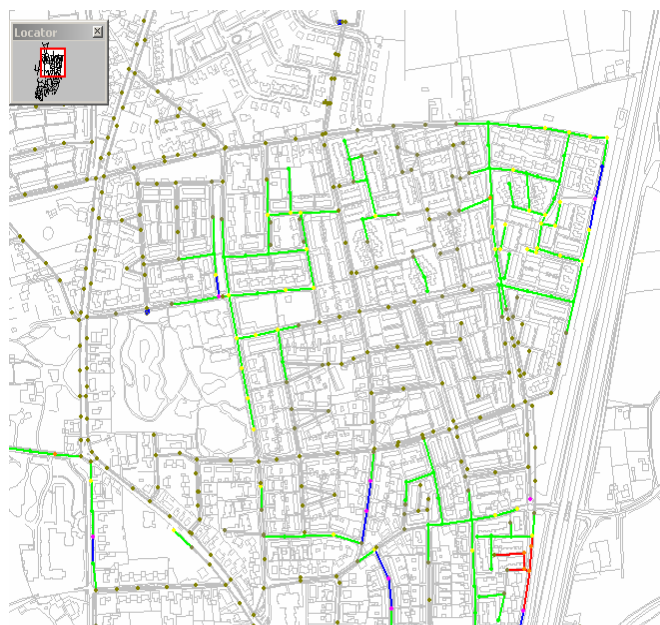
In de praktijk kan een vervuilde riolering ook problemen veroorzaken in de dagelijkse situatie. Doordat de afvoercapaciteit van de riolering sterk is afgenomen kunnen bij zeer lage herhalingstijden lokaal problemen optreden die hinder en schade kunnen veroorzaken. Doordat het water niet via het riool kan worden afgevoerd zal het uit de putten op straat stromen. Door de riolering goed te onderhouden kunnen deze problemen voorkomen worden.

De leefomgeving kan dus in de dagelijkse situatie verbeterd worden doordat er niet bij kleine buien al problemen optreden. De leefomgeving wordt niet fysiek veranderd. Het onderhoud gebeurt onder de grond en inwoners zullen hier niets van merken. Verbeterd onderhoud zal dus niet bijdragen aan de bewustwording van mensen wat betreft de afvoer van regenwater in de stad.

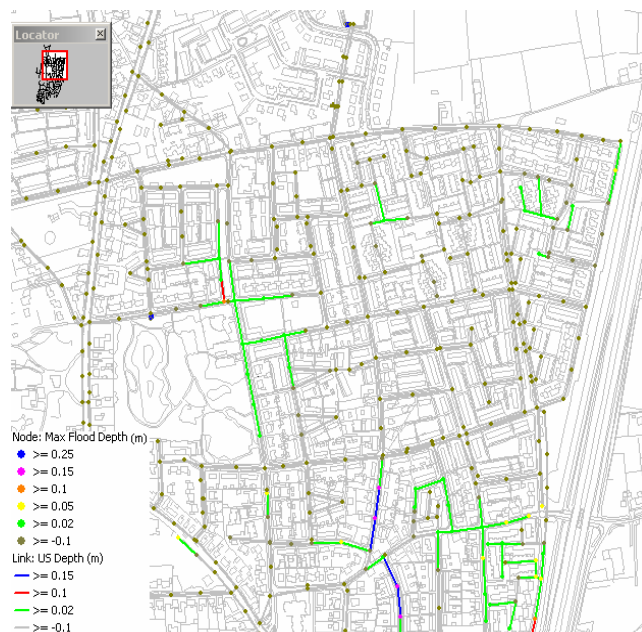
5.2.2 Vergroten riolering

Door het rioleringsstelsel op een geschikte locatie te vergroten kan water sneller worden afgevoerd, waardoor de hoeveelheid die op straat blijft staan kleiner wordt. De locatie van de vergroting en de mate van de vergroting staan weergegeven in hoofdstuk 3, case studie Brummen.

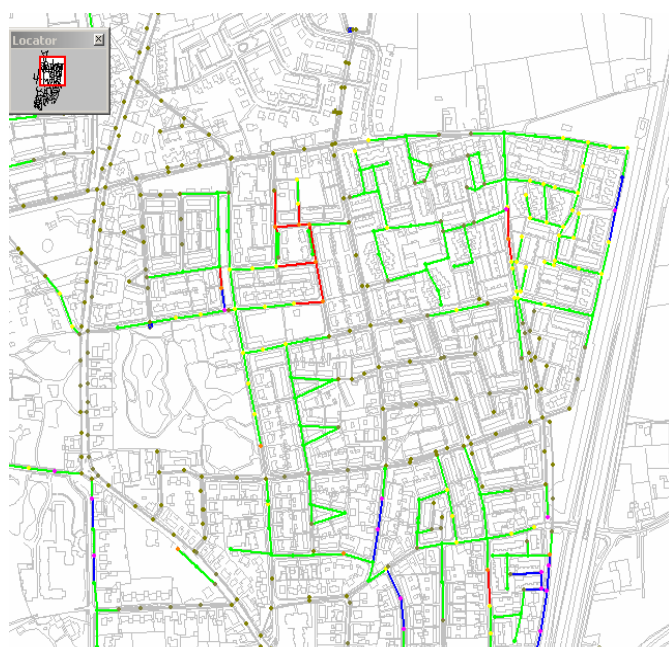
Hieronder zullen de effecten van de vergroting worden bekeken in vergelijking tot de resultaten van de huidige situatie bij bui 10 en bui 100. Bij bui 2 treden in de huidige situatie geen problemen op, dus zal een vergrootte riolering geen problemen hoeven op te lossen. Tevens zal een vergelijking worden gemaakt met een situatie, waarin minder buizen vergroot zijn en waarbij de vergroting minder sterk is.



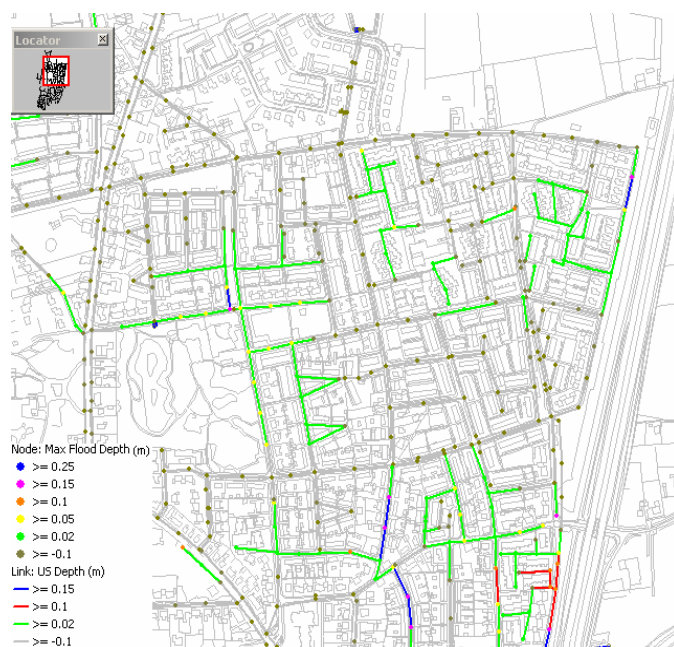
Figuur 19: huidige situatie, bui T=10, noordoosten Brummen



Figuur 20: vergroting riolering, bui T=10, noordoosten Brummen



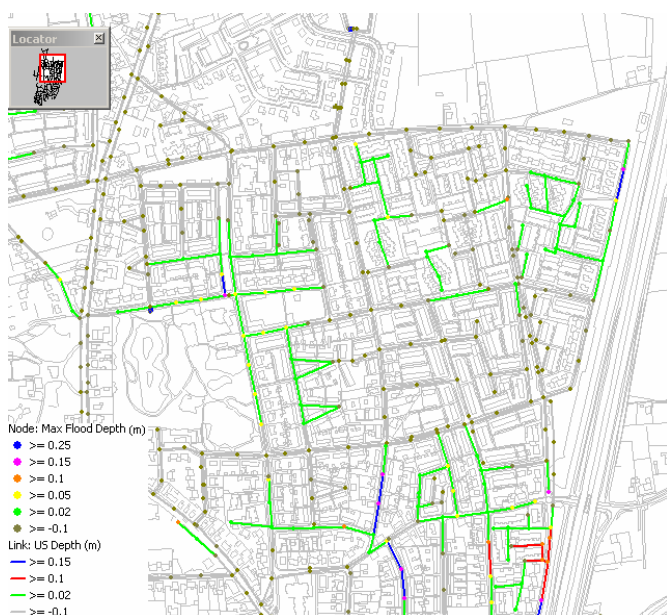
Figuur 21: huidige situatie, bui T=100, noordoosten Brummen



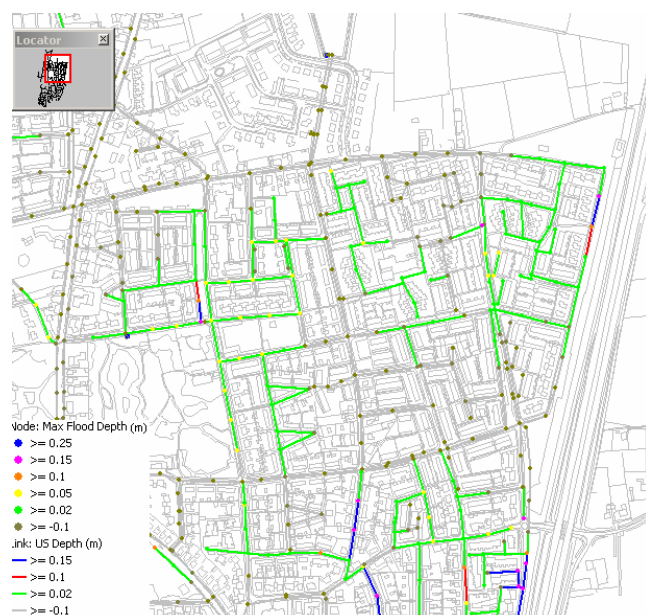
Figuur 22: vergroting riolering, bui T=100, noordoosten Brummen

In bovenstaande figuren is te zien dat het vergroten van de riolering effect heeft. Bij bui 10 en bui 100 is duidelijk te zien dat de hoeveelheid water op straat sterk vermindert. Bij bui 10 staat er in de maximum situatie van de vergroting 3600 m³ op straat en 300 m³ boven het straatprofiel tegen 4800 m³ en 900 m³ in de huidige situatie. Dit betekent een vermindering van twee derde van het water wat buiten het straatprofiel komt. Voor bui 100 is dat 4800 m³ en 1000 m³ tegen 6600 m³ en 1700 m³, wat een groot verschil maakt, maar relatief gezien niet zo groot als bij bui 10. Ook is te zien dat op andere locaties, bijvoorbeeld rechtsonder in de figuren, de hoeveelheid water op straat ook minder wordt. De riolering vergroten kan dus een oplossing zijn om problemen op meerdere plekken tegelijk te verminderen of op te lossen.

Het effect van de maatregel hangt sterk af van de mate waarin de riolering vergroot is. Als de resultaten voor bui 100 met een kleinere vergroting (geen vergroting naar 1250 mm, maar alles in de omgeving vergroot naar 800 mm) worden vergeleken met de voorgaande resultaten ziet dat er als volgt uit voor bui 100:



Figuur 23: vergroting riolering, bui T=100, noordoosten Brummen



Figuur 24: kleinere vergroting riolering, bui T=100, noordoosten Brummen

In beide figuren is te zien dat het effect bij een bui 100 groot is. In beide gevallen wordt de hoeveelheid water op straat sterk verminderd. Bij de kleinere vergroting is het effect 5600 m³ tegen 6600 m³ water op straat en 1200 m³ tegen 1700 m³ water boven het straatprofiel. Dit is een kleiner effect dan bij de eerdere vergroting. Toch is duidelijk dat met een veel kleinere en dus goedkopere vergroting van het riool goede resultaten kunnen worden gehaald, wat

betreft water dat huizen en winkels in kan stromen. Het is dus zeer nuttig om bij deze maatregel goed na te gaan, waar de problemen zich voor doen en waar een vergroting in het stelsel het meest voor de hand ligt. Op die manier kan een hoop onnodig werk en een hoge kostenpost voorkomen worden.

Terugkoppeling naar de criteria

Het vergroten van de riolering is kostbaar. Het grondwerk en de installering kosten veel geld. Een oplossing hiervoor kan zijn het vervangen combineren met het onderhoud, waardoor kosten voor het grondwerk opgevangen kunnen worden. Het onderhoud van een grotere riolering zal niet veel meer gaan kosten dan het huidige onderhoud. De locaties van de buizen blijven hetzelfde, ze zijn alleen groter, wat meer tijd kan kosten voor het onderhoud.

De totale kosten van de vergroting kunnen geschat worden aan de hand van een Excelsheet, opgesteld door Tauw, wat betreft de kosten van het vernieuwen of vergroten van de riolering.

Hiermee kunnen de kosten inclusief risico, winst, directie en voorbereiding en BTW bepaald worden per diameter per strekkende meter.

Voor de maatregel is gekozen voor een vergroting van een aantal buizen (zie figuur11, hoofdstuk 4) naar 1250 mm en 800 mm. Uit de Excelsheet volgen deze kosten, onderverdeeld in de aanwezige verharding:

	Kosten met klinkers (€/m)	Kosten met asfalt (€/m)	Totale lengte (m)	Totaal klinkers (M€)	Totaal asfalt (M€)
800mm	855	1074	1234	1,1	1,3
1250mm	1497	1819	390	0,6	0,7
Totaal			1624	1,7	2,0

Tabel 3: kosten vergroting riolering [Interviews Tauw, 2007]

De kosten voor het vergroten naar de gekozen maten zijn voor een verharding van klinkers dus €1,7 miljoen en voor een verharding van asfalt €2,0 miljoen. Voor een dergelijk klein gebied als waar het om gaat zijn dit zeer hoge kosten. Een inschatting in de schade, die voorkomen wordt, kan tonen of het de investering waard kan zijn. Gegevens over schade zijn echter moeilijk vast te stellen en zullen verschillen per gemeente. Daarom wordt het hier niet opgenomen in de beoordeling van de maatregelen. Wel is duidelijk dat bij bui10 niet alle wateroverlast wordt voorkomen en hier dus schade kan ontstaan.

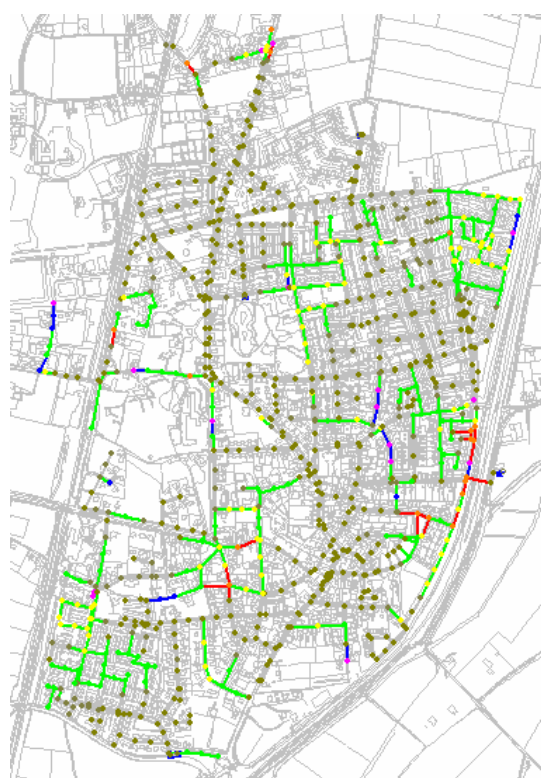
De haalbaarheid van deze maatregel is goed. Als straten worden afgezet kan de riolering worden opgegraven en kunnen de buizen worden vervangen. De uitvoer kan wel ergernis opwekken bij omwonenden vanwege het afzetten en open graven van de straat. Tevens kan

er voor grote, brede buizen ruimtegebrek ontstaan. Het kan zijn dat op bepaalde locaties dergelijke buizen niet geplaatst kunnen worden.

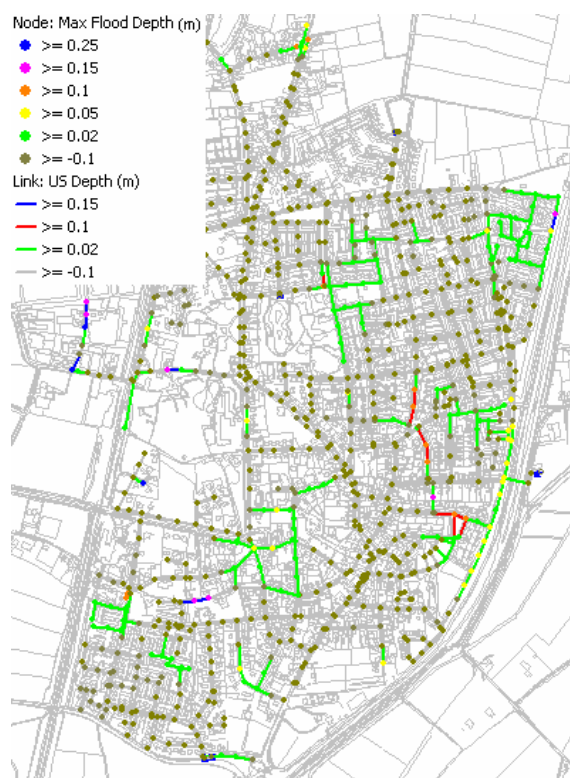
De leefomgeving wordt tijdelijk verslechterd door de uitvoering van de vergroting van het riool. De straat zal tijdelijk open liggen en niet toegankelijk zijn. Na de uitvoering is er geen verandering in de leefomgeving op te merken ten opzichte van de huidige situatie, omdat alles zich onder de grond afspeelt. Het vergroten van de riolering zal dus niet bijdragen aan de bewustwording van mensen wat betreft de afvoer van regenwater in de stad.

5.2.3 Afkoppelen

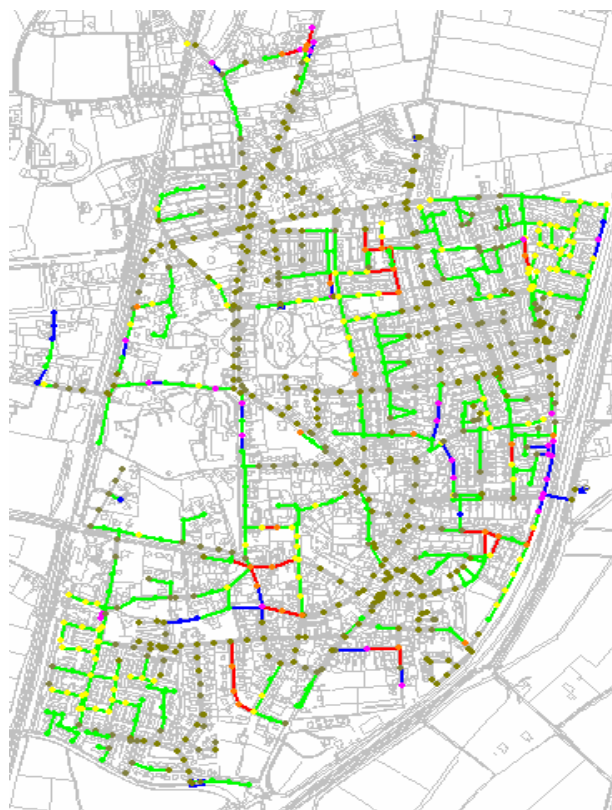
Hieronder zijn de resultaten van 20% afkoppelen gepresenteerd. Hierbij wordt de situatie gepresenteerd voor bui 10 en bui 100. Bij bui 2 treden in de huidige situatie geen problemen op, waardoor afkoppelen geen problemen zal voorkomen.



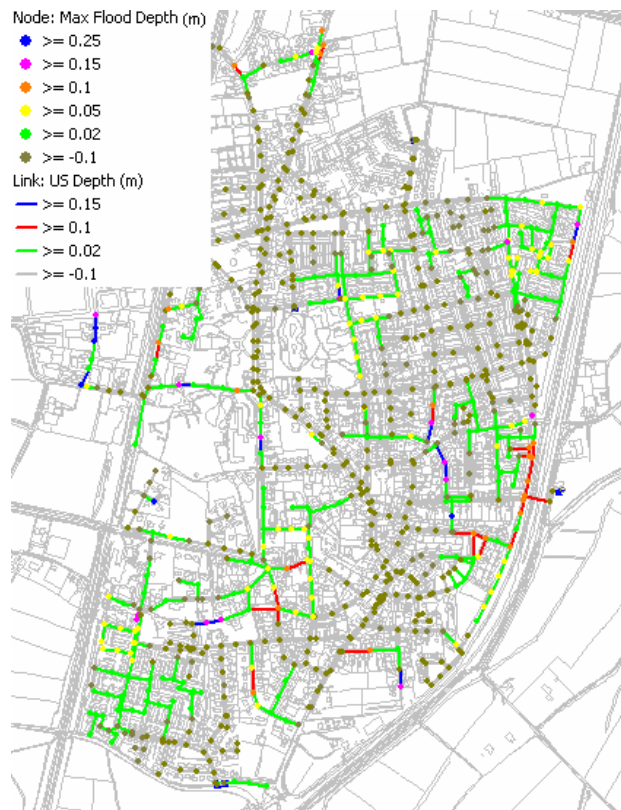
Figuur 25: huidige situatie, bui T=10, Brummen



Figuur 26: afkoppelen, bui T=10, Brummen



Figuur 27: huidige situatie, bui T=100, Brummen



Figuur 28: afkoppelen, bui T=100, Brummen

In bovenstaande figuren is duidelijk te zien dat het afkoppelen van 20% van het verharde oppervlak effect heeft. Bij bui 10 staat er in de maximum situatie bij afkoppelen 8800 m³ water op straat en 700 m³ boven het straatprofiel tegen 11400 m³ en 1700 m³ in de huidige situatie, wat een vermindering van ruim 60 procent is. Bij bui 100 gaat het om 12000 m³ en 2100 m³ tegen 15000 m³ en 4600 m³, dit is een vermindering van ruim 50 procent.

Terugkoppeling naar de criteria

De kosten van het afkoppelen hangen af van de manier van afkoppelen waarvoor gekozen wordt. Het aanleggen van een vegetatiedak of afkoppelen door middel van doorlatende verharding kost veel geld door de nieuwe dakconstructie of de aanleg van een nieuw wegdek, waarbij het onderhoud erg van belang is, wat ook veel geld kost.

De kosten voor afkoppelen worden geschat op een gemiddelde waarde van €40/m² [Interviews Tauw, 2007]. Deze kosten zijn inclusief alles, namelijk winst, risico, directie en voorbereiding en BTW. Het hele afvoerende, verharde oppervlak van Brummen is 534560 m². De totale kosten zijn dan gemiddeld 21,4 M€. Voor de selectie in het noordoosten van

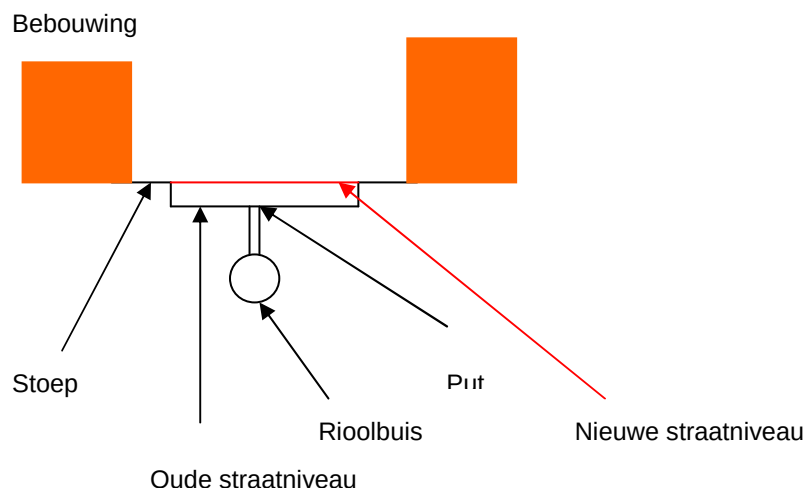
Brummen geldt een totaal afvoerend, verhard oppervlak van 205530 m². De gemiddelde totale kosten zijn dan 8,2 M€.

De haalbaarheid hangt af van de gemeente. Het is heel belangrijk na te gaan, waar het water kan blijven in het gebied, nadat het is afgekoppeld. Op hoger gelegen gebieden in de stad kan water worden geborgen en later worden afgevoerd, maar daar moet wel plaats voor zijn.

Voor de aanleg van groenvoorzieningen is ruimte nodig en voor de aanleg van vegetatiedaken of doorlatende verharding worden eisen als een sterke dakconstructie of een lage verkeersbelasting gesteld. Hierdoor zijn sommige locaties wel geschikt en andere niet. Het hangt van de gemeente af of er ruimte is voor de aanleg van een afkoppel systeem. De leefomgeving kan op een positieve manier veranderen door af te koppelen. Een groenvoorziening, een beekje of klinkers in plaats van asfalt verhoogt de aantrekkelijkheid van de omgeving. Ook een vegetatiedak kan de omgeving een aantrekkelijker aanblik geven. Op deze manier blijven inwoners zich bewust van regenwater en de afvoer hiervan. Klinkers op de weg of vegetatiedaken in de wijk laten bij kleine en grote herhalingstijden de regenwaterafvoer zien, waardoor mensen hiervan bewust worden gemaakt tijdens meerdere soorten regenbuien en niet alleen tijdens hevige regenbuien.

5.2.4 Stoepen terug in centrum

Tijdens het simuleren is geprobeerd de stoepen uit het centrum te halen door de straat op te hogen tot aan stoepniveau, wat betekent dat de straten zijn opgevuld en er geen stoep meer te onderscheiden is. Dit zorgt ervoor dat deze straten iets hoger komen te liggen dan de straten in de omgeving. In de praktijk ligt er geen drempel voor de ingang van het centrum, maar is dit in een hellend vlak verborgen. Het vernieuwde straatprofiel ziet er als volgt uit:



Figuur 29: ophogen straatniveau

Het straatniveau ligt nu hoger, wat betekent dat er later water op straat ontstaat, omdat het water hoger kan stijgen in de putten, voordat het de straat oploopt. Echter zodra het water op straat staat kan het winkels en huizen inlopen, wat schade veroorzaakt. Tevens kunnen regenplassen tijdens een regenbui niet in de straat worden geborgen, voordat het water naar de putten stroomt. Dit water kan nu ook winkels en huizen in stromen.

Stoeppen aan de rand van een straat zorgen voor een soort stroomgoot voor regenwater om het via de straat af te voeren, tevens kan er tijdelijk water in de straat worden geborgen.

Door de straat obstakelvrij te maken en de stoeppen eruit te halen vervalt deze vorm van bergen en afvoeren. Zeker bij hevige regenbuien kan dit extra problemen veroorzaken met veel schade aan winkels en huizen als gevolg.

Voor de afwatering van water in stedelijk gebied, kan het dus nuttig zijn stoeppen terug te plaatsen in het centrum, zeker als het centrum lager gelegen ligt in de stad en het regenwater die kant op stroomt. Tot aan de stoephogte kan water op die manier geborgen worden en geen schade veroorzaken.

In de simulatie van Brummen ontstond er geen wateroverlast, omdat het centrum relatief hoog ligt. De omgeving ligt lager waardoor het water sneller die kant op stroomt. Als het centrum van een stad lager ligt dan de omgeving kunnen wel problemen met water op straat ontstaan, omdat dan niet alleen het water uit de putten op straat kan stromen, maar ook het water vanuit de omgeving richting het centrum kan stromen om daar vervolgens huizen en winkels in te lopen.

Terugkoppeling naar de criteria

Het straatprofiel aanpassen kost geld, maar het is geen grote investering en als het éénmaal is aangelegd kost het onderhoud niet meer dan in een vlakke winkelstraat.

Technisch is het een makkelijk uit te voeren maatregel. Echter voor het winkelende publiek en voor de winkeliers zal de aanleg veel hinder veroorzaken, omdat het centrum dan moeilijk bereikbaar is. Na de aanleg is er voor deze groep geen probleem meer, maar dan ontstaat het probleem waarvoor de stoepen oorspronkelijk uit het centrum zijn gehaald; het centrum wordt minder toegankelijk voor mensen in rolstoelen of met wandelwagens. Zij kunnen zich veel moeilijker door het centrum bewegen.

Voor de dagelijkse situatie is dit geen goede maatregel, omdat de beleving van het centrum achteruit gaat door de verminderde toegankelijkheid. Het kan mensen bewust maken van de functie van de stoepen, namelijk wateroverlast voorkomen, maar de ergernis over de stoepen kunnen mensen belangrijker vinden.

5.2.5 Totaaloverzicht effecten maatregelen

Hieronder zijn de totale effecten van alle maatregelen samengevat in twee tabellen voor T=10 en T=100 uitgedrukt in volumes op en boven het straatprofiel. Vanwege de gekozen selectie voor het verbeteren van de riolering en het vergroten van de riolering, worden voor het afkoppelen ook de resultaten gepresenteerd voor de selectie om zo de resultaten beter te kunnen vergelijken.

	<i>Afvoerend oppervlak (m²)</i>	<i>Op straat (m³)</i>	<i>Boven stoepen (m³)</i>	<i>Verandering ten opzichte van huidige situatie, boven stoepen</i>
Brummen geheel				
<i>Huidige situatie</i>	534560	11396	1692	
<i>Afkoppelen</i>	534560	8728	700	-59%
Noordoosten Brummen				
<i>Huidig selectie</i>	205530	4844	887	
<i>Afkoppelen</i>	205530	3600	242	-73%
<i>Vervuiling</i>	205530	7840	4144	+367% (omgekeerd -79%)
<i>Vergroting</i>	205530	3562	279	-69%

Tabel 4: Effecten maatregelen in volumes op en boven straatprofiel bui T=10

	<i>Afvoerend oppervlak (m²)</i>	<i>Op straat (m³)</i>	<i>Boven stoepen (m³)</i>	<i>Verandering ten opzichte van</i>
--	--	----------------------------------	--	---

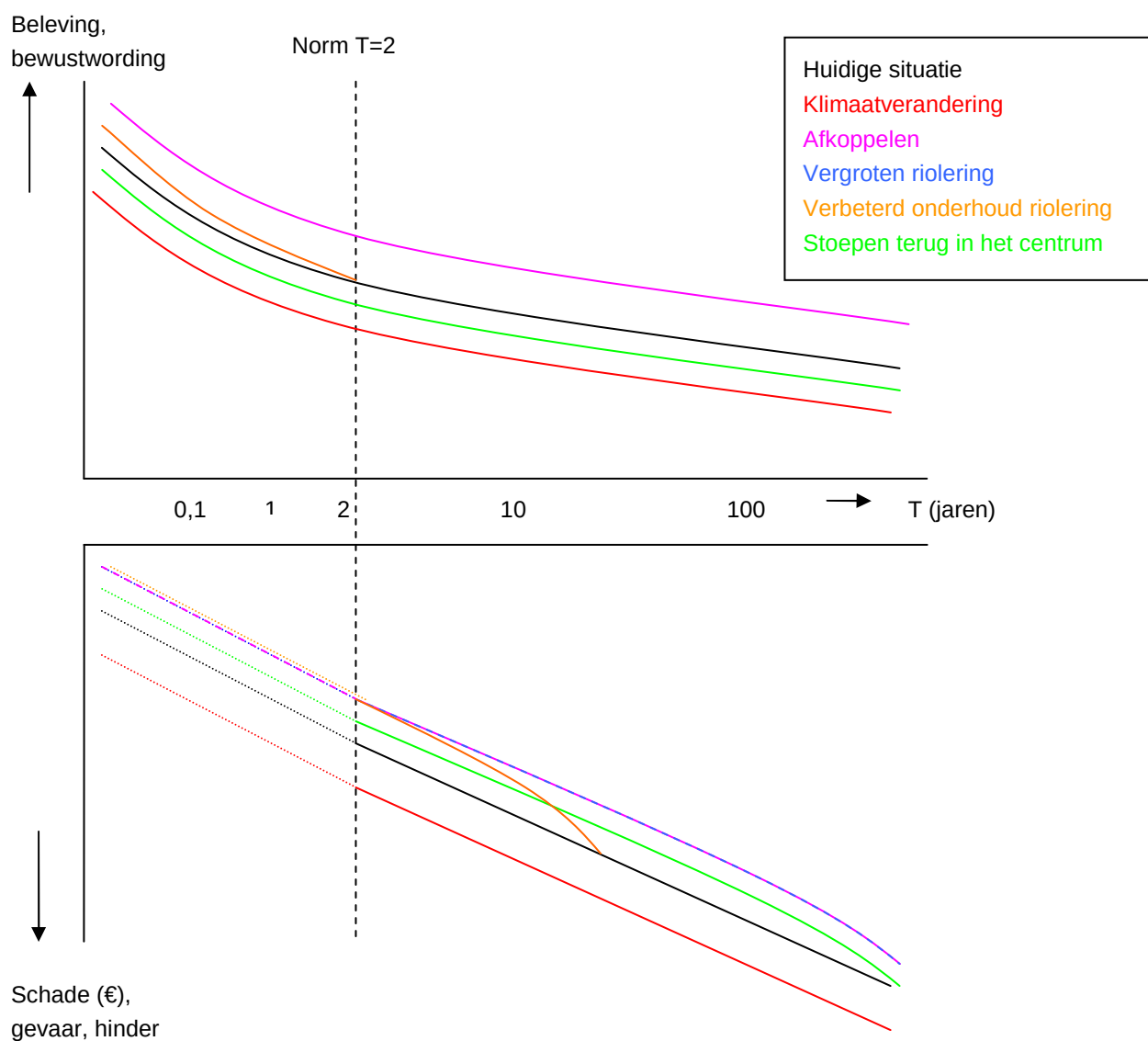
				<i>huidige situatie, boven stoepen</i>
Brummen geheel				
<i>Huidige situatie</i>	534560	15370	4617	
<i>Afkoppelen</i>	534560	11893	2079	-55%
Noordoosten Brummen				
<i>Huidige situatie</i>	205530	6589	1713	
<i>Afkoppelen</i>	205530	4804	783	-54%
<i>Vervuiling</i>	205530	9745	6380	+272% (omgekeerd -73%)
<i>Vergroting</i>	205530	4755	1004	-41%

Tabel 5: Effecten maatregelen in volumes op en boven straatprofiel bui T=100

Uit de tabellen is duidelijk af te lezen dat de maatregelen goede resultaten hebben. Afkoppelen heeft het meeste effect. Een grote vervuiling in de riolering zal de hoeveelheid water op straat en boven het straatprofiel vermeerderen, waardoor het dus een goede maatregel is om het onderhoud zeer zorgvuldig uit te voeren. Op basis van deze effecten is het moeilijk de beste maatregel te kiezen, want de resultaten liggen dicht bij elkaar.

5.2.6 Terugkoppeling naar driepuntsbenadering

Door de toevoeging van een aparte y-as voor de beleving/bewustwording kan het effect op de dagelijkse situatie, de leefomgeving, beter worden weergegeven. De onderlinge veranderingen door de maatregelen en de klimaatveranderingen zijn hieronder weergegeven op basis van de beoordeling op de criteria:



Figuur 30: onderlinge verschillen weergegeven in driepuntsbenadering

De klimaatverandering zorgt voor een verschuiving van de lijn naar links(op zicht naar beneden), wat inhoudt dat de herhalingsstijd van een bepaalde hoeveelheid water kleiner wordt. Een bepaalde hoeveelheid water kan vaker verwacht worden. Hierdoor ontstaat er een situatie, waarin voor elke herhalingsstijd een grotere schade wordt verwacht en een minder goede beleving van de leefomgeving doordat er vaker meer regen gaat vallen, wat de straten minder begaanbaar maakt.

Alle maatregelen hebben een positief effect op de hoeveelheid water op straat. Het positieve effect neemt wel af naarmate de herhalingsstijden groter worden. Dit was duidelijk te zien in tabel 4 en tabel 5 in paragraaf 5.2.5, waar de effecten bij bui 10 groter zijn dan bij bui 100. Het effect van het verbeteren van het onderhoud is minder lang merkbaar, omdat deze de afvoercapaciteit ten opzichte van de huidige situatie niet vergroot, maar de afvoercapaciteit ten opzichte van een vervuilde riolering. Bij kleine herhalingsstijden kan een vervuilde riolering ook problemen veroorzaken en deze kunnen worden voorkomen door vervuiling in het riool te voorkomen. De stoepen terug in het centrum heeft een minder grote invloed op de hoeveelheid water op straat, omdat het om een relatief klein deel van een stad gaat. Problemen worden dus in beperkte mate verminderd.

Verbeterd onderhoud heeft een positieve invloed op de bewustwording, omdat de afvoer van het regenwater weer zichtbaar wordt, echter het heeft een negatieve invloed op de beleving van het centrum. De lijn loopt dus wel iets lager dan bij de huidige situatie, maar door het vergroten van de bewustwording is het zakken van de lijn beperkt gebleven.

Afkoppelen heeft een groot positief effect op de beleving van de stad, omdat de maatregel fysieke veranderingen betreft, zoals groenvoorzieningen, vegetatiedaken of klinkers op straat, waardoor de omgeving aantrekkelijker wordt. Ook zal afkoppelen mensen meer bewust maken van de afvoer van regenwater door ook tijdens kleine regenbuien de afvoer van regenwater zichtbaar te maken.

Verbeterd onderhoud heeft bij kleine herhalingsstijden een klein positief effect op de beleving, omdat bij kleine buien geen water meer op straat staat. Verder heeft de maatregel geen effect op de beleving of de bewustwording, omdat deze maatregel ondergronds wordt uitgevoerd en dus niets aan de omgeving verandert en de regenwaterafvoer niet zichtbaar maakt. Dit geldt ook voor het vergroten van de riolering.

5.3 Discussie

In de kwalitatieve analyse is gebleken dat het terugbrengen van stoepen in het centrum van de stad een negatief effect heeft op de beleving, ook al heeft een positief effect op de bewustwording. Het riool vergroten en het verbeteren van het onderhoud van het riool beïnvloeden de leefomgeving niet. Afkoppelen is de enige maatregel, die de leefomgeving positief kan beïnvloeden door de fysieke veranderingen in de omgeving. Tevens zorgt afkoppelen ervoor dat inwoners betrokken kunnen raken bij de afvoer van regenwater. Alle maatregelen hebben een positief effect op de hoeveelheid water op straat, zij het dat verbeterd onderhoud een beperkt effect heeft en het effect van de andere maatregelen bij buien met een grote herhalingsstijd ($T=100$) kleiner is dan bij een bui met een minder grote herhalingsstijd ($T=10$).

Als de criteria nog eens onder elkaar worden gezet en er onderlinge scores (de scores zijn ten opzichte van elkaar gegeven, niet ten opzichte van de huidige situatie) worden toegekend aan de maatregelen volgt:

	Afkoppelen	Stoepen	Vergroten	Onderhoud
Kosten aanleg	--	0	-	++
Kosten onderhoud	--	0	0	-
Haalbaarheid	+	+	+	++
Effect water op straat	++	+	++	+
Effect leefomgeving	++	--	0	0

Tabel 6: onderlinge scores voor maatregelen op criteria

Hieruit volgt dat een verbeterd onderhoud uitvoeren een zeer goede maatregel is, hoewel het bij hevige buien weinig effect zal hebben, omdat alleen het oude systeem wordt verbeterd en er geen aanpassingen aan het systeem worden aangebracht. Hierdoor zal vooral bij de grotere herhalingstijden weinig effect merkbaar zijn, omdat de afvoercapaciteit van het huidige systeem niet is toegenomen.

Afkoppelen scoort erg goed, echter de kosten daarvoor kunnen heel hoog zijn. Daarentegen is het wel zeer effectief en kunnen de kosten opwegen tegen de schade die anders veroorzaakt wordt en vergoed moet worden.

Stoepen terug in het centrum scoort niet hoog, omdat het verbeteren van de bewustwording van mensen niet opweegt tegen het minder toegankelijk worden van de winkelstraten. Ook heeft het een beperkte invloed op de hoeveelheid water op straat bij zeer hevige regenbuien. Het vergroten van de riolering scoort redelijk, omdat deze maatregel veel geld kost, maar de effecten zeer positief zijn. Het is technisch en financieel haalbaar op bepaalde plekken in een stad, waardoor het slechts tot op zekere hoogte wateroverlast kan beperken. Ook draagt het niet bij aan de bewustwording van mensen wat betreft regenwaterafvoer in de stad. Er is bij de uitvoering van de simulaties aangenomen dat de overstorten altijd werken en dat deze geen belemmering voor de afvoer kunnen veroorzaken. In de praktijk kan het zijn dat de overstort de nieuwe afvoercapaciteit van het vergrootte riool niet aan kan, waardoor er opstuwning kan ontstaan terug het systeem in. Ook kan het zijn dat het bergingsgebied achter overstort de capaciteit niet aankan, waardoor deze te snel vol staat. Het is dus heel belangrijk om bij de overweging van het vergroten van de riolering bovenstaande zaken na te gaan. Tevens kan de situatie ontstaan dat de waterstand in een beek of sloot, waarop overgestort wordt, zo hoog is dat er minder of helemaal niet kan worden overgestort. Dit zou betekenen dat het water niet via de overstort weg kan stromen en terug het systeem in gaat of een andere weg gaat zoeken, wat schade kan veroorzaken.

Het blijkt belangrijk om het onderhoud van de riolering goed uit te voeren. Afkoppelen lijkt het beste aan te sluiten bij de driepuntsbenadering. Het effect is groot en de leefomgeving wordt positief beïnvloed, waarbij inwoners bewust kunnen worden gemaakt van regenwaterafvoer in hun omgeving.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Hevige regenbuien met een herhalingsstijd van bijvoorbeeld 10 of 100 jaar kunnen voor grote wateroverlast zorgen, waarbij laag gelegen plekken het meest kwetsbaar zijn. Hier stroomt het water over straat naar toe, waardoor de druk op de riolering daar sterk toeneemt.

Het klimaat verandert en daarmee ook de regenintensiteiten. Het is niet mogelijk een betrouwbare voorspelling te doen voor de toekomst over hoe die regenintensiteiten gaan veranderen door onzekerheden in regenmodellen, onzekerheden in demografische veranderingen en de grilligheid van het klimaat. Hierdoor stellen verschillende methoden verschillende projecties voor de toekomst. De methoden zijn het slechts over één zaak eens; namelijk dat er vaker grotere regenintensiteiten worden verwacht.

Om inzicht te krijgen in wat extreme regenbuien zijn, is gekeken naar regenduurlijnen. Het opstellen van regenduurlijnen gebeurt met verschillende methoden en hierbij kunnen verschillende onzekerheden ontstaan. Er worden bijvoorbeeld afleesfouten gemaakt bij het verzamelen van data, er wordt data van verschillende meetstations gebruikt en er worden extrapolaties gemaakt naar herhalingsstijden, die nog niet opgetreden zijn sinds het begin van het meten van neerslaghoeveelheden. Deze zaken zorgen ervoor dat het opstellen van regenduurlijnen tot verschillende uitkomsten kan leiden en het is moeilijk aan te geven welke gebruikte methode het beste is.

Uit de resultaten blijkt dat oplossingen als het vergroten van de riolering, het verbeteren van het onderhoud van de riolering en het afkoppelen van het regenwater grote effecten op de hoeveelheden water op straat hebben.

De simulaties met verbeterd onderhoud laat zien dat het zeer belangrijk is het onderhoud goed op orde te hebben. Dit kan grote problemen voorkomen. Als de riolering vol met slib raakt, daalt de afvoercapaciteit aanzienlijk en kan een grote hoeveelheid water niet meteen worden afgevoerd, waardoor het op straat blijft staan en hier schade kan veroorzaken aan omliggende gebouwen.

Het vergroten van de riolering laat zien dat dit ook problemen op andere plekken kan oplossen, omdat het water sneller afgevoerd wordt, waarbij de locatie van vergroten essentieel is voor het effect en de haalbaarheid. Bij de haalbaarheid is ook de overstortcapaciteit van belang, omdat het sneller afvoeren van regenwater wel mogelijk moet zijn.

Ook afkoppelen laat zien dat veel water op straat voorkomen kan worden door een deel van het regenwater op een andere manier af te voeren dan via het bestaande, gemengde riool. Voor de uitvoerbaarheid en het effect is de locatie van afkoppelen essentieel.

Maatregelen als het vergroten van de riolering of het verbeteren van het onderhoud zijn ondergrondse maatregelen. Ze hebben geen invloed op de leefomgeving, hoogstens tijdens de uitvoering van de maatregel, zoals het openbreken van de straat voor grotere rioolbuizen. Inwoners worden hierdoor dus niet bewuster gemaakt van de afvoer van regenwater. Deze maatregelen hebben alleen invloed op de hoeveelheid water op straat. Dit sluit niet goed aan bij de driepuntsbenadering, omdat het punt van de dagelijkse situatie geen aandacht krijgt.

Van de maatregelen sluit afkoppelen van regenwater het beste aan bij de driepuntsbenadering. Ten eerste heeft het een aanzienlijk effect op de hoeveelheden water op straat en boven het straatprofiel, waardoor schade aan omliggende gebouwen (deels) kan worden voorkomen. Tevens heeft het een positieve invloed op de leefomgeving. De aanleg van vegetatiedaken, groenvoorzieningen of doorlatende verharding, manieren om met het afkoppelde water om te gaan, maken de leefomgeving aantrekkelijker. Deze aanpak maakt mensen tevens bewust van de afvoer van regenwater in hun omgeving, doordat bij kleine en grote herhalingstijden de afvoer van regenwater zichtbaar wordt gemaakt.

De driepuntsbenadering is een goed instrument om gemeenten te adviseren over hoe zij om kunnen gaan met problemen in het stedelijk waterbeheer. Door het systeem op verschillende buien te toetsen worden huidige en verwachte capaciteitsproblemen in kaart gebracht. Door ook te kijken naar de effecten van hevige regenbuien op het systeem, kan inzicht worden gekregen in wat de gevolgen hiervan kunnen zijn. Op die manier kunnen gemeenten afwegen of ze deze gevolgen gaan beperken of voorkomen.

Door maatregelen te toetsen aan de huidige situatie bij verschillende buien wordt goed in kaart gebracht, wat de gevolgen voor de inwoners zijn. Inwoners moeten leven met de ontstane schade door regenwateroverlast, maar ook met de uitvoering en aanwezigheid van de maatregelen. Door beide situaties (extreem en dagelijks) aan elkaar te koppelen kan een betere afweging worden gemaakt tussen maatregelen.

Het invoeren van de extra y-as voor het leefgenot en bewustwording maakt de driepuntsbenadering meer bruikbaar. Door het apart kunnen beoordelen van de schade en de beleving/bewustwording kunnen de effecten duidelijk worden weergegeven. Hierdoor wordt de weergave voor de kleine herhalingstijden duidelijker. Gemeenten kunnen op deze manier op een overzichtelijke manier hun keuze maken en zij kunnen zelf kiezen waar de prioriteit komt te liggen.

6.2 Aanbevelingen

Om meer grip om de driepuntsbenadering te krijgen, is het nodig het linker deel van de norm (de kleine herhalingstijden) verder uit te werken. Het verloop van de schade bij verschillende herhalingstijden is duidelijk, echte de manier waarop inwoners aankijken tegen hinder en schade door water op straat is niet duidelijk. Het is belangrijk om duidelijk te krijgen hoe inwoners bewuster kunnen worden gemaakt van de aanwezigheid en de noodzaak van de afvoer van regenwater en wat zij hiervoor acceptabel vinden aan maatregelen. Daartoe moet worden onderzocht hoe inwoners tegen de afvoer van regenwater in hun omgeving aankijken.

Om het volledige effect van de maatregelen in kaart te brengen voor een specifieke gemeente, is meer onderzoek nodig naar de precieze invulling van de maatregelen. Voor het afkoppelen moet goed worden onderzocht waar dit mogelijk is en waar het grootste effect kan worden gehaald. Het kan voldoende zijn om een deel van de stad af te koppelen. Het vergroten van de riolering vraagt ook meer onderzoek. Uit de resultaten bleek dat een kleinere vergroting bijna net zo'n effect kan hebben als een grotere vergroting, terwijl de kosten dan veel lager zouden zijn. Het is nuttig te onderzoeken wat voor vergroting daadwerkelijk nodig is. Tevens moet uitgezocht worden waar een vergroting ruimtelijk mogelijk is en wat de invloed van een vergroting op de overstorten in het systeem is.

Er kan aanvullend onderzoek gedaan worden naar het effect van slib in het riool. In de praktijk is er altijd wel wat slib aanwezig in de rioolbuizen door vervuiling in het afvalwater en doordat het regenwater vuil meevoert vanaf daken en straten. In de simulaties is gerekend met rioolbuizen waarin geen slib aanwezig was. Dit slib kan echter invloed hebben op de afvoer capaciteit en het is nuttig te onderzoeken wat die invloed is en waar die invloed zichtbaar wordt in het stelsel.

Het stratenprofiel is nu grof gemodelleerd. In het onderzoek wordt een globaal inzicht verkregen in de effecten van maatregelen op stedelijk watersysteem, waarvoor een grove weergave van de praktijk voldoende is. Echter voor een gedetailleerd onderzoek voor een specifieke gemeente kan het nodig zijn het stratenprofiel te verfijnen. Er kan worden uitgezocht waar er stoepen liggen en waar niet. De verschillende straatprofielen, zoals hellende en rechte stoepanden, kunnen worden uitgezocht en in het netwerk worden toegevoegd. Op die manier ontstaat een netwerk dat nog beter aansluit bij de praktijk.

In de simulaties is aangenomen dat de overstorten altijd goed werken. In de praktijk kan het zo zijn dat een overstort verdrinkt, doordat het water aan de achterkant van de overstort hoger komt te staan dan de rand van de overstort. Tevens kan het zijn dat een overstort beperkt inzetbaar is door hoge waterstanden van het water, waarop overgestort moet

worden. Het is nuttig te onderzoeken of dit soort situaties relevant zijn, of het waarschijnlijk is dat ze voorkomen en wat het effect daarvan is voor de afvoer in de stad.

In de inleiding van de maatregelen is de maatregel 'ruimte geven aan water op het maaiveld' besproken. Deze maatregel sluit goed aan bij de driepuntsbenadering, omdat het bij extreme regenval overtollig water kan afvoeren/bergen om problemen kan voorkomen en vanwege de mogelijkheid om mensen bewust te maken van de afvoer van regenwater door ingrepen in de fysieke omgeving. Op deze manier kun je bij grote en kleine herhalingstijden de regenwaterafvoer zichtbaar maken.

Deze maatregel is niet meegenomen in het onderzoek, omdat deze niet kan worden uitgewerkt in Infoworks waardoor de effecten niet kunnen worden berekend en vergeleken met de effecten van de andere maatregelen.

Uit de simulaties voor de huidige situatie is wel op te maken hoeveel water er geborgen moet worden. Dit is de hoeveelheid water dat boven het straatprofiel komt. Er kan ook gekozen worden voor de hoeveelheid water dat op straat én boven het straatprofiel staat. Voor die hoeveelheid water moet een vorm van berging worden aangebracht, zodat dit niet ongecontroleerd huizen en winkels in kan stromen, wat schade veroorzaakt.

Berging in de vorm van een bergbezinkingsvijver zou kunnen in een stad met ruimte voor zo'n vijver, omdat het water gecontroleerd geborgen kan worden en tegelijk het vuil uit het water worden opgevangen.

'Ruimte voor water op het maaiveld' kan een goede oplossing zijn voor stedelijk water problemen, waardoor verder onderzoek naar de effecten en de verschillende vormen van uitvoering wordt aanbevolen.

Literatuurlijst

Documenten

Boogaard, F.C., Do, T.T. (10 juli 2003), *Beslisboom aan- en afkoppelen verharde oppervlakken 2003*, Tauw BV, Deventer.

Buishand, A., Wijngaard, J (2007), *Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren*, KNMI rapport TR-295, De Bilt.

Commissie Waterbeers 21^e eeuw (31 augustus 2000), *Waterbeleid voor de 21^e eeuw, geef water de ruimte en de aandacht die het verdient*, Adviesrapport.

Geldof, G.D., Kluck, J. (2007), *Een werkwijze voor omgaan met wateroverlast, de driepuntsbenadering*, Tauw BV, Deventer.

Immerzeel, W.W., Droogers, P., Schoonderwoerd, H. (2006), *Bossen en klimaatverandering, geo-spreiding gevoeligheid bossen voor klimaatverandering*, FutureWater en Silve, Wageningen.

IPCC (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland.

KNMI (2006), *Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*, Scientific Report WR 2006-01, De Bilt.

Malda, D., Terpstra, E. (oktober 2006), *Extreme –neerslaglijnen voor de 21^e eeuw*, Meteoconsult, Wageningen.

Ministerie Verkeer en Waterstaat (1998), *Vierde nota waterhuishouding; regeringsbeslissing*, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Interprovinciaal Overleg, Vereniging Nederlandse Gemeenten en Unie van Waterschappen (2 juli 2003), *Nationaal Bestuursakkoord Water*, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, afdeling water (2006), *Decembernota KRW/WB21, beleidsbrief 2006*, Den Haag.

Stichting Rioned (2004), *Leidraad Riolerings, operationeel beheer*, C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren, Ede.

Stichting Rioned (november 2006), *Stedelijke wateropgave, vergelijking normen voor water op straat en inundatie*, Ede.

Stichting Rioned (2007), *Visie van Stichting Rioned, Klimaatverandering, hevige buien en riolering*, Ede.

Vereniging van Nederlandse Gemeenten en Unie van Waterschappen (14 december 2005), *Handreiking stedelijke wateropgave VNG-UvW*, Den Haag.

Websites

Landelijk Bestuurlijk Overleg Water (2007) <http://www.helpdeskwater.nl/watertoets/>, voor informatie over de watertoets, bezocht op 4 september 2007.

www.google.com, voor satelietkaart van Nederland en Brummen, bezocht in februari 2008.

<http://www.grontmij.nl/site/nl-nl/Diensten/Water/Waterplannen/Waterplannen.htm>, voor informatie over het waterplan, bezocht op 4 september 2007.

<http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/knmi06/samenvatting/index.html>, voor een vergelijking tussen de WB21 en KNMI klimaatscenario's, bezocht op 5 september 2007.

<http://www.meteonet.nl/>, voor meetgegevens van de afgelopen 100 jaar van extreme buien in Nederland, bezocht in december 2007 en januari 2008.

Interviews

Interviews gehouden met Tauw medewerkers in de periode van november 2007 tot februari 2008. Hierin zijn expert visies besproken over kostenramingen voor maatregelen.

Interview gehouden met medewerker gemeente Brummen in februari 2008. Hierin zijn de ervaringen besproken binnen de gemeente Brummen met optredend wateroverlast en de gegevens van het watersysteem, zoals puthoogtes.

Bijlage

Bijlage 1 Regenduurlijnen

Buishand en Wijngaard hebben regenduurlijnen opgesteld voor korte regenbuien voor verschillende herhalingstijden zonder in acht name van klimatologische veranderingen. Voor Meteoconsult hebben Malda en Terpstra regenduurlijnen opgesteld voor korte duren voor verschillende herhalingstijden met in acht name van de klimatologische veranderingen voor de neerslag.

Meteoconsult (2006)

Meteoconsult heeft het onderzoek gebaseerd op de Braakkromme uit 1933. Braak heeft toen krommen opgesteld die de kans weergeven dat een bepaalde neerslaghoeveelheid binnen een bepaalde tijdseenheid valt. Deze reeksen zijn bepaald aan de hand van de neerslaggegevens gemeten in De Bilt.

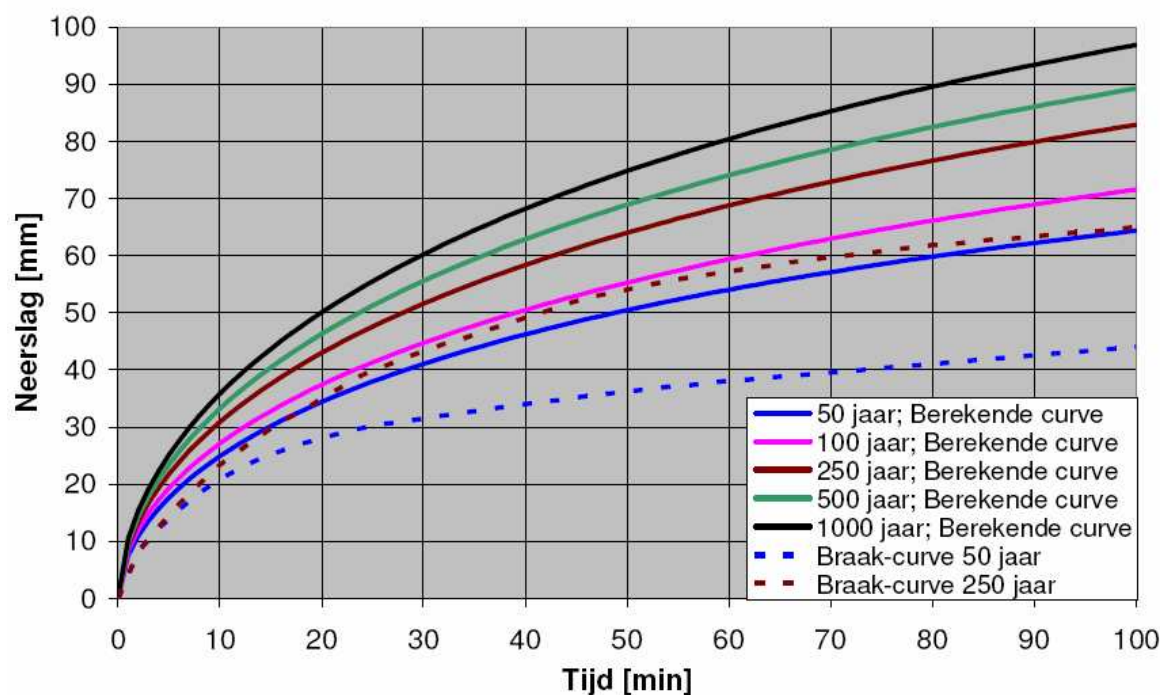
Door een toename in meetgegevens door vaker en op meerdere plaatsen in Nederland te meten en door veranderingen in die meetgegevens is er gekeken naar een aanpassing van de door Braak opgestelde lijnen. Meteoconsult heeft dit onderzoek uitgevoerd, gebaseerd op de neerslaggegevens van 23 meetstations, inclusief de Bilt. Het gaat neerslaggegevens van 10-minuten reeksen. Zij hebben gegevens van 11 jaar achter elkaar gezet om een tijdreeks van 1000 jaar te verkrijgen. De vraag hierbij bleef bestaan of een extrapolatie van 11 naar 1000 jaar betrouwbare lijnen zou opleveren. Deze vraag is niet weerlegd, waardoor een belangrijke onzekerheid in de lijnen is blijven bestaan.

De data is genomen van hele jaren, zodat alle seizoenen gerepresenteerd zijn in de data. Alleen onafhankelijke gebeurtenissen zijn meegenomen. Het gaat om tijds- en plaatsonafhankelijke gebeurtenissen. De gegevens zijn geselecteerd op tijdsonafhankelijkheid en door de zeer korte tijdsduur van de buien wordt een onafhankelijkheid in plaats aangenomen.

Voor de toekomst is een correctiefactor van 17,5 % gemaakt. Dit getal is gebaseerd op de voorspellingen van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KNMI) in 2006, waarbij is uitgegaan van het zwaarste scenario. Het gemiddelde van de W en W+ scenario's zijn voor de zomer en winter bij elkaar opgeteld met in acht neming van een verhouding van 10% gebeurtenissen in de winter en 90% in de zomer.

Aan de hand van de gegevens zijn de neerslaglijnen van de extremen berekend voor alle meetstations apart en voor de combinatie van alle meetstations. Voor de lijnen is een betrouwbaarheidsinterval van 95% berekend bij herhalingstijden van extreme neerslaghoeveelheden van 50, 100, 250, 500 en 1000 jaar.

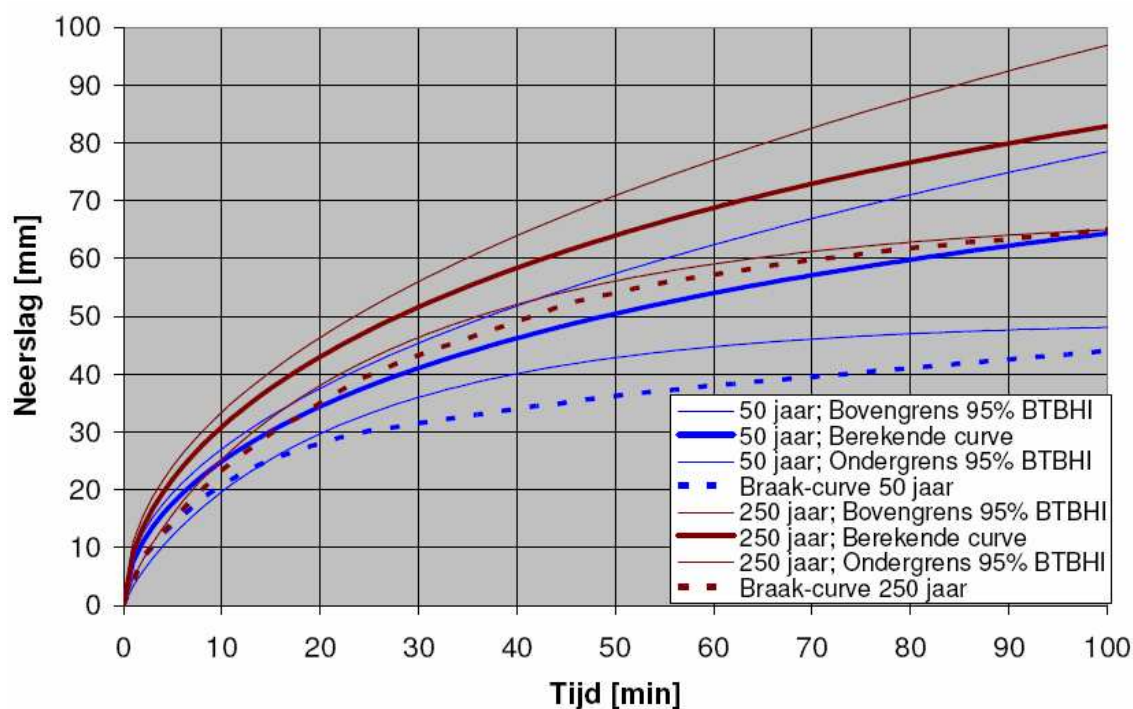
De neerslaglijnen voor de combinatie van alle 23 meetstations zien er als volgt uit:



Figuur 1: combinatie-extreme-neerslaglijnen van 23 meetstations, [Meteoconsult, 2006].

In deze figuur is duidelijk te zien dat de Braak lijn minder neerslag in de tijd geeft dan de nieuw berekende lijnen.

Met het berekende betrouwbaarheidsinterval zien de lijnen er als volgt uit:



Figuur 2: extreme neerslaglijn van 23 gecombineerde meetstations met 95% betrouwbaarheidsinterval, [Meteoconsult, 2006].

Uit deze figuur valt op te maken dat het betrouwbaarheidsinterval groter en dus de onzekerheid groter wordt naarmate de herhalings tijd groter wordt. Hierdoor wordt het moeilijker om voorspellingen te doen over extreme buien. Er kan niet zomaar van het gemiddelde worden uitgegaan, omdat deze bij grotere tijdseenheden 15-20 mm kan verschillen met de onder- of bovengrens.

Tevens is te zien dat de Braak lijnen buiten de betrouwbaarheidsintervallen van de Meteoconsult lijnen liggen.

Er zijn bij het onderzoek van Meteoconsult een paar belangrijke kanttekeningen te plaatsen: Allereerst is de Braak lijn gebaseerd op metingen op één station, namelijk De Bilt. De data van het onderzoek van Meteoconsult is gebaseerd op 11 jaar metingen van 1995 tot 2006 op 23 stations, inclusief De Bilt. Er wordt dus data vergeleken, dat op verschillende manieren is verkregen. Door op meerdere plekken in Nederland te meten, wordt de variabiliteit van het land zichtbaar. Door van alle metingen het gemiddelde te nemen, wordt de representativiteit voor de neerslag in Nederland groter dan als je data neemt van één centraal gelegen plek in Nederland. Niet overal regent het even vaak en even veel. Door de verschillende verkregen reeksen met elkaar te vergelijken schep je een onnauwkeurigheid in die vergelijking.

Een andere onnauwkeurigheid is dat voor de klimaatveranderingen in het onderzoek van Meteoconsult een factor is gebruikt van 17,5%. Deze factor is gebaseerd op het klimaatscenario voor 2050 van het KNMI, waarbij voor de veiligheid uitgegaan is van de zwaarste situatie. Deze factor is dus een samenstelling van voorspellingen, wat de betrouwbaarheid niet ten goede komt. Hierdoor wordt de onnauwkeurigheid van de vergelijking tussen beide verkregen reeksen groter.

Wel is duidelijk te zien dat de Braak lijnen onder de ondergrenzen van het betrouwbaarheidsinterval liggen van die nieuwe lijnen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de Braak lijnen niet meer representatief zijn voor de huidige situatie. Zeker voor het voorspellen van extreme situaties zullen zij een onderschatting geven van de neerslag.

Uit bovenstaande volgt dat, hoewel de Braak lijnen niet meer representatief zijn voor de neerslagverwachtingen in Nederland, ook de methode van Meteoconsult regenduurlijnen opstelt met veel onnauwkeurigheden.

Buishand en Wijngaard (2007)

Buishand en Wijngaard hebben statistiek ontwikkeld voor extreme neerslag voor buien van minder dan 2 uur. Dit is uitgevoerd door de behoefte vanuit het stedelijk waterbeheer hiervoor.

Het onderzoek is gebaseerd op maximale neerslaghoeveelheden per jaar van 1906 tot 1990, gemeten in de Bilt. Aan deze gegevens is een Generalized Extreme Value (GEV) verdeling aangepast. In deze methode wordt een vormparameter gebruikt. In dit onderzoek is deze ontleend aan een onderzoek voor België. Er kunnen resultaten worden gegeven voor zeer lage overschrijdingsfrequenties tot eens in de 1000 jaar.

De waarden van de metingen tot aan 1983 waren moeilijk af te lezen van de neerslagstroken voor de 5 en 10 minuten buien. Hiervan was de kwaliteit van de gebruikte neerslagstroken de oorzaak. Dit is opgelost door meerdere mensen dezelfde neerslagstroken te laten aflezen en door het verschil tussen de afgelezen waarden een afleesfout van 10-20% aan te nemen. Uitgaande van de GEV verdeling volgt er voor de neerslaghoeveelheid $x(T)$ die gemiddeld eens in de T jaren overschreden wordt:

$$x(T) = \lambda + \beta h(T; \theta), \text{ waarbij } h(T; \theta) = \frac{1}{\theta} (1 - T^{-\theta}) \text{ voor } \theta \neq 0, \text{ want } \theta = -0,09 \text{ in dit}$$

onderzoek.

De formule wordt dus:

$$x(T) = \lambda + \beta \left(\frac{1}{\theta} (1 - T^{-\theta}) \right)$$

Voor β en λ zijn aparte formules gedefinieerd:

$$\lambda = 1,618 + 1.862 \ln D + 0.274 (\ln D)^2$$

locatieparameter

$$\beta = \lambda \gamma$$

komt

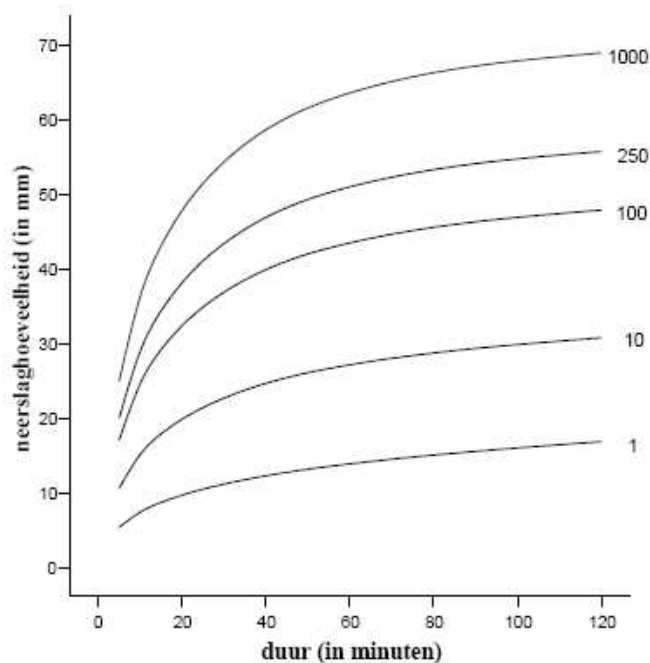
overeen met standaardafwijking

$$\gamma = 0.242 + 0.124 \ln D - 0.022 (\ln D)^2$$

dispersiecoëfficiënt

$$\beta = 1,618 + 1.862 \ln D + 0.274 (\ln D)^2 * 0.242 + 0.124 \ln D - 0.022 (\ln D)^2$$

Door bovenstaande in te vullen voor verschillende waarden van D (duur regenbui in minuten) en T (herhalingsjaren) wordt de volgende grafiek verkregen:



Figuur 3: regenduurlijnen bij verschillende terugkeerniveaus, [Buishand en Wijngaard, 2007].

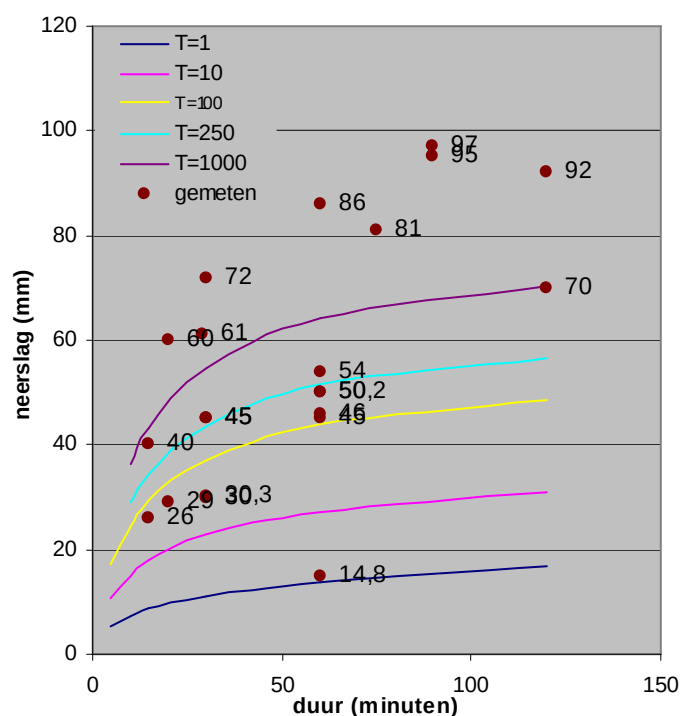
Bij bovenstaande grafiek moeten de volgende onnauwkeurigheden worden vermeld:

De fout bij het aflezen van de meetstroken is niet verwerkt in de formule en de onzekerheden in de neerslagmetingen worden buiten beschouwing gelaten. Dit leidt tot een onzekerheid in de gepresenteerde waarden. Dit is vooral van invloed op de hogere herhalingsjaren. [Buishand en Wijngaard, 2007].

Er kan geconcludeerd worden dat de methode van Buishand en Wijngaard regenduurlijnen geeft met veel onnauwkeurigheden.

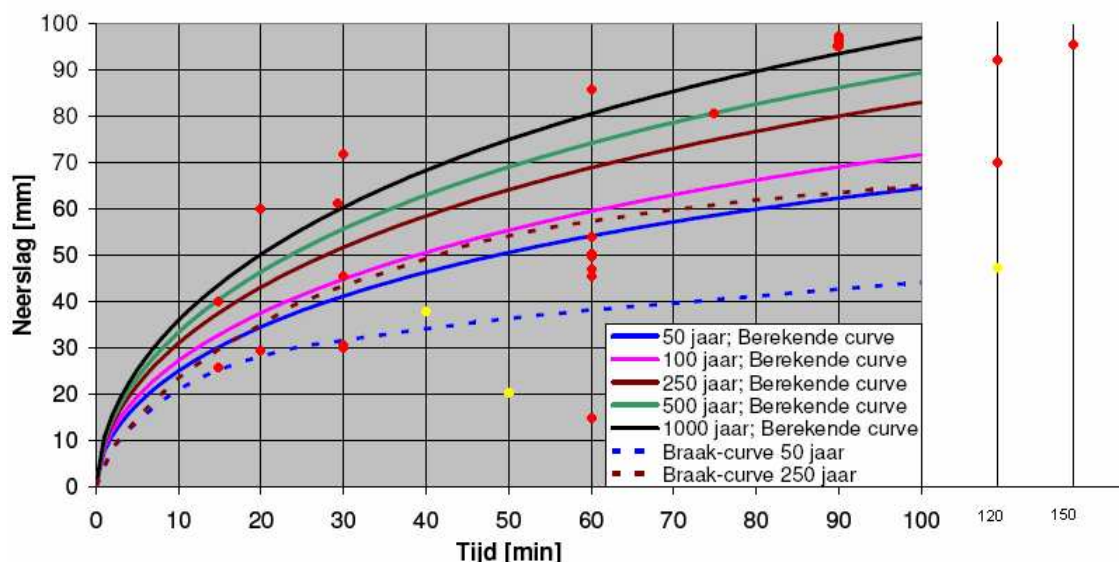
Gemeten waarden

In Nederland zijn door de jaren heen extreme neerslagen gemeten. Deze worden hieronder uitgezet in de lijnen van Buishand en Wijngaard en Meteoconsult.



Figuur 4: regenduurlijnen Buishand en Wijngaard met gemeten regenbuien en gekozen regenbuien, [Buishand en Wijngaard (2007) en Meteonet (2007)]

In figuur 4 is duidelijk te zien dat ruim één derde van de gemeten waarden boven de regenduurlijnen liggen, wat een onderschatting kan betekenen door de gebruikte methode. Als de gemeten waarden worden toegevoegd aan de lijnen van Meteoconsult vallen ze beter binnen de lijnen:



Figuur 5: regenduurlijnen Meteoconsult met gemeten regenbuien en gekozen regenbuien, [Meteoconsult (2006) en Meteonet]

In deze figuur is te zien dat de gemeten waarden voor het grootste deel binnen de regenduurlijnen vallen van Meteoconsult.

Conclusie

Bovenstaande methoden van twee verschillende instituten laten zien dat het vaststellen van de regenduurlijnen voor grote verschillen in uitkomsten zorgt. Verschillende methoden berekenen zeer verschillende lijnen, terwijl er niet kan worden vastgesteld welke methode het beste is. De lijnen van Buishand en Wijngaard en de lijnen van Braak liggen lager dan de lijnen van Meteoconsult. Hierdoor vallen de gemeten regenwaarden ook verder buiten de regenduurlijnen en lijkt de praktijk sterker onderschat te worden.

Bij de methode van Meteoconsult ligt een zeer kleine fractie van de gemeten waarden boven de lijnen (3/21), terwijl bij de methode van Wijngaard en Buishand een aanzienlijk deel boven de lijnen ligt (8/21).

De methode van Meteoconsult lijkt dus de extreme waarden beter weer te geven dan de methode van Buishand en Wijngaard, hoewel de grote onzekerheden het moeilijk maken een uitspraak hierover te doen.

Bijlage 2 Omrekenen ruwheidswaarde

De gegeven k-waarde is 1 [Rioned, 2004]. Deze k-waarde kan met de formule van White-Colebrook worden omgerekend naar een Chezy waarde:

$C = 18 \log \frac{12R}{k}$, waarbij geldt $R = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2}$. De meest voorkomende waarde voor de diameter is 800mm, dus daar wordt mee verder gerekend. Dan volgt:

$$C = 18 \log \frac{12 \cdot 0,2}{0,001} = 60,84 \text{ m}^{0,5}, \text{s}$$

De Chezy waarde kan vervolgens omgerekend worden naar een manningcoëfficiënt, die

gebruikt wordt in Infoworks met $C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$, waaruit volgt dat $n = 0,012 \text{ s/m}^{1/3}$. Infoworks rekent met de reciproque waarde van manning, dat is 83.