

Regenwatersystemen op de testbank

Benchmark functioneren bij extreme neerslag



Regenwatersystemen op de testbank

Benchmark functioneren bij extreme neerslag

tekst

Harry van Lijtelaar

tekstadvies

Lijntekst, Utrecht

vormgeving

GAW ontwerp+communicatie, Wageningen

druk

Drukkerij Modern, Bennekom

isbn

978 90 73645 48 6

Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen daarvan.

Voorwoord

Welke systemen en maatregelen werken in welke mate om regenwater te verwerken en overlast te beperken of voorkomen? Deze publicatie vergelijkt op een uniforme manier het functioneren van regenwatersystemen bij verschillende extreme buien en geeft een goede indicatie van de effecten op water op straat en wateroverlast. Het doel is om op inzichtelijke wijze de essenties van de werking van regenwatersystemen te presenteren en daarmee betere afwegingen mogelijk te maken bij de keuze van maatregelen tegen regenwateroverlast.

Deze publicatie is samengesteld door Harry van Luijtelaar van Stichting RIONED, die ook de onderliggende model-simulaties heeft uitgevoerd. Voor hun waardevolle opmerkingen dankt Stichting RIONED Kees Broks (Broks & Messelaar), Jeroen Langeveld (Partners4UrbanWater), Paul van Oss (Royal HaskoningDHV), Kees Peerdeman (Brabantse Delta), Daniel Goedbloed (Amsterdam Rainproof), Peter van Wensveen (Den Haag), Marije Stronks (Platform Water Vallei en Eem), Hans de Vries (Noordelijke Hogeschool Leeuwarden), Erik Warns (Beverwijk), Rene Mensen (Hunze en Aa), Gert Lemmen (Grontmij) en Toine Vergoessen (Deltares).

Ede, april 2015

Hugo Gastkemper
directeur Stichting RIONED

Samengevat

Deze publicatie vergelijkt met een set verschillende extreme buien op een uniforme manier het functioneren van een aantal regenwatersystemen:

- rioolstelsel
- tunnel
- perceel
- extra berging
- oppervlaktewater

Deze vergelijking geeft een goede indicatie van de effecten op water op straat en wateroverlast en is interessant omdat de werking van deze systemen onderling sterk kan verschillen.

Een rioolstelsel is gedimensioneerd op het afvoeren grote hoeveelheden water via zware leidingen naar de overstorten. Deze werking kan worden belemmerd als een stelsel zijn water niet kan lozen door bijvoorbeeld hoge buitenwaterstanden. Overbelasting van een rioolstelsel met voldoende overloopcapaciteit is vaak van korte duur. Door berging van water op straat zijn de effecten van overlast vaak beperkt van omvang en duur, ook bij zeer zware buien.

Een dieper gelegen tunnel kan het regenwater vaak niet onder vrij verval afvoeren, kan weinig water bergen en moet daarom worden leeggepompt met een forse pompcapaciteit. Een tunnel is daarom kwetsbaar voor pompuitval door bijvoorbeeld stroomstoringen. Ook zijn tunnels kwetsbaar voor de toestroming van water van extra afvoerend oppervlak dat afhelt naar de tunnel en waarop niet is gerekend.

Een perceel verwerkt normaliter forse hoeveelheden regenwater op een natuurlijke manier. Een groen dak versterkt dat effect maar moet ruim gedimensioneerd worden om een bijdrage te leveren aan het verwerken van extreme buien. Het ontsterven van tuinen betekent dat de kwetsbaarheid voor de gevolgen van extremen buien afneemt. Het realiseren van een laagteberging om regenwater tijdelijk te bergen en geleidelijk te kunnen infiltreren is een zeer effectief middel.

Het principe van extra berging in de openbare ruimte is ook dat we regenwater tijdelijk moeten bufferen om het geleidelijk te kunnen infiltreren. Daar waar de ruimte bovengronds niet beschikbaar of moeilijk bereikbaar is, kan dat natuurlijk ook ondergronds. Het verdient aanbeveling om dit type voorzieningen ruim te dimensioneren door rekening te houden met de effecten van echt extreme buien.

Een polder werkt als een badkuip die veel water kan bergen maar met een beperkte ledigingscapaciteit. Vergroten van de bemalingscapaciteit heeft bij extreme buien weinig effect op het optreden of voorkomen van regenwateroverlast.

Het doel van deze publicatie is om op inzichtelijke wijze de essenties van de werking van regenwatersystemen te vergelijken en helder te presenteren en daarmee betere afwegingen mogelijk te maken bij de keuze van maatregelen tegen regenwateroverlast.

Inhoud

1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel en opzet	7
1.3 Leeswijzer	7
2 Uitgangspunten test	8
2.1 Beschrijving rekentool	8
2.2 De drie extreme testbuien	8
2.3 Klimaatfactoren	10
2.4 Gebiedsgrootte-effect	10
Rioolstelsel	
3 Rioolstelsel (bui De Bilt, effect overloopcapaciteit)	11
4 Rioolstelsel (bui De Bilt, effect overloopcapaciteit, klimaatfactor 1,25)	12
5 Rioolstelsel (bui Herwijnen, effect overloopcapaciteit)	13
6 Rioolstelsel (bui Herwijnen, overloopcapaciteit 90 l/s/ha, klimaateffect)	14
7 Rioolstelsel (bui Herwijnen, effect overloopcapaciteit, klimaatfactor 1,25)	15
Tunnels	
8 Tunnelbemaling (drie testbuien, ledigingscapaciteit 24 mm/h)	16
9 Tunnelbemaling (bui Herwijnen, effect ledigingscapaciteit)	17
10 Tunnelbemaling (bui De Bilt, ledigingscapaciteit 48 mm/h, effect afvoerend oppervlak)	18
Perceel	
11 Groen dak (bui De Bilt, effect berging substraat)	19
12 Waterdak (bui De Bilt, berging 80 mm, klimaateffect)	20
13 Groene tuin (bui Herwijnen, doorlatendheid gras 0,5 m/dag, effect laagteberging)	21
14 Verharde tuin (bui Herwijnen, doorlatendheid verharding 0,1 m/dag effect laagteberging)	22
15 Groene tuin (bui De Bilt, geen laagteberging, klimaateffect)	23
16 Groene tuin (bui De Bilt, laagteberging 20 mm, klimaateffect)	24
Extra berging	
17 Ondergrondse berging (bui Kopenhagen, effect berging voorziening)	25
18 Ondergrondse berging (bui Herwijnen, berging 60 mm, klimaateffect)	26
19 Waterplein (drie testbuien, berging waterplein 60 mm, overloopcapaciteit 90/s/ha)	27
20 Waterplein (bui Herwijnen, klimaateffect, berging waterplein 60 mm)	28
Oppervlaktewater	
21 Polder (drie testbuien, waterberging 75 + 15 mm, bemaling 12 mm/dag)	29
22 Polder (drie testbuien, waterberging 75 + 15 mm, bemaling 24 mm/dag)	30
23 Overzichten functioneren systemen per testbui	31
24 Conclusies	36

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de berichtgeving over de regenwateroverlast in de zomer van 2014 zijn veel meningen uitgesproken over het functioneren van regenwatersystemen bij extreme buien. Deze meningen waren niet altijd gestoeld op feiten. Dit was voor Stichting RIONED aanleiding om het functioneren van gangbare systemen en het effect van verschillende typen maatregelen onder de loep te nemen en toe te lichten.

1.2 Doel en opzet

Deze publicatie geeft inzicht in het functioneren van regenwatersystemen bij (zeer) extreme neerslag. Voor de analyse zijn vrijwel alle gangbare regenwatersystemen langs dezelfde meetlat gelegd. De hoeveelheid en duur van water op straat en de wateroverlast zijn vergeleken onder invloed van drie recente (zeer) extreme buien die een theoretische herhalingstijd hebben van respectievelijk circa 50, 100 en 500 jaar. U krijgt een indicatief beeld van de werking van verschillende soorten voorzieningen en hun effectiviteit met betrekking tot water op straat en wateroverlast.

De berekeningen zijn uitgevoerd door Harry van Luijtelaar met een reservoirmodel geprogrammeerd in Excel. De rekentool is eenvoudig (ongenuanceerd) van opzet gehouden om de resultaten vergelijkbaar te houden en eenduidig te kunnen interpreteren. Bijvoorbeeld wateroverlast door bovengrondse afstroming naar lage gebieden, verstopte kolken en overlopende toiletten door luchtinsluitingen in huisaansluitleidingen blijven daarom buiten beschouwing.

Deze publicatie helpt rioolbeheerders de essenties van het functioneren van regenwatersystemen te begrijpen en daarmee betere en bewustere afwegingen te maken bij de keuze van verbeteringsmaatregelen. Het gaat er niet om specifieke maatregelen te promoten of af te schrijven. Naast de effectiviteit van maatregelen spelen ook de kosten van maatregelen een rol. De kosten zijn in deze publicatie buiten beschouwing gelaten.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de rekentool en de drie testbuien die voor de simulatieberekeningen zijn gebruikt.

In de hoofdstukken 3 tot en met 22 vindt u per hoofdstuk een analyse van een bepaald type regenwatersysteem. Praktische toelichtingen aan het eind van een hoofdstuk staan cursief. Per hoofdstuk is een afweging gemaakt welke buien en klimaatfactoren resultaten zijn getoond. Vaak is gekozen om de meest opvallende en onderscheidende resultaten te laten zien.

Een overzicht vindt u in hoofdstuk 23, waar de resultaten van verschillende soorten regenwatersystemen per testbui zijn samengevat in één grafiek.

In hoofdstuk 24 vindt u de belangrijkste conclusies.

2 Uitgangspunten test

2.1 Beschrijving rekentool

De rekentool schematiseert elk regenwatersysteem tot drie compartimenten (voorziening, straat en overlast), een ledigingscapaciteit en een (gelimiteerde) overloopcapaciteit (zie figuur 2.1).

Het regenwatersysteem functioneert als volgt. Het regenwater vult de berging van de voorziening die met een bepaalde ledigingscapaciteit weer leegloopt. Bij een rioolstelsel is dat de capaciteit van de pomp naar de rwzi, bij een infiltratiesysteem de waterdoorlatendheid (k-waarde) naar de bodem en bij een groen dak de verdamping naar de atmosfeer.

Raakt de berging van de voorziening vol, dan treedt een overloop in werking (als deze aanwezig is). Aan de overloopcapaciteit kan een grens zitten. Zo is een rioolstelsel normaliter ontworpen op een overloopcapaciteit van 60 tot 90 l/s/ha.

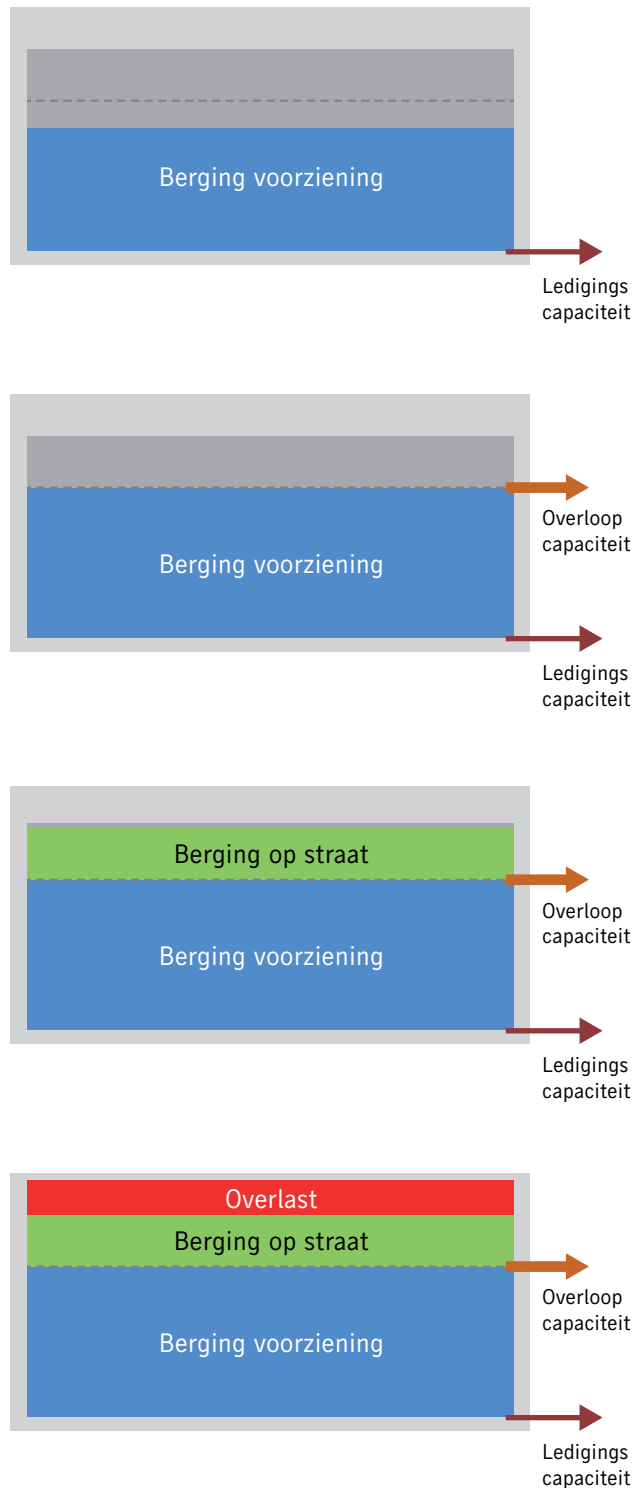
Als het heel hard regent, kan de overloop het aanbod van regenwater niet meer verwerken. Dan komt water op straat te staan. Op dat moment is nog geen sprake van overlast. De straat kan een bepaalde hoeveelheid regenwater bergen voordat dit tot overlast leidt. Pas als de straat het overtollige water niet meer aankan, ontstaat overlast. Bijvoorbeeld doordat kelders of woningen onderlopen. Water op straat is vaak acceptabel, maar langdurig water op straat kan ook tot overlast leiden.

De kleuren van de geschematiseerde componenten in de rekentool corresponderen met die in de grafieken met simulatieresultaten in de volgende hoofdstukken.

2.2 De drie extreme testbuien

Voor de analyse zijn drie extreme testbuien De Bilt, Herwijnen en Kopenhagen gebruikt met een indicatieve herhalingsstijd van T ~ 50 jaar, T ~ 100 jaar en T ~ 500 jaar.

De exacte waarde van deze herhalingsstijden is voor deze vergelijkende analyse minder van belang. In het licht van de ontwikkeling van het klimaat zijn de onzekerheden groot. Dit geldt vooral voor de extreme gebeurtenissen. De herhalingsstijden zijn daarom veilig gekozen.



Figuur 2.1 Schematisering regenwatersysteem in de rekentool

De buiduur is maximaal 3 uur, om de simulatieresultaten compact en overzichtelijk te houden. Door de korte buiduur is het verloop van de neerslag in de tijd relatief eenduidig te construeren. De karakteristieken per bui zijn:

- 1 De Bilt: 79 mm in 3 uur (T ~ 50 jaar)
- 2 Herwijnen: 93 mm in 70 minuten (T ~ 100 jaar)
- 3 Kopenhagen: 150 mm in 3 uur (T ~ 500 jaar)

Bui De Bilt

Bui De Bilt is geconstrueerd als een interpretatie van de regenduurstatistieken van het KNMI. De piek zit in de eerste helft van de bui. Doordat de buiduur kort is gehouden, is de combinatie van volume en duur statistisch gezien te zwaar. Statistiek heeft betrekking op gegevens uit het verleden. Vooral voor extreme buien is de toekomst onzeker en dat wordt versterkt door het effect van klimaatontwikkeling. Bij de samenstelling van bui De Bilt is daarom rekening gehouden met een forse maar realistische onzekerheid in de kans van optreden.

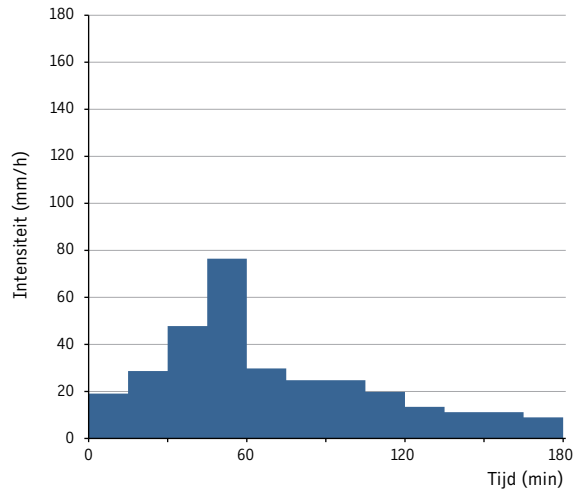
Bui Herwijnen

Bui Herwijnen is op 28 juni 2011 geregistreerd in een automatisch station van het KNMI in het Gelderse dorp Herwijnen. Deze recordbui heeft een klokuursom van 79 mm, maar een totale som van 93 mm in 70 minuten. In de zomer van 2014 is in Deelen opnieuw een bui met ruim 70 mm in een klokuur geregistreerd.

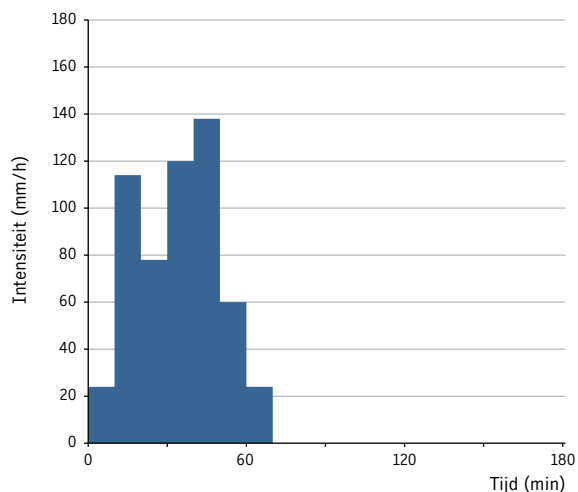
Bui Kopenhagen

De zeer extreme bui Kopenhagen is in de zomer van 2011 geregistreerd. Het verloop is niet exact bekend en is daarom geconstrueerd op basis van bekende hoeveelheden in 2 en 3 uur. Deze bui heeft in de Deense hoofdstad een enorme schade veroorzaakt.

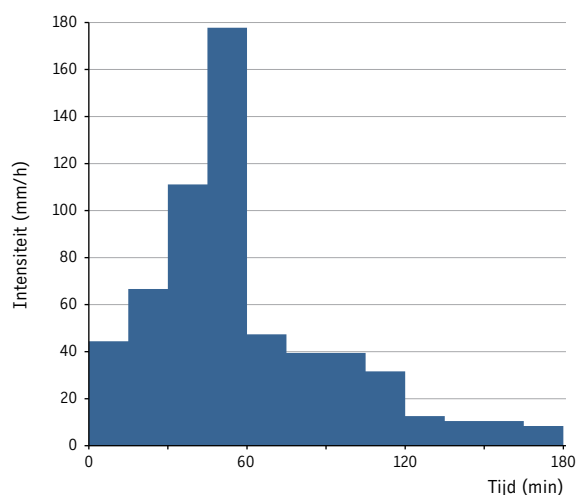
De testbuien Herwijnen en Kopenhagen zijn gekozen als recente voorbeelden van zeer extreme buien. Bui De Bilt is toegevoegd als een minder extreme bui om het beeld completer te maken. De vergelijking is bewust gericht op de uithoeken van het spectrum van extreme buien. In die vergelijking komen de verschillen in functioneren scherper en duidelijker naar voren.



Figuur 2.2 Bui De Bilt (T ~ 50 jaar)



Figuur 2.3 Bui Herwijnen (T ~ 100 jaar)



Figuur 2.4 Bui Kopenhagen (T ~ 500 jaar)

2.3 Klimaatfactoren

Voor een aantal regenwatersystemen is ook het effect van klimaatontwikkeling bekeken, om een indruk te krijgen van de robuustheid van systemen. In die analyses zijn de nieuwste KNMI-prognoses uit 2014 van de ontwikkeling van het klimaat voor extreme buien gebruikt. In de afgelopen jaren is uit onderzoek naar voren gekomen dat de toename van neerslaghoeveelheden in extreme buien (veel) groter is dan eerder werd aangenomen.

Voor 2050 is de meest ongunstige prognose dat de hoeveelheid neerslag tijdens kortdurende extreme buien met circa 25% toeneemt, voor 2100 houdt het KNMI zelfs rekening met een toename van 50%. Dit zijn verwachtingen volgens het meest ongunstige klimaatscenario. Feit blijft natuurlijk dat onzekerheden in de prognose van extreme buien relatief groot zijn. Bij het anticiperen op extreme buien zou het logisch zijn om te rekenen met veiligheidsfactoren. Deze extra veiligheidsfactoren zijn hier achterwege gelaten. De onzekerheden zijn verdisconteerd in aangeven (grotere) kans op de extreme testbuien en de keuze om naar de meest ongunstige klimaatscenario's te kijken.

10 <

2.4 Gebiedsgrootte-effect

Bij extreme buien is de omvang van het gebied waarop een bui valt vaak beperkt. In de stedelijke omgeving gaat het bij wateroverlast niet om de gemiddelde belasting op een groot gebied, maar meer om de lokale extremen. Bij het bepalen van de effecten van maatgevende extreme buien dient rekening te worden gehouden met de ruimtelijke verdeling van neerslag onderbouwd met radarbeelden. Het gebiedsgrootteeffect is hier buiten beschouwing gelaten omdat dit te veel in detail treedt.

3 Rioolstelsel (bui De Bilt, effect overloopcapaciteit)

Voor deze situatie is uitgegaan van een standaard gemengd rioolstelsel (voorziening) met de volgende kenmerken:

- Berging 9 mm (incl. randvoorziening)
- Lediging 0,7 mm/h
- Berging op straat 35 mm

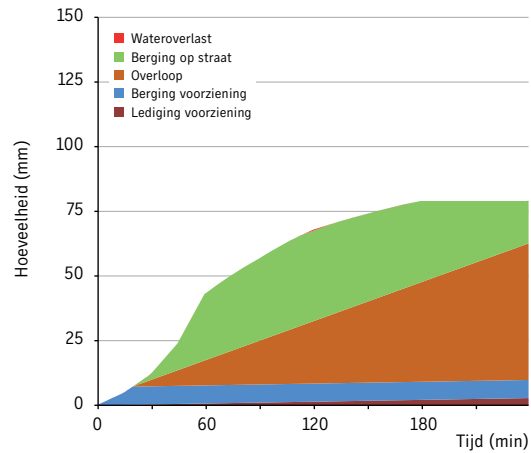
Het effect van de overloopcapaciteit van het rioolstelsel is berekend voor drie varianten: 40, 60 en 90 l/s/ha (zie figuren 3.1, 3.2 en 3.2). Deze overloopcapaciteiten komen voor bij rioolstelsels die zijn gedimensioneerd op respectievelijk bui02, bui04 en bui08, conform Leidraad riolering module C2100. Gerekend is met bui De Bilt (T ~ 50 jaar) zonder klimaateffect.

Volgens de huidige gangbare normen heeft een rioolstelsel een ontwerp afvoercapaciteit van 90 l/s/ha. Dit komt overeen met 32,4 mm/h. In het verleden zijn stelsels vaak gedimensioneerd op 60 l/s/ha. Met het oog op zwaardere buien als gevolg van klimaatontwikkeling worden nieuwe stelsels soms al gedimensioneerd op een grotere afvoercapaciteit, bijvoorbeeld 120 l/s/ha.

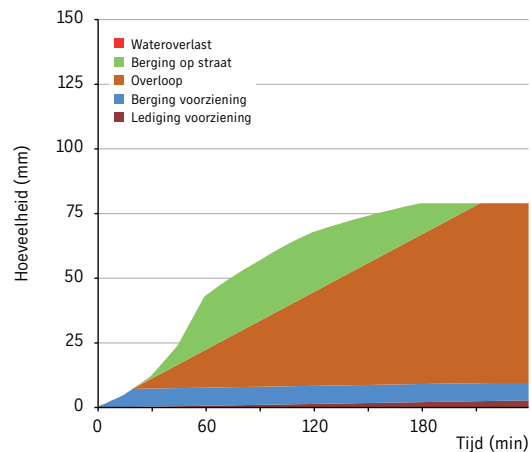
Uit de resultaten blijkt dat vooral de duur, maar ook de hoeveelheid water op straat, sterk afhankelijk is van de overloopcapaciteit van het rioolstelsel. Een grotere overloopcapaciteit betekent minder en korter water op straat. Met deze simulaties is het functioneren van systemen alleen op hoofdlijnen berekend. Bij water op straat kan in de praktijk plaatselijk wél overlast optreden.

Let wel, water op straat is nog geen overlast. Maar hoe meer water op straat blijft staan, hoe groter de kans op overlast wordt.

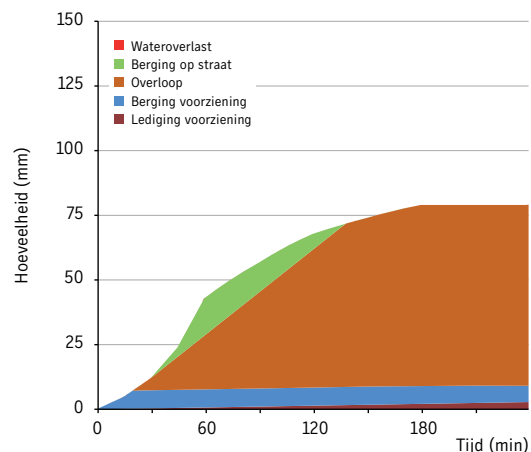
De grootte en structuur van de rioolleidingen naar de overstorten bepalen de overloopcapaciteit van een rioolstelsel. De grootste leidingen van een rioolstelsel liggen dus niet naar het gemeal (lediging voorziening), maar naar de overstorten. De afvoercapaciteit van een rioolstelsel kan overigens worden belemmerd door de tegendruk van een watersysteem bij de overstort(en). Uit de resultaten blijkt dat het stelsel bij extreme buien een verwaarloosbaar deel van het rioolwater afvoert naar het gemeal.



Figuur 3.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 40 l/s/ha



Figuur 3.2 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 60 l/s/ha



Figuur 3.3 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 90 l/s/ha

4 Rioolstelsel (bui De Bilt, effect overloopcapaciteit, klimaatfactor 1,25)

In deze simulatie heeft het rioolstelsel dezelfde kenmerken als in hoofdstuk 3:

- Berging 9 mm (incl. randvoorziening)
- Lediging 0,7 mm/h
- Berging op straat 35 mm

Een berging van 35 mm op straat komt overeen met 10 cm water tussen de banden ten opzichte van circa 1/3 van het afvoerend oppervlak.

Ook hier is het effect van de overloopcapaciteit van het rioolstelsel berekend voor 40, 60 en 90 l/s/ha (zie figuren 4.1, 4.2 en 4.3). Maar nu is gerekend met bui De Bilt met een klimaatfactor van 1,25. De klimaatfactor van 1,25 komt overeen met de prognose voor de toename van kortdurende extreme buien in 2050 volgens de KNMI-klimaatscenario's 2014.

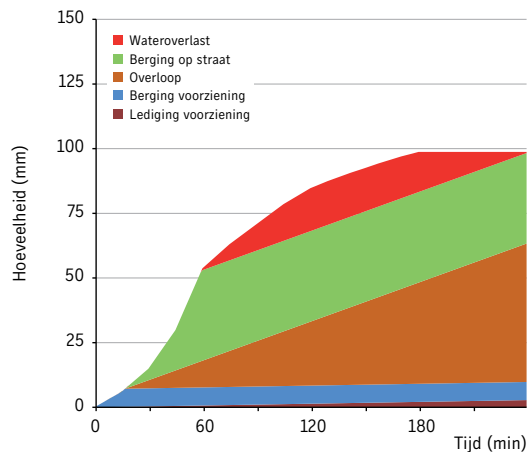
12 <

Net als de simulatie in hoofdstuk 3 laat ook deze analyse zien dat een grotere overloopcapaciteit een gunstig effect heeft op de hoeveelheid en duur van water op straat.

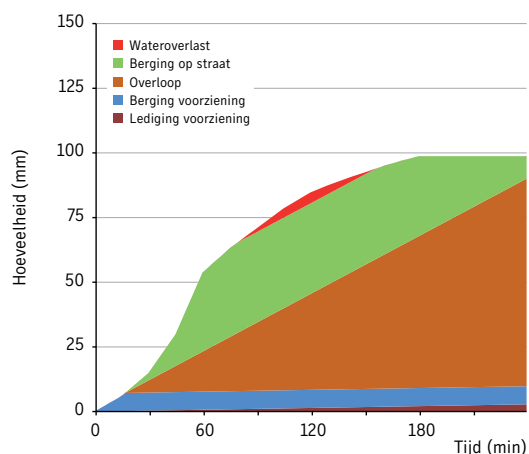
De zwaardere bui met klimaatfactor zorgt nu wel voor wateroverlast. Dit is een belangrijk signaal voor de werking van de huidige riolering in de toekomst.

De laatste decennia zijn gemengde rioolstelsels vaak kwetsbaarder geworden voor de effecten van extreme buien. Dit komt doordat:

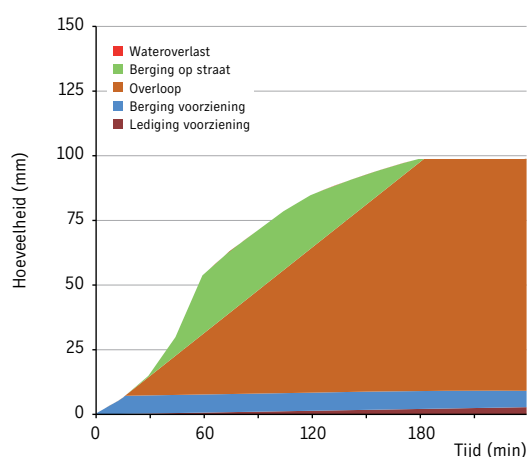
- *het aantal overlooppunten is verminderd door de basisinspanning en het beleid rond risicovolle overstorten;*
- *in vlakke gebieden de gelijkmatige verdeling van water via de straat belemmerd is door de aanleg van verkeerstafels en -drempels;*
- *minder grote verschillen tussen bouwpeilen en straatniveau zijn aangehouden;*
- *bestrating in winkelgebieden veel vlakker is aangelegd, gelijk aan het drempelniveau van de winkeltoegang;*
- *de belasting op rioolstelsels is toegenomen door uitbreiding van van het verharde oppervlak.*



Figuur 4.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 40 l/s/ha, klimaatfactor 1,25



Figuur 4.2 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 60 l/s/ha, klimaatfactor 1,25



Figuur 4.3 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 90 l/s/ha, klimaatfactor 1,25

5 Rioolstelsel (bui Herwijnen, effect overloopcapaciteit)

In deze analyse heeft het rioolstelsel dezelfde kenmerken als in hoofdstuk 3:

- Berging 9 mm (incl. randvoorziening)
- Lediging 0,7 mm/h
- Berging op straat 35 mm

Hier is het effect van de overloopcapaciteit van het rioolstelsel berekend voor 60, 90 en 120 l/s/ha (zie figuren 5.1, 5.2 en 5.3). Gerekend is met bui Herwijnen zonder klimaatfactor.

In alle varianten is sprake van een flinke hoeveelheid water op straat. Zelfs bij een overloopcapaciteit van 120 l/s/ha is sprake van overlast. Het volume en de duur van water op straat zijn bij 120 l/s/ha fors minder dan bij 60 l/s/ha.

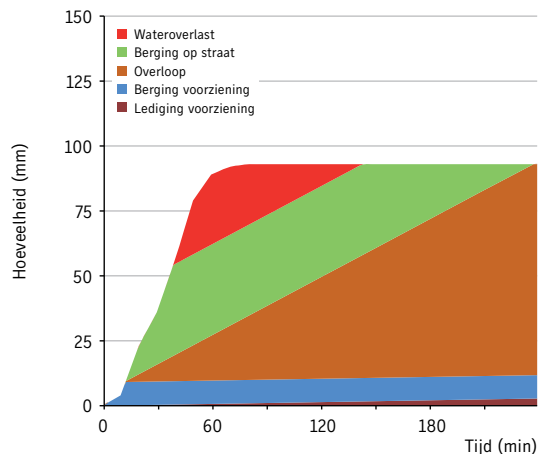
De kans op overlast neemt dus sterk af bij rioolstelsels met een grotere overloopcapaciteit (feitelijk de afvoercapaciteit naar de overstorten).

Aannemelijk is dat bij meer en langer water op straat de kans op overlast door lokaal afwijkende (minder optimale) situaties ook groter is. Denk aan een laagte in het terrein waar de berging van water op straat veel kleiner is.

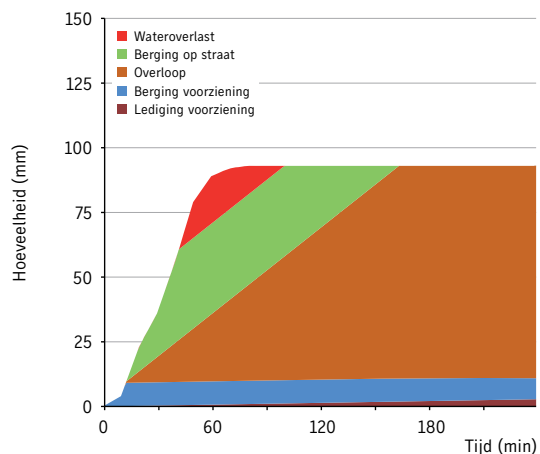
Er wordt wel gezegd dat het vergroten van buizen naar de overstorten geen zin heeft. Deze analyse toont de onjuistheid van die veronderstelling.

De breedte van de overstortdrempel heeft ook een belangrijk effect op de overloopcapaciteit van een rioolstelsel. Een smalle drempel geeft opstuwning die doorwerkt in het afstromende gebied.

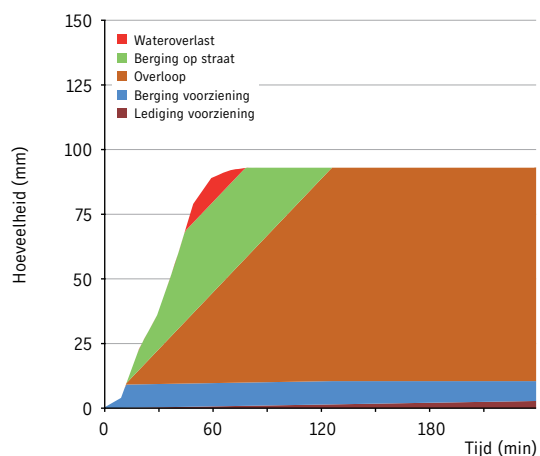
Belangrijk aandachtspunt is dat de overloopcapaciteit van een rioolstelsel kan worden belemmerd doordat hogere buitenwaterstanden de capaciteit van de overstorten en daarmee ook de afvoercapaciteit van het rioolstelsel verminderen.



Figuur 5.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 60 l/s/ha



Figuur 5.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 90 l/s/ha



Figuur 5.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit 120 l/s/ha

6 Rioolstelsel (bui Herwijnen, overloopcapaciteit 90 l/s/ha, klimaateffect)

Voor deze analyse is het rioolstelsel uit hoofdstuk 3 met een gangbare overloopcapaciteit van 90 l/s/ha (32,4 mm/h) gesimuleerd met bui Herwijnen en de klimaatfactoren 1,0, 1,25 en 1,5 (zie figuren 6.1, 6.2 en 6.3).

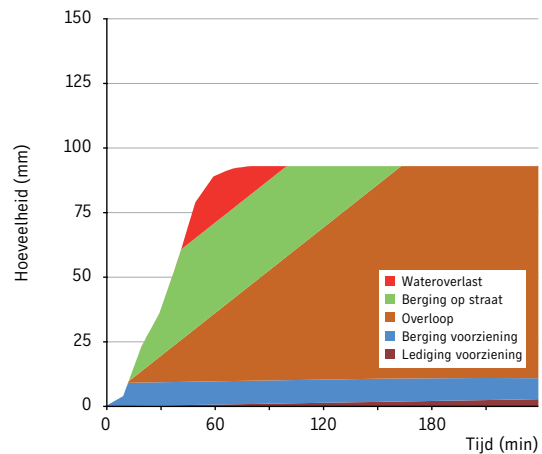
Een klimaatfactor van 1,25 en 1,5 komt overeen met de prognose voor de toename kortdurende extreme buien in respectievelijk 2050 en 2100 volgens de KNMI-klimaatscenario's 2014.

Uit deze analyse blijkt dat een toename van extreme buien substantiële gevolgen kan hebben voor het functioneren van de riolering. De omvang en duur van water op straat nemen allebei fors toe en de kans op overlast wordt flink groter. In de praktijk betekent dit dat systemen lokaal veel vaker falen.

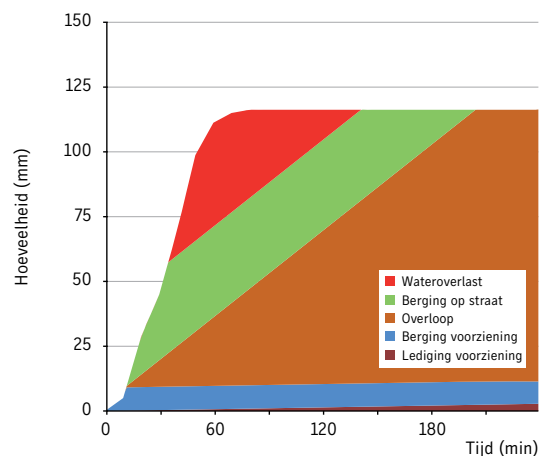
14 <

Voor de analyse van het functioneren van systemen worden de zeer extreme buien vaak buiten beschouwing gelaten. Dat komt (ook) omdat traditionele rekenmodellen niet geschikt zijn voor het simuleren van water op straat. Met nieuwe rekentechnieken zijn vooral de bovengrondse afstroming en berging van extreme neerslag steeds beter in beeld te brengen. De analyse van zeer extreme gebeurtenissen kan daarbij interessante inzichten opleveren.

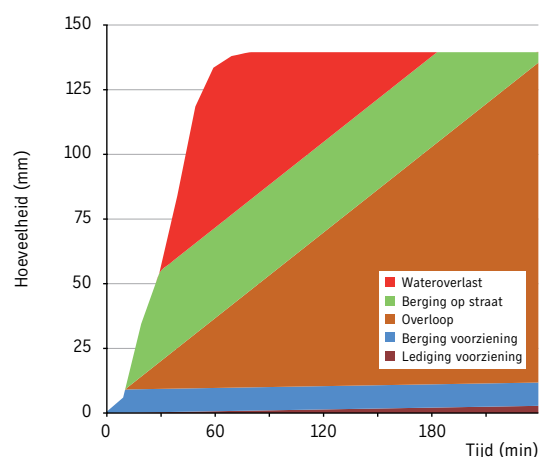
Vanuit deze nieuwe analysetechnieken is het goed mogelijk dat we met relatief eenvoudige middelen de effecten van zeer zware buien kunnen verminderen of beheersen. We mogen die kansen, zoals een waterrobuustere inrichting van de bovengrondse ruimte, niet laten liggen.



Figuur 6.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit, 90 l/s/ha, klimaatfactor 1,00



Figuur 6.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit, 90 l/s/ha, klimaatfactor 1,25



Figuur 6.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit, 90 l/s/ha, klimaatfactor 1,5

7 Rioolstelsel (bui Herwijnen, effect overloopcapaciteit, klimaatfactor 1,25)

Voor deze analyse is het rioolstelsel uit hoofdstuk 3 gesimuleerd met bui Herwijnen en een klimaatfactor van 1,25. Het effect van de overloopcapaciteit van het rioolstelsel is berekend voor 90, 120 en 150 l/s/ha (zie figuren 7.1, 7.2 en 7.3).

Een overloopcapaciteit van 150 l/s/ha is nodig om een duidelijke afname van de overlast te berekenen.

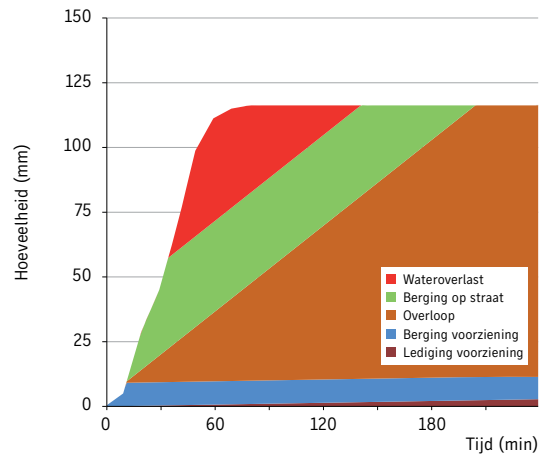
Een overloopcapaciteit van 150 l/s/ha kan worden bereikt met het afkoppelen van circa 50% van het afvoerende oppervlak. Maar let op: afgekoppeld regenwater is niet zomaar weg. Om die hoeveelheden regenwater te kunnen verwerken, zijn adequate voorzieningen nodig.

In deze berekeningen is verondersteld dat overloopcapaciteiten volledig beschikbaar zijn. In de praktijk kan het ontvangende oppervlaktewater een belemmerende factor zijn, doordat hogere buitenwaterstanden de capaciteit van de overstorten en daarmee ook de afvoer­capaciteit van het rioolstelsel verminderen.

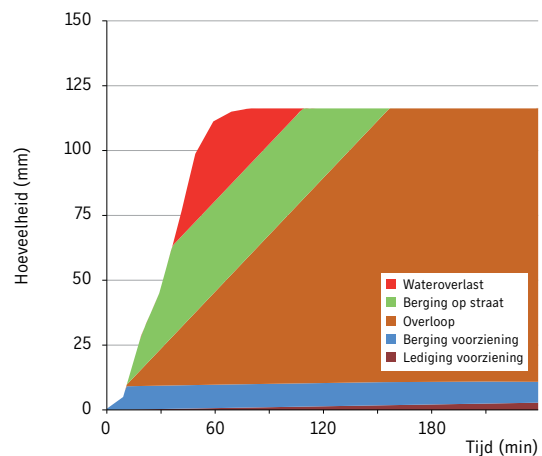
Op het grensvlak van het gemeentelijke rioolstelsel en het regionale watersysteem laat de afstemming vaak te wensen over. Denk aan de werking van riooloverstorten die kan worden belemmerd door hoge waterstanden in het oppervlaktewater. Met name bij het anticiperen op extremere buien is een goede afstemming noodzakelijk.

Principieel is er ook een duidelijk verschil tussen de werking van een rioolstelsel en een (polder)watersysteem. Een polderwatersysteem voert het water traag af via een gemaal met een beperkte capaciteit. Een rioolstelsel voert het water snel af, waardoor water relatief kort op straat staat. Waar water langer op straat blijft staan, is waarschijnlijk sprake van verstoppingen, bijvoorbeeld in kolken en aansluitelingen.

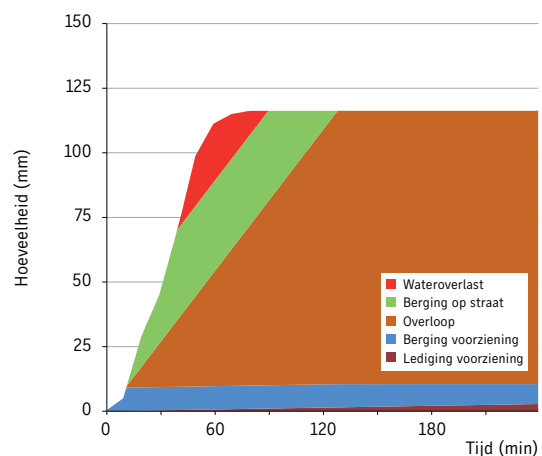
Hoe korter water op straat staat, hoe makkelijker de burger dit accepteert. Daarom hebben rioolstelsels een grote overloopcapaciteit. Veel regenwatersystemen functioneren met een kleinere overloopcapaciteit. Met de duur van water op straat wordt bij het ontwerp van regenwatersystemen vaak geen rekening gehouden.



Figuur 7.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit, 90 l/s/ha, klimaatfactor 1,25



Figuur 7.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit, 120 l/s/ha, klimaatfactor 1,25



Figuur 7.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: overloopcapaciteit, 150 l/s/ha, klimaatfactor 1,25

8 Tunnelbemaling (drie testbuien, ledigingscapaciteit 24 mm/h)

Tunnels blijken in de praktijk kwetsbaar te zijn voor wateroverlast. De vraag is waarom. Een tunnelbemaling functioneert in principe als een rioolstelsel zonder overloop.

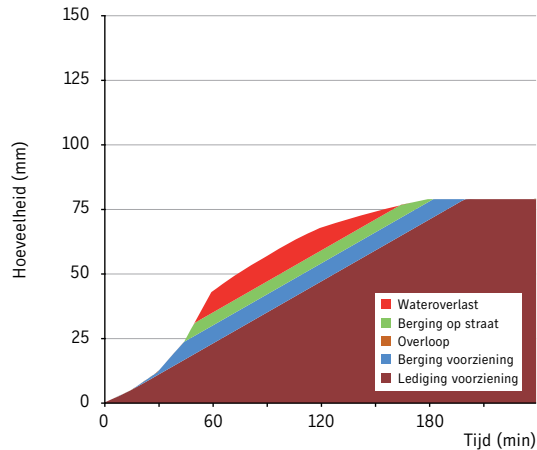
Dit rekenvoorbeeld is overgenomen uit een oude ontwerphandleiding van Rijkswaterstaat (1988). Het ontwerpcriterium is dat de bemaling buien met een herhalingsstijd van 25 jaar moet kunnen afvoeren, zonder water op straat (*RWS hanteert nu $T = 250$ jaar voor rijkswegen en $T = 50$ jaar voor andere wegen*).

De tunnelbak voor deze analyse heeft een afvoerend oppervlak van $l \times b = 700 \times 12,4$ m. Dit leidt tot een pompkelder met een inhoud van 55 m^3 en een gemaal van $180 \text{ m}^3/\text{h}$. Dat komt overeen met 7 mm berging en 24 mm/h ledigingscapaciteit. De berekening met een T25-ontwerpbui geeft inderdaad vrijwel geen water op straat.

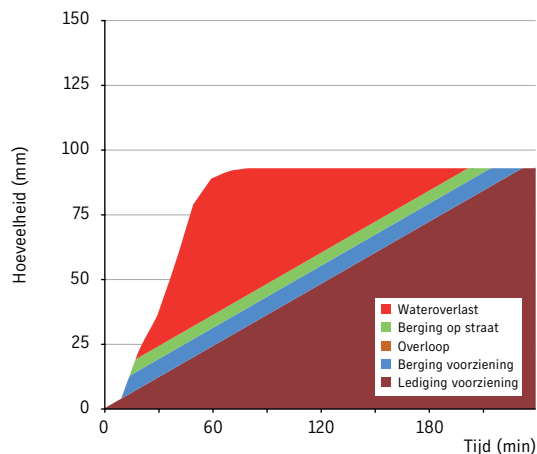
De berging van water op straat is in deze berekening gereduceerd van 35 tot 5 mm, omdat voor water op straat op het diepste deel van de tunnel slechts 1/7 deel van het afvoerende oppervlak beschikbaar is.

Gerekend is met de drie testbuien De Bilt, Herwijnen en Kopenhagen, zonder klimaateffect (figuren 8.1, 8.2 en 8.3).

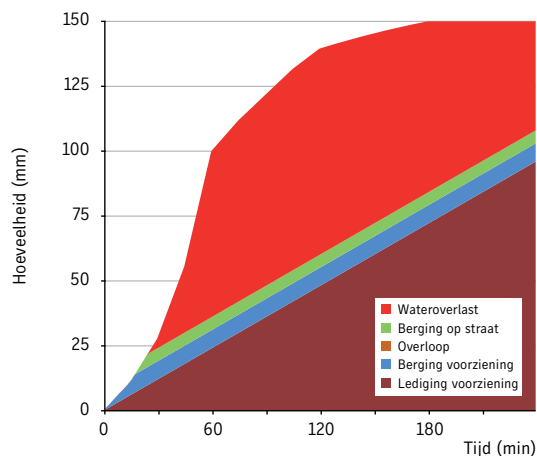
Bij alle extreme testbuien is de beschikbare berging van water op straat overschreden en dus overlast berekend. Dit beeld komt overeen met de praktijk dat tunnels regelmatig gestremd zijn, omdat ze onder water staan.



Figuur 8.1 Bui de Bilt, waterbalans cumulatief: ledigingscapaciteit 24 mm/h



Figuur 8.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: ledigingscapaciteit 24 mm/h



Figuur 8.3 Bui Kopenhagen, waterbalans cumulatief: ledigingscapaciteit 24 mm/h

9 Tunnelbemaling (bui Herwijnen, effect ledigingscapaciteit)

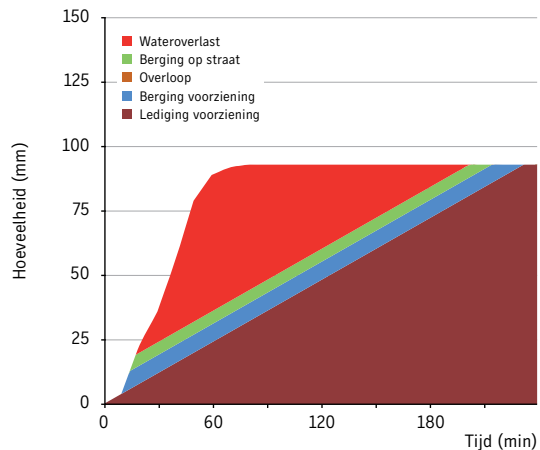
Bij tunnels is de afvoer van regenwater in principe volledig afhankelijk van de ledigingscapaciteit van het gemaal en de berging in de gemaalkelder.

In deze analyse varieert de ledigingscapaciteit van 24, 48 tot 96 mm/h (zie figuren 9.1, 9.2 en 9.3). De berging in de gemaalkelder bedraagt 7 mm. Gerekend is met bui Herwijnen, zonder klimaateffect.

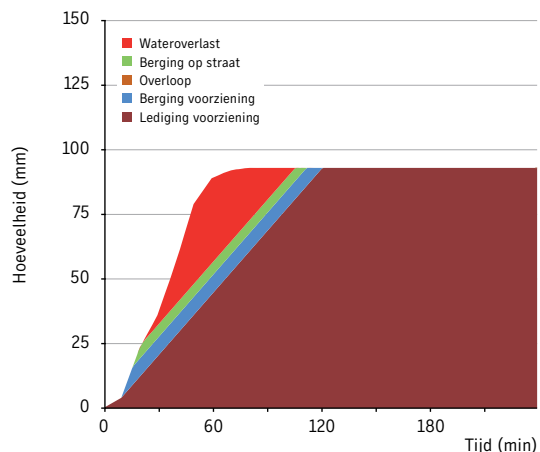
De resultaten laten zien dat het berekende water op straat en overlast fors afnemen bij een substantieel grotere ledigingscapaciteit. Pas bij een ledigingscapaciteit van 96 mm/h is er geen overlast en ook geen water op straat.

De berging van 7 mm in de pompkelder is relatief klein. Een verdubbeling van deze berging heeft wel enig effect op de hoeveelheid water op straat en overlast, maar dat effect is veel kleiner dan dat van een verdubbeling van de ledigingscapaciteit.

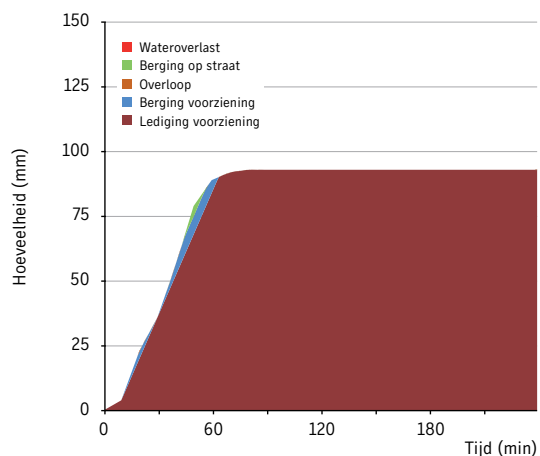
Het nadeel van een kleine berging in de pompkelder, is dat veel sneller water op straat en overlast ontstaat als de pomp uitvalt door een calamiteit, ook bij buien met een veel kleinere neerslagsom.



Figuur 9.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: ledigingscapaciteit 24 mm/h



Figuur 9.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: ledigingscapaciteit 48 mm/h



Figuur 9.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: ledigingscapaciteit 96 mm/h

10 Tunnelbemaling (bui De Bilt, ledigingscapaciteit 48 mm/h, effect afvoerend oppervlak)

Een kritisch punt bij het ontwerp van een tunnelbemaling is de grootte van het afvoerend oppervlak. Niet alleen het afvoerend oppervlak van de tunnelbak zelf is van belang, maar ook afstroming van de aangesloten wegen en soms van de (onverharde) taluds.

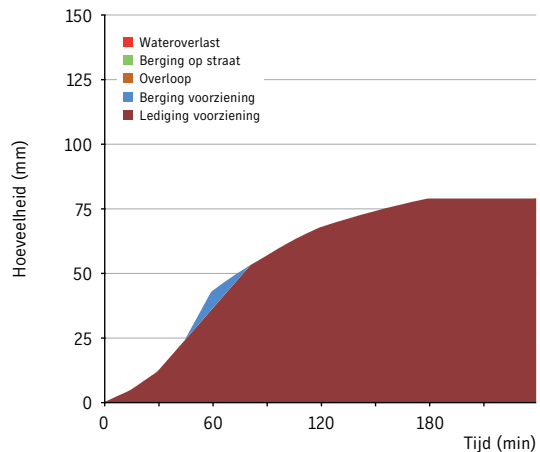
In deze berekeningen is verondersteld dat het afvoerend oppervlak in werkelijkheid 20% en 50% groter is dan in het ontwerp is aangenomen (zie figuren 10.1, 10.2 en 10.3).

Voor de ledigingscapaciteit is uitgegaan van 48 mm/h, een verdubbeling van de capaciteit ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp in hoofdstuk 8. De berging in de gemaalkelder is hier ook 7 mm. Gerekend is met bui De Bilt (T ~ 50 jaar), zonder klimaateffect.

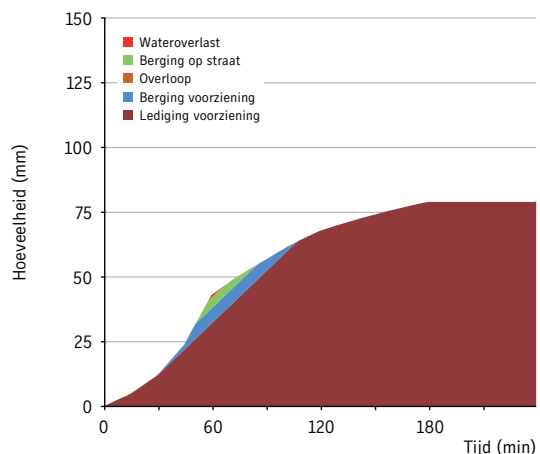
De resultaten laten zien dat bij een toename van 20% en 50% afvoerend oppervlak in beperkte mate zowel water op straat als overlast ontstaat.

Net als bij souterrains onder woningen is het ook bij tunnels belangrijk om de grootte van het afvoerend oppervlak dat afhelt naar de bak zo klein mogelijk te houden. Als dat niet kan, dan moet de ledigingscapaciteit worden aangepast aan dat grotere afvoerend oppervlak.

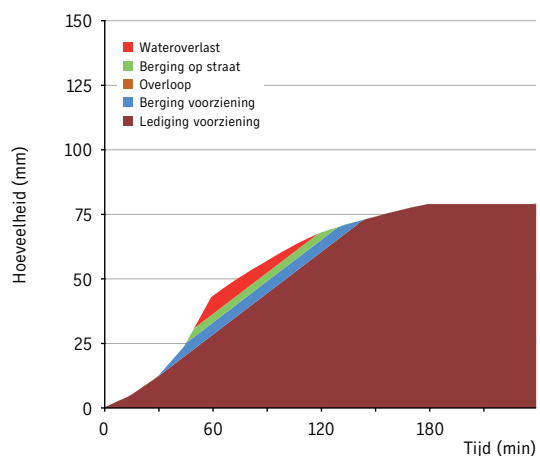
18 <



Figuur 10.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: afvoerend oppervlak, ledigingscapaciteit 48 mm/h



Figuur 10.2 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: afvoerend oppervlak +20%, ledigingscapaciteit 48 mm/h



Figuur 10.3 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: afvoerend oppervlak +50%, ledigingscapaciteit 48 mm/h

11 Groen dak (bui De Bilt, effect berging substraat)

Het principe van een groen dak is dat een substraatlaag een hoeveelheid neerslag kan bergen van waaruit het water verdampt naar de atmosfeer. In de berekening is aangenomen dat er geen riolering is en dat de neerslag die tot afvoer komt op straat komt te staan.

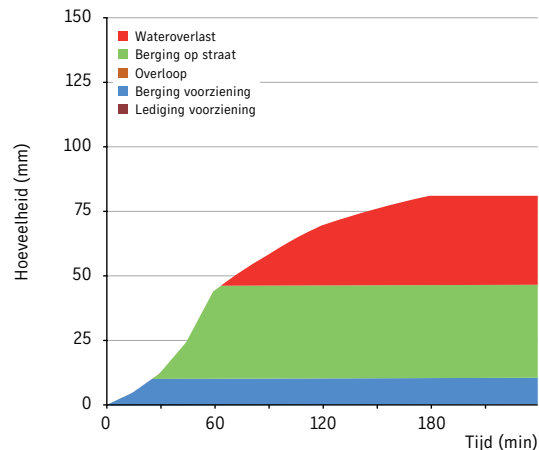
Deze analyse gaat uit van extreme buien in de zomerperiode, waarbij is gerekend met een verdamping van 3 mm per dag. In de winter is de verdamping nihil.

In deze simulaties is het effect berekend van een berging in de substraatlaag van 10, 20 en 30 mm ten opzichte van het dakoppervlak (zie figuren 11.1, 11.2 en 11.3) Het gaat hier om het water dat de substraatlaag effectief kan vasthouden, dus het water dat in de laag blijft hangen. Gerekend is met bui De Bilt (T~50) zonder klimaateffect.

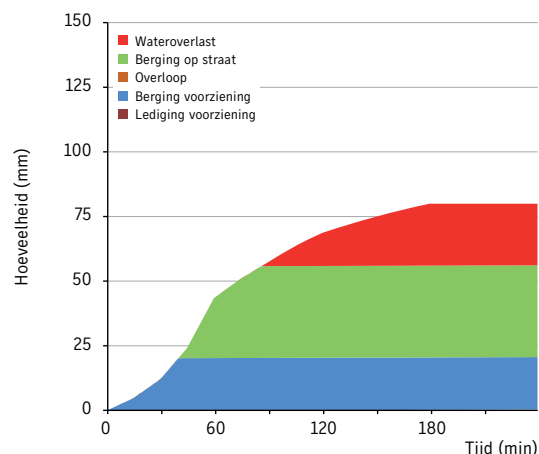
Uit de resultaten blijkt duidelijk dat de substraatlagen van de groene daken uit dit voorbeeld weinig invloed hebben op het verwerken van extreme buien (vasthouden, bergen, afvoeren). In alle situaties wordt een bijdrage geleverd aan water op straat en aan overlast.

Groene daken worden vaak gepropageerd als maatregel om wateroverlast tegen te gaan. Maar het nut van groene of waterdaken zit niet in het opvangen van extreme buien. Met een relatief beperkte substraatberging van circa 10 mm kan een groen of nat dak circa 50% van de jaarlijkse neerslag verdampen. Dat heeft wel een substantieel effect op de jaarlijkse afvoer van regenwater naar de zuivering.

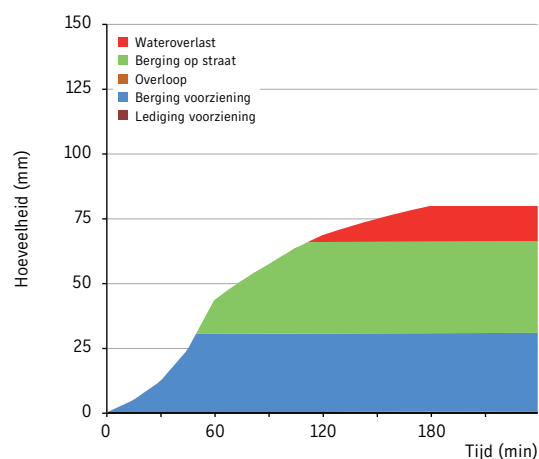
Om een vergelijkbaar effect te realiseren, hoeft een dak niet groen te zijn. Berging op een plat waterdak ('blauw dak') werkt op een soortgelijke manier. Als de dakconstructie sterk genoeg is, is een waterdak een veel eenvoudiger (en goedkoper) alternatief dan een groen dak (zie hoofdstuk 12).



Figuur 11.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging substraat 10 mm



Figuur 11.2 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging substraat 20 mm



Figuur 11.3 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging substraat 30 mm

12 Waterdak (bui De Bilt, berging 80 mm, klimaateffect)

Waterdaken ('blauwe daken') moeten constructief gezien sterk genoeg zijn om substantiële hoeveelheden water te kunnen bergen. Tijdens hitte kan het opgevangen water het dak flink verkoelen. Het kan zelfs wenselijk zijn om bewust water op het dak te laten staan. Met een slim afvoerregime zou een dak op basis van weersverwachting te ledigen zijn zodat de berging maximaal beschikbaar is voordat de extreme bui valt.

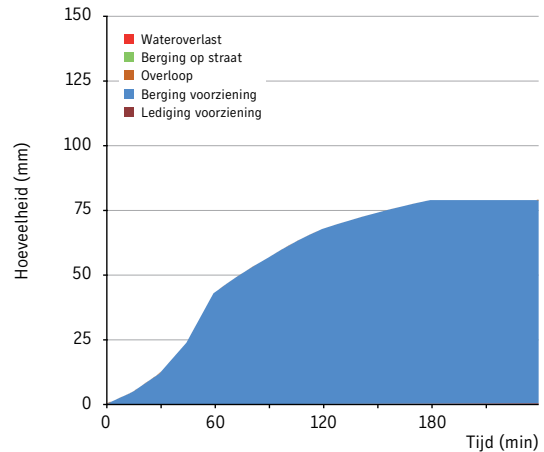
In deze analyse is gekozen voor een forse waterberging van 80 mm ten opzichte van het dakoppervlak. Het functioneren van het dak is berekend met bui De Bilt ($T \sim 50$) en de klimaatfactoren 1,0, 1,25 en 1,50 (zie figuren 12.1, 12.2 en 12.3).

Met klimaatfactor 1,0 kan bui De Bilt volledig op het dak worden geborgen. Met klimaatfactor 1,25 levert het dak een bijdrage aan water op straat en met klimaatfactor 1,5 levert het dak een bijdrage aan de overlast.

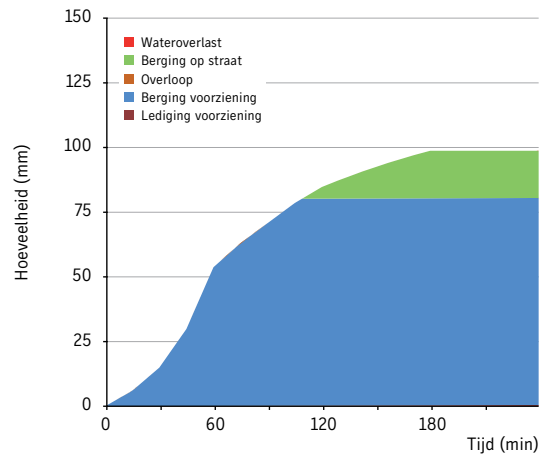
20 <

In deze analyse is verondersteld dat de berging op het dak bij het begin van de extreme bui volledig beschikbaar is. Dit is in de praktijk vaak niet het geval, omdat bij trage lediging en opeenvolgende buien de berging op het dak bij de start van een nieuwe bui vaak nog niet leeg is.

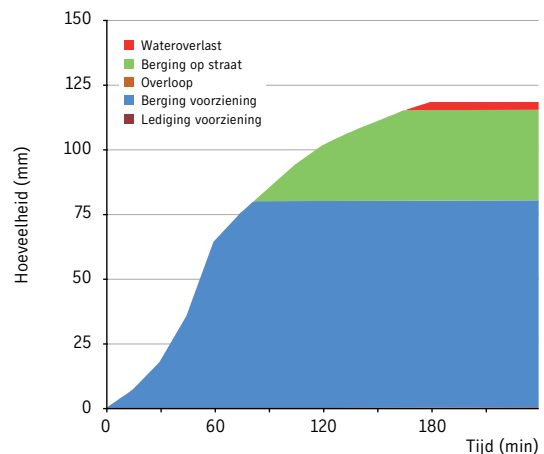
Sturing van de dakafvoer is een interessante optie om de waterberging op het dak geleidelijk te laten leeglopen om enerzijds een maximale reductie te bereiken in de afvoer van de pieken in de neerslag en anderzijds de waterberging op het dak weer zo snel mogelijk beschikbaar te krijgen voor de volgende bui.



Figuur 12.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging 80 mm, klimaatfactor 1,0



Figuur 12.2 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging 80 mm, klimaatfactor 1,25



Figuur 12.3 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging 80 mm, klimaatfactor 1,5

13 Groene tuin (bui Herwijnen, doorlatendheid gras 0,5 m/dag, effect laagteberging)

Het meest eenvoudige systeem om regenwater te verwerken, is de tuin. Het water hoeft nauwelijks getransporteerd te worden en de inspanningen voor aanleg en beheer zijn minimaal.

Een grasveld heeft een gemiddelde doorlatendheid van 0,5 m/dag. Verondersteld is dat:

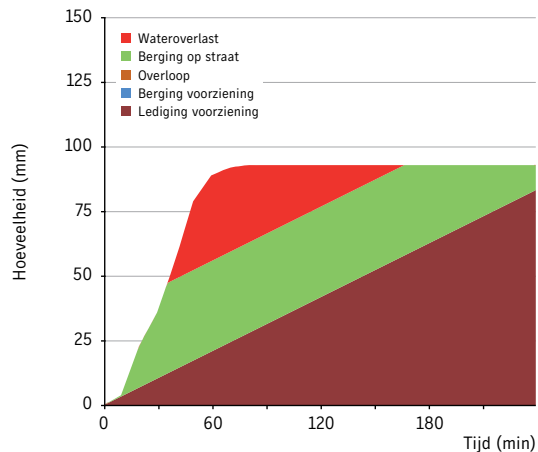
- de doorlatendheid van de grond onder de toplaag van het gras groter is dan 0,5 m/dag;
- het grondwater niet vlak onder het maaiveld staat.

In deze simulatie is het functioneren van het grasveld zonder laagteberging en met een laagteberging van 20 en 50 mm vergeleken (zie figuren 13.1, 13.2 en 13.3). Daarbij is aangenomen dat het water dat de tuin niet kan bergen of dat niet in de grond kan infiltreren, op straat komt te staan. Gerekend is met bui Herwijnen, zonder klimaateffect.

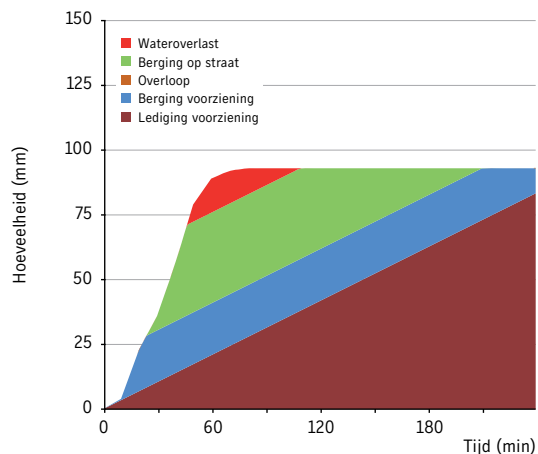
Uit de resultaten blijkt duidelijk dat een laagteberging wateroverlast en water op straat flink beperkt.

In de praktijk kan de doorlatendheid van een grasveld door intensief gebruik behoorlijk laag zijn. Bij zeer extreme buien komt vaak ook onverhard oppervlak tot afstroming.

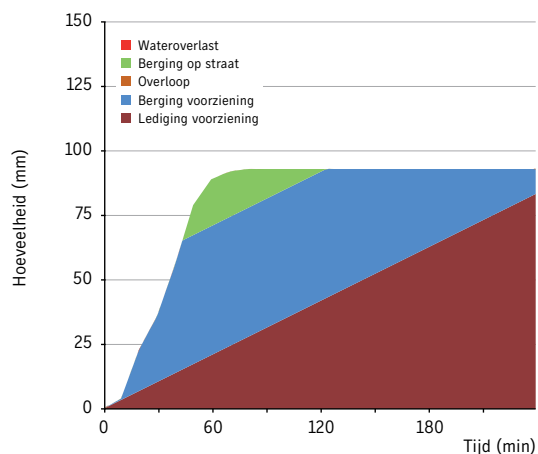
Particulieren worden opgeroepen om, tegen de trend in, hun tuin niet verder verstenen, maar juist de verharding weg te halen. In de communicatie over het ontharden van tuinen wordt ten onrechte niet gestimuleerd om een laagteberging aan te brengen. Daar zit het grootste potentieel om wateroverlast te voorkomen of beperken.



Figuur 13.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: doorlatendheid gras 0,5 m/dag, geen laagteberging



Figuur 13.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: doorlatendheid gras 0,5 m/dag, laagteberging 20 mm



Figuur 13.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: doorlatendheid gras 0,5 m/dag, laagteberging 50 mm

14 Verharde tuin (bui Herwijnen, doorlatendheid verharding 0,1 m/dag effect laagteberging)

Het verharden van de tuin is populair in Nederland. Stenen vragen minder onderhoud dan groen. Mensen verharden hun voortuinen om dienst te doen als parkeerplaats en hun achtertuinen als verlengstuk van de woonkamer.

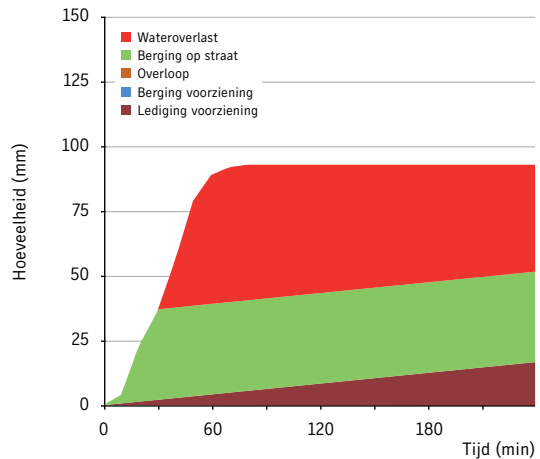
In deze simulatie is gekeken naar het effect van het verharden van de tuin. Net als in hoofdstuk 13 varieert de laagteberging in de tuin van 0 mm, 20 mm tot 50 mm (zie figuren 14.1, 14.2 en 14.3). Maar in plaats van gras heeft deze tuin een klinkerverharding met een doorlatendheid van 0,1 m/dag, dat is ruim 4 mm/h. Ook nu is gerekend met bui Herwijnen, zonder klimaateffect.

De beperkte doorlatendheid van de klinkerverharding heeft een duidelijk effect op de hoeveelheid en duur van water op straat. Bij een laagteberging van 0 en 20 mm is sprake van flinke (water)overlast.

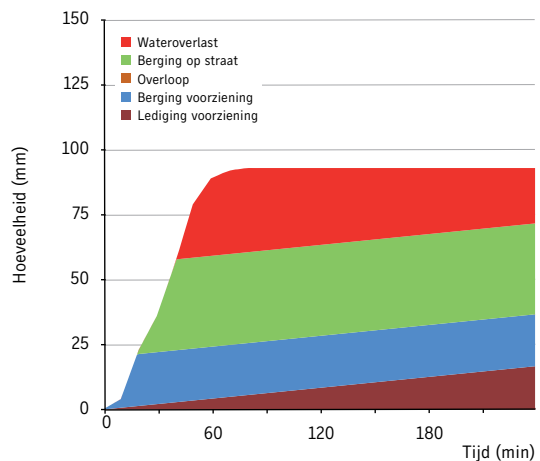
22 <

Het verharden van een tuin is voor de waterhuishouding een nadeel als de doorlatendheid van de toplaag (te) klein is. Door open voegen en een fundering met extra bergingscapaciteit toe te passen, kan veel van het water alsnog infiltreren, mogelijk ook meer dan in gras. Stenen zijn dus vooral een probleem als ze een ondoordringbare laag vormen.

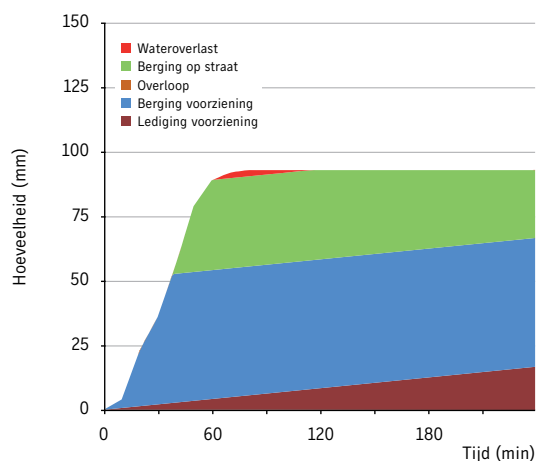
Het aanbrengen van een laagteberging is altijd aan te bevelen.



Figuur 14.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: doorlatendheid verharding 0,1 m/dag, geen laagteberging



Figuur 14.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: doorlatendheid verharding 0,1 m/dag, laagteberging 20 mm



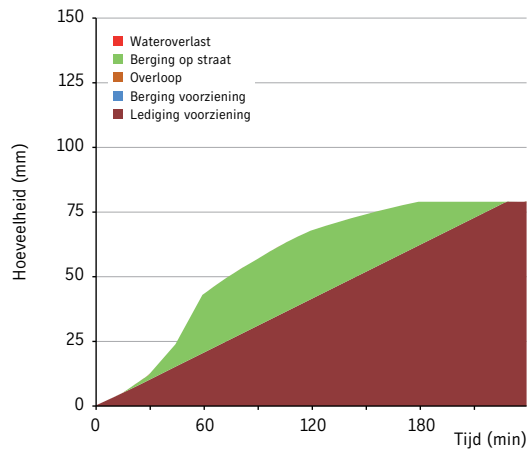
Figuur 14.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: doorlatendheid verharding 0,1 m/dag, laagteberging 50 mm

15 Groene tuin (bui De Bilt, geen laagteberging, klimaateffect)

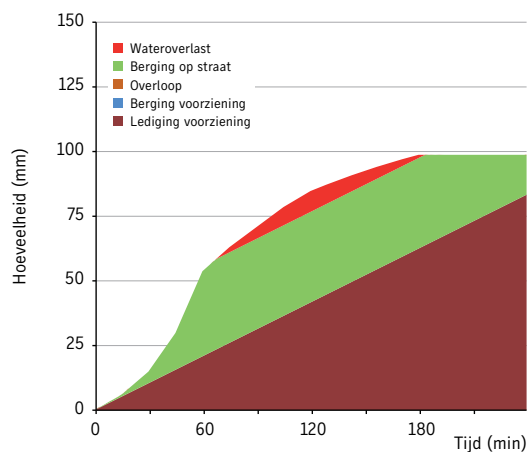
Voor deze analyse is het infiltreren in een grasveld met een doorlatendheid van 0,5 m/dag zonder laagteberging berekend met bui De Bilt met klimaateffect, de klimaatfactoren 1,0, 1,25 en 1,5 (zie figuren 15.1, 15.2 en 15.3).

Zonder klimaateffect (factor 1,0) is sprake van veel water op straat en net geen overlast. Bij de klimaatfactoren van 1,25 en 1,5 ontstaat wel wateroverlast.

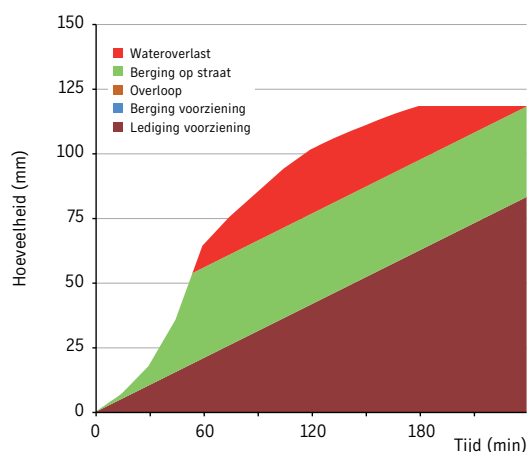
De infiltratiecapaciteit van het gras is vanzelfsprekend onvoldoende om extreme hoeveelheden regenwater direct te kunnen infiltreren. Als er geen buffer in de vorm van een laagteberging is, kunnen grasvelden daarom wel degelijk flink gaan afvoeren (naar de straat en riolering).



Figuur 15.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: geen laagteberging, klimaatfactor 1,0



Figuur 15.2 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: geen laagteberging, klimaatfactor 1,25



Figuur 15.3 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: geen laagteberging, klimaatfactor 1,5

16 Groene tuin (bui De Bilt, laagteberging 20 mm, klimaateffect)

Voor deze analyse is het infiltreren in een grasveld met een doorlatendheid van 0,5 m/dag met een laagteberging van 20 mm berekend met bui De Bilt en de klimaatfactoren 1,0, 1,25 en 1,5 (zie figuren 16.1, 16.2 en 16.3).

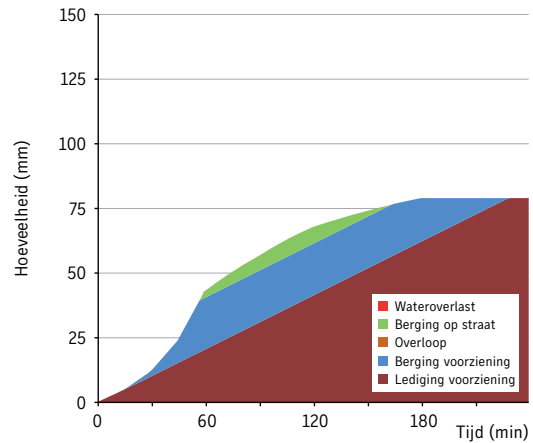
Alleen bij een klimaatfactor van 1,5 is er enige wateroverlast. In de andere situaties is uitsluitend sprake van water op straat.

Een laagteberging in het gras heeft duidelijk een gunstig effect op het infiltreren van regenwater en het tegengaan van overlast. Dit effect is aanzienlijk te versterken met een grotere laagteberging van bijvoorbeeld 50 mm, zie ook hoofdstuk 14. Dan wordt veel minder water op straat berekend en geen overlast.

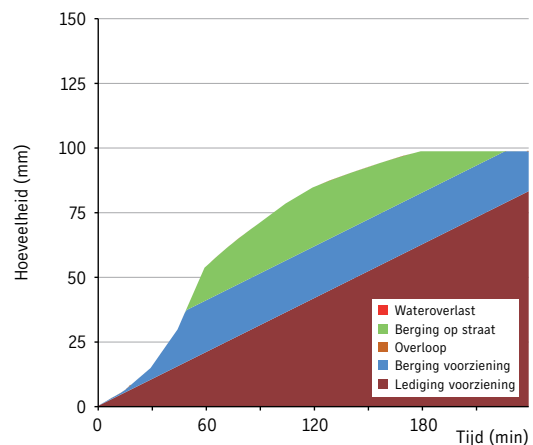
Ditzelfde principe geldt ook voor laagteberging in het openbaar groen. In het verwerken van extreme hoeveelheden neerslag valt hier nog veel te winnen.

24 <

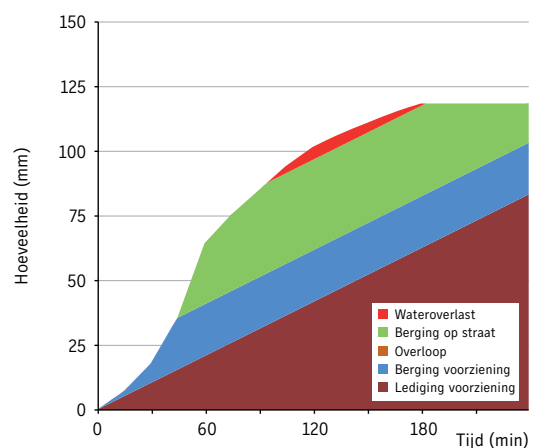
Bij dit type maatregelen is het verstandig om ruim te dimensioneren. Weinig moeite en kosten zijn nodig om een enorm effect te bereiken.



Figuur 16.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: laagteberging 20 mm, klimaatfactor 1,0



Figuur 16.2 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: laagteberging 20 mm, klimaatfactor 1,25



Figuur 16.3 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: laagteberging 20 mm, klimaatfactor 1,5

17 Ondergrondse berging (bui Kopenhagen, effect berging voorziening)

Ondergrondse berging, bijvoorbeeld onder de verharding, is een alternatief voor een open laagteberging.

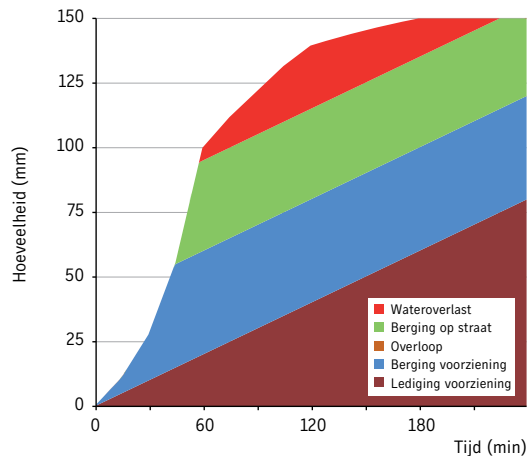
Voor deze analyse is gerekend met bui Kopenhagen zonder klimaateffect. De ondergrondse berging heeft een capaciteit van 40, 60 of 80 mm (zie figuren 17.1, 17.2 en 17.3) met een infiltratiecapaciteit naar de grond van 20 mm/h (0,5 m/dag).

Om de berekening van de infiltratiecapaciteit eenvoudig te houden, is uitgegaan van infiltratie alleen via de bodem van de voorziening, niet via de wanden. Het bodemoppervlak van de voorziening is gelijk gesteld aan het afvoerend oppervlak.

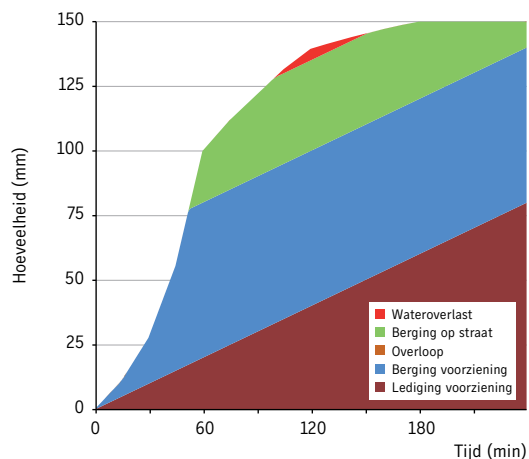
Een ruim gedimensioneerde ondergrondse berging kan veel water verwerken, zelfs bij deze zeer extreme bui. Bij 40 mm berging is hier sprake van wateroverlast. Bij 60 mm berging zijn de hoeveelheid en duur van de overlast klein. Bij 80 mm berging komt maar weinig water op straat te staan en is geen sprake van wateroverlast.

Bij bui Herwijnen is er bij 40 mm berging geen overlast en bij 60 mm berging nauwelijks sprake van water op straat.

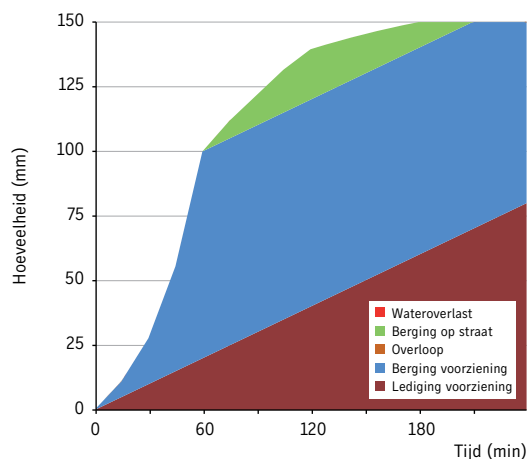
Dit type voorziening wordt ook vaak toegepast in combinatie met sterk doorlatende of waterpasserende verharding.



Figuur 17.1 Bui Kopenhagen, waterbalans cumulatief: infiltratiecapaciteit 0,5 m/dag, berging 40 mm



Figuur 17.2 Bui Kopenhagen, waterbalans cumulatief: infiltratiecapaciteit 0,5 m/dag, berging 60 mm



Figuur 17.3 Bui Kopenhagen, waterbalans cumulatief: infiltratiecapaciteit 0,5 m/dag, berging 80 mm

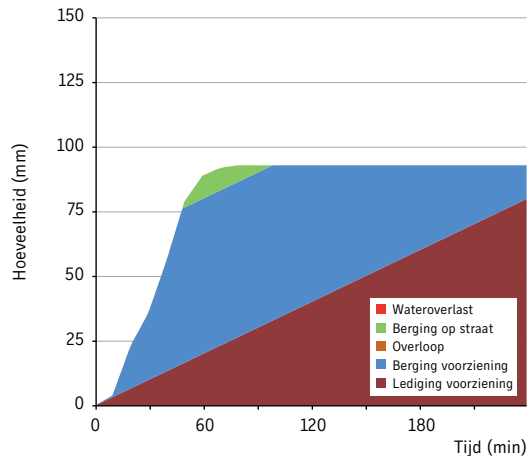
18 Ondergrondse berging (bui Herwijnen, berging 60 mm, klimaateffect)

In deze analyse is het functioneren van een ondergrondse berging van 60 mm berekend met bui Herwijnen (T ~ 100 jaar) en de klimaatfactoren 1,0, 1,25 en 1,5 (zie figuren 18.1, 18.2 en 18.3). Hierbij is uitgegaan van een infiltratiecapaciteit naar de grond van 20 mm/h.

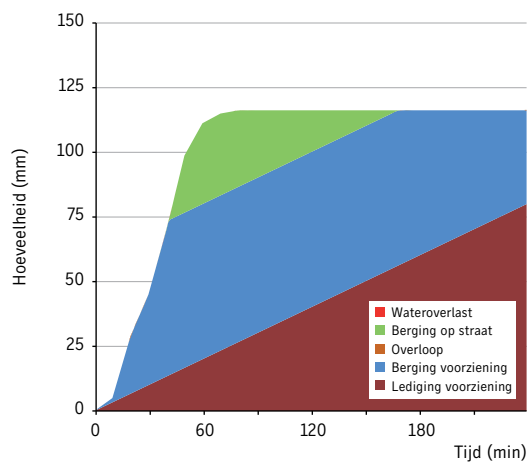
Zonder klimaateffect (factor 1,0) treedt geen water op straat op. Met een klimaatfactor van 1,25 is gedurende een uur sprake van zeer weinig water op straat. Een klimaatfactor van 1,5 (150 mm neerslag in 3 uur) zorgt voor veel water op straat en enige overlast.

Dit type voorziening is uitermate effectief, mede omdat het water wordt verwerkt op de plek waar het valt. De straat ligt vaak lager dan de tuin van een woning en is daarom een geschikt punt om regenwater te verzamelen en te verwerken.

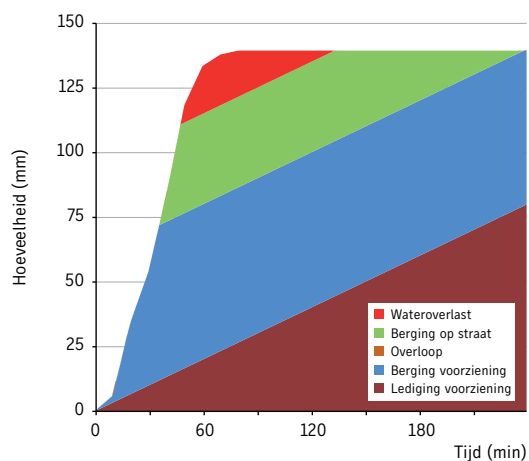
26 <



Figuur 18.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging 60 mm, klimaatfactor 1,0



Figuur 18.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging 60 mm, klimaatfactor 1,25



Figuur 18.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging 60 mm, klimaatfactor 1,5

19 Waterplein (drie testbuien, berging waterplein 60 mm, overloopcapaciteit 90/s/ha)

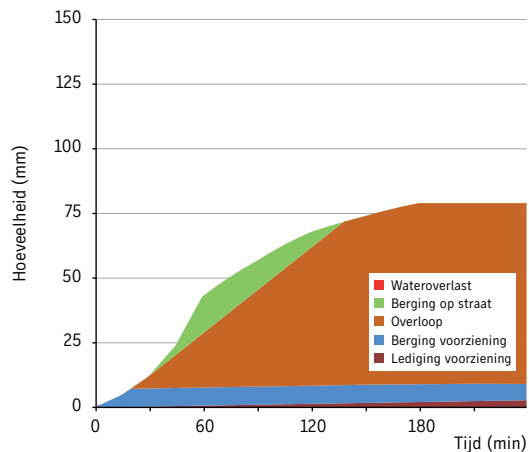
Met een waterplein is water gecontroleerd tijdelijk op straat te bergen. Omdat de wateraanvoer meestal bovengronds plaatsvindt, moet het plein het laagste punt in het omliggende gebied zijn.

In deze simulatie is het functioneren van een waterplein met een (straat)berging van 60 mm berekend met de drie testbuien (zie figuren 19.1, 19.2 en 19.3).

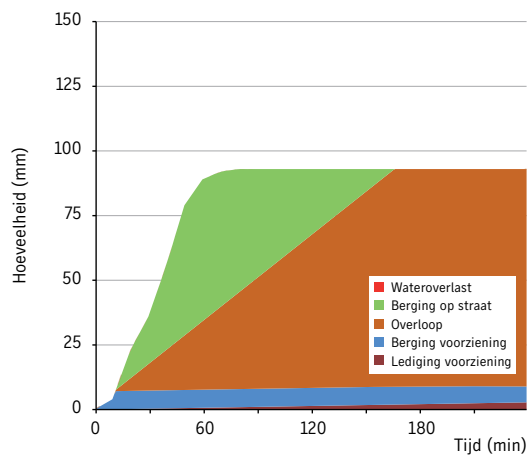
Het onderliggende rioolstelsel heeft een berging van 9 mm en een ledigingscapaciteit van 0,7 mm/h. De overloopcapaciteit van het stelsel is 90 l/s/ha. Dat komt overeen met 32,4 mm/h.

Het waterplein kan de buien De Bilt en Herwijnen zonder overlast verwerken. Bij de zeer extreme bui Kopenhagen is sprake van enige overlast.

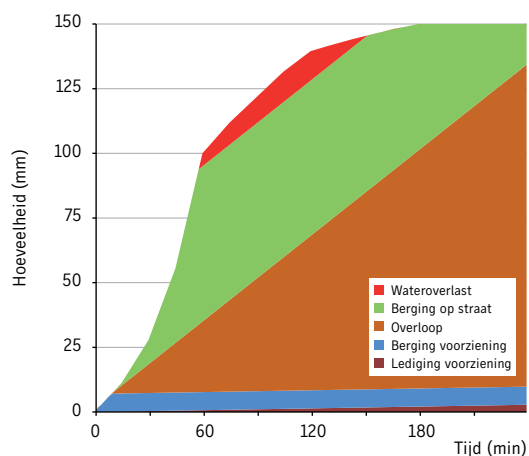
Bij deze berekening is aangenomen dat de overloopcapaciteit van het rioolstelsel 90 l/s/ha is. Bij een overloopcapaciteit van 60 l/s/ha zijn de hoeveelheid en duur van de overlast minimaal een factor 2 groter.



Figuur 19.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging waterplein 60 mm, overloopcapaciteit 90/s/ha



Figuur 19.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging waterplein 60 mm, overloopcapaciteit 90/s/ha



Figuur 19.3 Bui Kopenhagen, waterbalans cumulatief: berging waterplein 60 mm, overloopcapaciteit 90/s/ha

20 Waterplein (bui Herwijnen, klimaateffect, berging waterplein 60 mm)

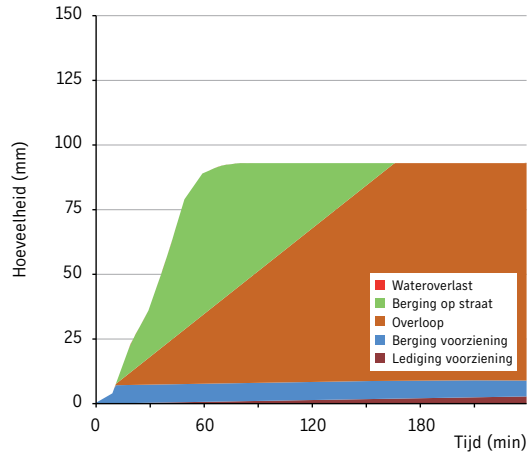
In deze analyse is het functioneren van een waterplein met een (straat)berging van 60 mm berekend met de bui Herwijnen en de klimaatfactoren 1,0, 1,25 en 1,5 (zie figuren 20.1, 20.1 en 20.3).

Net als in hoofdstuk 19 heeft het onderliggende rioolstelsel een berging van 9 mm en een ledigingscapaciteit van 0,7 mm/h. De overloopcapaciteit van het stelsel is ook nu 90 l/s/ha (32,4 mm/h).

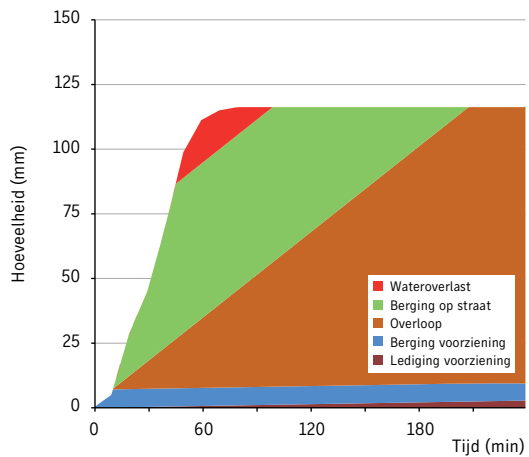
Het waterplein kan de bui Herwijnen zonder wateroverlast verwerken. Bij een klimaatfactor van 1,25 is sprake van enige overlast. Alleen bij een klimaatfactor van 1,5 is de overlast substantieel.

Bij waterpleinen is het belangrijk dat ze in een systeem op de goede plekken worden aangelegd, namelijk daar waar water op straat en wateroverlast daadwerkelijk optreden.

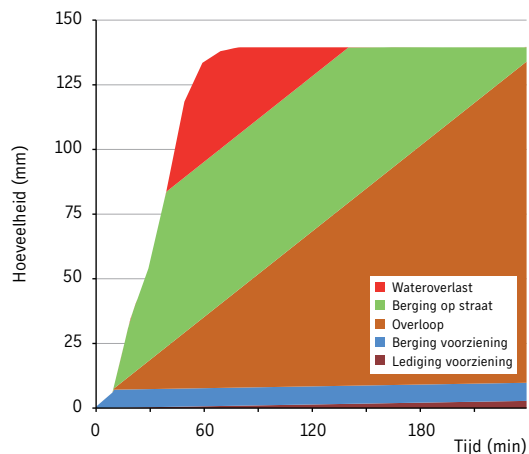
28 <



Figuur 20.1 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging waterplein 60 mm, klimaatfactor 1,0



Figuur 20.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging waterplein 60 mm, klimaatfactor 1,25



Figuur 20.3 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging waterplein 60 mm, klimaatfactor 1,5

21 Polder (drie testbuien, waterberging 75 + 15 mm, bemaling 12 mm/dag)

Bij een poldersysteem ligt de nadruk van de verwerking van extreme neerslaghoeveelheden op de bergingscapaciteit. Een polder heeft normaliter geen overloopcapaciteit. De ledigingscapaciteit is vergelijkbaar met die van een rioolstelsel (0,5 mm/h). Dat komt neer op 12 mm neerslag per dag. De ledigingscapaciteit komt overeen met de gangbare afvoercapaciteit van landelijke watersystemen van 1 tot 1,5 l/s/ha.

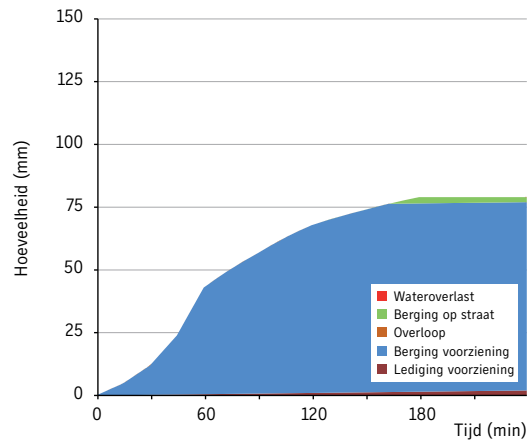
In dit rekenvoorbeeld is uitgegaan van een waterberging van 75 + 15 mm extra. In de rekentool zit die 15 mm extra als berging op straat om een gradatie in de berging van het watersysteem aan te brengen. Deze kenmerken zijn afgeleid uit een willekeurig voorbeeld, waardoor weinig te zeggen valt over de representativiteit.

Het functioneren van de polder is berekend met de drie testbuien De Bilt, Herwijnen en Kopenhagen, zonder klimaateffect (zie figuren 21.1, 21.2 en 21.3).

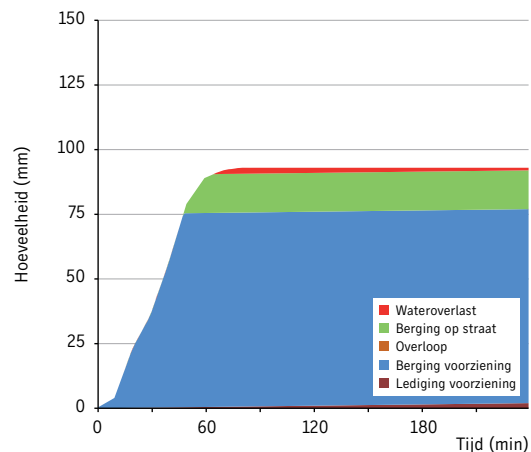
Uit de resultaten blijkt dat het poldersysteem bui De Bilt zonder overlast kan verwerken. Bij bui Herwijnen is sprake van enige overlast en bij bui Kopenhagen is de overlast bijzonder groot, niet alleen in omvang maar ook in tijdsduur.

Een systeem dat is gedimensioneerd op berging, is vanzelfsprekend kwetsbaar voor buien van extreme omvang. Een compenserend effect bij een polder is dat zeer hevige buien vaak maar op een deel van het uitgestrekte gebied vallen. Voor regionale watersystemen wordt daarom vaak gerekend met een reductiefactor voor de neerslag over een groter gebied. Daartegenover staat dat bij deze berekeningen is uitgegaan van de meest gunstige beginconditie: een lege berging.

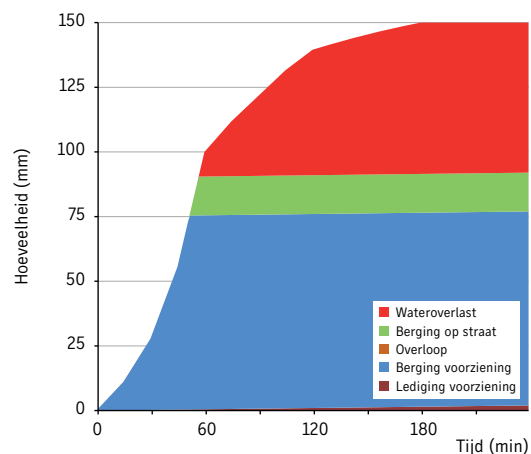
Een polder bergt het regenwater in de grond, op het land en in de watergangen. Het functioneren van een polder bij een extreme bui is dus sterk afhankelijk van de begincondities, het grondwaterpeil en de waterstand in de watergangen. Hierdoor zijn poldersystemen vooral kwetsbaar in natte perioden, zoals de winter. Beheerders handhaven mede daarom in de winter een lager streefpeil dan in de zomer.



Figuur 21.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging 75 + 15 mm, bemaling 12 mm/dag



Figuur 21.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging 75 + 15 mm, bemaling 12 mm/dag



Figuur 21.3 Bui Kopenhagen, waterbalans cumulatief: berging 75 + 15 mm, bemaling 12 mm/dag

22 Polder (drie testbuien, waterberging 75 + 15 mm, bemaling 24 mm/dag)

Als in een polder door regenwateroverlast noodsituaties ontstaan, zet de beheerder vaak extra pompcapaciteit in.

In dit rekenvoorbeeld is uitgegaan van een waterberging van 75 + 15 mm en een verdubbeling van de gangbare gemaalcapaciteit van 0,5 naar 1 mm/h (24 mm/dag). Deze verdubbeling betekent dat het gemaal in de 3 uur dat de bui valt in totaal circa 1,5 mm neerslag extra wegpompt.

Het functioneren van de polder is berekend met de drie testbuien De Bilt, Herwijnen en Kopenhagen, zonder klimaateffect (zie figuren 22.1, 22.2 en 22.3).

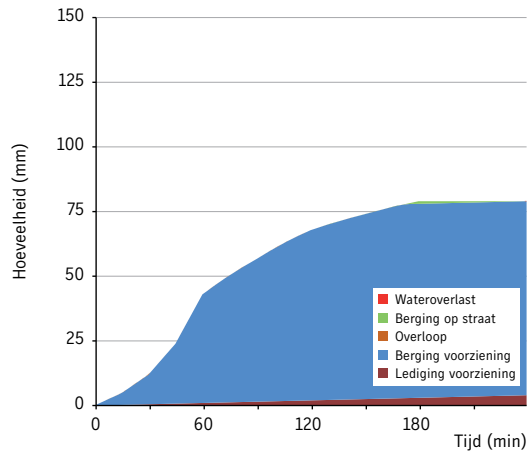
De resultaten laten zien dat het effect van de dubbele pompcapaciteit minimaal is (vergelijk met hoofdstuk 21). Ook hier is er geen overlast bij bui De Bilt, maar wel bij de buien Herwijnen en Kopenhagen.

30 <

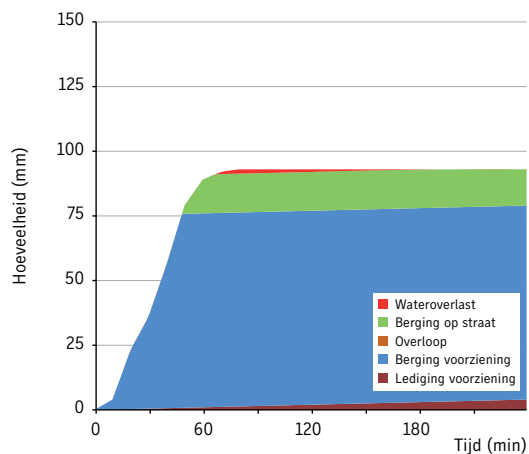
Uit deze simulaties blijkt dat het na een extreme bui lang duurt voordat overtollig water is weggepompt. Bij het voorbeeld van de bui Kopenhagen duurt het circa 60 uur voordat de overlast is weggepompt. Daarna duurt het nog eens ruim 70 uur voordat het waterpeil weer terug is op het streefpeil.

Het minimale effect van de pompcapaciteit betekent ook dat bij een (tijdelijke) 'maalstop' vanwege kritische waterstanden in de boezem, het effect op de wateroverlast in de polder minimaal is.

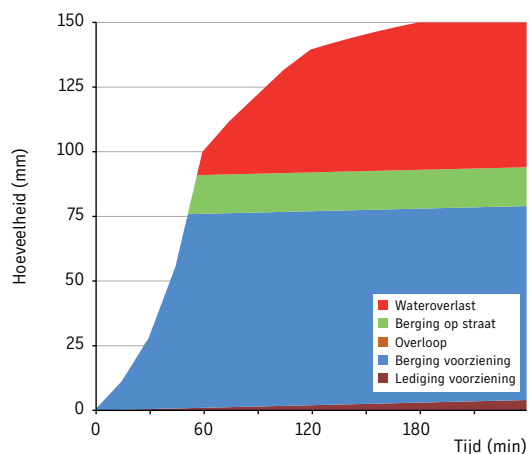
Poldersystemen zijn veel minder gevoelig/kwetsbaar voor testbuien zoals De Bilt of Herwijnen. Vanwege de combinatie van grote berging en kleine afvoercapaciteit kunnen ook grote neerslagsommen over een periode van meerdere dagen maatgevend zijn voor het functioneren van poldersystemen.



Figuur 22.1 Bui De Bilt, waterbalans cumulatief: berging 75 + 15 mm, bemaling 24 mm/dag



Figuur 22.2 Bui Herwijnen, waterbalans cumulatief: berging 75 + 15 mm, bemaling 24 mm/dag



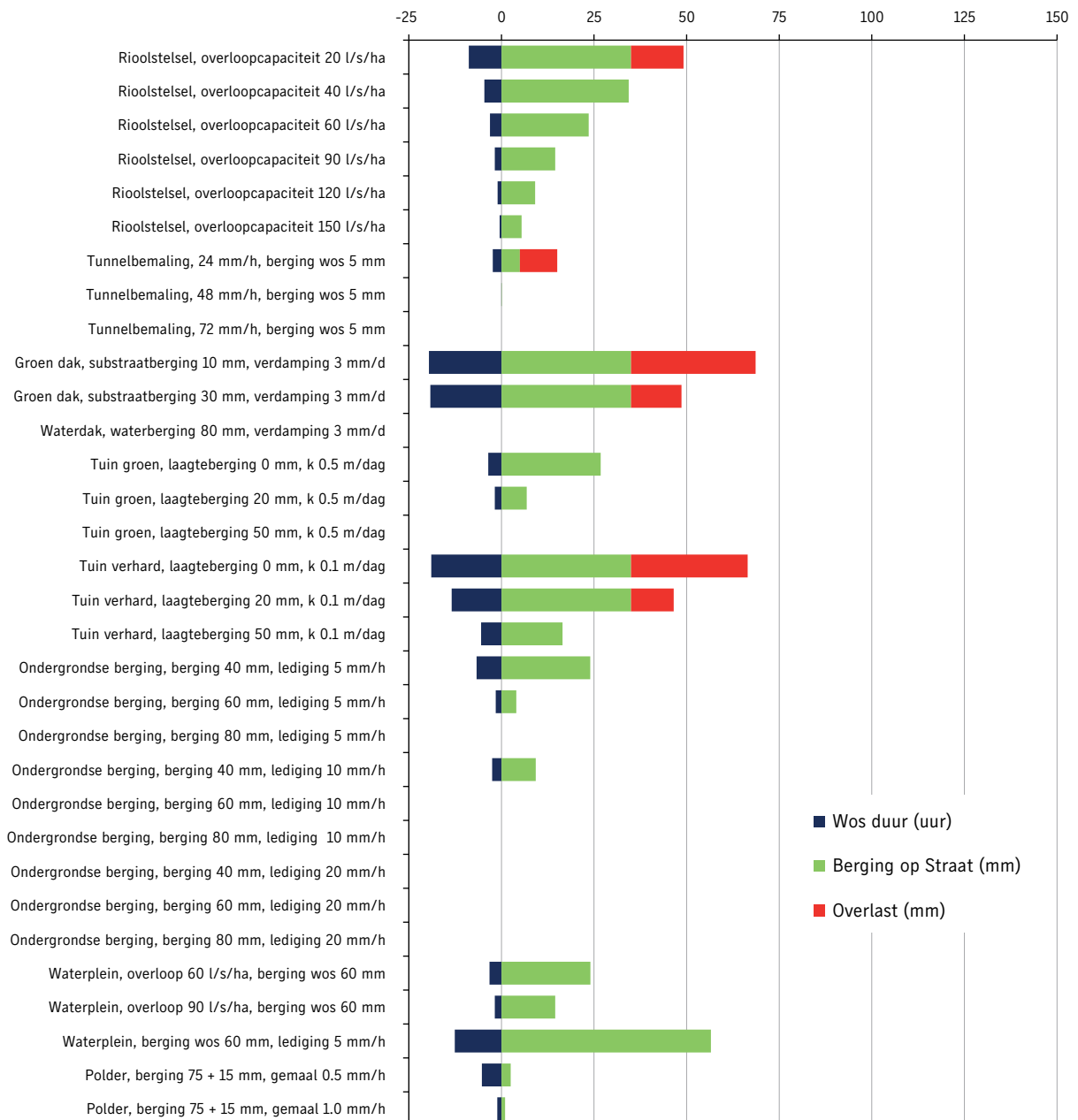
Figuur 22.3 Bui Kopenhagen, waterbalans cumulatief: berging 75 + 15 mm, bemaling 24 mm/dag

23 Overzichten functioneren systemen per testbui

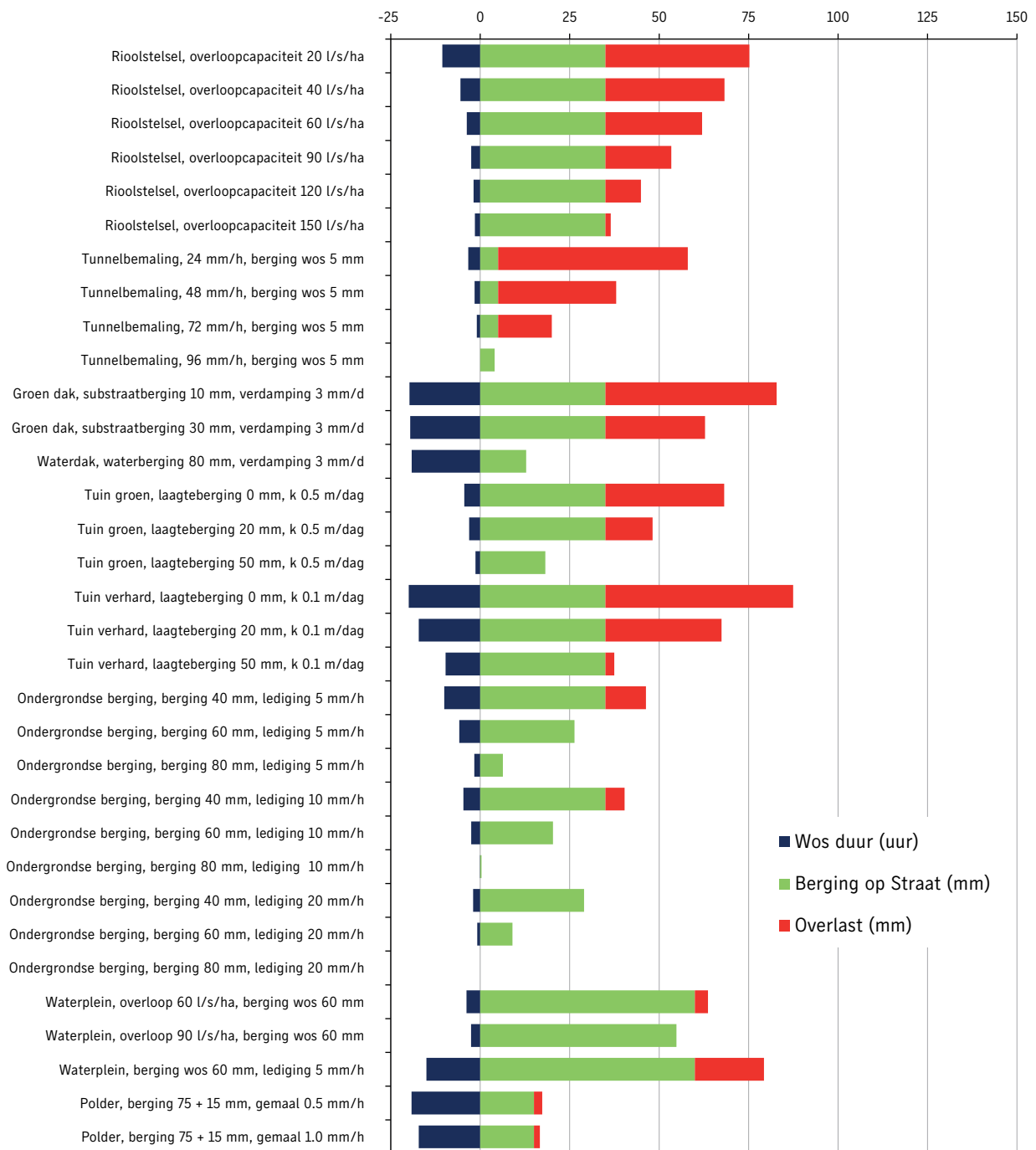
In de hoofdstukken 3 tot en met 22 is het functioneren van vrijwel alle gangbare regenwatersystemen langs de meetlat gelegd, om de effectiviteit ten aanzien van water op straat en wateroverlast eenvoudig te kunnen vergelijken. Dit hoofdstuk vat alle resultaten samen in vijf grafieken. Elke grafiek geeft voor de 32 systeemvarianten per testbui de hoeveelheid overlast (mm, rood), de hoeveelheid water op straat (mm, groen) en de duur van water op

straat (uur, blauw) aan. Voor testbui De Bilt is ook met de klimaatfactoren 1,25 en 1,5 gerekend.

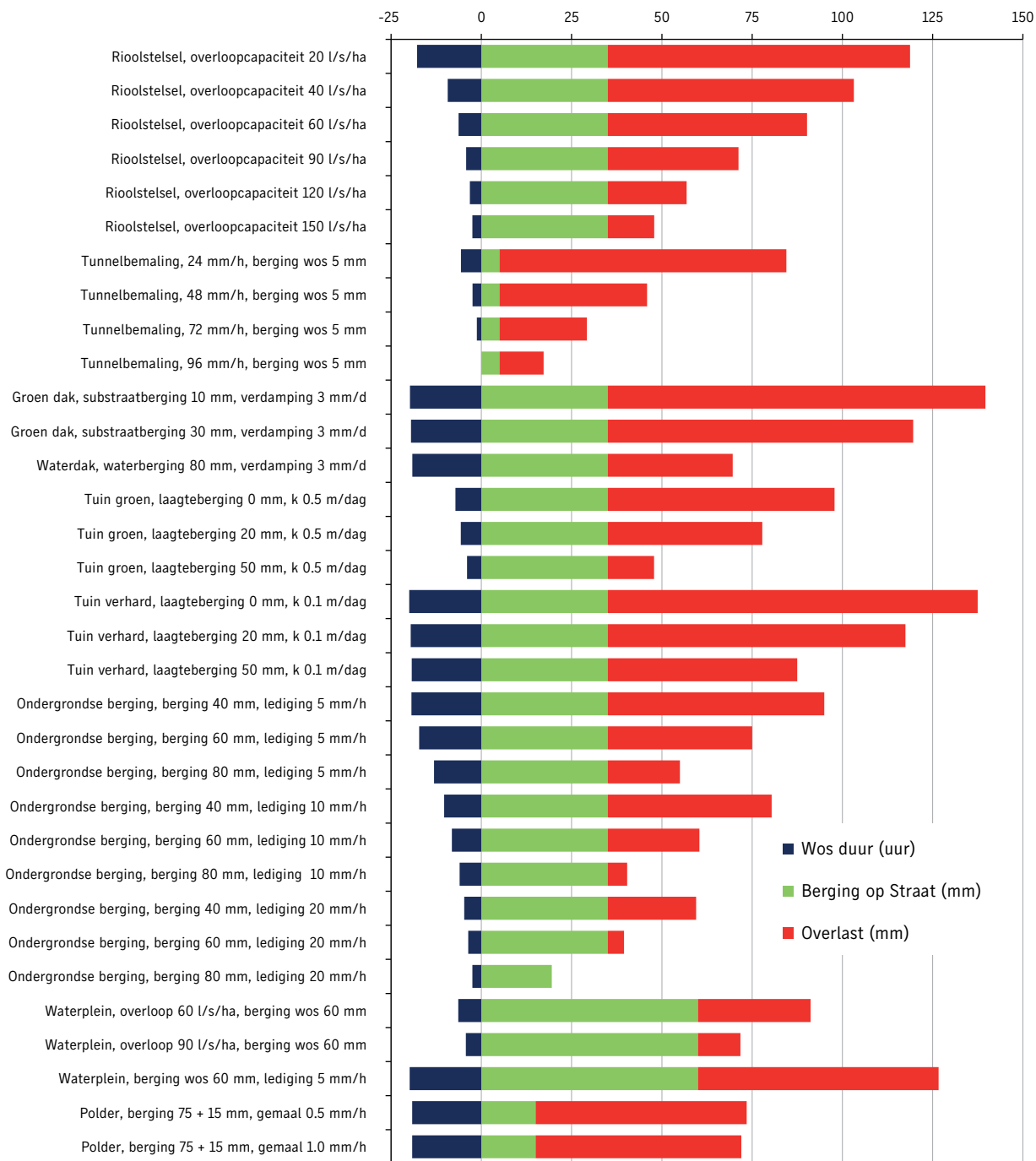
De resultaten geven een beeld van de kwetsbaarheid van regenwatersystemen en een indicatie van de effectiviteit van maatregelen om de effecten van extreme buien te voorkomen of te beperken.



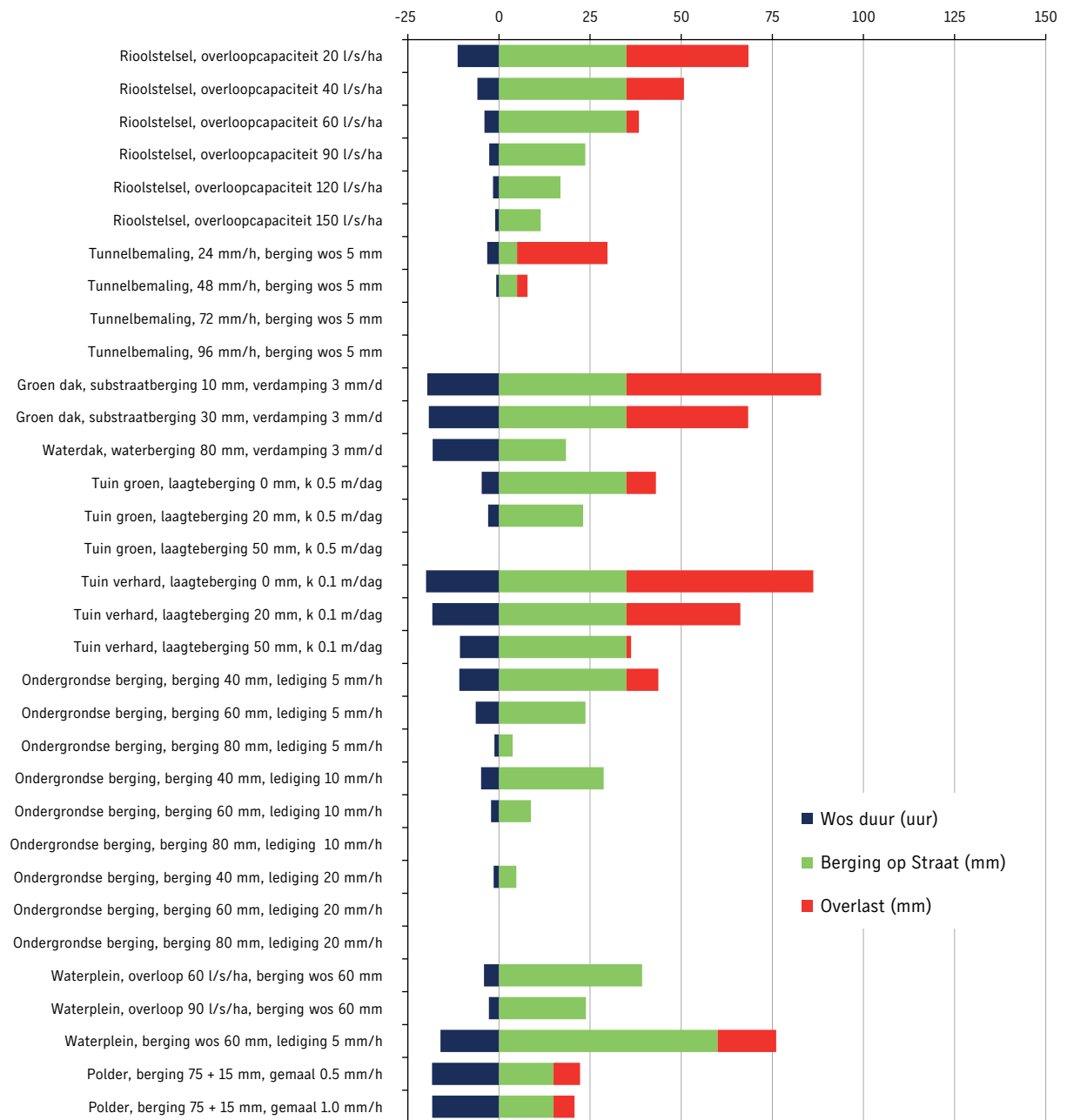
Figuur 23.1 Resultaten met bui De Bilt, 79 mm in 3 uur.



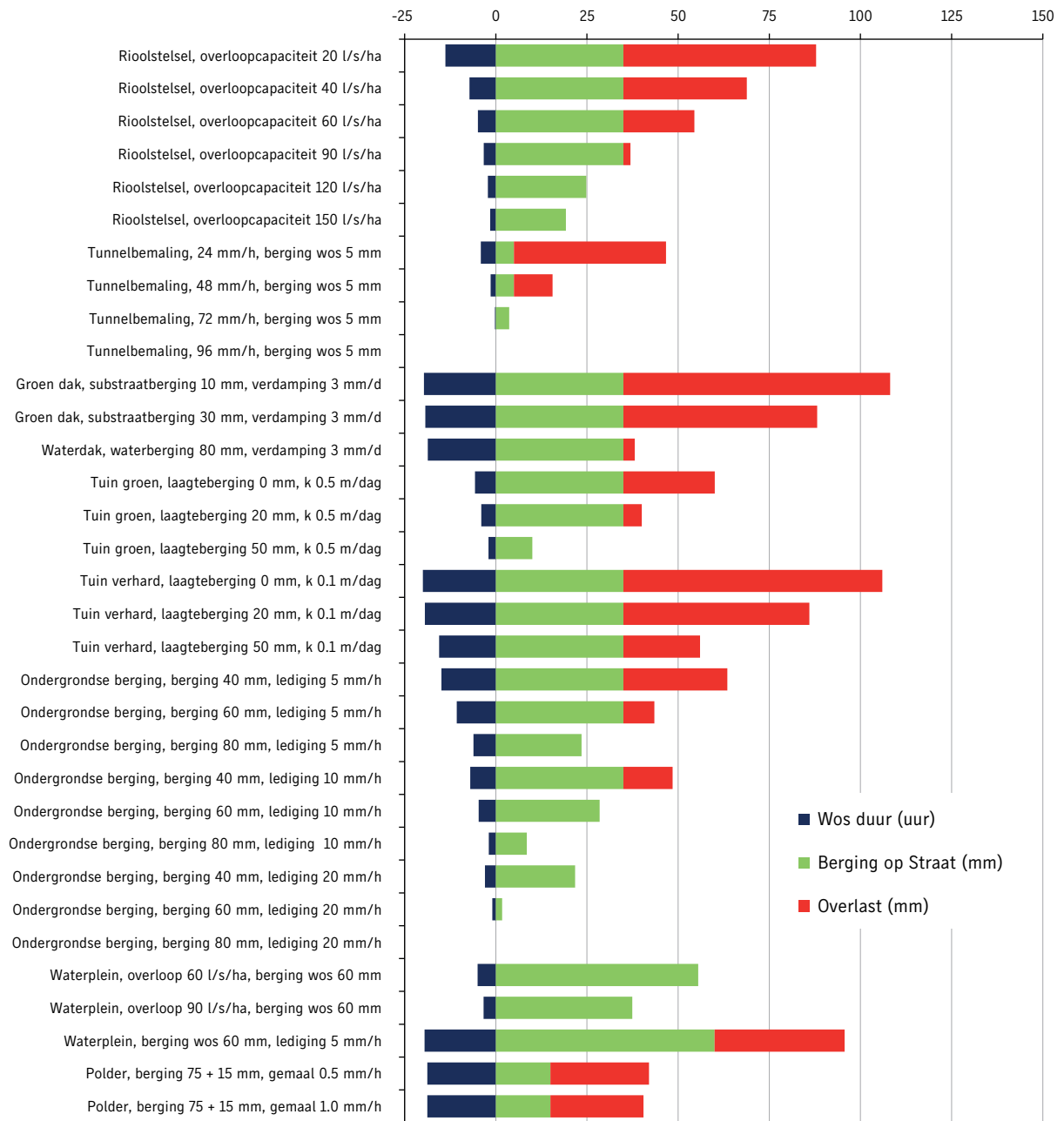
Figuur 23.2 Resultaten met bui Herwijnen, 93 mm in 70 minuten



Figuur 23.3 Resultaten met bui Kopenhagen, 150 mm in 3 uur



Figuur 23.4 Resultaten met bui De Bilt, 79 mm in 3 uur, met klimaatfactor 1,25.



Figuur 23.5 Resultaten met bui De Bilt, 79 mm in 3 uur, met klimaatfactor 1,5.

24 Conclusies

Met een sterk vereenvoudigde rekentool is een vergelijkende test met drie zware testbuizen op een aantal verschillende typen regenwatersystemen uitgevoerd. De resultaten van deze test leiden tot enkele belangrijke en soms opmerkelijke inzichten:

- Uit de analyse van het functioneren van de riolering blijkt dat een toename van extreme buien substantiële gevolgen kan hebben. De omvang en duur van water op straat nemen fors toe en de kans op regenwateroverlast wordt flink groter. In de praktijk betekent dit dat systemen lokaal veel vaker falen.
- De (overloop)capaciteit van een rioolstelsel speelt een belangrijke rol bij het optreden en tegengaan van regenwateroverlast. Grotere buizen naar de overstorten helpen dus wel degelijk. Een grotere overloopcapaciteit van het rioolstelsel leidt tot minder water op straat en vooral ook minder lang. Voorwaarde is wel dat het ontvangende oppervlaktewater het water uit het overlopende rioolstelsel kan verwerken.
- De ledigingscapaciteit van een rioolstelsel speelt vrijwel geen rol bij het optreden en tegengaan van regenwateroverlast. Het is dus niet nodig om de capaciteit van een rioolgemaal in de analyse mee te nemen.
- De berging van water op straat is essentieel om regenwateroverlast te voorkomen of beperken.
- Een tunnel is kwetsbaar voor regenwateroverlast als de ledigingscapaciteit te laag is gedimensioneerd. Een ruime ledigingscapaciteit werkt beter dan een ruime bergingscapaciteit omdat deze doorlopend beschikbaar is. Het is belangrijk grootte van het afvoerend oppervlak van toe leidende wegen en hellende taluds zo beperkt mogelijk te houden.
- Een traditioneel groen dak kan een groot deel van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid verdampen naar de atmosfeer, maar speelt bij extreme buien geen rol van betekenis.
- Een waterdak met een forse berging (op een stevige dakconstructie) en een bij voorkeur gestuurd ledigingsregime kan een bijdrage leveren aan het tegengaan van regenwateroverlast. Natuurlijk is het effect sterk afhankelijk van het percentage waterdakoppervlak in een omgeving.
- Een (open) laagteberging in de tuin is belangrijk om bij extreme buien regenwater te kunnen bufferen en geleidelijk te laten infiltreren in de bodem. Enige berging is beter dan helemaal geen berging, maar een ruim gedimensioneerde berging is het best om ook zeer extreme buien zonder overlast te kunnen verwerken.
- Een alternatief voor een laagteberging is een ondergrondse berging, bijvoorbeeld onder het verharde oppervlak. Ook hier geldt het principe van ruim dimensioneren om ook zeer extreme buien zonder overlast te kunnen verwerken.
- Een waterplein is een effectief middel om lokaal regenwateroverlast te voorkomen, mits het op de juiste plek is aangelegd en de overloopcapaciteit van de onderliggende riolering niet te krap is gedimensioneerd.
- Een polder kan extreme buien goed verwerken zolang een kritische neerslaghoeveelheid, gerelateerd aan de beschikbare waterberging, niet wordt overschreden.
- Het vergroten van de bemalingscapaciteit van een polder heeft weinig effect op het optreden dan wel voorkomen van regenwateroverlast.

De wet van behoud van massa is de basis voor de publicatie van Regenwatersystemen op de testbank. De werking van regenwatersystemen is op een uniforme manier vergeleken met een eenvoudige rekentool. De resultaten kunnen soms verrassend zijn. Deze vergelijking helpt u om de essenties van de werking regenwatersystemen te begrijpen en betere afwegingen te maken bij de keuze van maatregelen tegen regenwateroverlast.



ISBN 978 90 73645 48 6