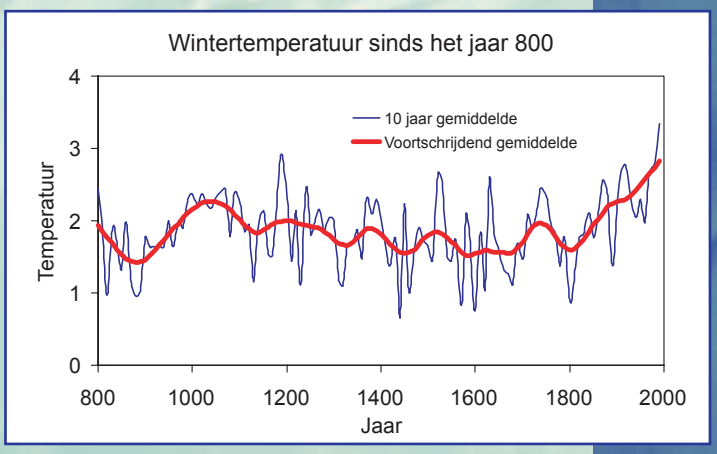
Onderzoek naar effecten klimatologische ontwikkelingen op stedelijke afvoer hemelwater

Quickscan klimaatontwikkeling en riolering

Door ir. H. van Luijtelaar en ir. A.H. Dirkzwager *)

In het advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw 'Waterbeleid voor de 21e eeuw', uitgebracht op 31 augustus 2000, wordt gewezen op een toename van de problemen en knelpunten in het huidige watersysteem als gevolg van de te verwachten klimatologische veranderingen. Rekening dient te worden gehouden met intensievere regenval, frequentere buien en langere periodes van droogte.

De klimaatontwikkeling zal ook de inrichting en de capaciteit van de bestaande riooltechnische voorzieningen, waaronder in dit verband ook de technieken voor het anders omgaan met regenwater dan het inzamelen en transporteren via riolering worden gerekend, kunnen gaan beïnvloeden. Het is van belang de technologische, economische, ecologische en sociale consequenties van klimaatverandering inzichtelijk te maken. Onderzoek is gericht op de vragen: hoe om te gaan met de verandering in klimaat en welke maatregelen genomen kunnen worden genomen respectievelijk welke voorzieningen kunnen worden getroffen om in de toekomst knelpunten en problemen te voorkomen.



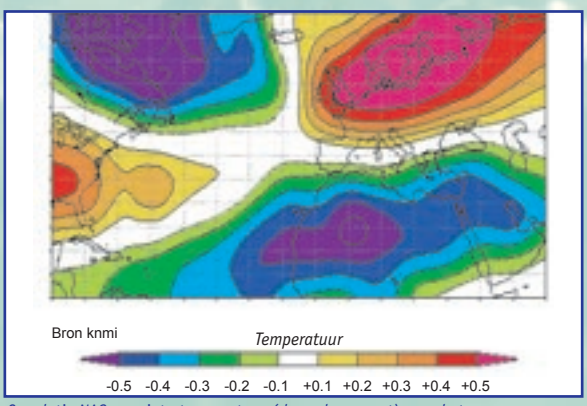
Tien jaar gemiddelde wintertemperatuur 800-2000 voor de Lage Landen (de blauwe lijn is het lopend gemiddelde over 150 jaar) gereconstrueerd door Buisman, IJnsen en Van Engelen (Bron: de toestand van het klimaat in Nederland 1999, KNMI, 1999).

Klimaatontwikkeling samengevat

Het klimaat is aan het veranderen. Ook de afgelopen duizend jaar varieerde de temperatuur. Opvallend was in Europa een aantal warmere zomers in de Middeleeuwen en het vaker voorkomen van koude winters in de vijftiende tot achttiende eeuw. Deze laatste periode wordt wel de 'Kleine IJstijd' genoemd.

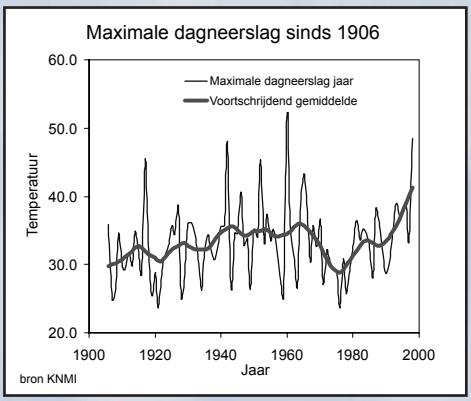
De natuurlijke variatie van het klimaat wordt beïnvloed door verschijnselen zoals uitbarstingen van vulkanen, zonneactiviteit, El Niño, de variatie in de Atlantische (warme) golfstroom en in de zogeheten Noord-Atlantische Oscillatie (NAO) een westelijke depressie-stroming tussen lage druk bij IJsland en hoge druk bij de Azoren.

De afgelopen twintig jaar is vooral de wintertemperatuur hoger geweest dan normaal en dat effect wordt grotendeels toegeschreven aan de NAO. De warme gouden eeuw en de kleine IJstijd in de eeuwen daarna worden vooral toegeschreven aan een variatie in de warme golfstroom. Dit jaar wordt de ontwikkeling van een nieuwe El Niño verwacht. Het effect in Nederland is nauwelijks merkbaar.
De menselijke invloed op de ontwikkeling van het klimaat wordt bepaald door de uitstoot van zogeheten broeikasgassen: waterdamp, kooldioxide, Methaan (aardgas), CFK's (spuitbussen). De komende jaren zal de uitstoot van deze gassen gestaag doorgaan, vooral door de economische ontwikkeling van bijvoorbeeld China.



Correlatie NAO en wintertemperatuur (december-maart) voor het Atlantisch/Europees gebied over 1865-1994. In gebieden met positieve waarden is het warmer dan normaal wanneer de index positief is (Bron: de toestand van het klimaat in Nederland 1999, KNMI, 1999).

Bij voortschrijdende uitstoot van broeikasgassen wordt verwacht dat in 2100 de wereldtemperatuur met 1 tot 3.5° C is gestegen, de wereldgemiddelde neerslag met enkele procenten is toegenomen en de zeespiegel



De ontwikkeling van de maximale dagneerslag sinds 1906. (Bron: de toestand van het klimaat in Nederland 1999, KNMI, 1999).

met 15 tot 95 centimeter is gestegen. Een scenario voor Nederland dat hier uit volgt, bestaat uit: een vergelijkbare temperatuurstijging met verkorting van de duur van strenge winters; een in de winter geconcentreerde toename van de jaarneerslag met enkele procenten per graad stijging; een toename van de neerslagintensiteit per zomerbui en van de neerslagintensiteit in situaties van langdurige hevige winterneerslag, beide met ongeveer tien procent per graad stijging.

KNMI: Weer en Water in de 21e eeuw

De KNMI klimaatscenario's voor Nederland moeten gezien worden als mogelijke realisaties van het Nederlandse klimaat binnen de onzekerheden zoals aangegeven in het meest recente IPCC-rapport. Een aantal veronderstellingen, waarvan het waarheidsgehalte niet vast te stellen is, ligt er aan ten grondslag. Dit neem niet weg dat de aangegeven klimaat scenario's een plausibel uitgangspunt zijn voor verkennende studies naar de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland en omgeving.

Aanpak Quickscan

Het doel van deze quickscan is het snel en globaal inzichtelijk maken van de omvang van effecten van de te verwachten klimatologische veranderingen op de stedelijke afvoer van hemelwater via het rioolstelsel en alternatieve systemen. De wereldwijde klimaatverwachtingen voor de stijging van de temperatuur in Nederland zijn door het KNMI vertaald naar neerslagverwachtingen voor de jaren 2050 en 2100.

In dit project is de gemiddelde verwachting voor 2100 verwerkt in de vijftienminuten neerslagreeksen van De Bilt, periode 1955-1979. Hierbij zijn twee verschillende varianten van de neerslagreeks uitgewerkt.

Vervolgens zijn de effecten van deze klimaatreeksen beschouwd op drie verschillende afvalwatersystemen:
- het referentiestelsel;
- een vrijwel gesloten afvalwatersysteem waarin een rioolstelsel en zuivering lozen op een vijver van waaruit het water sterk vertraagd wordt afgevoerd;
- een gemengd rioolstelsel in een licht hellend gebied.

Voor de effecten op het functioneren van de systemen is gekeken naar de effecten op de vuiluitworp (volume benadering), het functioneren van laagste en hogere overstortdrempels en het optreden van water op straat.

Klimaatontwikkeling in Nederland

Het KNMI heeft in het kader van de vierde Nota waterhuishouding (Können et al, 1997) onderzoek verricht naar een schatting van een aantal, voor de waterhuishouding van Nederland relevante, klimaatparameters. De resultaten van dit onderzoek zijn als volgt samengevat:

In tabel 1 zijn de verwachtingen aangegeven voor de ontwikkeling van de temperatuurstijging voor de jaren 2050 en 2100. Er is onderscheid gemaakt in een zogeheten centrale (gemiddelde) verwachting en een boven- en ondergrens. Een temperatuurstijging van 1°C is bijvoorbeeld een centrale verwachting voor 2050 en een ondergrens voor 2100.

Uitwerking neerslagreeks De Bilt 1955-1979

De neerslagverwachtingen geven de toename van de neerslag aan uitgedrukt in een aantal percentages van kenmerkende neerslagparameters. Deze percentages zijn omgerekend naar effecten op de standaard neerslagreeks van de Bilt, periode 1955-1979. Deze neerslagreeks wordt conform de Leidraad Riolering (module C2100) gebruikt voor het controleren en ontwerpen van het functioneren van rioolstelsels.

Voor deze quickscan is gekozen om uit te gaan van een temperatuurstijging van 2°C. Dit is de centrale verwachting voor het jaar 2100 en de bovengrens voor 2050. Voor uitwerking van deze neerslagverwachting volgens dit temperatuurscenario is onderscheid gemaakt in twee varianten van de neerslagreeks van de Bilt:

Variant A is een gemiddelde benadering, die nauw aansluit bij de lopende klimaatonderzoeken en is gekozen als uitgangspunt voor de quickscan (tabel 2).

Deze invulling van de klimaatontwikkelingen is een eenvoudige extrapolatie van de bestaande reeks. Het aantal natte dagen blijft gelijk en er is gekozen voor een lineaire toename van de regenintensiteiten boven een zekere drempelwaarde in het winter- en zomerhalfjaar.

Variant B gaat uit van meer spreiding in de toename van neerslagintensiteiten gedurende het gehele jaar en van minder natte dagen in de zomer. Deze variant is gebaseerd op de veronderstelling dat de grotere neerslagintensiteiten (boven een bepaalde drempelwaarde) in het zomer halfjaar (gemiddeld) met twintig procent zullen toenemen. De opzet is zo gekozen dat in de warmere en drogere zomers er sprake zal zijn van meer toename van piekintensiteiten dan in natte en koudere zomers (tot maximaal dertig procent).
Omdat de totale neerslagsom in de zomerperiode nauwelijks toeneemt (twee procent) en het aandeel van de extremere intensiteiten relatief groot is, dient er elders gecompenseerd te worden. Dit gebeurt door het verkorten van de neerslagduur in natte zomers, door het weglaten van kleinere gebeurtenissen in droge en gemiddelde zomers en door het niet laten toenemen van extremere intensiteiten in nattere zomers.

Kenmerken testsystemen

Voor het onderzoek naar de klimaateffecten is gebruik gemaakt van drie verschillende testsystemen:

Tabel 2 Variant A, scenario temperatuur stijging +2°C

Periode	30 min neerslagintensiteit	Totale neerslaghoeveelheid
Winter	Boven winterdrempel +20%	+12%
Zomer	Boven zomerdrempel +20%	+2%
Jaar		+6%

Tabel 1 Schatting neerslagparameters onderzoek KNMI, Können et al,1997.

Temperatuur Verwachting	+ 1° C centrale schatting 2050 ondergrens 2100	+ 2° C bovengrens 2050 centrale schatting 2100	+ 4° C bovengrens 2100
Neerslag			
jaar	+3%	+6%	+12%
zomer*	+1%	+2%	+4%
winter**	+6%	+12%	+25%
intensiteit (30 min)	+10%	+20%	+40%

* zomerperiode = april t/m september, ** winterperiode = oktober t/m maart.

Figuur 1:
Referentiestelsel controle vuiluitworp gemengd rioolstelsel.

1. referentiestelsel
2. gemengd rioolstelsel Emst
3. afvalwatersysteem Zandvoort

Referentiestelsel
Het referentiestelsel is gedefinieerd als een systeem met een berging van 7+2 (+13) mm en een pompovercapaciteit van 0,7 mm/h.

Gemengd rioolstelsel Emst
De kern Emst van de gemeente Epe is voor het grootste deel voorzien van een gemengd rioolstelsel. Het gebied ligt hellend in de richting van noordwest naar zuidoost aflopend. Het systeem heeft momenteel één overstort in de directe omgeving van het rioolgemaal in de zuidoostelijke uitloper van het stelsel. Voor deze studie is het stelsel voorzien van een tweede (minder frequent werkende) hogere overstortdrempel in de zuidwestelijke hoek van het stelsel. In de hoofdader van het systeem is een stuwput aangebracht om de berging in het systeem optimaal te kunnen benutten.

Uit de berekeningen komt naar voren dat het stelsel gevoelig is voor 'water op straat' in de noordelijke strengen van het stelsel. De laagste overstortdrempel (zuidoost) neemt het grootste deel van het totale overstortende volume (zo'n negentig procent) voor zijn rekening, de hogere drempel (zuidwest) de resterende toen procent. Door sturing van de interne drempel in de hoofdader kan deze verhouding worden beïnvloed.

Afvalwatersysteem Zandvoort
Het rioolstelsel van Zandvoort is een vrijwel absoluut systeem (fig.2). Het stelsel loost via een bemalen en een vrijverval overstort op een vijversysteem samen met de lokale zuivering. Het overtollige vijverwater wordt afgevoerd naar het rioolstelsel van Haarlem. De afvoercapaciteit naar Haarlem is recent aangepast om het waterpeil in de vijvers van Zandvoort beter te kunnen beheersen.

Het grootste deel van Zandvoort is voorzien van een gemengd stelsel. Het laaggelegen centrum gebied heeft een relatief grote regenwaterberging om wateroverlast te voorkomen. Er is een (beperkte) uitwisseling tussen de vijvers in de duinen en het grondwater. De grondwaterstand zal in de toekomst verder kunnen gaan stijgen onder invloed van het stoppen van winning van drinkwater.

Klimaateffect Referentiestelsel

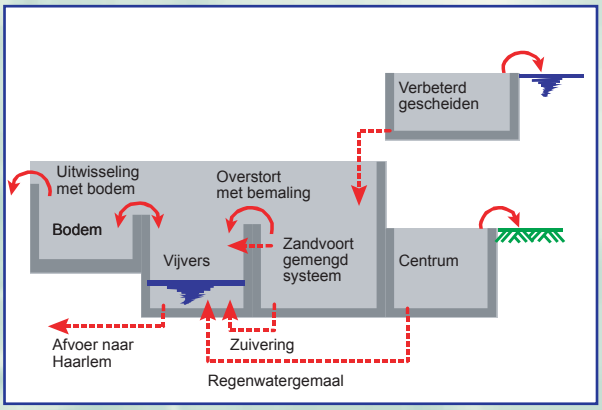
Het functioneren van het referentiestelsel is beschouwd om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de lozingen via de overstorten uit een gemengd rioolstelsel. Er is uitgegaan van twee varianten van het referentiestelsel: een extra berging van twee millimeter (bergbezinkbassin) en een extra berging van 2+13 millimeter (bergbezinkbassin + extra groene berging).

Het overstortingsvolume neemt met ongeveer veertig tot zeventig procent toe, afhankelijk van de bergingscapaciteit in een systeem. De overstortingsfrequentie neemt toe met zo'n dertig tot tachtig procent en de overstortingsduur neemt toe van 25 tot 85 procent. Een relatief kleine toename van de totale hoeveelheid neerslag (gemiddeld zes procent) leidt tot een aanzienlijk grotere toename in de overstortingshoeveelheden. Bij reeks A zijn de effecten duidelijk kleiner dan bij reeks B. De concentratie van grotere neerslagintensiteiten in minder gebeurtenissen met extremere piekintensiteiten werkt volgens verwachting sterk door in de emissie.
De toename van emissie, als gevolg van klimaateffecten, kan worden vergeleken met de toename in het afvoerend oppervlak op een systeem. Een kleine verandering in de grootte van het afvoerend oppervlak leidt tot een aanzienlijk grotere verandering in de emissie (twintig procent afkoppelen komt overeen met ongeveer vijftig procent reductie van het overstortingsvolume).

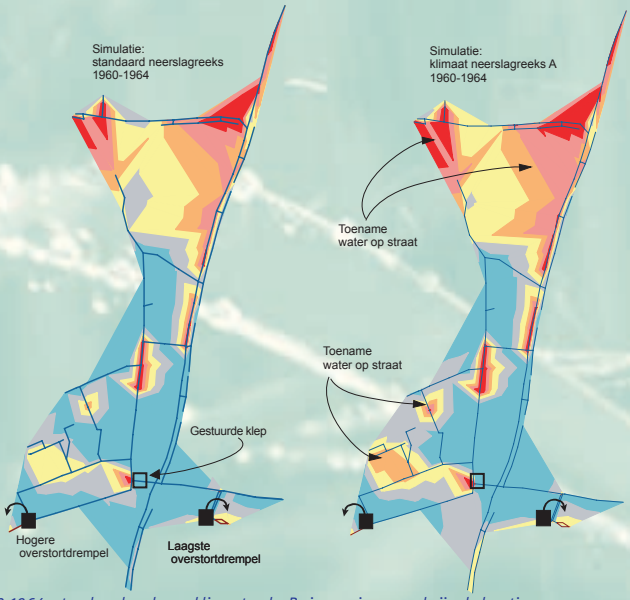
Klimaateffect gemengd rioolstelsel Emst

Het optreden van water op straat is berekend per periode van vijf jaar. In de onderstaande figuren zijn de berekende maximale waterstanden aangegeven voor de periode 1955-1959 (figuur 3), waarbij het resultaat voor de standaard reeks en klimaatreeks variant A is aangegeven. In de figuren zijn in oranje en rood de locaties aangegeven, waar water op straat is berekend. Groen betekent een waterstand ruim beneden maaiveld. Uit deze resultaten komt naar voren dat er een zekere toename is in de omvang van water op straat per periode. De verschillen tussen de perioden zijn echter aanzienlijk groter.

Een relevant beeld van de effecten van het optreden van water op straat komt naar voren uit de berekende duur en frequentie.



Figuur 2:
Schema afvalwatersysteem Zandvoort.



Figuur 3
Simulatie 1960-1964, standaard reeks en klimaatreeks B, in oranje en rood zijn de locaties aangegeven waar water op straat is berekend, met behulp van Infoworks versie 3.5

Tabel 3 Toename procentueel overstortingen referentiestelsel **7+2 mm.**

Klimaatreeks	Volume mm/jaar	Frequentie gemiddelde per jaar	Max. intensiteit mm/15 min	Duur Uur/jaar
Variant A Variant B	37% 48%	29% 41%	20% 20%	24% 32%

Tabel 4 Toename procentueel overstortingen referentiestelsel **7+2+13 mm.**

Klimaatreeks	Volume mm/jaar	Frequentie gemiddelde per jaar	Max. intensiteit mm/15 min	Duur Uur/jaar
Variant A Variant B	62% 67%	45% 77%	0% 0%	77% 85%

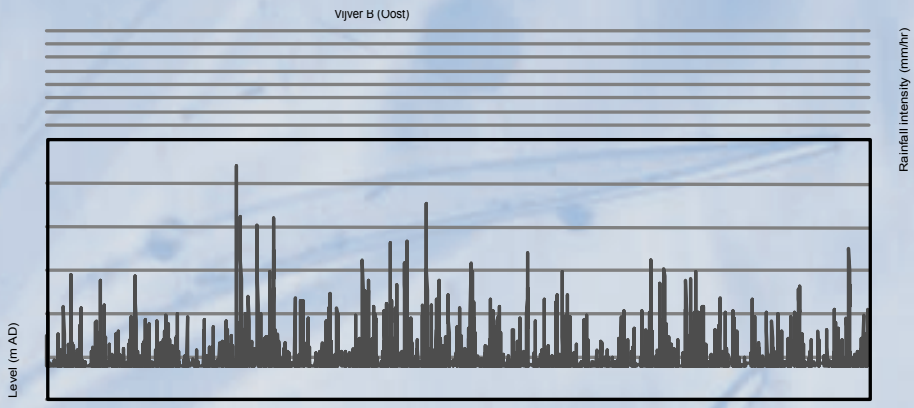
De gemiddelde duur van water op straat is toegenomen met vijftig tot tachtig procent, de toename van de frequentie ligt in dezelfde orde van grootte. Per periode kunnen grotere uitschieters voorkomen.
De effecten van 'water op straat' worden vooral bepaald door de toename van de extremere intensiteiten, die volgens de klimaatverwachtingen groter zijn dan bijvoorbeeld de toename van neerslag op jaarbasis.

Naast water op straat zijn ook de effecten op overstortingen onderzocht. Hierbij is vooral gekeken naar de toename van het totale volume per locatie. In het (aangepaste) systeem van Emst zitten twee overstorten: een lage drempel (zuidoostelijk van de kern), die verreweg het grootste deel van het volume voor zijn rekening neemt én een hogere drempel (zuidwestelijk van de kern) die slechts incidenteel werkt.
Analoog aan het referentiestelsel komt uit deze resultaten naar voren dat ongeveer veertig tot zeventig procent meer volume wordt geloosd via de beide overstorten. De verdeling van lozingen via de hoge en lage overstortdrempels is mede afhankelijk van de toename van de extremere neerslagintensiteiten.

Klimaateffect afvalwatersysteem Zandvoort

Het afvalwatersysteem van Zandvoort is een vrijwel absoluut systeem in een hellend duingebied. De vijvers in de duinen dienen als buffer voor het water dat wordt geloosd via de zuivering en de overstorten van het rioolstelsel. Het overtollige water wordt uit de vijvers via een persleiding afgevoerd naar Haarlem. De vijver is een traag reagerend systeem, omdat de afvoercapaciteit naar Haarlem klein is ten opzichte van de bergingscapaciteit van de vijver. Na een forse neerslagsom duurt het dagen voordat de waterstand in de vijver tot op het basis niveau van NAP +1,40 m is gedaald.
Voor Zandvoort is het beheersen van het peil in de vijver belangrijk in verband met het optreden van wateroverlast in de lage gebieden.

Het functioneren van het afvalwatersysteem van Zandvoort is berekend met de klimaatreeks A, zoals is aangegeven in figuur 4. Uit de simulatie komt naar voren dat het aantal overschrijdingen van een grenswaterstand van NAP +2,50 m aanzienlijk is toegenomen van tien naar achttien keer voor de berekende periode van 25 jaar. Ook de overschrijding van de kritische waterstand van NAP +3,00 m neemt toe van twee keer tot vijf keer in de 25 jaar. De veiligheid ten aanzien van wateroverlast is dus aanzienlijk afgenomen.



Conclusies berekeningen

De klimaatontwikkeling volgens het scenario van twee graden temperatuurstijging als centrale (gemiddelde) schatting voor 2011 en bovengrens voor 2050 heeft een aanzienlijk effect op het functioneren van rioolstelsels. Volgens dit scenario nemen de grotere neerslagintensiteiten toe met gemiddeld twintig procent. De toename van de neerslagsom in de zomerperiode bedraagt ongeveer twee procent en in de winterperiode plusminus twaalf procent.
De berekende toename van het overstortingsvolume uit een rioolstelsel ligt rond de veertig procent. De toename ligt in orde van grootte van de reductie die afgelopen paar jaar is bereikt met het realiseren van vuiluitworpbeperkende maatregelen.
De frequentie en de duur van het optreden van water op straat nemen met meer dan vijftig procent toe. Deze effecten zijn lastig te vertalen in feitelijke schade, omdat de relatie tussen water op straat en daadwerkelijk overlast sterk afhankelijk is van plaatselijke omstandigheden. Vooral in hellende gebieden en bij minder optimaal functionerende systemen zullen de effecten eerder en duidelijker waarneembaar zijn.

Overwegingen

Bij de analyse van het functioneren van rioolstelsels is de aandacht primair gericht op het functioneren van de overstorten, in verband met de reductie van de vuiluitworp. Water op straat staat duidelijk minder in de belangstelling, vooral in die situaties dat er in de praktijk weinig of geen overlast wordt gesignaleerd. Maatregelen worden vaak niet eerder getroffen dan nadat het water aan de lippen staat.

Een ander verschijnsel is dat afvoerend oppervlak in stedelijk gebied geleidelijk toeneemt. Steeds meer tuinen worden vrijwel dicht gelegd met bestrating, hetgeen een aanzienlijke extra belasting op een rioolstelsel kan betekenen.

Toename afvoerend oppervlak, parkeren in de voortuin

De beoordeling van het functioneren van rioolstelsels is van oudsher gericht op het analyseren van berekende waterstanden op knooppunten. Dit is echter een afgeleid gegeven dat wordt gestuurd door de capaciteit van de leidingen. Leidingen met een te beperkte capaciteit leiden tot hogere waterstanden. Voor een effectieve beoordeling dient het functioneren van een rioolstelsel beoordeeld (en eventueel aangepast) te worden op basis van de capaciteit van de leidingen.

Nederland is voor het grootste deel vlak. De berging van water op straat is feitelijk een extra veiligheidsfactor waarvan het effect lastig is te kwantificeren. We profiteren van deze veiligheid, vaak zonder ons daarvan bewust te zijn. In hellende gebieden kent men dit verschijnsel omdat water daar het laagste punt op zoekt en plaatselijk op een klein oppervlak grote overlast kan ontstaan. Bij de beoordeling van het functioneren van rioolstelsels wordt door veel ontwerpers geen rekening gehouden met dit verschijnsel.
Daarnaast is er nog het effect van het optimaliseren van systemen. Overstorten worden eenvoudig opgeheven om het aantal emissiepunten van een systeem te verminderen. Vaak worden daarbij compenserende maatregelen getroffen om 'voldoende' afvoercapaciteit van een systeem te waarborgen. Toch zal daarbij de veiligheid ten aanzien van water op straat in verreweg de meeste systemen afnemen, eenvoudig omdat de route van het water naar de nooduitgang (resterende overstorten) langer is geworden.

Tenslotte is er nog een trend naar het optimaliseren van maatregelen tegen de laagste maatschappelijke kosten. De onderbouwing van deze maatregelen is vaak gebaseerd op modellen die de werkelijkheid hoogstens bij benadering kunnen beschrijven en waarbij de investeringen tot achter de komma kunnen worden vergeleken. Het gevolg hiervan is dat geleidelijk de capaciteits-rek uit systemen wordt gehaald. Aspecten zoals flexibiliteit en veiligheid worden vaak onvoldoende meegewogen, omdat een afweging daardoor aanzienlijk complexer wordt.

Aanbevelingen

De effecten van een klimaatontwikkeling staan niet op zichzelf. De aanbevelingen zijn daarom gekoppeld aan de ontwikkelingen die plaats vinden in de huidige praktijk. De toename van het afvoerend oppervlak in bestaand gebied is een factor waarvan het effect vergelijkbaar is en versterkend werkt op een eventuele toename van neerslag.
Bij controle van het functioneren en het ontwerpen van (maatregelen aan) systemen dienen veiligheid en ruimte voor flexibiliteit in het functioneren van systemen te worden meegewogen. Er dient een bredere afweging te worden gemaakt dan we traditioneel gewend zijn. Het gericht overdimensioneren van belangrijke afvoertrajecten is een optie die op kortere termijn kan leiden tot (vaak beperkt) hogere kosten en op langere termijn tot minder problemen.
De beoordeling van het functioneren van systemen dient te zijn gebaseerd op adequate toetsingscriteria. Het beoordelen van water(standen) op straat is aanzienlijk minder effectief dan het beoordelen van capaciteiten van leidingen. Veiligheid in een systeem kan bijvoorbeeld worden ingebouwd door een leidingdiameter een maat (vijftien procent) groter te kiezen, waardoor de capaciteit van een leiding met zo'n dertig procent toeneemt.

Het monitoren van de ontwikkelingen wordt belangrijker naarmate de kans op schadelijke overlast toeneemt. Dit begint bij het registreren van klachten van bewoners en loopt door tot het lokaal registreren van neerslag en van waterstanden op kernpunten in een systeem.
Het inzicht in het werkelijke functioneren van afvalwatersystemen dient te worden vergroot om eventuele maatregelen beter te kunnen onderbouwen. Vooral de belastingen op een rioolstelsel – zoals de inloop van neerslag via het afvoerend oppervlak, lozingen van drainage en lekkage van grondwater, lozingen van bedrijven en bronneringen verdienen bijzondere aandacht.

Websites

KNMI klimaatonderzoek: http://www.knmi.nl/voorl/klimaat

Water in Stedelijk gebied: http://www.afkoppelwinkel.nl/

Rijkswaterstaat RIZA: http://www.riza.nl/

Climate links: http://www.knmi.nl/~komen/climate_links.html

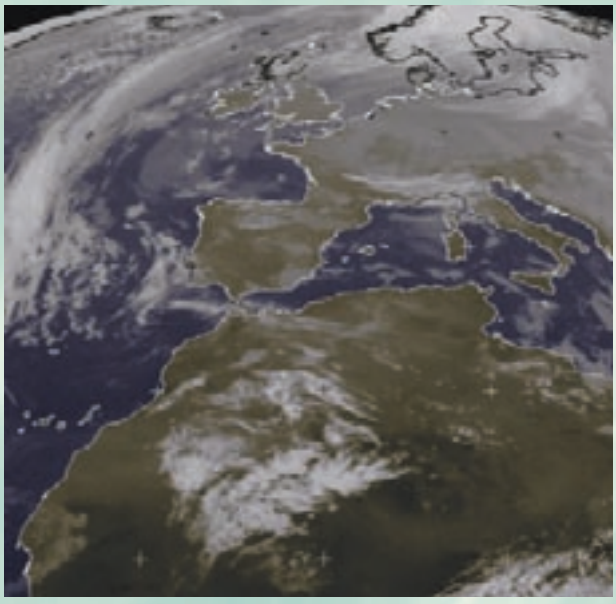
IPPC rapporten: http://www.rivm.nl/env/int/ipcc/

Klimaatontwikkeling, een populaire samenvatting:

http://www.euronet.nl/users/e_wesker/meteo/clim-ned.html

Weer en klimaat: http://www.meteonet.nl/

Tentoonstelling Winters van Weleer: http://www.wintersvanweleer.nl/



Satellietfoto

De effecten klimaatontwikkelingen met een toename van de neerslag zullen het eerste zichtbaar worden in hellende gebieden en in systemen die minder optimaal functioneren en waarbij de overlast (nu) nog kan worden opgevangen door tijdelijke berging van water op straat. Ook in het stedelijke gebied dient aandacht te worden geschonken aan ruimte voor water (op straat). Het mes snijdt aan twee kanten bij het afkoppelen van regenwater van afvalwatersystemen. Het regenwater te benutten, te infiltreren in de bodem of af te voeren naar oppervlaktewater, is in veel situaties een belangrijke optie om bestaande systemen op een duurzame wijze te ontlasten.

Vervolgonderzoek

Vervolgonderzoek kan worden gericht op het ontwikkelen van lange termijn maatregelen strategieën om de effecten van klimaatontwikkeling te kunnen opvangen. De traditionele benadering, met een geleidelijke aanpassing van het systeem aan minimum eisen, kan worden vergeleken met het alternatieven, zoals het grootschalig afkoppelen van afvoerend oppervlak of het realiseren van meer flexibiliteit en veiligheid in bestaande systemen. Een brede afweging van kosten en effectiviteit van maatregelen is een basis voor de keuze van een verantwoorde strategie bij het inspelen op de effecten van een mogelijke klimaatontwikkeling.

Literatuur

1. Beersma J.J en B.J.J.M. van den Hurk, G.P. Können (2001), Weer en water in de 21e eeuw, Een samenvatting van het derde IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) klimaatrapport voor het Nederlandse waterbeheer. KNMI, De Bilt.
2. Können G.P. en W. Fransen (ed.) (1996). De toestand van het klimaat in Nederland. KNMI, De Bilt.
3. Können G.P. en W. Fransen, R. Mureau (1997). Meteorologie ten behoeve van de Vierde Nota Waterhuishouding. KNMI, De Bilt.
4. Buishand, T.A., Acker, J.B.M. van, Luijtelaar, H. van, Analyse van kwartiersommen van de neerslag, H2O, 11 (24), 1991.
5. Stichting Rioned (1998): `Rioleringsberekeningen, Hydraulisch functioneren; module C2100 van de Leidraad Riolering'.
6. Van Luijtelaar, H., Design criteria, Flooding of sewer systems in 'flat' areas, paper in the proceeding of the 8th ICUSD (1999), Sydney, Australia.

**) Ir. H. van Luijtelaar (hlj@tauw.nl) is werkzaam bij Tauw bv. en ir. A.H. Dirkzwager (www.riza.nl) werkt bij het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA.*