



Deltares

Effect van droogte op stedelijk gebied

Kennisinventarisatie

Reinder Brolsma
Jelle Buma
Hans van Meerten
Miguel Dionisio
Jan Elbers

1206224-000
ISBN: 978-94-90070-61-8
KvK rapportnummer: KvK 87/2012




Titel
Effect van droogte op stedelijk gebied

Opdrachtgever
Kennis voor Klimaat

Project
1206224-000

Kenmerk
1206224-000-BGS-0010

Pagina's
92

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	nov. 2012	Reinder Brolsma		Frans van de Ven		Hans Gehrels	

Status
definitief

Titel

Effect van droogte op stedelijk gebied

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Kennis voor Klimaat	1206224-000	1206224-000-BGS-0010	92

Samenvatting

Deze samenvatting beschrijft de resultaten van een literatuurstudie naar de beschikbare kennis over de kwetsbaarheid van stedelijk gebied voor droogte en de relevante processen die optreden bij droogte in de stad. Hiernaast zijn voor deze studie de resultaten van een workshop met de gemeente Rotterdam, de betrokken waterschappen en verschillende onderzoekers en de resultaten van interviews met experts gebruikt. De studie is uitgevoerd binnen het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat.

Uit de studie is gebleken dat er nog weinig kennis beschikbaar is over het effect van droogte op stedelijk gebied binnen Nederland. Voor het invullen van een goede adaptatiestrategie voor droogte is meer onderzoek nodig.

Achtergrond

Droogteproblematiek in stedelijk gebied is een complex probleem met veel aspecten. Meteorologische droogte wordt veroorzaakt door een gebrek aan neerslag, terwijl de verdamping van oppervlaktewater en vegetatie doorgaat. Daarnaast kan meteorologische droogte versterkt worden door wegzijging van grondwater naar diepere lagen, drainage, grondwateronttrekking en door oppervlaktewaterafvoer.

Verdamping door vegetatie zorgt voor een grote waterafvoer uit het stedelijk gebied en heeft een belangrijke rol in het ontstaan van droogte. Hierbij is de verdamping door stedelijke vegetatie in gebieden als Nederland hoger dan die door vegetatie in landelijk gebied. De aanvulling van water door neerslag wordt in stedelijk gebied beperkt door de aanwezigheid van veel verhard oppervlak, waardoor het water via riolering en afvalwaterzuivering wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater in plaats van dat het water infiltreert in de bodem.

In droge perioden neemt bij niet ingrijpen het bodemvochtgehalte af en dalen de grondwaterstanden en oppervlaktewaterpeilen.

Schades

Door droge omstandigheden kunnen verschillende schades optreden. De belangrijkste zijn:

Paalrot van houten paalfunderingen vormt het grootste risico van droogte en wordt veroorzaakt door het langdurig dalen van het grondwaterpeil tot onder het niveau van de paalkop. Momenteel wordt dit naar verwachting vooral veroorzaakt door lekke, drainerende riolen en niet zozeer door meteorologische droogte. De kwetsbaarheid van funderingen vormt een groot potentieel risico voor oude wijken.

Zetting wordt vooral veroorzaakt door de ontwatering en de daarop volgende daling van de grondwaterstand en inklinking van de bodem. Dit proces wordt in beperkte mate versterkt door het uitzakken van het grondwater in droge perioden. De schade die optreedt, komt tot uiting in kosten voor het ophogen van straten en tuinen. Door (ongelijke) zetting kan schade aan wegen en leidingen optreden. Dit is potentieel een groot risico door de grote investeringen in infrastructuur. Ook kan in principe een veiligheidsrisico ontstaan in het geval van schade aan het gasleidingnet (breken van leidingen). Vanuit praktijk en literatuur zijn over schade door ongelijke zetting (behalve bij onvoldoende voorbelaste nieuwbouwwijken met extreme restzetting) echter geen meldingen over bekend.

Titel

Effect van droogte op stedelijk gebied

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Kennis voor Klimaat	1206224-000	1206224-000-BGS-0010	92

Hittestress en het 'urban heat island effect' worden versterkt door droogte doordat er minder water beschikbaar is voor verdamping door vegetatie. De schaderamingen lopen sterk uiteen, maar het effect van hitte op de gezondheid en arbeidsproductiviteit is aantoonbaar negatief.

Waterkwaliteit problemen zullen vooral optreden als gevolg van temperatuurstijging en worden versterkt door droogte doordat concentraties toenemen en doorspoeling wordt beperkt. Op locaties waar door een slechte waterkwaliteit nu al overlast optreedt, zullen de problemen erger worden. Over slechte waterkwaliteit als gevolg van droogte is nog weinig bekend.

Voor *groenvoorziening* is in de huidige situatie geen sprake van duidelijke schade. Op openbaar terrein hebben alleen jonge aanplant en verplante vegetatie irrigatie nodig gedurende lange droge periodes. In particuliere tuinen worden planten vaak besproeid, veelal met leidingwater. Bij toenemende droogte zal de irrigatiebehoefte toenemen.

Naast het financiële risico kan ook de *kwaliteit van de leefomgeving* in gevaar komen, wat moeilijk in geld is uit te drukken, maar bij veelvuldige klachten wel als urgent kan worden ervaren. Verdorring van vegetatie (in openbaar of particulier groen) is een zichtbare schade die de waardering van de groenvoorziening en recreatie beïnvloedt. Ook stankoverlast en drijfslagen op oppervlaktewater vallen hieronder. Dit kunnen redenen zijn om toch maatregelen te nemen.

Verdroging en meteorologische droogte

Het lijkt erop dat de huidige grondwatergerelateerde schades (paalrot, bodemdaling en verschilzetting) vooral bepaald worden door verdroging als gevolg van de huidige inrichting van het stedelijk gebied en slechts beperkt door meteorologische droogte:

- Schade aan houten paalfunderingen wordt momenteel sterker beïnvloed door drainerende lekke riolen die zorgen voor te lage grondwaterstanden dan door het extra diep uitzakken van het grondwater in een droge periode.
- De gehanteerde drooglegging van meer dan 1 m gedurende het hele jaar is een vorm van verdroging. Het effect hiervan op de bodemdaling en verschilzetting is naar verwachting groter dan het extra diep uitzakken van het grondwater in een droge periode. Droogte verergert de bodemdaling wel en zeker in veengebieden waar veenoxidatie optreedt als gevolg van droogstand.
- De watervraag van vegetatie zal toenemen door een toename van verdamping door een hogere luchttemperatuur als gevolg van klimaatverandering. Door het aanplanten van meer groen in stedelijk gebied zal de watervraag van vegetatie toenemen. Gecombineerd met een afname in neerslag zorgt dit voor een groter neerslagtekort.

Veel oude wijken zijn als gevolg van de huidige inrichting ten aanzien van droogte momenteel niet duurzaam ingericht, en daarmee beperkt toekomstbestendig. Het effect van klimaatverandering zal dit naar verwachting verergeren.

Lokale omstandigheden

Het ontstaan van schades is afhankelijk van lokale omstandigheden. Infiltratiegebieden zijn extra gevoelig voor droogte doordat er geen grondwater toevoer is.

Schade aan houten funderingen wordt in eerste instantie bepaald door de aanwezigheid van dit type fundering en eventuele hoogte van houten paalkoppen en daarnaast door de grondwaterstand onder het huis. Bodemdaling treedt vooral op in gebieden met klei en veen

Titel

Effect van droogte op stedelijk gebied

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Kennis voor Klimaat	1206224-000	1206224-000-BGS-0010	92

in de ondergrond. Schade aan vegetatie hangt af van vegetatie en lokale groeiomstandigheden, zoals ondergrondse leefruimte en bodemsoort. Vermindering van de oppervlaktewaterkwaliteit is afhankelijk van de hydrologische uitgangssituatie, het ontwerp van het systeem en het beheer.

Adaptatie

Om het stedelijk systeem robuuster te maken tegen droogte zijn adaptatiemaatregelen gewenst. Hierbij kan ingegrepen worden op de kwetsbaarheid en op de blootstelling. Ingrijpen op de kwetsbaarheid kan een dure oplossing zijn als het gaat om het vervangen van houten paalfunderingen en vegetatie. In het geval van nieuwbouw en herstructurering worden betonnen paalfunderingen gebruikt welke ongevoelig zijn voor droogte. Bij nieuwe aanplant van vegetatie kunnen droogtebestendigere soorten geplant worden. Ingrijpen in de blootstelling kan door aanpassing van het watersysteem, waardoor de grondwaterstand en het oppervlaktewaterpeil minder zakken in droge perioden. Om wijken minder kwetsbaar te maken voor de huidige verdroging kunnen onder meer drainerende riolen worden vervangen en de ontwateringsdiepte worden beperkt.

Veel schades door droogte zoals paalrot, bodemdaling, ongelijk zetting en veenoxidatie uiten zich na een lange periode van opeenvolgende droogtes. Hierdoor wordt de urgentie om in te grijpen door burgers en bestuurders veelal niet gevoeld. Andere schades zoals aan vegetatie kunnen wel instantaan optreden door droogte; na 1 jaar droogte of door een beperkt aantal opeenvolgende droogtes. Hierdoor kan het gevoel van urgentie wel toenemen

No- of low-regret maatregelen kunnen nu al genomen worden. Maatregelen om de blootstelling te verminderen zijn gericht op het vasthouden van water en aanvulling van grondwater. De maatregelen komen veelal overeen met de voorkeursstrategie uit het omgaan met neerslagafvoer: vasthouden, bergen en pas als het niet anders kan afvoeren. Voorbeelden van maatregelen die hieraan bijdragen zijn, verminderen van gesloten verhard oppervlak, gebruik van infiltratie voorzieningen en vasthouden van extra grondwater door beperken van drainage.

Op hoofdlijnen kan een adaptatiestrategie ingestoken worden op basis van de eerder benoemde risico's. Om tot een uitgewerkte adaptatiestrategie te komen voor stedelijk gebied zal locatie specifieke data verzameld moeten worden. Aan de kant van de kwetsbaarheid voor droogte is informatie nodig over onder andere de mate van kwetsbaarheid van gebouwen en objecten, infrastructuur, groenvoorzieningen en bewoners en de locatie hiervan. Voor het bepalen van de blootstelling dient ondermeer de bodemopbouw, grondwaterstand(dynamiek) en mate van zetting/bodemdaling in kaart gebracht te worden. Op basis van deze informatie kan een prioritering op basis van ernst en urgentie gemaakt worden voor waar (locatie) en waarop (blootstelling of kwetsbaarheid) moet worden ingegrepen.

Inhoud

1	Introductie	1
2	Stedelijk watersysteem in droge tijd	5
2.1	Het watersysteem op straatniveau	5
2.2	Het stedelijk watersysteem in relatie tot het regionale watersysteem	7
2.3	Klimaatverandering	8
3	Effecten van droogte	11
3.1	Watertekort in de ondergrond	12
3.1.1	Vegetatie – Actuele verdamping stedelijk gebied	12
3.1.2	Vegetatie – effect van droogte	19
3.1.3	Grondwaterdaling	21
3.1.4	Funderingsschade	25
3.1.5	Bodemdaling	28
3.1.6	Schade aan infrastructuur door ongelijkmatige zakking	37
3.1.7	Verstopping van drainagebuizen door grotere grondwaterfluctuaties	40
3.1.8	Hittestress	41
3.2	Watertekort oppervlaktewater	42
3.2.1	Peilbeheer oppervlaktewater	42
3.2.2	Schade aan (woon)schepen en drijvende woningen door droogvallen van waterlopen	45
3.2.3	Oppervlaktewaterkwaliteit	46
3.2.4	Recreatie	50
3.3	Waterbehoefte en waterverbruik	51
3.4	Wateraanvoer	54
3.4.1	Water aanvoer naar de stad	54
3.4.2	Waterverdeling binnen de stad	55
4	Conclusies	57
5	Vertaling naar Regionale/Rotterdamse Adaptatie Strategie (RAS)	61
6	Richtingen voor vervolgonderzoek	65
7	Referentielijst	69
	Bijlage(n)	
A	Verslag interviews	A-1
B	Verslag workshop	B-1
C	Grondwater - Case Rotterdam	C-1

1 Introductie

Aanleiding - Droogte

Droogte kan ontstaan door een tekort aan neerslag en een overdaad aan verdamping. Droogte in Nederland ontstaat meestal in het groeiseizoen door een hoge verdamping en tijdelijk uitblijven van neerslag.

In het verleden zijn verschillende extreem droge periodes opgetreden. Recentelijk hadden 2010 en 2011 een zeer droog voorjaar en 2003 en 2006 hadden een droge zomer. Langer geleden waren 1959 en 1976 zeer droog. Klimaatscenario's van het KNMI (van de Hurk, 2006) geven aan dat in 2050 de kans op droogte en het neerslag tekort (neerslag -potentiële verdamping) toenemen.

Wat het effect is van deze droogte op stedelijke gebieden is nog slechts beperkt en fragmentarisch onderzocht. Dit onderzoek geeft een overzicht van beschikbare kennis over droogte in stedelijk gebied.

Dit onderzoek is uitgevoerd met een subsidiebijdrage van onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat en de gemeente Rotterdam en moet een basis leveren voor de Regionale Adaptatie Strategie Rotterdam.

Kennis voor Klimaat

Kennis voor Klimaat is een onderzoekprogramma dat, via samenwerking tussen de Nederlandse overheid, het bedrijfsleven en wetenschappers, toegepaste kennis wil ontwikkelen om tijdig beslissingen over de inrichting van het land en lange termijninvesteringen af te stemmen op de gevolgen van klimaatverandering.

Nederlandse universiteiten en kennisinstellingen hebben de krachten verenigd om samen met het bedrijfsleven en de overheid (rijk, provincies, gemeenten en waterschappen) de toegepaste kennis te genereren die nodig is om investeringen in ruimte, infrastructuur en instituties te beoordelen op klimaatbestendigheid en, waar nodig, aan te passen. Het doel is een tijdige en kosten effectieve 'climate proofing' van Nederland, in internationale context.

Regionale Adaptatie Strategie

De doelstelling van de gemeente Rotterdam is dat de stad in 2025 klimaatbestendig is. Dit betekent dat er in 2025 maatregelen zijn getroffen om minimaal last en maximaal profijt te hebben van klimaatverandering voor het dan heersende klimaat. Ook weet Rotterdam in 2025 hoe te anticiperen op verdergaande klimaatverandering en bij de ontwikkeling van de stad wordt structureel rekening gehouden met deze veranderingen. Hiervoor ontwikkelt de gemeente Rotterdam een klimaat adaptatie strategie (RAS). De basisgedachte achter het opstellen van een RAS is dat klimaatverandering naast problemen voor een relatief laaggelegen deltastad als Rotterdam ook en vooral kansen biedt. Om die kansen te verzilveren dient duidelijk te worden welke effecten klimaatverandering heeft en voor welke gebieden. Het is daarom van belang te onderzoeken welke gevolgen periodes van extreme droogte hebben voor het stedelijk watersysteem en of en hoe binnen de te ontwikkelen RAS daarop kan worden ingespeeld.

Doel

Wat het effect is van langdurige droge perioden op stedelijke gebieden is nog slechts beperkt en fragmentarisch onderzocht.

Dit literatuuronderzoek geeft een overzicht van:

- Relevante processen die optreden in droge perioden;
- Beschrijving en mogelijke kwantificering van effecten van de processen;
- Kennis op het gebied van droogte in stedelijke gebieden;
- Urgentie en ernst van de droogte problematiek op basis van deze kennis.

De focus van deze literatuurstudie ligt op de kennis van de hydrologie van het stedelijk systeem in extreem droge omstandigheden en de gevolgen van deze hydrologische condities voor de schade aan gebouwen, vegetatie, wegen, bodem(daling), leidingen (riolering, water- en gasleidingen) en kabels en hittestress.

In welke mate van droogte in de toekomst verandert als gevolg van klimaatverandering valt buiten de scope van dit onderzoek. Dit onderzoek richt zich alleen op de gevolgen van droogte voor steden in West-Nederland.

Deze studie geeft geen antwoord op:

- De effecten van droogte op gebieden buiten het stedelijk gebied;
- Kwantificering van het effect van klimaatverandering op de droogte problematiek;
- De effecten van droogte op hogere zandgronden, Zuid-Limburg en buiten Nederland;
- De effecten van droogte op de hoofdinfrastructuur (hoogspanningsnet, snelwegen, etc.);
- De effecten van droogte op kadesterkte en beschoeiing;
- De mogelijke adaptatiemaatregelen.

Opzet van de studie en het rapport

Input voor deze studie is gebaseerd op vier onderdelen:

- Literatuuronderzoek naar de hydrologie van het stedelijk systeem in extreem droge omstandigheden en de gevolgen van deze hydrologische condities voor het stedelijk systeem
- Interviews met experts op het gebied van water in stedelijk gebied. De uitwerking hiervan staat in Bijlage A.
- Workshop met betrokken onderzoekers en afgevaardigden van de gemeente Rotterdam en de waterschappen Schieland-Krimpenerwaard, Hollandse Delta en Hoogheemraadschap van Delfland om de resultaten te vertalen naar relevante input voor de Rotterdamse Adaptatie Strategie. Het verslag hiervan is terug te vinden in Bijlage B.
- Verkenningen naar de mate van grondwaterdaling en bodemdaling voor de wijk het Oude Noorden in Rotterdam op basis van bestaande data. Het resultaat hiervan is terug te vinden in Bijlage C.

De rapportage begint met een korte beschrijving van het stedelijk watersysteem in Hoofdstuk 2. In Hoofdstuk 3 wordt het effect van droogte op stedelijk gebied besproken op basis van het literatuuronderzoek, de workshop, de interviews en de twee verkenningen. De conclusies van het onderzoek staan in Hoofdstuk 4. Vervolgens geeft Hoofdstuk 5 een vertaling van de resultaten naar input voor de Rotterdamse Adaptatie Strategie. Het Rapport sluit af met mogelijk richtingen voor vervolgonderzoek gebaseerd op de voorgaande literatuurstudie en de kennishiaten voor het opstellen van de RAS.

Relatie met Droogteonderzoek Deltaprogramma

KvK streeft er naar om 'hofleverancier' te zijn van kennis voor het Deltaprogramma. Nu hebben de Deltadeelprogramma's (DP's) Nieuwbouw & Herstructurering en Zoetwatervoorziening de waterbehoefte en watervoorziening van de stad als probleem geïdentificeerd bij hun probleemanalyse. Omdat KvK niet (tijdig) kan komen met antwoorden op hun vragen over de omvang en de urgentie van de problematiek hebben zij een eigen onderzoek (QuickScan) geïnitieerd naar droogteproblematiek in de stad. Het verkennende onderzoek van het Deltaprogramma richt zich echter op schades op een landelijke schaal en op de behoefte aan watervoorziening vanuit het hoofdwatersysteem. De rapportage van dit project is in april 2012 afgerond (Deltares, 2012).

In het project voor DP Nieuwbouw & Herstructurering en Zoetwatervoorziening is geïnteriseerd wat de meerwaarde is van wateraanvoer naar het stedelijk gebied in extreem droge perioden, welke cijfers over schades door watertekorten in de bebouwde omgeving momenteel beschikbaar zijn en hoe deze cijfers tot stand zijn gekomen. Daarnaast wordt beoordeeld wat die uitkomsten moeten betekenen in het licht van de doelstellingen van het Deltaprogramma. Vervolgens wordt op een rij gezet welke voor het Deltaprogramma relevante hiaten nog bestaan in de beschikbaarheid van cijfers.

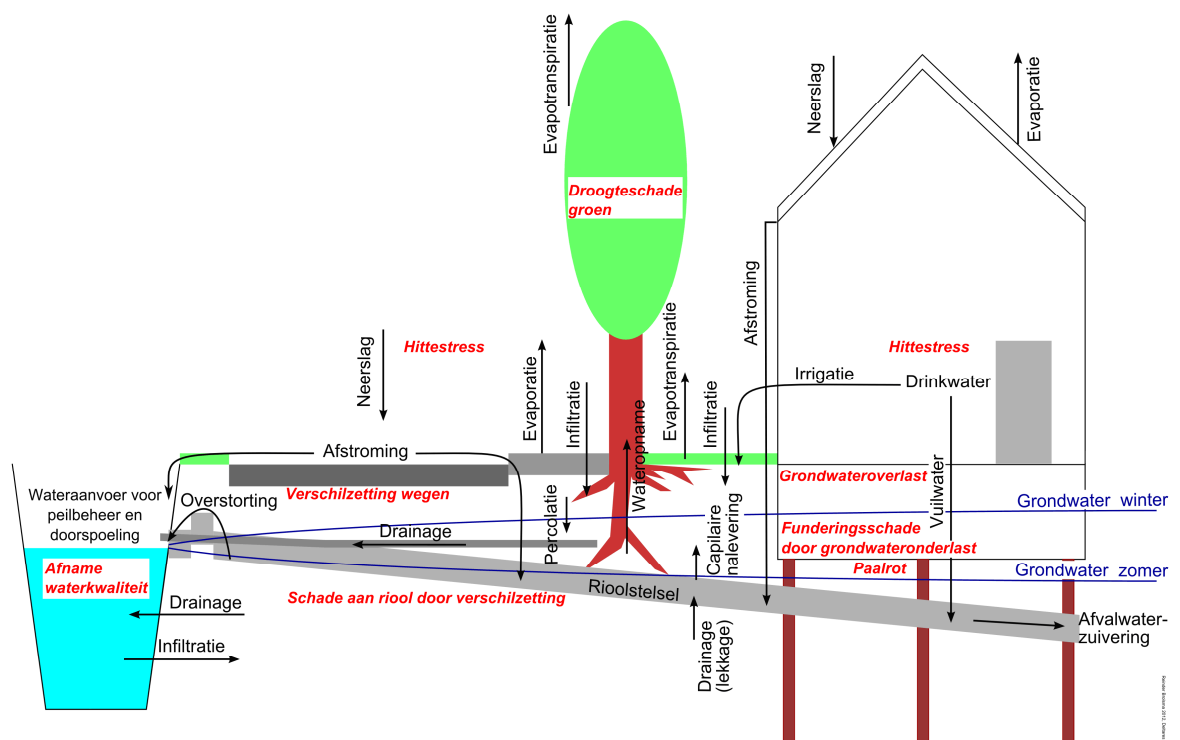
In deze studie ligt de nadruk, zoals eerder geformuleerd, op de kennis van de hydrologie van het stedelijk systeem in extreem droge omstandigheden en de gevolgen van deze hydrologische condities voor de schade aan gebouwen, vegetatie, wegen, bodem(daling), leidingen (riolering, water- en gasleidingen) en kabels en hittestress.

2 Stedelijk watersysteem in droge tijd

Om de droogte problematiek in stedelijk gebied in een kader te plaatsen wordt eerst de werking van het stedelijk watersysteem toegelicht. Allereerst wordt ingezoomd op het stedelijk watersysteem op straatniveau en daarna het stedelijk watersysteem in relatie tot het regionale watersysteem.

2.1 Het watersysteem op straatniveau

Figuur 2.1 toont de dwarsdoorsnede van een straat in Laag Nederland. Met pijlen is aangegeven hoe water zich door het systeem beweegt. In rood zijn typen schades vermeld die samenhangen met droogte of wateroverlast. De mechanismen en kenmerken van deze schades voor zover deze gerelateerd zijn aan droogte worden in Hoofdstuk 2 beschreven.



Figuur 2.1 Schematisatie van het stedelijk watersysteem op straatniveau.

Wat gebeurt er bij neerslag?

In een stad zijn de volgende typen oppervlak te onderscheiden:

- Onverhard terrein (braak terrein, parken, grasperken, tuinen en struiken);
- Gesloten verharding (asfalt en beton);
- Open verharding (klinkers, tegels, waterdoorlatende en waterpasserende verhardingen);
- Daken.

Regen die op daken, gesloten en open verharding valt, zal voor een deel op dat oppervlak achterblijven en weer verdampen (evaporatie). Bij open verharding zal een deel van de

neerslag infiltreren. Bij hoge neerslagintensiteiten komt neerslag tot afstroming en wordt deze afgevoerd via de riolering of het oppervlaktewater. In een gemengd stelsel wordt dit water afgevoerd naar de afvalwaterzuivering, samen met het huishoudelijke afvalwater (vuilwater). Als het riolsysteem de grote toevloed van regenwater niet meer kan verwerken, vindt overstort plaats op het oppervlaktewater. Vaak met acute waterkwaliteitsproblemen als gevolg. In een gescheiden stelsel (niet in figuur) wordt regenwater direct afgevoerd naar het oppervlaktewater of geïnfiltreerd in de bodem. In een verbeterd gescheiden stelsel (niet in figuur) worden kleine buien afgevoerd naar de afvalwaterzuivering en het overige water naar het oppervlaktewater.

Bij zeer extreme neerslag kan meestal niet worden voorkomen dat er water op straat komt te staan. Dit leidt tot verkeershinder, maar kan ook zorgen voor schade aan gebouwen en goederen. Hierbij kan de volksgezondheid bedreigd worden.

Water dat op onverhard terrein valt zal doorgaans infiltreren naar de onverzadigde zone en (langzaam) percoleren naar het grondwater of worden opgenomen door de wortels van planten en bomen. Door de percolatie stijgt het grondwater.

Hoge grondwaterstanden kunnen leiden tot overlast in de vorm van water in kruipruimtes, schimmel in gebouwen en gezondheidsproblemen bij de bewoners. Een hoge grondwaterstand onder wegen zorgt ervoor dat de fundering onder wegen instabiel wordt. Daar waar funderingen op staal of trekpalen zijn gebruikt en in panden met kelders kan schade aan de woningen ontstaan in de vorm van scheurvorming en lekkage. Ook vegetatie kan hinder ondervinden van hoge grondwaterstanden doordat zuurstofgebrek in de wortelzone ontstaat, wortels kunnen afsterven en bomen kunnen omwaaien.

Wanneer de grondwaterstand hoger is dan het oppervlaktewaterpeil (bolle grondwaterstand), draineert het grondwater naar het oppervlaktewater. Vooral in Laag Nederland is drainage aangelegd om te voorkomen dat het grondwater te ver stijgt en overlast veroorzaakt. Hierdoor wordt het grondwater sneller afgevoerd naar meestal het oppervlaktewater maar soms ook naar de riolering.

Wat gebeurt er bij (langdurige) droogte?

Onder droge omstandigheden vindt er aan het stedelijk oppervlak vooral verdamping (transpiratie) door vegetatie plaats. Met name hoge luchttemperatuur, zon en wind zorgen voor een hoge potentiële verdamping. De vegetatie onttrekt het water met de wortels uit de onverzadigde zone. Vanuit het grondwater wordt – afhankelijk van de bodemopbouw en de grondwaterstand - door capillaire nalevering de onverzadigde zone aangevuld. Vegetatie kan uit deze zone efficiënt water onttrekken. In zandgronden is de nalevering vanuit het grondwater zeer beperkt, maar in bodems met een fijnere textuur (bijvoorbeeld silt) is de nalevering groter. Door de capillaire nalevering daalt de grondwaterstand. Wanneer de bodem te droog is neemt de transpiratie af en begint droogteschade aan groen te ontstaan. Een beperkt aantal soorten is in staat met zijn wortels water direct uit het grondwater te onttrekken.

Door evaporatie en transpiratie kan de grondwaterstand dalen tot onder het oppervlaktewater niveau (holle grondwaterstand). Hierdoor infiltreert er water vanuit het oppervlaktewater naar het grondwater. In de praktijk is de invloedzone van het oppervlaktewater meestal beperkt tot enkele meters. De doorwerking is geringer naarmate de bodem minder doorlatend is. Daling van het grondwaterniveau tot onder het niveau van de drainage zorgt ervoor dat buizen droog komen te staan en het proces van verstopping door ijzeroxidatie wordt versneld. Te lage grondwaterstanden, zogenaamde grondwateronderlast, leidt ook tot rot van houten

funderingspalen, bodemdaling en verschilzettingen, en vervolgens tot schades aan funderingen, infrastructuur en openbare en private terreinen.

Riolering in West-Nederland ligt vaak in het grondwater. Hierdoor kan zelfs in droogweer situaties ook grondwater afgevoerd worden via lekkende riolering. Ook dit draagt bij aan een grondwaterverlaging en daarmee soms aan schades.

Bij langdurig warm en droog weer gaat de oppervlaktewaterkwaliteit achteruit. Dit betekent onder andere een vergrootte kans op botulisme, (blauw)algenbloei en stankoverlast. Ook de bacteriologische kwaliteit is dan een punt van zorg. De bruikbaarheid voor recreatieve doelen neemt hierdoor af.

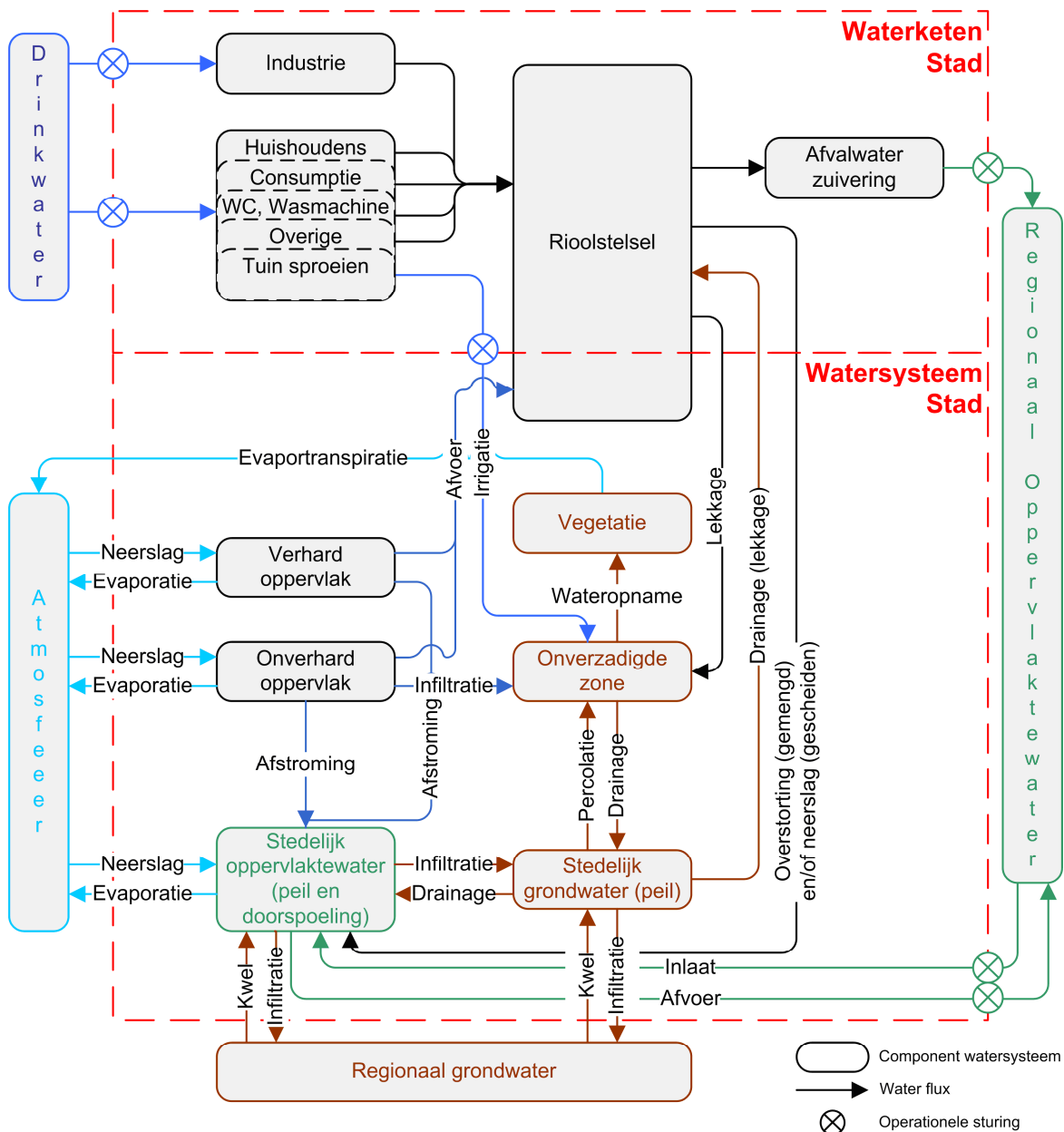
Bij verdamping en transpiratie van water wordt warmte aan de lucht onttrokken, wat verkoelend werkt. Als in droge periode dit proces stopt, neemt de kans op hittestress toe. De inkomende straling kan immers allen als voelbare warmte het systeem verlaten. Daarom blijven bossen en parken fris en kunnen stenige straten erg warm worden. Vergroening en verdampen van open water kan zo'n versteend terrein koelen.

2.2 Het stedelijk watersysteem in relatie tot het regionale watersysteem

Figuur 2.2 geeft een overzicht van de belangrijkste componenten van het stedelijk watersysteem. Het overzicht is voornamelijk van toepassing op laag Nederland, omdat wordt uitgegaan van een systeem dat water ontvangt van en afvoert naar het regionaal oppervlaktewater. In hoog Nederland vindt alleen afvoer naar het regionaal oppervlaktewater plaats.

De directe watervraag uit stedelijk gebied die gestuurd kan worden, komt voort uit het op peil houden en doorspoelen van oppervlaktewater. Middels inlaten wordt gestuurd hoeveel water binnenkomt uit het regionaal systeem. Sturing vindt plaats op basis van de vraag van de stad en beschikbaarheid van voldoende water van voldoende kwaliteit in het regionaal systeem. Voor het verbeteren van de kwaliteit van het oppervlaktewater werd in het verleden vaak gekozen voor het doorspoelen van het stedelijk watersysteem. Voorwaarde daarbij is dat de kwaliteit van het regionaal water niet slechter is dan die van de stad. Nieuwe stedelijke watersystemen kennen vaak een intern circulatiesysteem en voeren alleen water toe van buitenaf voor peilbeheer.

Behalve oppervlaktewater wordt ook drinkwater aangevoerd. Dit loopt via de zogenaamde 'waterketen'. De drinkwaterwinningen liggen doorgaans buiten de bebouwde kom. Drinkwater wordt na huishoudelijk gebruik via de riolering afgevoerd naar de afvalwaterzuivering. Deze voert het gezuiverde water af naar het regionale watersysteem. Slechts een klein deel van het drinkwater komt niet bij de zuivering terecht omdat het gebruikt wordt voor doelen als gietwater en het wassen van auto's.



Figuur 2.2 Schematisatie van het stedelijk watersysteem en relatie tot het regionale systeem.

Naast de verbinding tussen het regionale en stedelijk systeem via het oppervlaktewater, bestaat er ook een verbinding via het grondwater. Deze verbinding is meer statisch en laat zich moeilijk sturen: er zit geen fysieke 'kraan' tussen. Zeer bepalend is het onderscheid tussen kwel of infiltratie. In kwelgebieden kan de stad in droge tijd soms over extra water beschikken door de aanvoer van grondwater; in infiltratiegebieden loopt de voorraad water voor droge perioden snel weg.

2.3 Klimaatverandering

Droogte kan ontstaan door een tekort aan neerslag en een overdaad aan verdamping. Droogte in Nederland ontstaat meestal in het groeiseizoen door een hoge verdamping en tijdelijk uitblijven van neerslag.

Klimaatscenario's van het KNMI voor 2050 (van de Hurk, 2006) geven aan dat in 2050 de potentiële verdamping, die vooral bepaald wordt door de stijging van de temperatuur, in alle scenario's toeneemt. Neerslag neemt in de zomer toe in de W en G scenario's en neemt sterk af in de W+ en G+ scenario's. Het aantal dagen dat het regent neemt in alle scenario's af. Tezamen zorgt dit ervoor dat de kans op droogte en het neerslag tekort (neerslag - potentiële verdamping) toeneemt.

Tabel 2.1 Klimaat verandering volgens KNMI 2006 scenario (van de Hurk, 2006).

Variable	G	G+	W	W+
<i>summertime values</i>				
mean temperature (K)	+0.9	+1.4	+1.7	+2.8
yearly warmest day (K)	+1.0	+1.9	+2.1	+3.8
mean precipitation (%)	+2.8	-9.5	+5.5	-19.0
wet day frequency (%)	-1.6	-9.6	-3.3	-19.3
precipitation on wet day (%)	+4.6	+0.1	+9.1	+0.3
1 oyr return level daily precipitation sum (%)	+13	+5	+27	+10
potential evaporation (%)	+3.4	+7.6	+6.8	+15.2
<i>wintertime values</i>				
mean temperature (K)	+0.9	+1.1	+1.8	+2.3
yearly coldest day (K)	+1.0	+1.5	+2.1	+2.9
mean precipitation (%)	+3.6	+7.0	+7.3	+14.2
wet day frequency (%)	+0.1	+0.9	+0.2	+1.9
precipitation on wet day (%)	+3.6	+6.0	+7.1	+12.1
1 oyr return level 10-day precipitation sum (%)	+4	+6	+8	+12
yearly maximum daily mean wind speed (%)	0	+2	-1	+4
Sea level sensitivity				
<i>year (ΔT_G since 1990)</i>	low scenario		high scenario	
	2050 (+1 °C)	2100 (+2 °C)	2050 (+2 °C)	2100 (+4 °C)
Low	15	35	20	40
High	25	60	35	85

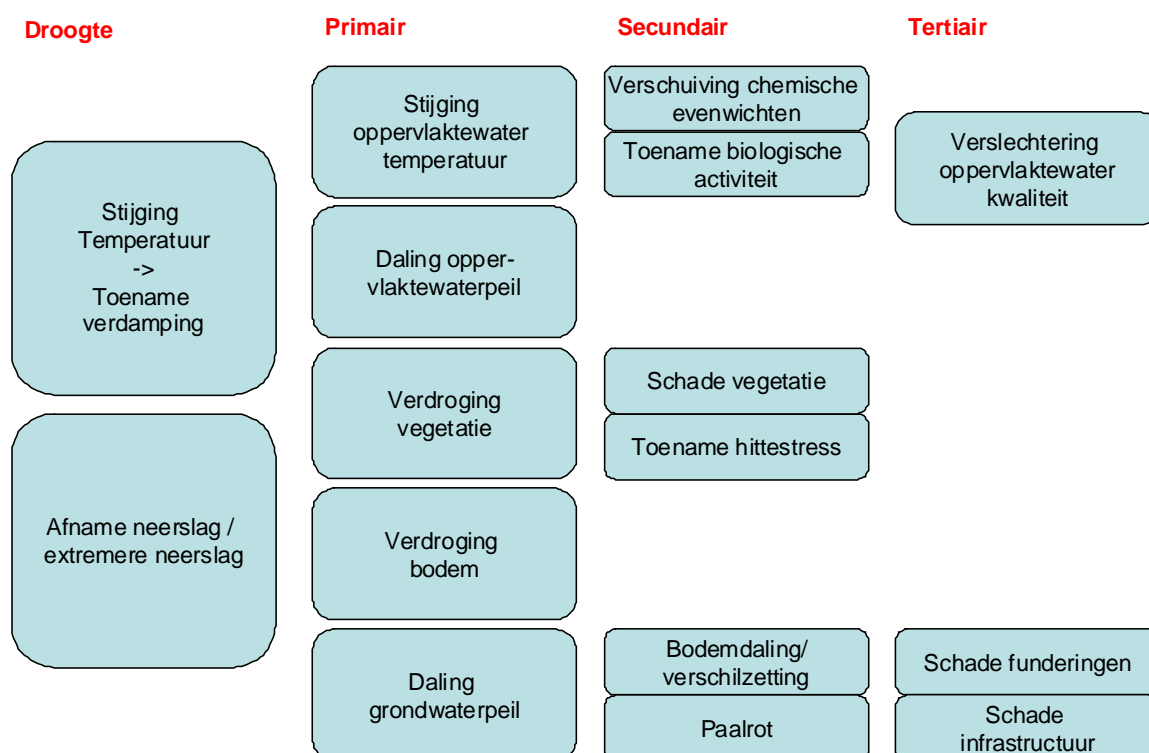
3 Effecten van droogte

Klimaat projecties laten voor Nederland een stijging van de temperatuur zien en in de zomer een afname van de neerslag in de zomer in de W+ en G+ en lichte toename van de W en G scenario's. Ook wordt verwacht dat de neerslag in de zomer in extremere buien zal vallen. Dit samen vergroot de kans op droogte.

Deze toename in temperatuur zorgt in eerste instantie bij niet ingrijpen tot een stijging in oppervlaktewater temperatuur en daling van het oppervlaktewater peil en verdroging van vegetatie en bodem en daling van het grondwaterpeil.

De stijging van de oppervlaktewatertemperatuur zorgt voor een verschuiving in chemische en biologische activiteit en evenwichten. Deze combinatie kan leiden tot een verslechtering van de oppervlaktewaterkwaliteit.

In de hierop volgende paragrafen wordt een toelichting gegeven op de relevante processen die spelen in droge perioden en de schades die deze tot gevolg hebben



3.1 Watertekort in de ondergrond

3.1.1 Vegetatie – Actuele verdamping stedelijk gebied

Onderzoek naar de hydrologie en verdamping van vegetatie in de stad is relatief schaars. In een aantal steden zijn metingen uitgevoerd van de verdamping, vaak gedurende korte campagnes en op verschillende schalen. Binnen Nederland is gemeten in Utrecht en momenteel worden voor Kennis voor Klimaat metingen uitgevoerd in Rotterdam. Binnen Europa is onderzoek gedaan o.a. in Basel, Edinburgh, Helsinki, Łódź en Marseille. Buiten Europa is vooral in een aantal steden in Amerika, Melbourne en Tokyo onderzoek uitgevoerd.

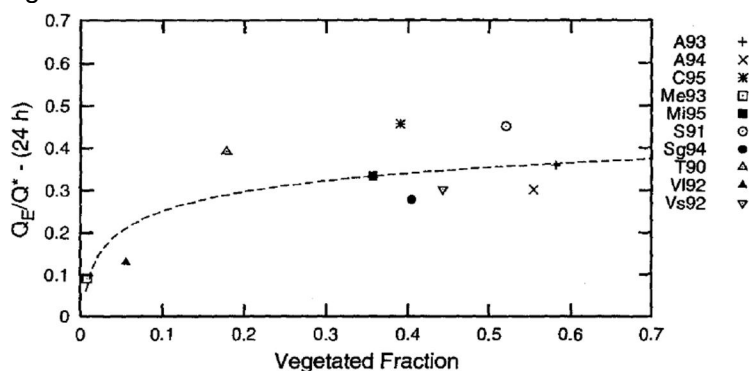
Daarnaast zijn er modellen ontwikkeld waarmee de energiehuishouding van een stedelijk gebied in detail gesimuleerd kan worden. Niet alle modellen simuleren echter een verdampende vegetatie en maar weinig modellen hebben een grondwater-component.

Hieronder volgt een beschrijving van het uitgevoerd onderzoek naar verdamping van vegetatie in stedelijk gebied. Hierbij staat de verdamping per oppervlakte eenheid of individuele boom centraal. Het is evident dat de verdamping in een wijk of stad vooral toe- of afneemt met een toe- of afname van de hoeveelheid aanwezig groen.

Actuele verdamping op wijkniveau

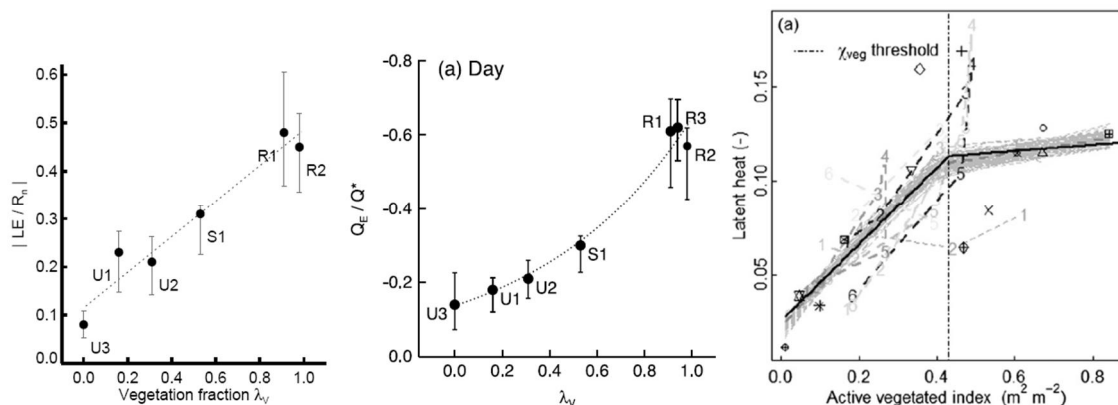
Met de Eddy Correlatie (EC) techniek kan de integrale verdamping van een deelgebied in een stad bepaald worden. Hierbij wordt de totale verdamping gemeten van alle elementen in het stadslandschap; open water, verharding, bodem en vegetatie. Hoe hoger de instrumenten boven de bebouwing geplaatst zijn hoe groter het brongebied van de metingen is. Met deze techniek kan niet de verdamping van bijvoorbeeld een enkele boom gemeten worden.

Grimmond (1999) heeft met de EC techniek de actuele verdamping gemeten in 7 Amerikaanse steden en een eenvoudige relatie afgeleid tussen de fractie verdamping (Q_E) van de netto-straling (Q^*) en het percentage van het oppervlak bedekt met vegetatie, zie Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Relatie tussen de ratio Q_E/Q^* en de fractie vegetatie, uit [Grimmond, 1999].

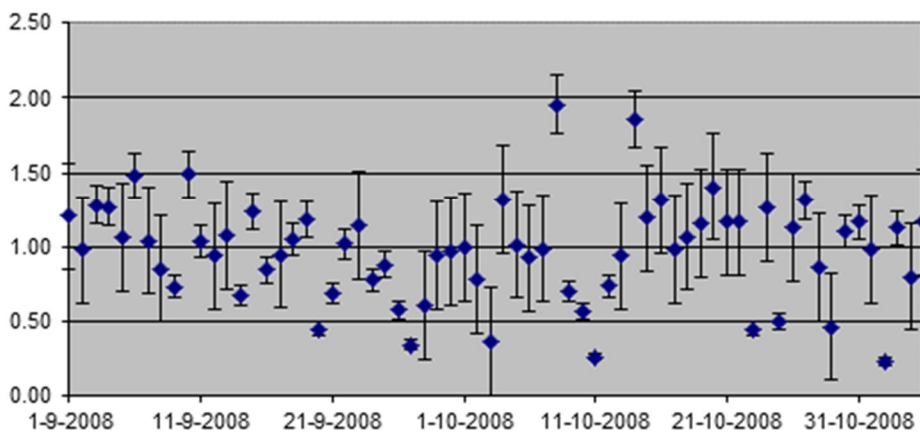
Christen et al. (2003) hebben op 3 locaties de actuele verdamping gemeten in de stad Basel en hebben ook de relatie bepaald tussen de verdamping (LE, overdag) als fractie van de netto straling (R_n) en de vegetatiefractie, Figuur 3.2. Deze relatie heeft een wat ander verloop dan die gevonden door Grimmond (1999).



Figuur 3.2 Relatie tussen de ratio Q_E/Q^* en de fractie vegetatie, uit links Christen et al. (2003), midden Christen et al., 2004 en rechts Loridan et al. (2012).

Later hebben Christen et al. (2004) een vergelijkbare relatie gepubliceerd gebruikmakend van de langere meetreeksen van dezelfde stations, zie Figuur 3.2. Loridan et al. (2012) hebben een vergelijkbaar type relatie bepaald, in dit geval niet met de verdamping als fractie van de netto straling maar als fractie van de totale inkomende straling, Figuur 3.2. Hiervoor zijn data gebruikt van 19 steden in Noord Amerika, Europa, Afrika, en Azië. Omdat de meeste meetlocaties een goed van water voorziene vegetatie hadden geldt de door Loridan et al. (2012) gevonden relatie alleen voor vegetaties zonder waterstress. Moriwaki et al. (2004) hebben gedurende een jaar EC metingen gedaan in een woonwijk in Tokyo. Hun conclusie voor wat betreft verdamping overdag in de zomer is dat deze een factor twee hoger is dan de netto-straling. Het gaat hier om de verdamping van het 'natuurlijk' oppervlak die beïnvloed wordt door een advectieve warmtestroom, zie het gedeelte over lysimeters verderop.

In Nederland is voor zover bekend alleen met de EC techniek gemeten in de stad Utrecht, door Alterra in opdracht van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Het ging hier om metingen gedurende relatief korte tijd (35 dagen in 2008). Zie Figuur 3.3, zie ook Droogers (2009). De gemiddelde verdamping in deze herfstperiode is 0.97 mm per dag met een standaard deviatie van 0.34 mm.

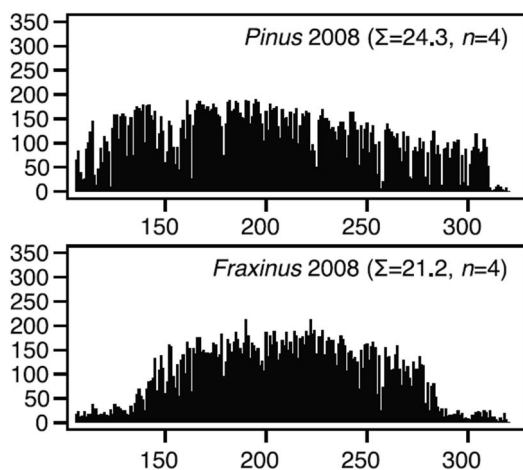


Figuur 3.3 Dagtotalen (mm) van gemeten verdamping van de stad Utrecht van 1/9/2008 t/m 5/11/2008. De foutenbalken geven de onzekerheid aan in de dagtotalen.

Actuele verdamping: metingen aan individuele bomen/struiken: sapstroom

Met de sapstroomtechniek kan de actuele verdamping van individuele bomen/struiken gemeten worden. Om de sapstroom om te rekenen naar mm verdamping is wel informatie nodig over het spinthout oppervlak per m² grondoppervlak.

Peters et al. (2010) hebben de sapstroom gemeten van 14 verschillende boomsoorten in Minneapolis. Hun conclusie is dat naaldbomen per jaar ongeveer twee maal zoveel verdampen als bladverliezende bomen, vanwege de hogere LAI (*leaf area index*), kleiner kroonoppervlak en het langere groeiseizoen. In het zomerseizoen is de verdamping echter vergelijkbaar. Ook is gebleken dat bladverliezende bomen sterker reageren (door sluiting huidmondjes) op een toename in dampdruk-deficiet dan naaldbomen. In Figuur 3.4 is de sapstroom weergegeven voor een bladhoudende en een bladverliezende boomsoort.



Figuur 3.4 Sapstroom in W/m² grond oppervlak voor 2008 voor een bladhoudende en bladverliezende boomsoort volgens Peters et al.(2010).

Kjelgren et al. (1998) hebben naar de verschillen in verdamping gekeken tussen bomen geplant in een onafgedekte bodem en een bodem bedekt met asfalt. In een aride klimaat hadden de bomen boven asfalt een hogere oppervlaktetemperatuur veroorzaakt door een grotere interceptie van langgolvlige straling van het aardoppervlak. In combinatie met een hoge dampdruk-deficiet zorgt dit voor een langere sluiting van de stomata en daardoor tot lagere verdamping. Door de hogere bladtemperatuur kan schade aan de bladeren ontstaan. In een humide klimaat met lage dampdruk deficiet waarden vindt de stomatale sluiting later plaats en is van kortere duur. Onder deze klimatologische omstandigheden zullen bomen met een asfaltondergrond juist meer verdampen.

Actuele verdamping: metingen aan vegetatie en bodem

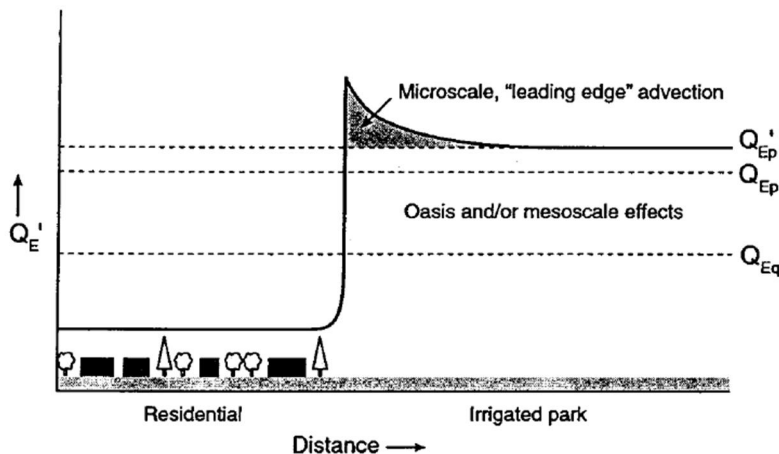
Voor het bepalen van de hydrologische kringloop inclusief verdamping kan een weegbare lysimeter gebruikt worden. Dit is een vat/container gevuld met grond/substraat waarvan, via gewichtsbepaling, de evapotranspiratie bepaald kan worden. Op de container kan vegetatie groeien. De bovenkant van de container bevindt zich idealiter op dezelfde hoogte als de omringende grond.

Oke (1979) heeft gekeken naar de effecten van een advectione warmtestroom op de evapotranspiratie van een grasveld in Vancouver. Uit de metingen blijkt dat de energie gebruikt voor de gemeten evapotranspiratie meer is dan de beschikbare netto-straling, zowel op uur als dag schaal. Het verschil in energie is waarschijnlijk afkomstig van een advectione

warmtestroom afkomstig van niet begroeide oppervlakken in de omgeving. Dit verklaart mogelijk waarom de evapotranspiratie van stedelijk gebied minder verschilt van die van het landelijk gebied dan verwacht zou worden op basis van de 'groene' bedekkingsgraad.

In een experiment uitgevoerd door Hagishima et al. (2007) is onderzocht hoe de plantdichtheid van lage vegetatie van invloed is op de verdamping. Zij concluderen dat een groep planten met lage plantdichtheid 1.6 keer meer verdampt per plant dan een groep met hoge dichtheid. Ook hier is waarschijnlijk sprake van advectief warmtetransport, in combinatie met een lagere aerodynamische weerstand.

Spronken et al. (2000) hebben de verdamping van een geïrrigeerd park (gras) gemeten in augustus 1991. Hun conclusie is dat het park 3 keer meer verdampt dan de naastgelegen woonwijk en ongeveer 1.3 keer meer dan het gras op een geïrrigeerde graszoden-kwekerij. De oorzaak hiervoor moet gezocht worden in een advectieve warmtestroom. De verdamping in het park is substantieel groter dan mogelijk is uitgaande van alleen de netto straling. In Figuur 3.5 is dit advectie-effect schematisch weergegeven.



Figuur 3.5 Effect van advectie op verdamping (hypothese) volgens [Spronken et al., 2000].

Uit een 3-jarige studie in New York van [Whitlow et al., 1992] blijkt dat beperking van de verdamping door stomatale sluiting minder vaak voorkwam dan algemeen wordt aangenomen. Ook bleek dat de stomatale sluiting een gevolg was van een te hoge VPD en niet van een tekort aan bodemvocht.

Actuele verdamping: metingen op stad-schaal

De verdamping over een relatief groot gebied kan bepaald worden met behulp van een LAS (*Large Aperture Scintillometer*). Deze meet fluctuaties van de refractieve index van de turbulente atmosfeer. Het is mogelijk uit deze fluctuaties de voelbare warmte stroom van het gebied te berekenen. Door dit te combineren met de gemeten of geschatte netto-straling kan een schatting van de latente warmte stroom (evapotranspiratie) worden verkregen.

Echter, het is niet mogelijk met deze meetmethode een onderscheid te maken tussen de verschillende typen bodembedekking in een stedelijke omgeving, de berekende evapotranspiratie is een gemiddelde over het gehele bemeten gebied.

Salmond et al.(2003) hebben gelijktijdig met een EC systeem en een scintillometer gemeten boven Basel. Zij concluderen dat boven de daken turbulente warmte-uitwisseling mogelijk beter te meten is met een scintillometer dan met de EC techniek. Het is dan wel belangrijk dat z_d (*zero-plane displacement height*) nauwkeurig bepaald wordt.

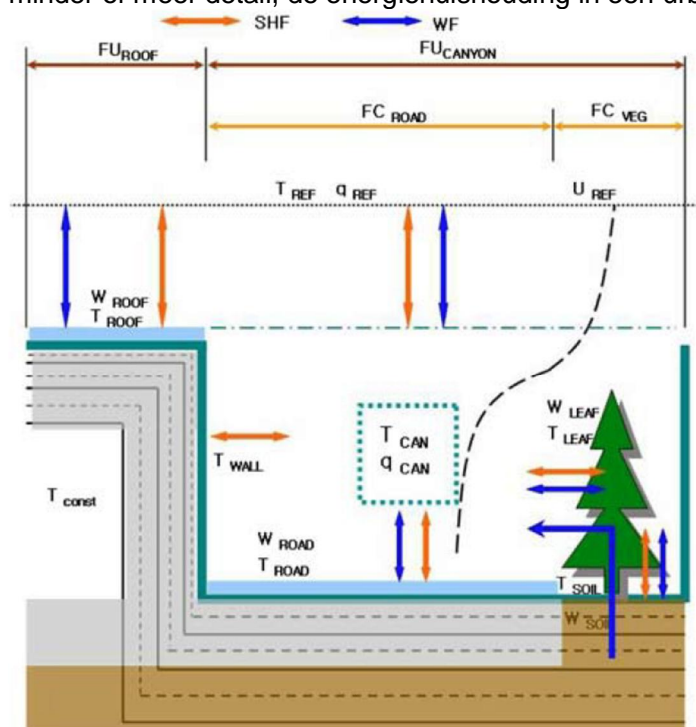
In het kader van het 'Heatstress in the city of Rotterdam' project (HSRR05, 1^e fase Kennis voor Klimaat programma) worden *in situ* metingen uitgevoerd met een scintillometer boven Rotterdam.

Actuele verdamping: modellen in combinatie met remote sensing metingen

Boegh et al. (2009) hebben evapotranspiratie en oppervlakkige afstroming gemodelleerd voor landbouwgrond, bos en stedelijk gebied. Hierbij zijn EOS/MODIS satelliet data gebruikt voor het bepalen van de vegetatiebedekking in het stedelijk gebied en de LAI van de vegetatie. De resultaten zijn vergeleken met EC metingen in het centrum van Kopenhagen. Ze concluderen dat een groot deel van de variatie in afvoer van een (stedelijk) stroomgebied verklaard kan worden met hun combinatie van een model en remote-sensing. Voor stedelijk gebied is de waterbalans en de grondwateraanvulling sterk afhankelijk van de gemodelleerde oppervlakkige afstroming.

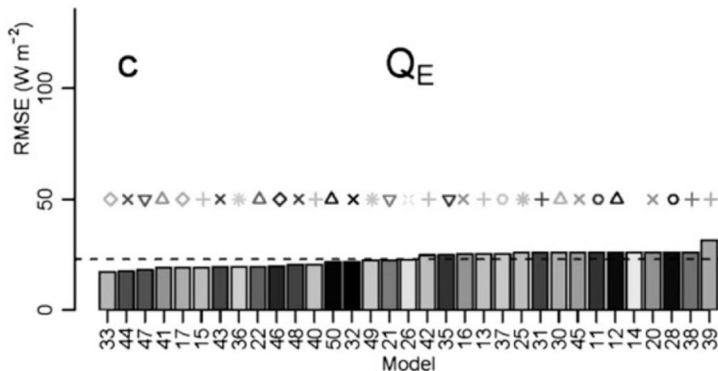
Actuele verdamping: modellen in combinatie met meteorologische metingen

De verdamping kan berekend worden met een model wat aangestuurd wordt met meteorologische parameters. De huidige urbane verdampingsmodellen verschillen sterk in benadering, complexiteit en het aantal parameters dat nodig is. De modellen simuleren, in minder of meer detail, de energiehuishouding in een urbane omgeving, zie Figuur 3.6.



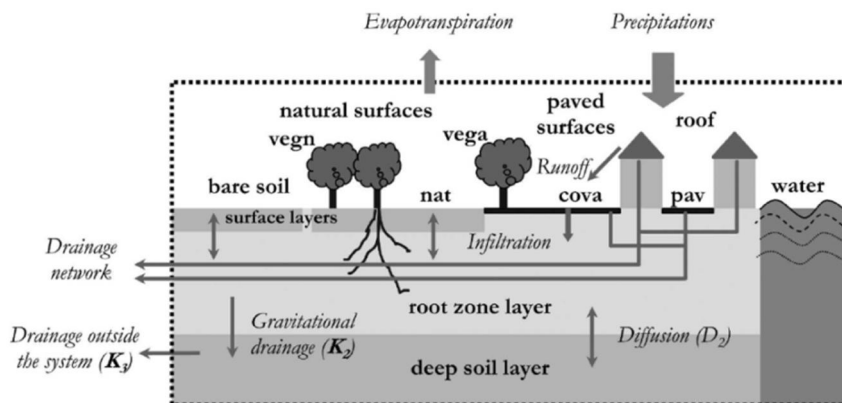
Figuur 3.6 Voorbeeld voor de modellering van de energiehuishouding in een 'urbancanyon', figuur uit Lee et al. (2008).

Grimmond et al. (2010) hebben 33 urbane energiebalans-modellen met elkaar vergeleken. Alle modellen hebben de minste moeite met het modelleren van de netto straling en de meeste moeite met het modelleren van de verdamping. De meer complexe modellen doen het niet significant beter dan de eenvoudige. Gemiddeld hebben de modellen een RMSE (root mean square error) in een gemiddelde verdampingsflux van zo'n 25 W m^{-2} , wat overeenkomt met 0.78 mm per dag, zie Figuur 3.7.



Figuur 3.7 RMSE van de gemiddelde dagelijkse latente warmte flux in $W m^{-2}$ volgens [Grimmond et al., 2010].

Het model SM2-U (Dupont et al., 2006) is een goed voorbeeld van een model waarin bodemvocht en drainage wordt meegenomen. In het model zijn drie bodemlagen gedefinieerd, een toplaag, een bewortelde laag en een diepe bodemlaag welke als water reservoir dient, zie Figuur 3.8. Volgens Dupont et al. (2006) is het model goed in staat om het debiet in het drainagesysteem te bepalen op jaarlijkse schaal en tijdens buien in de zomer.



Figuur 3.8 Voorbeeld van een model met een grondwater-component, figuur uit Dupont et al (2006).

Referentie-verdamping van stadsvegetatie

In het kader van het 'Heatstress in the city of Rotterdam' project (HSRR05, 1^e fase Kennis voor Klimaat programma) worden *in situ* meteorologische metingen uitgevoerd op drie locaties in de stad Rotterdam (*Centrum, Oost en Zuid*) en op één locatie in het buitengebied ten noorden van Rotterdam (*referentie locatie*).

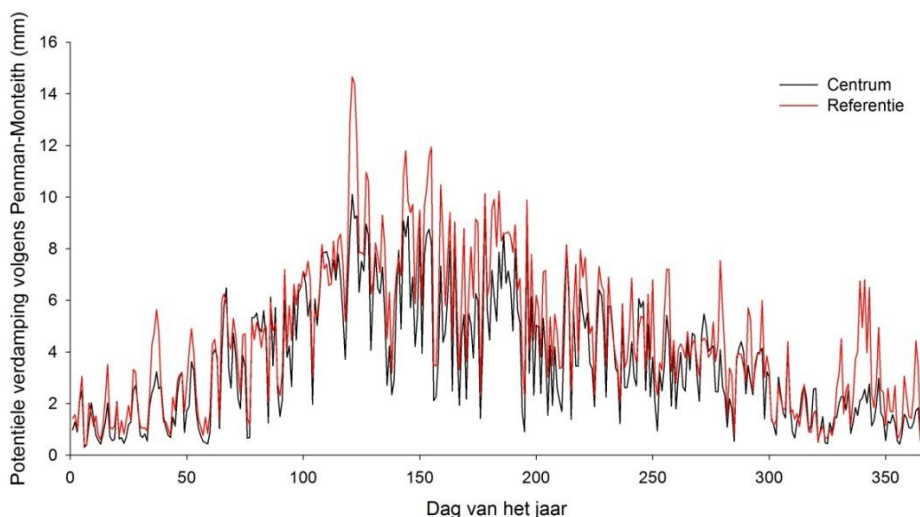
Voor de stations *Centrum* en *Referentie* is voor het jaar 2011 de referentie-verdamping ET_o berekend volgens Penman-Monteith (FAO methode, Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Hierin is

- Δ helling van de dampspanningscurve [$kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$]
- R_n netto straling [$MJ m^{-2} dag^{-1}$]
- G bodemwarmteflux ($MJ m^{-2} dag^{-1}$)
- γ psychrometrische constante [$kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$]
- u_2 windsnelheid op 2 meter hoogte [$m s^{-1}$]
- E_s verzadigde dampspanning [kPa]
- E_a actuele dampspanning [kPa]

Uit deze berekening (Figuur 3.9) blijkt dat vooral in de zomerperiode de referentie-verdamping in de stad kleiner is dan in het buitengebied. Een verdere analyse van de meetreeksen laat zien dat het dampdrukdeficiet weliswaar groter is voor het station in de stad maar de netto- straling en de windsnelheid lager. Het netto resultaat van de meteorologische verschillen tussen stad en buitengebied is dus dat de referentie- verdamping voor dit station in de stad volgens Penman-Monteith lager is.



Figuur 3.9 Referentie-verdamping voor 2011 voor een locatie in en buiten de stad.

Dit wil echter niet zeggen dat de actuele verdamping van vegetatie in de stad ook lager is dan die in het buitengebied. Zowel [Oke, 1979] als [Hagishima et al.,2007] hebben aangetoond dat advectief warmtetransport de verdamping flink kan verhogen.

In Tabel 3.1 is de gemiddelde referentie-verdamping in mm per dag weergegeven voor de vier seizoenen en het gehele jaar.

Tabel 3.1 Dagelijkse referentie-verdamping gemiddeld per seizoen en voor het gehele jaar voor de twee stations in mm/dag.

	voorjaar	zomer	herfst	winter	jaar
Centrum	2.21	6.01	4.20	2.03	3.60
Referentie	2.71	7.55	5.30	2.78	4.57
verschil	0.50	1.54	1.1	0.75	0.97

Minimale verdamping en standplaats

Burghardt et al. (2003) hebben voor een aantal boomsoorten de minimale verdamping vastgesteld. Dit is de verdamping bij volledig gesloten stomata. Bij bijvoorbeeld een *Acer campestre* ligt deze waarde op $6.4 \times 10^{-4} \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Men zou kunnen stellen dat bijvoorbeeld een boom met een LAI van 5 en een kroon projectie van 5 m^2 (25 m^2 blad) dus minimaal 1382 g per dag moet verdampen om in leven te blijven. Omgerekend naar mm water komt dit neer op $1.382/5 \approx 0.28 \text{ mm}$. Is er onvoldoende bodemvocht beschikbaar waardoor de boom deze verdamping niet haalt dan zal de turgor in het blad afnemen met uiteindelijke sterfte als gevolg.

Rahman et al. (2011) hebben onderzoek gedaan naar de effecten van de standplaats op de groei en verdamping van stadsbomen. Zij vergelijken bomen geplant tussen bestrating, grasstroken en *Amsterdam soil* (een mengsel van zand en humus). De bomen in *Amsterdam soil* groeien het hardst, de bomen in de bestrating het langzaamst. De verdamping van de bomen in *Amsterdam soil* is 2 keer die van de bomen in de grasstrook en 5 keer die in de

bestrating. Voornaamste redenen voor de verschillen zijn de slechtere doorwortelbaarheid van de bodem onder de bestrating en in de grasstroken en daardoor slechter toegang tot water en nutriënten. Een slechtere zuurstoftoetreding kan ook een rol spelen maar wordt niet genoemd.

Conclusie

- Meerdere auteurs hebben een eenvoudige relatie gevonden tussen vegetatie-index en de fractie Q_E/Q^* . De verschillen tussen deze relaties worden mogelijk veroorzaakt door verschillen in groeiomstandigheden, zoals bodem en klimaat.
- Coniferen (in de stad) verdampen over een jaar veel meer dan bladverliezende bomen. In het zomerseizoen is de verdamping echter vergelijkbaar.
- Door advectie van warmte kan een stadvegetatie meer verdampen dan mogelijk is op basis van alleen de netto straling (oase effect).
- De huidige modellen zijn een goede aanvulling op metingen en kunnen een redelijke schatting geven van de actuele verdamping van stadsoppervlakten.

Kennis- en datahiaten

Er worden drie grote kennishiaten geïdentificeerd:

- Er is onvoldoende bekend over de effecten van advectie op de verdamping van vegetatie in de stad. Advectie zorgt door aanvoer van warme, droge lucht mogelijk voor een toename in verdamping. Een rekenmodel dat de verdamping van een enkele stadsboom in een stenige omgeving kan berekenen is niet gevonden.
- Urbane modellen lijken te focussen op de atmosferische uitwisselingsprocessen en bovengrondse energiehuishouding, modellen waarin ook de stadshydrologie en de ondergrond wordt meegenomen zijn erg schaars.
- Er is weinig bekend over de minimale verdampingsbehoefte van stadsvegetatie d.w.z. de verdamping waarbij er net geen sprake is van uitval/sterfte. De waterbehoefte van vegetatie om uitval te voorkomen dus onbekend.

Doordat vegetatie een grote rol speelt in de stedelijke waterkringloop en de stedelijk warmte huishouding zijn bovenstaande hiaten extra van belang.

3.1.2 Vegetatie – effect van droogte

De volgende beschrijving is gebaseerd op een studie voor het programma Nieuwbouw en Herstructurering (Deltares, 2012).

Droogte betekent dat planten minder vocht en daarmee minder voedingsstoffen opnemen. Daarnaast worden huidmondjes gesloten om verdamping te beperken, waardoor de assimilatie (en groei) beperkt wordt. Dit beperkt de groei en uiteindelijk de vitaliteit. Dit geldt voor de gewenste begroeiing, maar ook voor de ongewenste (het onkruid). Droogte beperkt of voorkomt daarnaast de kieming van onkruid. Hieronder worden de belangrijkste gevolgen besproken.

- 1 Uitval van beplanting door droogte;
- 2 Water geven/verdampingsbehoefte;
- 3 Verzilting;
- 4 Ziekten en plagen;
- 5 Minder groei door droogte en minder kieming van onkruid en zaaigoed;
- 6 Meer groei door hogere temperatuur.

Uitval van beplanting door droogte

Het huidige Nederlandse klimaat kent een afwisseling van warme en droge periodes en vochtige en droge periodes. De beplanting (bomen, struiken, gazons, perken) in Nederlandse steden is daarop aangepast. In huidige droge zomers zie je vooral veel uitval van jonge beplanting (≤ 3 jaar), maar ook oudere bomen en struiken kunnen beperkt iets meer uitval geven. Uitval van beplanting leidt tot hogere kosten voor vervangingen.

Een belangrijke risicofactor geldt met name voor bomen en struiken die normaal gesproken gevoed worden vanuit het grondwater. Indien dit grondwater in een extreem droge periode diep wegzakt, dan kunnen deze bomen een snelle daling niet volgen en kan dit lijden tot vroegtijdige bladval. Sommige boomsoorten kunnen hier niet goed tegen en van deze boomsoorten zal een deel direct uitvallen. Belangrijk is ook een verwachte toename van secundaire aantastingen (ziekten en plagen) bij bomen die een vorm van droogtestress hebben. Een deel hiervan zal hierdoor kunnen afsterven. Hoe belangrijk deze risicofactor is, hangt vooral af van de duur van droge periodes in de toekomst en van de schommelingen tussen de verschillende zomers. In het huidige klimaat ontstaat in de 5%-droogste jaren een neerslagtekort van bijna 300 mm in september, tegenover ruim 100 mm in augustus in mediane jaren. Bij droogteperiodes in het afgelopen decennium zijn geen (zeer) grote schadeposten aan het stedelijk groen bekend. Wel hebben gemeenten in droge jaren neerslagtekorten bij bomen en struiken aangevuld door watergeven. Hierdoor is verzwakking en sterfte van bomen en struiken voorkomen.

De vraag is in hoeverre de grondwaterstanden in de steden zullen dalen bij droogte. Bij gebouwen op houten palen is er een groot belang om te voorkomen dat het grondwaterpeil te diep wegzakt, namelijk het voorkomen dat heipalen droog komen te staan en daardoor gaan rotten. Indien er grote watertekorten zijn, heeft vermindering van deze schade de hoogste prioriteit. Wanneer dit gebeurt door het kunstmatig op peil houden van het (laagste) grondwaterpeil, kan stedelijk groen hiervan meeprofiteren.

Momenteel wordt schade aan bomen, struiken en perkplanten veelal beperkt door het geven van water. Mochten aan watergeven beperkingen worden gesteld (zoals waterschappen nu soms doen voor het watergeven in de landbouw), dan is een veel grotere uitval mogelijk dan de afgelopen jaren optrad bij droogte. Bij watergeven wordt meestal gebruik gemaakt van oppervlaktewater. Indien dit verzilt is (zie verderop), kan dit hier niet meer voor gebruikt worden.

Volledigheidshalve moet worden vermeld dat een grondwaterdaling als gevolg van droogte een gunstig effect zal hebben op de groei van bomen op plaatsen waar het volume aan benodigde doorwortelbare ruimte is beperkt door een (te) hoge grondwaterstand, mits het grondwater niet zo diep wegzakt dat de wortels dit nog kunnen bereiken.

Water geven

In droge periodes is watergeven een belangrijke maatregel. Van zeer groot belang voor jonge beplanting, maar ook voor oudere bomen en planten in periodes van langdurige watertekorten. Langere droge periodes leiden tot een toename van de kosten voor water geven.

Verziltting

Verziltting kan leiden tot grotere uitval en hogere kosten voor water geven. In het W+-scenario is het risico van verziltting groter doordat de zeespiegelrijzing en een lagere grondwaterstand in droge periodes de kweldruk van zoute kwel langs de kust hoger wordt. Ook kan door de zeespiegelstijging het zoute water stroomopwaarts hoger de rivieren op trekken, zeker bij zeer lage rivierafvoeren. Door de grotere neerslagtekorten zal er vaker verzilt water moeten worden ingelaten in het regionale oppervlaktewater, bijv. om schade aan waterkeringen te voorkomen. Daarnaast kan een afgenomen aanbod aan IJsselmeer en Rijnwater leiden tot

minder mogelijkheden van doorspoelen met zoet water van oppervlaktewater in de kustregio's. Verzilting van grondwater en bodemvocht is direct bedreigend voor de meeste bomen en struiken, al zijn er van soort tot soort wel verschillen in zouttolerantie.

Ziekten en plagen

Ziekten en plagen kunnen leiden tot uitval (punt 1) of noodzakelijke behandelingen tegen bijvoorbeeld overlast (bijvoorbeeld eikenprocessierups).

Een warmer klimaat leidt tot veranderingen in soortensamenstelling van, op en bij bomen en struiken levende organismen. Dit kan aanleiding geven tot het optreden van nieuwe ziekten en plagen, maar ook tot het verdwijnen van in het verleden optredende plagen. Het is echter vooralsnog niet aan te geven of dat leidt tot een verschuiving naar een gemiddeld beter of slechtere gezondheid van het stedelijk groen.

Ten gevolge van droogtestress kunnen bomen en struiken gevoeliger worden voor secundaire aantastingen (zie punt 1) zoals Honingzwam, Reuzenzwam en bepaalde bastziekten.

Minder groei door droogte en minder kieming van onkruid

In periode van droogte hoeft er minder gemaaid te worden doordat het gras langzamer of helemaal niet groeit. Door droogte wordt de kieming en groei van onkruid eveneens beperkt, zodat de frequentie en intensiteit van onkruidbestrijding in perken en struikbeplantingen afnemen. Hierdoor kunnen twee belangrijke kostenposten beperkt worden.

Meer groei door hogere temperatuur

Voor beplantingen waarvoor geen vochttekort optreedt (bijvoorbeeld beplantingen waarvan de vochtbehoefte nog geheel vanuit het grondwater kan worden gedekt) geldt dat een hogere gemiddelde temperatuur en een daarmee gecombineerd langer groeiseizoen leidt tot meer groei. Dit kan leiden tot extra benodigde onderhoudsmaatregelen als snoeien. Voor gazon kan het betekenen dat een of twee (5 à 10%) meer maai beurten meer nodig zijn.

Conclusie en kennishiaten

De bovenstaande schades in relatie tot droogte zijn tot op heden niet structureel geïnventariseerd, onderzocht en in literatuur terug te vinden.

De grootste schade ontstaat waarschijnlijk door uitval van vegetatie. De bijdrage van uitval van bomen en struiken in stedelijk gebied door droogte wordt niet geïnventariseerd en verdwijnen in de algemene beheerskosten en statistieken. Een meer gestructureerde registratie van doodsoorzaken van vegetatie kan dit datahiat invullen.

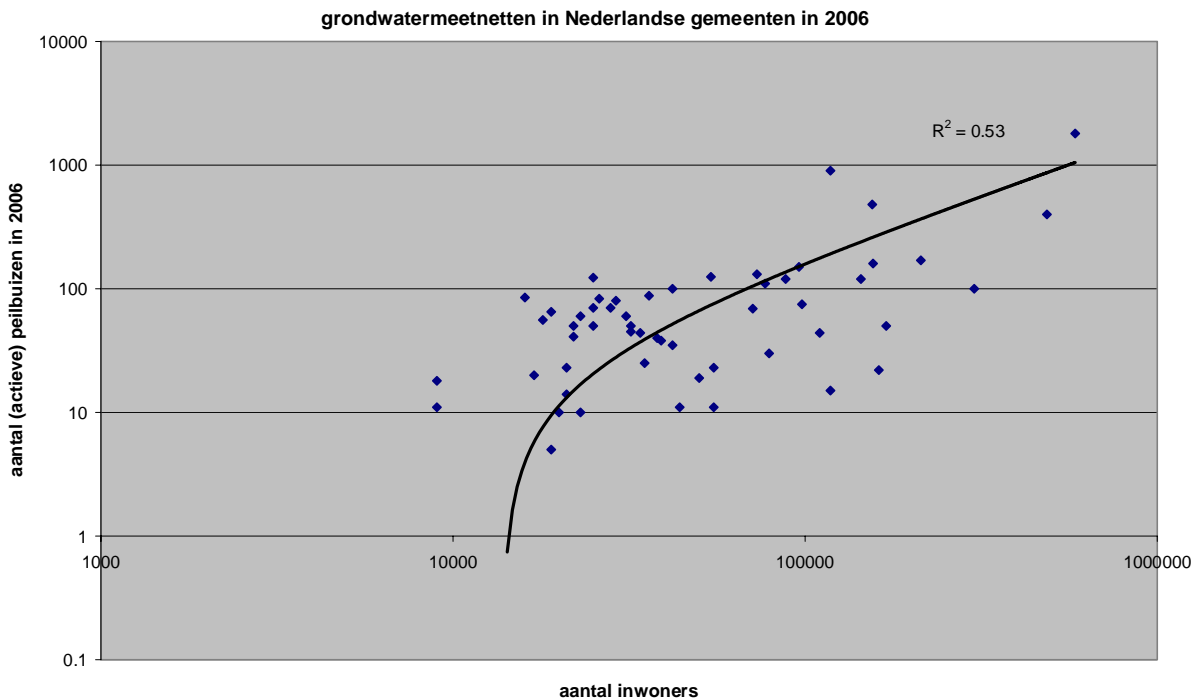
3.1.3 Grondwaterdaling

Als gevolg van wateropname door vegetatie en mogelijk infiltratie van grondwater naar diepere ondergrond of kwel naar het oppervlaktewater daalt het grondwater in droge perioden.

Anders dan rond bijvoorbeeld grondwaterwinningen voor drinkwater is er geen expliciete verplichting tot het structureel monitoren van grondwater in stedelijk gebied. Gemeenten hebben dit altijd zeer verschillend ingevuld. Het wel of niet beheren van een gemeentelijk grondwatermeetnet, en het aantal meetpunten, is afhankelijk van de geografische ligging en bodemgesteldheid, en van de grootte van de gemeente (TNO, 2006, zie Figuur 3.10). Globaal is er één peilbuis per 200 tot 5000 huizen.

Na de inwerkingtreding van de Wet Gemeentelijke Watertaken in januari 2008 zijn meer gemeenten zich bewust geworden van nut en noodzaak van grondwatergegevens en hebben

daarom een grondwatermeetnet laten inrichten. Voor deze meetnetten geldt in het algemeen dat ze als belangrijkste meetdoel hebben om het geohydrologisch systeem in beeld te brengen, zodat gemeenten adequaat kunnen reageren bij klachten over (grond)wateroverlast of schade. Met de resultaten kan nooit op pand- of bouwblokniveau gebiedsdekkende informatie worden verkregen.



Figuur 3.10 Aantal meetpunten gemeentelijke grondwatermeetnetten versus inwoneraantal. De gegevens zijn ontleend aan een enquête onder een groot aantal gemeenten (TNO Bouw en Ondergrond in 2006).

Om de dynamiek van het grondwater te karakteriseren en te vergelijken wordt vaak de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) gehanteerd. Voor een correcte bepaling van de GHG en GLG is een minimale meetfrequentie van tweemaal per maand vereist, op de 14^e en 28^e van elke maand, en dat gedurende tenminste 8 opeenvolgende jaren. Tot voor kort was in veel gemeentelijke grondwatermeetnetten de meetfrequentie beperkt tot één keer per maand, of minder.

Steeds meer gemeenten zijn de afgelopen jaren overgegaan tot het hoogfrequent monitoren met automatische drukopnemers. Vaak gehanteerde meetfrequenties zijn één tot vier keer per dag. Er zijn echter ook nog veel gemeenten waar handmatig wordt gemeten met de genoemde lage frequenties.

Mede vanwege de vaak lage meetfrequenties in het verleden is nog vrijwel geen kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen klimaat / droogte en grondwaterstanden in stedelijk gebied. Een vermeldenswaardige uitzondering hierop is de gemeente Amersfoort (Broks-Messelaar, 2011). Voor elf peilbuizen met meetreeksen van langer dan 10 jaar en een meetfrequentie over de laatste 8 jaar (vanaf oktober 2002) van tenminste 2 x per maand, zijn correlaties bepaald tussen (1) de neerslagsommen van oktober t/m maart en de GHG, en (2) de neerslagsommen van april t/m september en de GLG. Voor de correlaties is uitgegaan van een logaritmisch verband. De correlaties bij de GLG zijn sterk (mediane $r^2 = 0,73$). De GLG wordt vooral bepaald door de neerslagsom en verdamping over een heel seizoen. De

correlatie bij de GHG is niet zo sterk (mediane $r^2 = 0,46$). Dit komt omdat de GHG vooral wordt bepaald door de neerslagsom van enkele dagen, in plaats van de neerslagsom over een heel seizoen en de opbouw van de onverzadigde zone. Overigens is voor de relatie tussen neerslag en de GHG naast de eerder genoemde peilbuizen ook gebruik gemaakt van de gegevens van 14 peilbuizen met dataloggers met een veel hogere meetfrequentie, namelijk één meting per 6 uur (van 25 april 2007 t/m 23 september 2008), en één meting per uur (van 22 januari 2009 t/m 23 februari 2010: 1 meting per uur).

Lage grondwaterpeilen leveren geen directe schade op. De gevolgen van lage grondwaterstanden leveren wel schade op. De belangrijkste gevolgen van de lage grondwaterstanden zijn:

- Funderingsschade;
- Bodemdaling en ongelijke zetting;
- Hittestress.

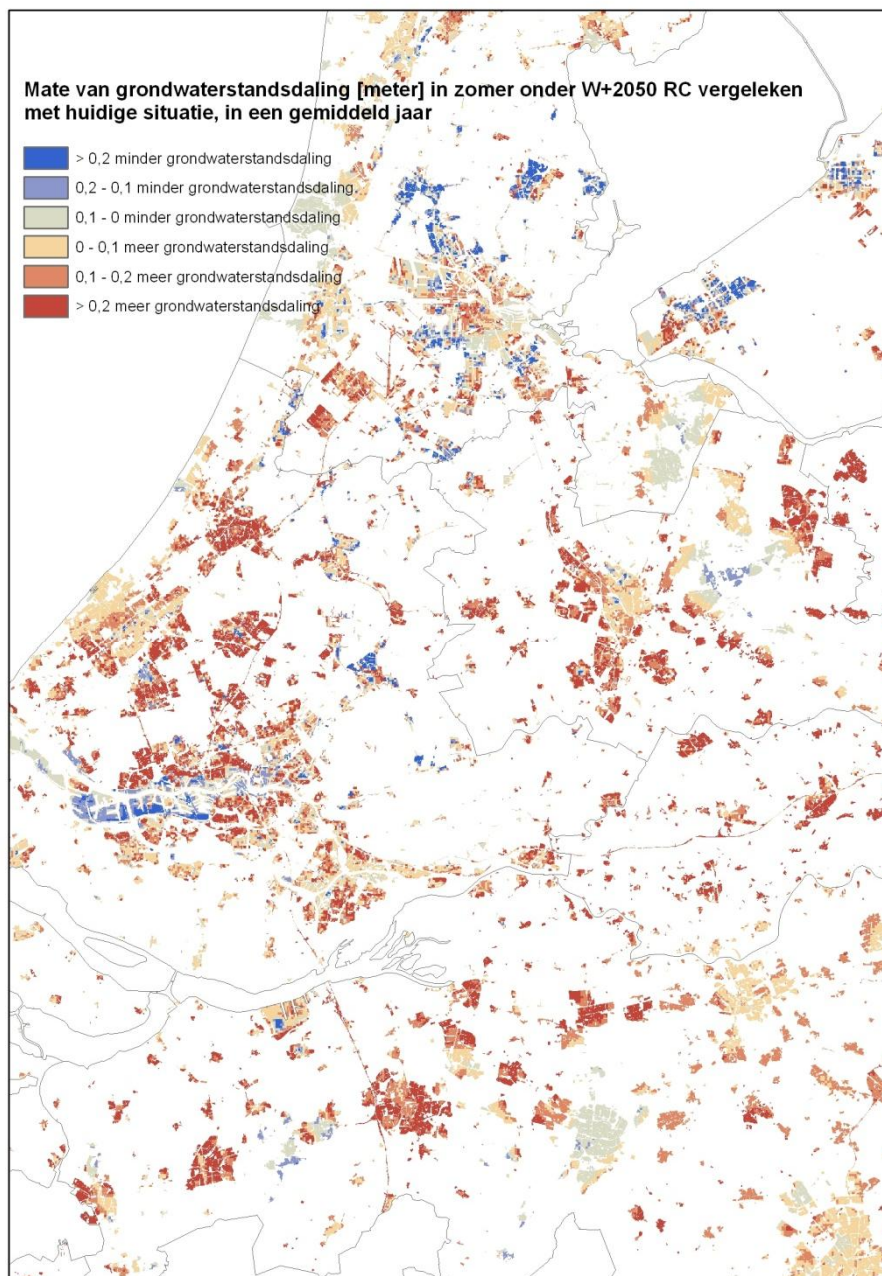
Deze worden verderop in het hoofdstuk toegelicht.

Grondwatermodellen kunnen gebruikt worden voor het simuleren van het uitzakken van de grondwaterstand. Hierbij treden in stedelijk gebied een aantal beperkingen op:

- De meeste grondwatermodellen hebben een grove ruimtelijke resolutie waardoor de heterogeniteit van de stedelijke ondergrond beperkt gesimuleerd kan worden. Het belangrijkste deel van deze heterogeniteit is veroorzaakt door menselijk ingrijpen, zoals het aanbrengen van zandcunetten onder wegen. Om goede uitspraken te doen en lokale effecten te bepalen dient een model met een hoge ruimtelijke resolutie gebruikt te worden.
- Voor het ondiepe grondwater is het van belang hoe de ondiepe ondergrond in een model is geschematiseerd. Door de hierboven beschreven grote heterogeniteit is veel data nodig over de opbouw van de ondergrond en de hydrologische parameters.

Met name de hierboven genoemde funderingsschade en ongelijke zetting worden bepaald door lokale omstandigheden. Dit betekent dat er modellen nodig zijn met een hoge ruimtelijke resolutie en gedetailleerde ondergrond informatie om hier goede voorspellingen voor te maken.

Op basis van het Nederlands Hydrologisch Instrument (NHI) is in de Verkenning zoetwatervoorziening (Deltares, 2011) met een zeer grove resolutie zijn berekeningen uitgevoerd om de gevolgen van klimaatverandering (W+ scenario) en ruimtelijke ontwikkeling (Regional communities) op het ondiepe grondwater te bepalen (Figuur 3.11). De uitkomsten laten zien dat in de meeste stedelijke gebieden de grondwaterstand in de zomer dieper zal uitzakken. De resultaten dienen door ondermeer de grove resolutie en vereenvoudigde schematisatie met grote voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd (Deltares, 2011).



Figuur 3.11 Grondwaterstandsddaling in de zomer op basis van het NHI (Deltares, 2011).

Overall in laag Nederland worden op lokale schaal uiteenlopende maatregelen genomen tegen te lage grondwaterstanden. Voorbeelden van preventieve maatregelen zijn:

- Hoogwatersloten;
- Toevoer en infiltratie van oppervlaktewater of regenwater;
- Instelbare drainages;
- Injectie van waterglas in de bodem;
- Aanbrengen van ondergrondse kleischermen;
- Verwijderen van begroeiing dichtbij bebouwing;
- Rioolvernieuwingen.

De keuze van de maatregel, of combinatie van maatregelen, is afhankelijk van lokale omgevingsfactoren, waarvan de invloed van droogte en klimaat er één is. Voor zover bekend is er geen integraal inzicht in de (kosten-)effectiviteit van al deze maatregelen. Het samenbrengen van de ervaringen met preventieve maatregelen zal dit inzicht kunnen verschaffen.

Kennis en datahiaten

Over uitzakking van grondwater in droge perioden in stedelijke gebieden is weinig bekend. Dit komt door enerzijds het beperkt aanwezig zijn van geschikte meetreeksen in stedelijk gebied en anderzijds en anderzijds omdat een structurele analyse van grondwaterstand dalingen als gevolg van droogte niet eerder heeft plaatsgevonden.

Lange tijdreeksen van frequent gemeten grondwaterstanden zijn nodig. Bij voorkeur tijdreeksen van langer dan 10 jaar en een meet frequentie van minimaal 1 meting per 14 dagen maar bij voorkeur meerdere metingen per dag, omdat grondwateraanvulling relatief snel gebeurt. Hierdoor kunnen adaptatie maatregelen gericht ontworpen en gemonitord worden.

Geschikte meetreeksen zullen meer en meer beschikbaar komen doordat vooral sinds de invoering van de Wet Gemeentelijke Watertaken een grotere meetinspanning wordt geleverd door gemeentes.

Grondwaterdaling is een gevolg van percolatie van grondwater naar diepere lagen en verdamping van met name vegetatie (en eventueel onttrekkingen). Een deel van het kennis- en datahiat kan ingevuld worden door betere kennis van verdamping aan hydrologische modellen toe te voegen.

De gevolgen van grondwaterdaling zijn deels zeer lokaal, zoals funderingsschade en schade aan infrastructuur. Er dient daarom aangegeven te worden dat met het voorzien in bovenstaande data- en kennisbehoefte het datahiat voor het oplossen van lokale knelpunten nog niet is opgelost.

3.1.4 Funderingsschade

Grondwateronderlast is gedefinieerd als schade aan funderingen van bebouwing als gevolg van lage grondwaterstanden. Het bestaat feitelijk uit vier relevante submechanismen, namelijk:

- Schade aan houten paalfunderingen door droogstand (paalrot);
- Schade aan houten paalfunderingen als gevolg van negatieve kleef op houten paalfunderingen;
- Schade aan funderingen op staal door verschilzetting of –krimp;
- Schade aan bebouwing met gemengde fundering (op staal en op palen).

Er bestaan ook vormen van funderingsschade die niet bepaald worden door te lage grondwaterstanden of andere vormen van watertekort, of waarvan de omvang van de schade in Nederland gering is:

- Schade aan houten paalfunderingen als gevolg van bacteriën lijkt meer afhankelijk van neerwaartse grondwaterstroming door de paal. Deze neemt af bij een freatische grondwaterdaling, en daarmee is dit mechanisme niet relevant voor droogte (KZN-Infra 2009).
- Betonnen paalfunderingen zijn vanaf circa 1950 steeds meer toegepast. Ook werden vanaf 1950 hoge veiligheidsfactoren toegepast in funderingsberekeningen, en vanaf

1975 werd ook 'negatieve kleeft' in rekening gebracht. In de Nederlandse praktijk komt schade aan betonnen paalfunderingen niet veel voor.

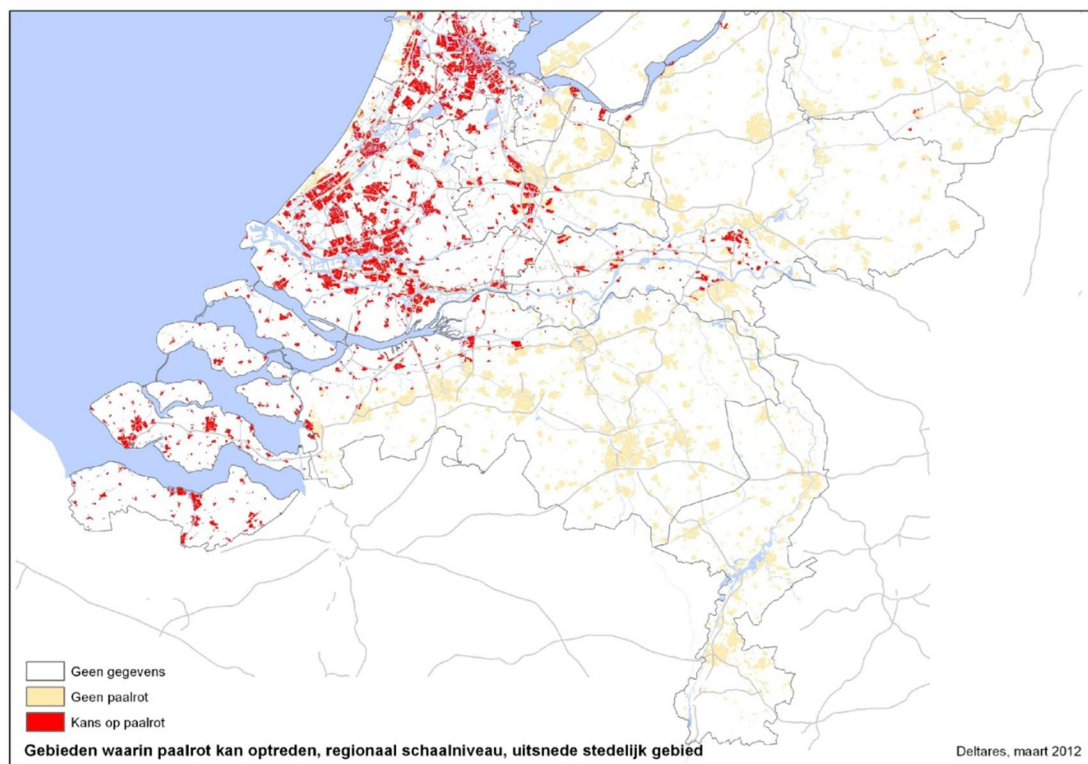
- Verandering van de belasting op trekpalen kan juist bij een verhoging van de grondwaterstand leiden tot een onevenredige toename van de belasting op de palen, bv. bij kelders en tunnels. Ook hiervoor geldt dat de omvang van de opgetreden schade gering is.

Bij paalrot is sprake van aantasting door schimmels. Bij degradatie van funderingshout zijn voornamelijk softrot-schimmels van belang. De snelheid van aantasting van houten paalfunderingen wordt onder andere bepaald door de cumulatieve droogstand. Droogstand is de situatie waarbij het funderingshout boven de grondwaterspiegel uitkomt, zodat zuurstoftoevoer en vervolgens schimmelaantasting kan plaatsvinden. Hiervoor hoeft de houten fundering niet continu boven de grondwaterspiegel uit te komen. Meerdere perioden van droogstand kunnen opgeteld worden om tot aantasting te leiden. Dit wordt cumulatieve droogstand genoemd. Hier ligt een mogelijke relatie met klimaat en droogte: in een warmer en droger klimaat zal het funderingshout méér dagen per jaar aan droogstand blootgesteld kunnen zijn, met als gevolg een versnelde aantasting. Naar de interactie tussen schimmels, grondwaterstand, funderingshout en draagkracht van constructies is in het verleden veel onderzoek gedaan door bijvoorbeeld SHR (2004) en Van Etten et al. (2000).

Ook bij de andere drie schademechanismen spelen grondwaterstands dalingen of uitdroging van de bodem een cruciale rol, en is aldus een verbinding te maken met klimaat en droogte. Bij vershilzettingen en negatieve kleeft gaat het om een toename van korrelspanningen in de grond of oxidatie van veen, bij krimp om uitdroging van kleilagen. Deze mechanismen zijn met de beschikbare theoretische kennis goed te beschrijven en dat is in het verleden dan ook al gebeurd (bv. Burland & Wroth 1975; Koppejan 1948; SBR 2006). Een voorbeeld van een mede door droogte veroorzaakte funderingsschade is de zakkingsproblematiek van op staal gefundeerde woningen in Zevenaar in juli 2006 (de Lange et al, 2009).

In het verleden zijn diverse schattingen gemaakt van de schade als gevolg van grondwateronderlast. Deze schattingen variëren van omgerekend 1 miljard euro (KPMG-Grontmij 2001) tot 10 miljard euro (Luijendijk, 2006). In het genoemde Deltares-onderzoek in opdracht van in opdracht van het Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering zijn deze schattingen gevalideerd en geactualiseerd. De actuele schade wordt daarin geraamd op 5 miljard euro. Het in theorie maximaal bereikbare schadebedrag bedraagt circa 40 miljard Euro voor heel Nederland. Daarvan is ca. 60% te lokaliseren in wegzijgingsgebieden, waar klimaatverandering of droogte een relatief grote invloed kan hebben op de grondwaterstanden en aldus kan bijdragen aan een toename van de funderingsproblematiek. De redenering hierbij is dat in kwelgebieden de grondwaterstand in het algemeen minder uitzakt, waardoor een gebied minder gevoelig is voor droogte.

Op regionale schaal is redelijk goed bekend waar de voor grondwateronderlast kwetsbare funderingen op houten palen en op staal voorkomen. In het kader van een onderzoek naar watertekorten en schades in stedelijk gebied is, in opdracht van het Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering (Deltares, 2012), een aantal kaartbeelden geconstrueerd van de gebieden waar op grond van bodemopbouw en bouwperiode mag worden verwacht dat daar kwetsbare funderingen voorkomen (voorbeeld: figuur 1). Daarbij is gebruik gemaakt van landsdekkende GIS-gegevens van bouwperiodes van panden en gebieden met klei en/of veen in de ondergrond. Op lokaal niveau verschilt de beschikbaarheid van informatie over het voorkomen van funderingen sterk. De beschikbare informatie is niet gecentraliseerd in een landelijke database.



Figuur 3.12 Voorbeeld: risicokaart van voorkomen van paalrot (zonder rekening te houden met funderingstype), geconstrueerd in opdracht van het Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering (Deltares, 2012).

Kennishiaten

Over het proces en snelheid van aantasting van houten palen bij droogstand is qua proces genoeg bekend. Er bestaat vooral een tekort aan data.

De hiervoor beschreven schaderamingen gaan uit van steekproeven of een bovengrens op basis van alle panden uit een bepaalde bouwperiode in een bepaald gebiedstype. Daarmee is nog geen reële schatting beschikbaar van het aantal panden dat daadwerkelijk risico loopt op grondwateronderlast, en waar ze staan. Idealiter zou een dergelijke schatting mogelijk moeten zijn met behulp van een landelijke database waarin informatie is opgeslagen over funderingstypen, aanlegniveau's en grondwaterstanden. Een dergelijke schatting is niet zozeer zinvol om de schaderamingen te kunnen verfijnen, maar om nauwkeuriger risicogebieden te kunnen vaststellen. Dit zou een belangrijk hulpmiddel kunnen zijn om voorlichting over grondwateronderlast aan huiseigenaren te kunnen concentreren in gebieden die ook daadwerkelijk gevaar lopen, zonder nodeloos paniek te zaaien in gebieden waar het risico minder groot is. Veel huiseigenaren zijn zich niet bewust van hun verantwoordelijkheid voor de grondwaterhuishouding op hun eigen grondgebied en van het belang van een goede grondwaterbeheersing voor de fundering van hun eigen huis. Gerichte voorlichting maakt het hen mogelijk om deze verantwoordelijkheid te nemen, en bijvoorbeeld voorzorgsmaatregelen te nemen in tijden van droogte.

Ten aanzien van funderingstypen en aanleg niveau's van funderingen geldt dat deze informatie veelal werd vastgelegd in bouwvergunningen. Omdat het hoofdzakelijk gaat om bebouwing van vóór 1945, is deze informatie vaak alleen op papier in gemeentelijke archieven aanwezig. Een landelijke inventarisatie van deze gegevens is in principe niet

onmogelijk, maar wel zeer kostbaar. In het geval van Rotterdam is veel van deze informatie bovendien verloren gegaan in mei 1940.

Ten aanzien van grondwaterstanden geldt dat deze in stedelijk gebied ruimtelijk sterk kunnen variëren. Om rechtstreeks een grondwaterstand aan een funderingsniveau te kunnen koppelen is minimaal voor elk bouwblok een peilbuis nodig, in gebieden met veel variatie in de ondergrond en infrastructuur zelfs bijna voor elk pand. Dit is alleen kosteneffectief in gebieden waar daadwerkelijk droogstand aan de orde is en waar dit met maatregelen kan worden bestreden. In de praktijk komt een dergelijke peilbuisdichtheid vrijwel niet voor. Dit heeft ook te maken met de verantwoordelijkheidskwestie; bij de verantwoordelijkheid van een huiseigenaar hoort ook monitoring van de grondwaterstand op het eigen perceel, en daarvoor ontbreekt het bewustzijn vooralsnog.

3.1.5 Bodemdaling

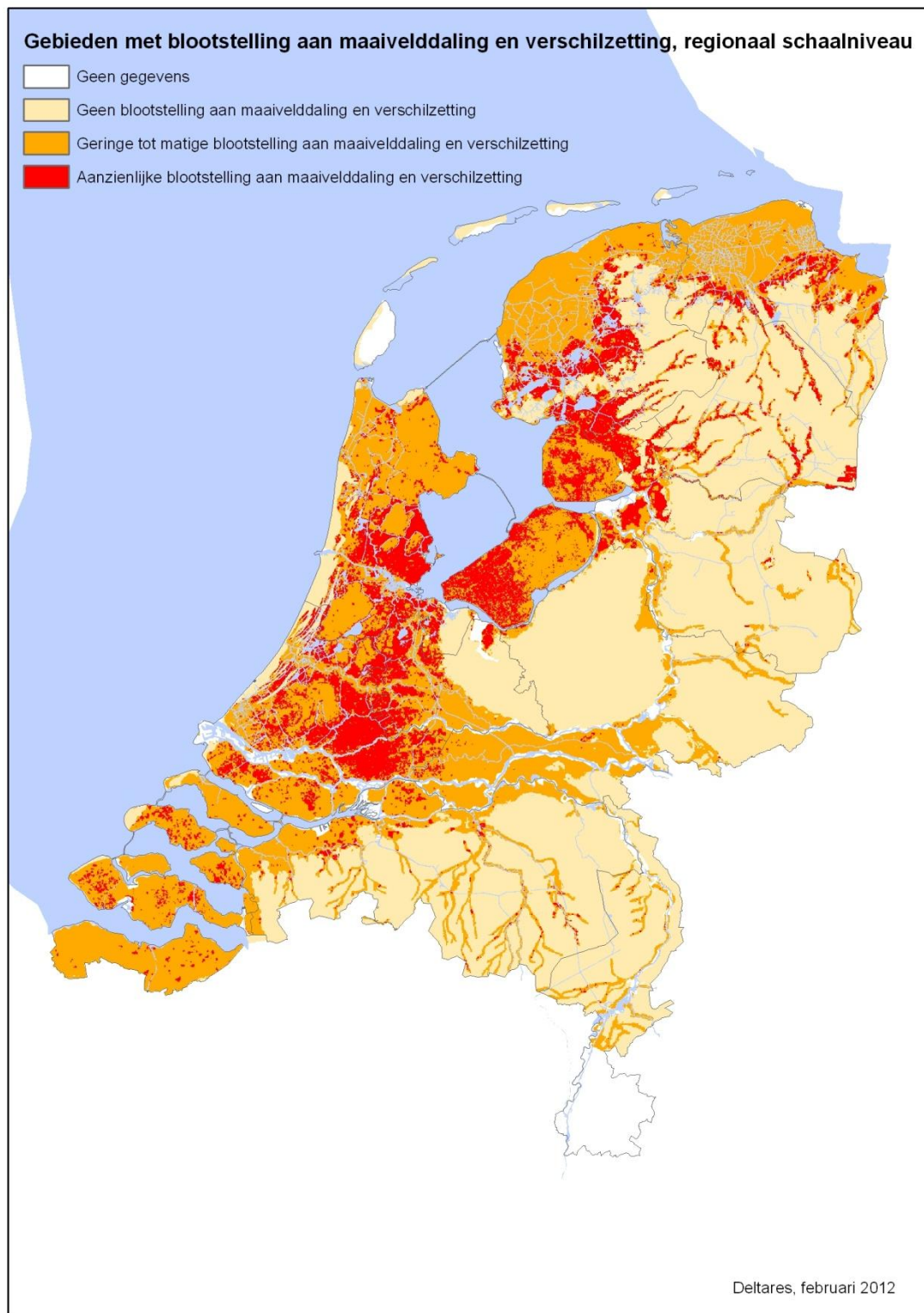
Voor de probleemanalyse voor Nieuwbouw en herstructurering (TNO, 2011) is reeds een inventarisatie gemaakt van kennis en data rondom bodemdaling. Onderstaande analyse is een samenvatting hiervan aangevuld met enkele specificeringen.

In deltagebieden zoals Nederland zijn de belangrijkste oorzaken van bodemdaling de compactie van jonge sedimenten en het oxideren van oppervlakkige en organische lagen ten gevolge van ontwatering door drainage. Daarnaast leidt het winnen van delfstoffen tot bodemdaling. Bodemdaling door delfstofwinning speelt zich met name af in Groningen en Friesland. Tenslotte is bovendien sprake van tektonische bodemdaling als gevolg van het noordwestwaarts kantelen van het continentaal plat. De snelheid van bodemdaling door dit fenomeen is beperkt ten opzichte van de andere.

De belangrijkste processen bij bodemdaling zijn:

- Klink of consolidatie. Dit gebeurt met name als het veenpakket voor het eerst wordt ontwaterd en diepe slootpeilen worden aangehouden. Onder de druk van de bodem, vooral die boven het grondwaterpeil daalt de bodem. Bij een stijging van de grondwaterstand veert de bodem deels weer terug.
- Krimp. Dit vindt plaats boven het grondwater door verdroging van de bodem. Dit is voor een groot deel onomkeerbaar.
- Biologische afbraak/oxidatie. Dit vindt plaats boven het grondwater waarbij het veen daadwerkelijk verdwijnt.

Door TNO/Deltares (2010) is bodemdaling landelijk in beeld gebracht voor de periode 2010-2050. Dit is ook gebeurd voor stedelijk gebied. Voor het programma N&H Deltares, (2012) is deze kaart vervolgens vertaald naar een beeld van de mate van blootstelling van stedelijk gebied (Figuur 3.13).



Figuur 3.13 Gebieden met blootstelling aan maaiveldddaling en verschilzetting.

Figuur 3.13 toont dat in vrijwel geheel Laag Nederland, op de duingebieden na, maaiveldddaling en verschilzettingen kunnen optreden. In de laagveengebieden is de blootstelling het hoogst. Hoog Nederland wordt doorsneden door beekdalen. In de grootste

beekdalen zijn klei- en plaatselijk veenpakketten aanwezig, waardoor ook hier verschilzettingen kunnen worden verwacht. Kwantitatief uitgedrukt betekent het dat de veengebieden in Nederland dalen met meer dan 10cm en de kleigebieden met minder dan 10 cm in de periode van 2010 tot 2050.

Bodemdaling heeft voor zowel nieuwbouw als bestaand stedelijk gebied gevolgen (Deltares,2012):

Nieuwbouw

Bouwen in bodemdalingsgevoelig gebied is in principe mogelijk. Maar vanwege de bodemdalingsgevoeligheid worden vaak grote volumes zand gebruikt voor het bouwrijp maken van het gebied. Uiteindelijk doen zich op lange termijn tijdens de gebruiksfase van een ontwikkelingsgebied altijd nog restzakkingen voor.

In het algemeen wordt om een draagkrachtige ondergrond in een ontwikkelingsgebied te creëren een dikke laag zand opgebracht. De slappe bodemlagen (klei en veen) gaan zakken en worden als het ware onder het grondwaterpeil weggedrukt. Een netto ophoging van een halve meter kan in zeer zettingsgevoelige gebieden bijvoorbeeld wel vragen om drie meter zand op te brengen. De laag ophoogzand gaat vervolgens langzaam zakken vanwege het traag verlopende consolidatieproces van de slappe ondergrond. Voorkomend veen wordt bij zakking tot onder grondwaterstand wel blijvend verzadigd en in dat geval spelen krimp en oxidatie van veen nauwelijks een rol meer in de maaiveld daling. De klink en consolidatie spelen dan echter nog steeds een grote rol. Normaliter wordt tussen ophoof fase en start van de bouw een wachttijd aangehouden, zodat de veen- en kleilagen onder de ophoging in belangrijke mate kunnen consolideren. Het grootste deel van de maaiveldzakking is dan voor de bouw opgetreden. In de praktijk treden soms ook na of aan het eind van de consolidatieperiode nog grote restzettingen op. In het slechtste geval moeten al na enkele jaren nieuwe ophogingen worden gepleegd en zijn reparaties aan verzakte kabels en leidingen nodig. Dit risico dient door goed ontwerp te worden geminimaliseerd. Al met al brengt het bouwen op slappe grond maatschappelijke kosten met zich mee. In belangrijke mate zijn dat kosten bij de aanleg, maar het betreft ook kosten voor onderhoud in de toekomst vanwege het herstel van verzakkingen aan woningen en infrastructuur. In een studie voor het Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering door Deltares (Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied, december 2011) zijn schadebedragen geïnventariseerd om een globale kwantificering mogelijk te maken. Hoe hoog de exacte kosten voor deze schadepost in een specifiek gebied zijn, is echter van veel factoren afhankelijk en daarom lastig zonder uitvoerige raming aan te geven.

Om deze kosten te voorkomen kan worden gekozen voor alternatieve bouwwijzen, door wijken niet op te hogen met zand maar te werken met half-drijvende funderingen of door op te hogen met lichtere materialen (bijvoorbeeld met polystyreen EPS). Dat is anders dan uitvoerende partijen en gemeenten gewend zijn en vraagt om een cultuuromslag.

Een andere mogelijke maatregel is het opzetten van een hoger peil in het buitengebied om bodemdaling tegen te gaan. Dit betekent echter vaak dat ook aanpassingen aan de infrastructuur in het gebied nodig zijn en meerkosten gemaakt moeten worden voor de nieuwbouw in de betreffende polder. Het houdt ook in dat extra inspanning nodig is om piekbergingen voor neerslag te realiseren.

Het is opmerkelijk dat rigide toepassing van de Watertoets bodemdaling kan bevorderen. De Watertoets is o.m. een advies om afwenteling van water vanuit stedelijk gebied op het regionale watersysteem te voorkomen. In natte gebieden levert drainage gauw een afwentelingsprobleem op en wordt ophoging geadviseerd om (grond)wateroverlast te

voorkomen. Dat ophoging bodemdaling tot gevolg kan hebben, wordt strikt genomen niet aan de orde gesteld in de Watertoets.

Bestaand stedelijk gebied

Voor bestaand stedelijk gebied heeft bodemdaling ook gevolgen, maar dit aspect kan op dit moment niet goed worden gekwantificeerd. In bestaand stedelijk gebied zijn de volgende negatieve effecten van bodemdaling te onderscheiden:

- (1) openbaar gebied en tuinen voortdurend moeten worden opgehoogd om de gewenste maaiveldpeilen bij te houden,
- (2) kabels en leidingen inclusief huisaansluitingen vervormen en breken, en tegen hoge kosten moeten worden gerepareerd,
- (3) de koppen van houten funderingspalen droog komen te staan en gaan rotten,
- (4) meer kans op grondwateroverlast ontstaat bij bebouwing omdat de bodem van de kruipruimte en het maaiveldniveau in de tuin dichterbij de grondwaterspiegel komt te liggen.

Maaiveldddaling betreft ook de daling van het maaiveld in de kruipruimten van woningen. Gevolgen hiervan zijn (A) het ontstaan van grondwateroverlast in de kruipruimte doordat de bodem van de kruipruimte dichterbij de grondwaterstand komt te liggen en (B) de instroom van zand langs de gevels en onder de funderingsbalk door, waardoor tegen de gevel – en dus ook in terrassen en tuinen – gaten ontstaan. Probleem A wordt veelal opgelost door de bodem van de kruipruimte op te hogen met zand of met schelpen, of door extra drainage onder de kruipruimte te leggen (erg duur). Probleem B wordt meestal door de woningeigenaren opgelost door telkens aanvullen van de grond.

De gevoeligheid voor bodemdaling van bestaande bebouwing in stedelijke gebieden wordt door verschillende factoren bepaald (zie bijvoorbeeld Bijlage, april 2011):

- De bodemopbouw;
- De heterogeniteit van de bodemopbouw;
- De wijze van bouwrijp maken;
- Het type fundering;
- Het type bebouwing;
- De verdeling van funderingsbelasting;
- Hydrologische factoren in de omgeving.

Ten eerste is de bodemopbouw bepalend voor de mate van bodemdaling. Veengebieden vertonen veel meer maaiveldddaling dan kleigebieden. De dikte van het pakket slappe lagen doet er toe. In een korte periode van droogte is dit slechts ten dele van relevant omdat de aanpassing van het waterspanningsverloop dan een gering dieptebereik heeft. Indien slappe bodemlagen onder een bovenbelasting door zandige lagen liggen, is de relatieve toename van de korrelspanning in de ondergrond door peilverandering niet groot en zal de maaiveldddaling meevallen. Ook de diepte van veen in het bodemprofiel is om die reden belangrijk maar tevens vanwege het optreden van geringere oxidatie bij grotere diepteligging.

In relatie tot de voorgaande factor is de heterogeniteit van de bodem van belang, omdat niet de absolute bodemdaling maar verschillen in bodemdaling maatgevend zijn voor de schade. Een leiding die eerst een zandige geulopvulling doorkruist en vervolgens een venige komklei, loopt een verhoogd risico op vervorming door verschillen in de mate van bodemdaling.

Wat betreft het bouwrijp maken is in het deel over nieuwbouw al het een en ander opgemerkt. Rest om te vermelden dat de wijze waarop een gebied in het verleden is bouwrijp gemaakt van betekenis is voor de verdeling van optredende bodemdaling in een gebied. Globaal kan onderscheid worden gemaakt in de cunettenmethode (waarbij in de straat grondvervanging en ophoging met zand wordt toegepast en het naastliggend terrein wordt opgehoogd met uit het cunet komende natuurlijke grond) en integraal ophogen. In de laatste situatie is een grondwaterstandsverlaging over een heel gebied merkbaar. In de eerste situatie worden de hydrologische omstandigheden in een wijk door de waterstand in de cunetten gedomineerd. Bovendien is door toepassing van de cunettenmethode in het verleden een heterogeniteit van antropogene oorsprong in het gebied aanwezig.

Ten derde is de funderingswijze van de bebouwing van belang. Bebouwing op stroken (zogenaamde staalfundering) wordt ondiep gefundeerd, mogelijk boven voorkomende klei- of veenlagen en is daardoor gevoeliger voor verschilzettingen dan bebouwing op paalfundering die op het diepere draagkrachtige zand is gefundeerd. Daarbij is bebouwing waar stroken- en paalfunderingen naast elkaar voorkomen gevoelig voor schade door bodemdaling. Onderscheid moet worden gemaakt tussen paalfunderingen op houten palen en moderne paaltypen. Peilverlagingen om de gevolgen van bodemdaling tegen te gaan, leiden niet alleen tot hernieuwde bodemdaling maar mogelijk ook tot droogstand van houten paalfunderingen en schade door paalrot. Indien op de houten palen betonnen opzetstukken zijn gebruikt kan paalrot zijn beperkt. Een ander schadetype dat zich in oude bebouwing op paalfundering voordoet, is de zakkende grond door wrijving gaat hangen aan de paalfundering. Houten palen zijn daar van oudsher niet op ontworpen.

Oude metselwerkgebouwen kunnen bijzonder kwetsbaar zijn voor maaiveldddaling omdat scheurvorming tot esthetische schade of erger kan leiden (Burland, 1974). Als de daling langzaam optreedt, is dit bebouwingstype echter wel zo flexibel dat veranderingen door de constructie redelijk kunnen worden opgenomen. De relatieve hoekverdraaiing in de bovenbouw bepaalt grotendeels de mate van schade. De hoekverdraaiing moet meer dan 1:600 zijn om enige schade van betekenis te genereren. Gebouwen met betonnen en stalen hoofdconstructie zijn natuurlijk sterker maar minder flexibel. Dit moderne type staat echter meestal op betonnen palen.

In (oude) gebouwen die op staal zijn gefundeerd, speelt een rol dat de belasting vanuit het gebouw op de fundering meestal niet gelijkmatig is verdeeld over het gebouw. Verandering van de draagkracht door zakkende grondwaterspiegel kan dan tot een herverdeling leiden die met enige vervorming gepaard gaat.

Binnentuinen worden veelal minder vaak opgehoogd dan openbaar terrein. Het dalen van de bodem zorgt ervoor dat de ontwateringsdiepte afneemt en de bodem drassig wordt. Door het afnemen van de ontwateringsdiepte kan het vóórkomen dat de worteldiepte van vegetatie te beperkt wordt, waardoor met name bomen kunnen omvallen (zie interview Wareco).

Ten slotte zijn de hydrologische randvoorwaarden in de omgeving belangrijk voor de mate waarin de grondwaterstand uitzakt. De nabijheid van open water (meestal voedend in een droge periode) kan een stabiliserend effect hebben. Berucht is ook de maaiveldddaling en schade aan gebouwen vanwege wateronttrekking door naburige grote bomen in klei- en veengebieden. Deze aspecten kunnen verband houden met optredende zakkingsverschillen.

In steden in laag Nederland zijn de vooroorlogse, laat 19^e eeuwse en vroeg 20^e eeuwse uitbreidingswijken het meest kwetsbaar voor bodemdaling; de historische binnensteden zijn

veelal op gunstiger locaties gebouwd (rivierduinen, zandige oeverwallen), en naoorlogse wijken staan doorgaans op betonnen palen. Vooroorlogse uitbreidingen werden voor het eerst op slechtere klei- of veengrond gebouwd, de kwaliteit van de bebouwing is soms slecht en gemengde funderingen komen juist in deze wijken veel voor, met voornamelijk hout als materiaal voor paalfunderingen.

Schade door bodemdaling

Deltares (2012) heeft een schatting gemaakt van schade door bodemdaling. Onderstaande tekst geeft hier een samenvatting van.

In de studie 'Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Nederland: invloed van tijdelijke peilveranderingen op infrastructuur' (Deltares, 2009; hierna: studie KZN-Infra, 2009) wordt bodemdaling als relevant schademechanisme beoordeeld bij watertekort omdat dit vaak het gevolg is van optredende zetting, veenoxidatie of krimp bij lage grondwaterstanden en/of bodemvochtgehalten. Het mechanisme kan op verschillende manieren doorwerken naar gebouwen en infrastructuur. Andere vormen van schade door maaiveldddaling zijn zakking van tuinen, parken, parkeer- en sportterreinen, met als gevolg de noodzaak tot ophoging.

De vraag kan gesteld worden in hoeverre maaiveldddaling een gevolg is van droogte. Grosso modo kan gesteld worden dat maaiveldddaling het gevolg is van het breken van een 'historisch laagterecord' van de grondwaterstand. Op het schaalniveau van een (zomer)seizoen wordt dit nieuwe laagterecord mede veroorzaakt door droogte, in de vorm van een hoog neerslagtekort of verdampingoverschot. Op het schaalniveau van bijvoorbeeld een decennium is het peilbeheer mede de oorzaak van het laagterecord, omdat zonder peilaanpassingen het grondwater in de bewuste droge zomer mogelijk niet zo ver zou zijn uitgezakt. Op de grotere tijdschaal van een millennium tenslotte, zou gesteld kunnen worden dat de oorzaak van de bodemdaling ligt in het feit dat de mens het veen heeft ontgonnen door middel van ontwatering. Een eenduidig, objectief antwoord op de vraag in hoeverre maaiveldddaling het gevolg is van droogte is dan ook niet te geven, omdat dit afhankelijk is van de tijdschaal waarop gekeken wordt. Bij het beschouwen van alle aan maaiveldddaling gerelateerde schadebedragen is het dan ook van groot belang deze niet automatisch en voor de volle 100% toe te rekenen aan droogte.

Zoals in Paragraaf 3.1.4 staat zijn in het verleden zijn diverse schattingen gemaakt van de schade als gevolg van grondwateronderlast. Dit behelst het gecombineerde effect van paalrot, zetting en maaiveldddaling. Deze schattingen variëren van omgerekend 1 miljard euro (KPMG-Grontmij 2001) tot 10 miljard euro (Luijendijk, 2006). In het genoemde Deltares-onderzoek in opdracht van in opdracht van het Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering zijn deze schattingen gevalideerd en geactualiseerd. De actuele schade wordt daarin geraamd op 5 miljard euro. Het in theorie maximaal bereikbare schadebedrag bedraagt circa 40 miljard Euro voor heel Nederland. Daarvan is ca. 60% te lokaliseren in wegzijgingsgebieden, waar klimaatverandering of droogte invloed kan hebben op de grondwaterstanden en aldus kan bijdragen aan een toename van de funderingsproblematiek. De redenering hierbij is dat in kwelgebieden de grondwaterstand in het algemeen minder uitzakt, waardoor zo'n gebied minder gevoelig is voor zettingen als gevolg van droogte.

Case Rotterdam Noord

Om inzicht te geven in het effect van een drogere zomer op de bodemdaling is voor 3 locaties in Rotterdam Noord (Figuur 3.14), waarvoor de bodemopbouw is afgeleid uit boringen en sonderingen, het effect van droogte op de bodemdaling langs theoretische weg inzichtelijk gemaakt.

Met behulp van een geotechnisch model (DSettlement) zijn bodemdaling berekeningen uitgevoerd. Hierbij is uitgegaan van toepassing van de berekeningsmethoden van Den Haan (abc-isotachen, den Haan, 2003), omdat deze het meest nauwkeurig zijn, uitgaande van bekende bodemparameters. Daarin is voor de bodemlagen een overconsolidatieratio aangehouden die is gebaseerd op de intrinsieke tijd voor het kruipgedrag. De intrinsieke tijd is gelijk verondersteld aan de tijd na bouwrijp maken, circa 100 jaar.



Figuur 3.14 Indicatie van locatie van zettingsberekeningen.

Allereerst is voor locatie A nagegaan welke zakkingsnelheid voor betreffend gebied op dit moment volgens het berekeningsmodel aan de orde zou zijn. Daartoe is nagerekend wat er gebeurd moet zijn door de ophoging van het terrein een eeuw geleden. Er is geschat dat het maaiveld toen op circa NAP -2 m lag met een freatische grondwaterstand of polderpeil van NAP -3 m (gelijk aan huidige stijghoogte in het pleistocene pakket). Door in die situatie het gehele gebied met 3 m op te hogen met zand zakt het maaiveld met ruim een meter. De zakkingsnelheid die heden ten dage zou resteren, blijkt volgens de berekeningen met DSettlement circa 6mm per 10 jaar te bedragen. Dat lijkt redelijk overeen te stemmen met een zakkingsnelheid die volgens de bodemdalingskaart van TNO/Deltares circa 2 tot 10 cm in 40 jaar voor de regio Rotterdam bedraagt. Dit geldt echter alleen voor het opgehoogde gebied in de straten.

Voor de drie locaties zijn vervolgens zettingsberekeningen gemaakt, uitgaande van een 1-dimensionale belasting en samendrukking. Dat is een vereenvoudiging van de werkelijke situatie waarbij waarschijnlijk verschil bestaat tussen straat en achter terrein.

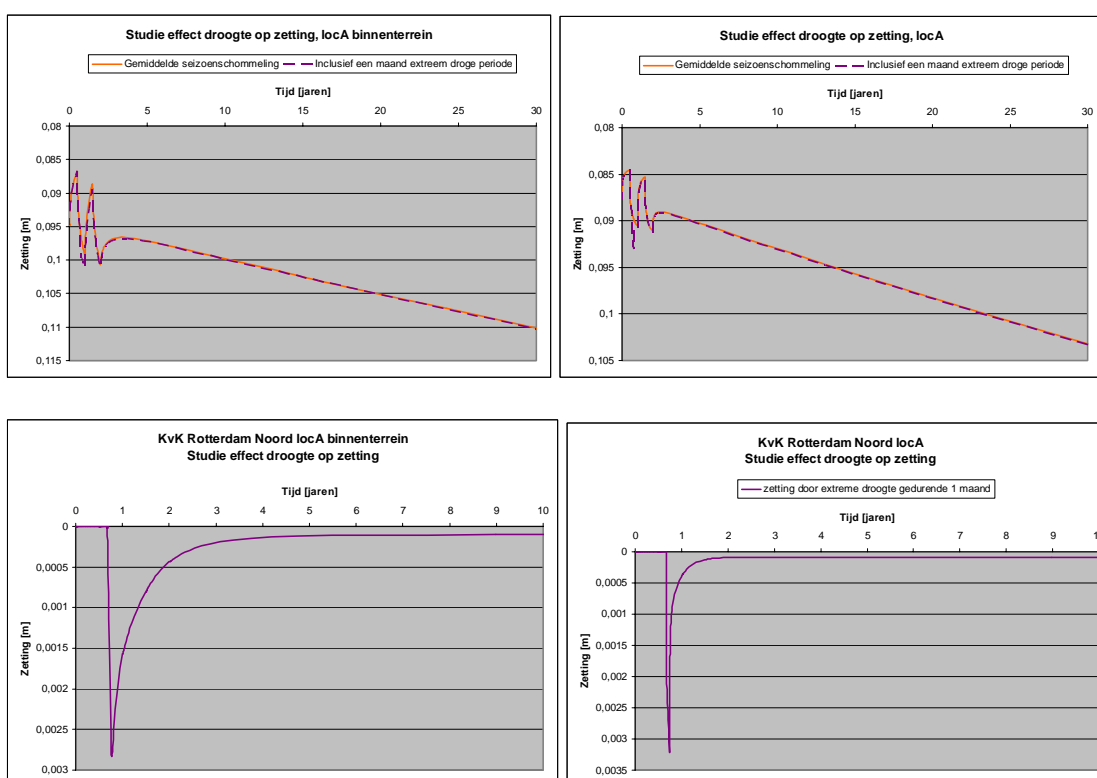
Voor locatie A is uitgaande van een constante bodemopbouw (zonder rekening te houden met bouwrijp maken, maar wel met intrinsieke tijd en een instelperiode van 100 jaar) een reeks van jaren doorgerekend met schommeling van seizoensgemiddelden voor de grondwaterstand. Dat resultaat is vergeleken met de zetting die optreedt gedurende een jaargemiddelde grondwaterstand. De optredende (gemiddelde) zettingsverlopen zijn volledig

vergelijkbaar. Daaruit is geconcludeerd dat het verdedigbaar is om in de berekening slechts enkele seizoenschommelingen mee te nemen met een daarin voorkomende periode van extreme droogte en verder slechts de jaargemiddelde grondwaterstand in de reeks mee te nemen.

Het berekeningsresultaat voor locatie A is getoond in Figuur 3.15.

Daaronder is het na-ijleffect van een maand droogte (0,6 m uitzakken grondwaterstand) op de langjarige zetting uitgezet tegen de tijd.

Aan de rechterzijde is de zetting van een binnenterrein weergegeven. Voor locatie A is aangehouden dat het binnenterrein 0,6 m lager ligt dan de straat en voornamelijk uit klei bestaat.



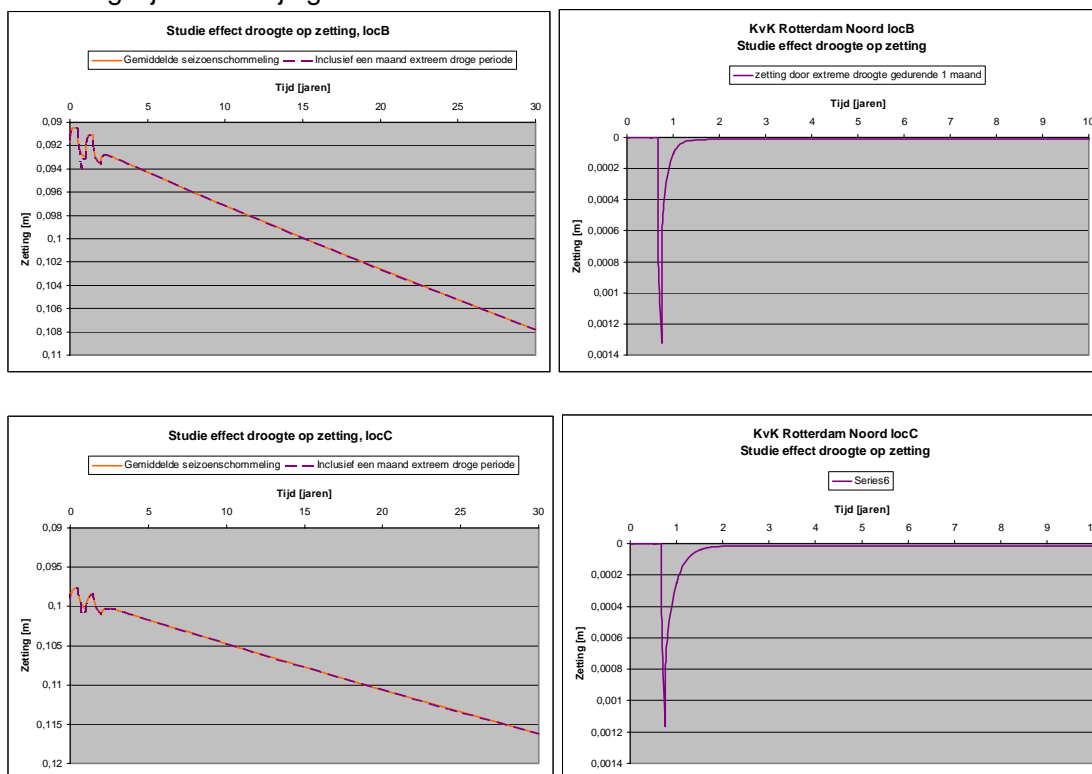
Figuur 3.15 Zetting voor locatie A als gevolg van drooglegging en één droge periode (0.6m grondwaterdaling gedurende 1 maand in het eerste jaar) voor de straatzijde en de binnentuin.

De zetting is bij locatie A gering (tot maximaal 3 mm aan het einde van de droge periode), vermoedelijk vanwege de grote dikte van de bovenbelasting door ophoogzand en vanwege de aangehouden waarden voor de samendrukkingsparameters voor een voornamelijk kleilig profiel. Een belangrijk deel van de optredende zetting veert bovendien elastisch terug. De terugvering bij ontlasting wordt bepaald door de geschatte verhouding tussen de waarden voor samendrukkingsparameters. Feitelijk zou grondonderzoek nodig zijn om een betrouwbaarder resultaat te kunnen presenteren.

De absolute grootte van de zakking in het binnenterrein is vrijwel gelijk in omvang als aan straatzijde. Het terugveren van het binnenterrein verloopt echter aanmerkelijk trager dan aan de straatzijde. Dat effect is zelfs zo sterk dat de aanpassing na afloop van een droge periode nog niet volledig ongedaan is als de volgende droge periode al weer op zou kunnen treden. Daaruit kan worden geconcludeerd dat een opeenvolging van droge jaren in kleilig gebied tot een grotere zakking kan resulteren dan in het naastliggende straatcunet.

Op locatie B is de extra zetting door een droge periode kleiner (Figuur 3.16). Waarschijnlijk is hier het effect kleiner omdat er een dikkere zandlaag boven het pakket slappe lagen aanwezig is. Op lange termijn heeft de extra zetting ten gevolge van een enkele droge periode hier nagenoeg geen effect. Ditzelfde geldt voor locatie C.

Voor deze locaties is vanwege de beperkte studietijd en gebrek aan betrouwbare gegevens de mogelijk optredende zetting van een binnenterrein niet beschouwd. Omdat het wel zo kan zijn dat de veenlaag in het binnenterrein dicht bij het oppervlak kan liggen, is de zetting daar mogelijk behoorlijk groter.



Figuur 3.16 Zetting voor locatie A als gevolg van drooglegging en één droge periode (0.6m grondwaterdaling gedurende 1 maand in het eerste jaar).

Kennishiaten

Voor stedelijke gebieden is weinig praktijkkennis beschikbaar over de relatie tussen tijdelijke grondwaterdaling door droogte en bodemdaling. Voor de specifiek Nederlandse omstandigheden ontbreekt het aan praktijkmetingen om hieruit conclusies over aard en omvang van de problematiek en de daaraan te relateren schade aan gebouwen en infrastructuur te kunnen trekken. Bodemdaling wordt in enkele gevallen frequent gemeten bij bouwprojecten tijdens de bouw. Bouwprojecten waar bemalingen aanwezig zijn geweest, kunnen informatie opleveren over bodemdaling door tijdelijke grondwaterstands daling.

In bestaand stedelijk gebied wordt bodemdaling zeer beperkt bemeten. Als er al gemeten wordt, dan is het vooral de beweging van gefundeerde objecten gemeten en niet van het maaiveld. Deze metingen hebben een frequentie van vaak minder dan 1 keer per jaar. Effecten van droogte zijn hierdoor slechts langs theoretische weg te schatten. De berekeningsmethoden die voor modellering van zettingen worden ingezet, zijn met name ontwikkeld voor bouwprojecten waarbij grote belastingen bij ophogingen worden voorspeld. Voor de invoer van parameters in deze modellen zijn waarden voor

samendrukkingseigenschappen van grondlagen nodig. De benodigde data zijn in te onderzoeken gebieden veelal niet direct voorhanden. Het gaat hierbij specifiek om: gedrag van samendrukking (parameters) bij kleine (water)belastingen, samendrukking door toenemende zuigspanningen door evapotranspiratie van uitdrogende begroeiing, oxidatie van veen, krimp van klei als het droog valt en rijping/scheurvorming/verdichting. En dat voor een zeer heterogene samenstelling van de bodem, met rioolsleuven, cunetten, tuinen, kruipruimten, et cetera.

3.1.6 Schade aan infrastructuur door ongelijkmatige zakking

Veruit het grootste deel van de Nederlandse infrastructuur is ondiep gefundeerd. Wegen en spoorwegen liggen meestal op een zand/puinbed of aarden baan. Pijpleidingen liggen meestal in natuurlijke grondslag of in een met zand gevuld wegcunet of leidingsleuf. Dit betekent dat deze infrastructuur mee daalt met de zakkende bodem. Daarnaast komen in de infrastructuur op palen gefundeerde constructies voor, zoals landhoofden van bruggen, duikers onder (spoor)wegen en pompstations in leidingtracé's, Met name bij heterogene zetting van de bodem kan schade optreden.

Hier wordt ingegaan op de infrastructuur binnen het stedelijke gebied. De 'hoofdinfrastructuur' zoals snelwegen, pijpleidingen en spoorwegen zijn onderdeel van het Kennis voor Klimaat project INCAH.

Ook schade aan (veen)kades in stedelijk gebied (bijv. Wilnis) maakt geen deel uit van deze studie.

Veel schades aan infrastructuur door verschilzetting worden veroorzaakt door heterogeniteit op een kleinere schaal. Heterogeniteit wordt enerzijds veroorzaakt door heterogeniteit in de bodem en anderzijds door heterogeniteit in landgebruik. In de ondergrond kunnen oude landschapsvormen voor zoals stoomruggen en vennen die verschillend reageren op toe of afname van de belasting. Door lokale belasting ten gevolge van ophoging of verandering in waterbeheer, zoals verlaging van oppervlaktewaterpeil, kan lokaal aan het oppervlak het maaiveld harder dalen dan elders. De optredende zakkingverschillen kunnen leiden tot schade. Deltares (2012) heeft een schatting gemaakt van schade door bodemdaling. Onderstaande analyse is hier een samenvatting van met enkele nadere specificeringen.

Schade aan infrastructuur door ongelijkmatige zetting is in stedelijk gebied relevant voor de volgende objecten (KZN-Infra, 2009):

- Gemeentelijke rioleringen;
- Wegen en spoorwegen;
- Gasleidingen en waterleidingen (en in veel mindere mate elektriciteit- en telecomkabels omdat deze tegenwoordig vrijwel altijd flexibel zijn) en huisaansluitingen.

Verzakkingen in de riolering leidt tot de volgende effecten:

- Afbreken van huisaansluitingen met lekkage in kruipruimten en water- en stankoverlast tot gevolg;
- Lekkage van riolering met als gevolg een ongewenste drainerende functie waardoor de grondwaterstand daalt en te veel grondwater naar de rioolzuivering wordt afgevoerd;
- Ontstaan van dode berging in gezakte leidingdelen;
- Schade aan wegen door hoogteverschillen tussen verzamelputten en leidingen;
- Gaten in wegverhardingen door instroming van zand uit het wegcunet;
- Scheuren en instorten van onderheide riolering; breuk en tussen onderheide en niet onderheide onderdelen van de riolering.

Het vervangen van de riolering wordt meestal als oplossing aangedragen. Wanneer de vervanging eerder plaats heeft dan op basis van de levensduur van de rioolbuis zelf noodzakelijk is, kan dit gezien worden als schade. De levensduur van een rioolbuis wordt veelal tussen de 50 en 70 jaar geschat.

Zakkingsschade aan wegen omvat:

- de schade aan de verharding (bijvoorbeeld door opvriezen als de drooglegging te klein wordt) waardoor de weg sneller groot onderhoud behoeft;
- de schade doordat wegen moeten worden opgehoogd om op peil te blijven, bijvoorbeeld vanwege peilverschil ten opzichte van de aanliggende woningen die op palen gefundeerd zijn en niet zakken;
- de kosten van ophogingen op plaatsen waar de weg aansluit op een brug met paalfundering;
- de kosten van herstel nabij op palen gefundeerde duikers, rioleringen en persleidingen onder die wegen om schade te repareren door de "kattenruggen" die zich vormen in een verzakkende weg;
- Egalisatie van kuilen in weg door lokale verzakkingen;
- Scheuren in asfalt en betonnen wegdek door ongelijke zetting.

Schade bij gas en waterleidingen bestaat met name uit lekkage en gevolgschade. Waar het lekkage van huisaansluitingen van het gasnet betreft, moet in het bijzonder in het oog worden gehouden dat gasophoping in kruipruimten tot gevaarlijke situaties kan leiden. In droge periodes in het recente verleden heeft dit tot ongevallen geleid en tot vervanging van huisaansluitingen door gastransportmaatschappijen.

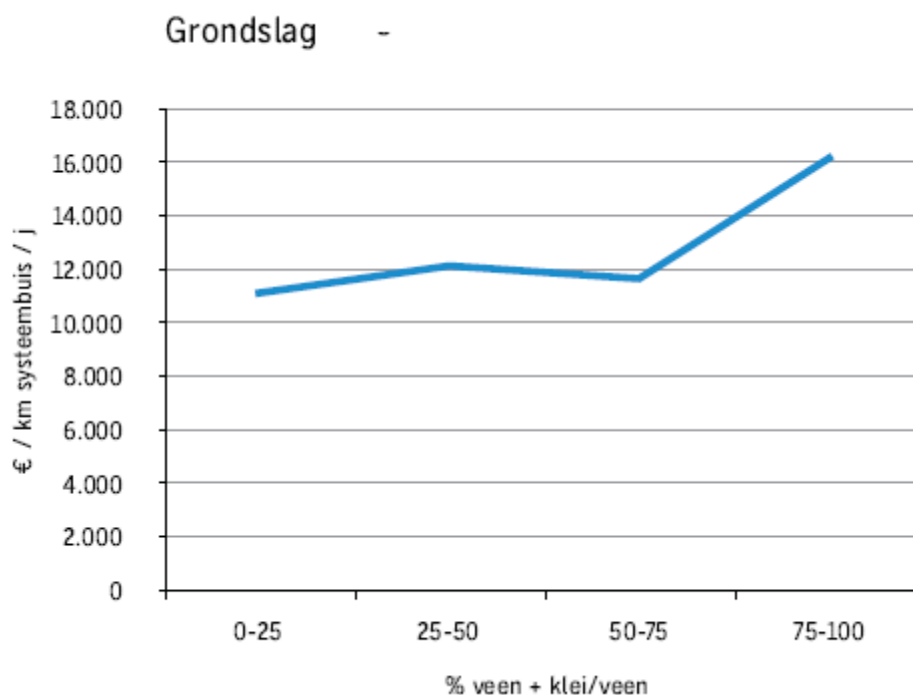
In Deltares (2012) is een analyse gemaakt van wat de extra kosten in aanleg en onderhoud aan wegen en riolering zijn door slappe grond. Om te bepalen wat de invloed van de slechte bodem is, is ook een benadering gemaakt waarbij gekeken werd naar de verschillen als alle gemeenten een goede bodem zouden hebben. Dan zou er € 1,80 miljard/jaar aan wegen en water en € 0,74 miljard/jaar aan riolering uitgegeven worden. In Tabel 3.2 zijn de genoemde bedragen samengevat.

Tabel 3.2 Overzicht van de benaderde uitgaven aan wegen, water en riolering door gemeenten. Tevens is aangegeven hoeveel er vermoedelijk uitgegeven zou worden als ook de gemeenten op matig of zeer slechte grond een goede bodemgesteldheid zouden hebben (Deltares, 2012 op basis van Cebeon, 2005).

	Wegen en water	Riolering
Bij indeling in klassen (per jaar)	€ 1,97 miljard	€ 0,82 miljard
Alles op ideale grond (per jaar)	€ 1,80 miljard	€ 0,74 miljard
Verschil (per jaar)	€ 0,17 miljard	€ 0,08 miljard
Besparing bij ideale grond	9%	10%

Uit de rapportage Riolering in beeld (Stichting Rioned 2010) komt onderstaande grafiek waarin de kosten per kilometer systeembuis uitgezet is tegen het percentage veen en klei in een gemeente. Hieruit blijkt dat de kosten bij veel slechte grond aanzienlijk hoger liggen dan bij gemeenten met weinig slechte grond.

Tabel 3.3 Gemiddelde kosten per kilometer systeembuis uitgezet tegen het % veen en klei/veen in een gemeente (bron: Stichting Rioned, november 2010)



Als deze gegevens gecombineerd worden met de gegevens uit de verdeling van het gemeentefonds, blijkt dat er € 66 miljoen/jaar (7% van de totale rioleringsuitgaven) meer uitgegeven wordt aan riolering op slechte grond. Dit bedrag ligt in ieder geval in dezelfde orde grootte als de voorgaande berekening.

De conclusie uit N&H 2012 is dat op landelijke schaal de meerkosten voor gemeenten door slechte grond voor riolering en wegen liggen in de orde grootte € 0,25 miljard/jaar. Dit betekent ongeveer 10% meer uitgaven. Dit is echter niet automatisch en voor de volle 100% toe te rekenen aan droogte.

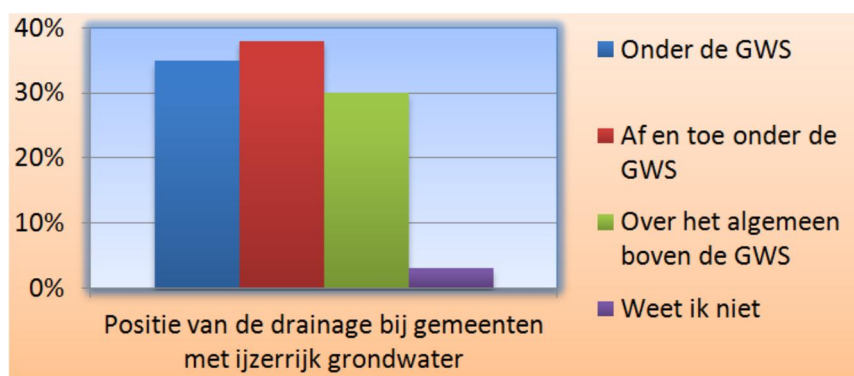
Kennishiaten

Ook hier geldt dat het effect van bodemdaling door drooglegging en extra bodemdaling door droogte en daarmee schade aan infrastructuur niet exact onderscheiden en gekwantificeerd kan worden.

3.1.7 Verstopping van drainagebuizen door grotere grondwaterfluctuaties

Drainage wordt in Nederland op verschillende hoogtes aangelegd (Figuur 3.14):

- Permanent onder de grondwaterstand;
- Af en toe onder grondwater stand;
- Over het algemeen boven de grondwaterstand.



Figuur 3.17 Aanlegniveau van drainage op basis van enquête (Wareco,2012).

De verstopping van de drainage kan optreden als gevolg van verschillende oorzaken:

- IJzerafzetting door oxidatie van ijzer door het uitzakken van de grondwaterstand tot nabij of onder het drainageniveau. Dit is vooral relevant in gebieden met ijzerhoudend grondwater, waar op veel plaatsen in Nederland sprake van is;
- Dichtslibben door accumulatie van fijn sediment;
- Dichtgroeien door wortels, door het uitzakken van de grondwaterstand tot nabij of onder drainageniveau.

Dit bekort de levensduur van de buisdrainage en/of noodzaakt tot een hogere onderhoudsfrequentie.

Zowel ijzerafzetting als het dichtgroeien door wortels worden beïnvloed door meteorologische droogte, door het dieper uitzakken van het grondwater. Het probleem van verstopping treedt nu al op en zal naar verwachting verergeren door extremere droogte door het verder en frequenter uitzakken van het grondwater.

Data en kennishiaten

Er heeft nog geen structureel onderzoek plaatsgevonden naar de snelheid van dichtslibbing en de effectiviteit van onderhoud. De ervaringen hiermee is verspreid en erg verschillend (Wareco, 2012).

Doordat het optreden van deze schade sterk afhankelijk is van het aanlegniveau ten opzichte van de grondwaterstand in de zomer is het al dan niet optreden van schades locatiespecifiek.

3.1.8 Hittestress

Droogte beïnvloedt stedelijk hittestress via de verdamping. Verdamping van water onttrekt warmte aan de omgeving. Als er in droge periodes geen water beschikbaar is om te verdampen leidt dit tot een extra stijging van de temperatuur. De grootste stijging van de temperatuur zal het gevolg zijn van een afname van verdamping door vegetatie (Paragraaf 3.1.1). Deze treedt op door het afnemen van het bodemvochtgehalte en uitzakking van het grondwater (Paragraaf 3.1.3).

In Tranche 2 van het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat wordt uitgebreid onderzoek gedaan naar hittestress (bijv. Kennismontage Hittestress, Döpp, 2011). Gezien de doorloop van het programma zijn er nog slechts beperkt resultaten beschikbaar. In dit programma zal slechts beperkt gekeken worden naar de relatie tussen droogte en het effect op de luchttemperatuur en daarmee hittestress. Binnen het onderzoek Water in Stad voor het programma Nieuwbouw en Herstructurering is een korte analyse uitgevoerd om de financiële schade door hittestress te bepalen (Deltares, 2012).

Door de ruime aandacht voor hittestress in overige KvK onderdelen, wordt in dit rapport alleen een korte beschrijving van schademechanismen gegeven gebaseerd op (Deltares, 2012). De relatie tussen droogte en verdamping is verder uitgewerkt in Paragraaf 3.1.1.

Het temperatuurverschil tussen stad en platteland kan in perioden van grote hitte oplopen tot wel 10°C waardoor de gevolgen van hitte voor stedelijke gebieden vaak groter zijn. In de Europese hittegolf van 2003 was in Frankrijk de mortaliteit in stedelijk gebied hoger dan op het platteland (Hallegatte et al, 2008). Hoge temperaturen kunnen op verschillende manieren leiden tot mortaliteit (WHO, 2009). Dit kan zowel direct door de hitte als indirect door bijvoorbeeld een snellere verspreiding van bacteriën en infectieziekten.

In strikte zin wordt gesproken van hittestress wanneer grote hitte een factor wordt die de fysiologie van het menselijk lichaam beïnvloedt. De temperatuurverhoging van het lichaam kan zich uiten in:

- warmteziekten en sterfte;
- discomfort. Discomfort hittestress uit zich in:
- arbeidsproductiviteit (Daanen et al., 2010);
- het menselijk gedrag (bijvoorbeeld via agressiviteit);
- de slaapkwaliteit (Döpp et al, 2011);
- het optreden van bedrijfsongevallen (Daanen et al., 2010).

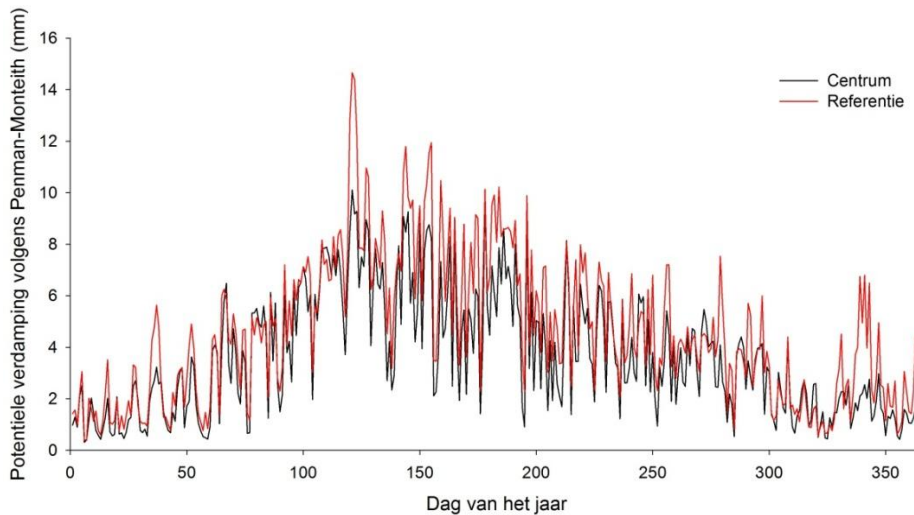
Bij het effect van hitte op de gezondheid kunnen ook interacties met luchtkwaliteit en micro-organismen (actiever bij hoge temperaturen) een rol spelen.

Het is niet alleen de temperatuur die bepalend is voor de gevolgen van hitte voor de mens, ook andere aspecten als zonnestraling, wind en luchtvochtigheid bepalen de mate waarin warmte (en koude) als belastend wordt ervaren.

De aanwezigheid van water voor verdamping is een belangrijke factor in het al dan niet ontstaan van extreem hoge temperaturen. Het feit dat in stedelijke gebieden een 'stedelijk hitte eiland effect' optreedt kan deels worden geweten aan het grote aandeel verhard oppervlak waaruit geen verdamping optreedt.

Figuur 3.1.8 geeft een idee van ordegrrootte van het 'koelende' effect van verdamping als een vertaling wordt gemaakt naar energie. Op zomerse dagen ontvangt een vierkante meter grond gemiddeld ongeveer 350W aan zonlicht. Een deel van dit licht zal worden weerkaatst, maar een deel zorgt voor opwarming van het aardoppervlak en een deel van de energie wordt gebruikt voor verdamping. Referentie verdamping is de verdamping van gras die optreedt als er voldoende water beschikbaar is. Deze kan berekend worden op basis van meteorologische gegevens.

10mm verdamping komt overeen met ongeveer 260Wm^{-2} , dit is ongeveer 70% van de inkomende straling. Verdamping kan dus een groot effect op de luchttemperatuur. In praktijk zal vegetatie vaak minder verdampen door niet optimale, veelal droge, bodemvocht omstandigheden. De verdamping van droge verharding is echter nihil, waardoor alle netto kortgolvlige straling wordt omgezet in voelbare warmte en langgolvlige straling.



Figuur 3.18 Referentie-verdamping voor 2011 voor een locatie in en buiten de stad Rotterdam.

Data en kennishiaten

Het effect van droogte op hittestress is een direct gevolg van de kennishiaten rondom vegetatie (Paragraaf 3.1.1). Aanvullend op het effect van droogte op verdamping van vegetatie ontbreekt hier ook de vertaling van verdamping naar luchttemperatuur.

3.2 Watertekort oppervlaktewater

Het watertekort van het oppervlaktewater wordt bepaald door de waterbehoefte voor:

- Peilbeheer;
- Schade aan drijvende woningen;
- Waterkwaliteit;
- Recreatie.

Deze worden hieronder verder toegelicht.

3.2.1 Peilbeheer oppervlaktewater

Het op peil houden van het oppervlaktewater is van belang voor het voorkomen van schades aan oevers. Daarnaast is er enig effect op de grondwaterstanden in de buurt van het oppervlaktewater.

Er zijn verschillende factoren die het peil van het oppervlaktewater beïnvloeden en daardoor een tekort kunnen veroorzaken, waardoor de aanvoer van extra oppervlaktewater wenselijk is:

- Verdamping;
- Infiltratie naar grondwater;
- Onttrekking.

De aanvoer van water naar stedelijk gebied en de prioritering hierin komt aanbod in (Paragraaf 3.4).

Verdamping

De verdamping van oppervlaktewater op een zomerse, zonnige dag kan al snel leiden tot een peilverlaging van 5 mm per dag (op basis van Penman formule).

Grondwater

In infiltratiegebieden infiltreert er water van het oppervlaktewater naar het grondwater, dit zorgt voor een daling van het oppervlaktewater peil. In kwelgebieden wordt oppervlaktewater aangevuld vanuit het grondwater. De waterbehoefte voor peilbeheer in kwelgebieden in droge perioden is daardoor klein of er wordt zelfs water afgevoerd, terwijl de waterbehoefte in infiltratiegebieden juist groot is.

Ook onttrekking van water door vegetatie aan de bodem, kan ervoor zorgen dat het grondwaterpeil tot onder het oppervlaktewaterpeil daalt en daardoor infiltratie van het oppervlaktewater naar grondwater versterkt.

Onttrekking

Onttrekking van water aan het oppervlaktewater kan verschillende doelen plaatsvinden. Aan droogte gerelateerde onttrekking komt vooral voort uit irrigatie. Openbaar groen in stedelijk gebied wordt op dit moment zelden geïrrigeerd, terwijl particulieren dit in de tuin al wel regelmatig doen. Als door klimaatverandering de potentiële verdamping toeneemt, is te verwachten dat de irrigatie van openbaar groen en tuinen verder zal toenemen. De besproeiing van openbaar groen vindt vaak plaats vanuit het oppervlaktewater als dit aanwezig is.

Sportparken en andere grootschalige groenvoorzieningen worden nu al wel vaak beregend uit lokaal oppervlaktewater of grondwater. Ook kan de vraag voor verdamping stijgen voor bestrijding van hittestress door vergroening van de stad.

De vraag naar aanvoer van oppervlaktewater in het stedelijk gebied wordt mede bepaald door het peilbeheer dat wordt gevoerd om te voorkomen dat gebouwen, wegen, dijken, rioleringen, overige leidingen, etc. verzakken. Ook is er water nodig voor de doorspoeling van watergangen, om de kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater te borgen. Deels kan dit worden ondervangen door circulatie waardoor geen water te worden verbruikt. Tenslotte, zijn er de stedelijke flora en fauna die van water moeten worden voorzien. Peilbeheer en doorspoeling zijn daarvoor beide van belang.

Peilbeheer en vooral het dalen van het waterpeil in droge periodes heeft invloed op de volgende onderwerpen:

- Schade aan drijvende woningen en woonboten ter voorkoming van schade aan de toegangsconstructie en aan de huisaansluiting.
- Schades aan kades door instabiliteit. Dit vormt zoals eerder gezegd geen onderdeel van het onderzoek.

- Natuurvriendelijke oevers kunnen beter of minder goed functioneren door verdroging, zie hieronder.
- Beschoeiingen kunnen beschadigd raken door een te laag waterpeil. Dit vormt zoals eerder gezegd geen onderdeel van het onderzoek
- Waterkwaliteit wordt negatief beïnvloed doordat ondiep water sneller opwarmt wat zorgt vaak voor een afname in waterkwaliteit, zie verder Paragraaf 3.2.3.

Tijdelijke droogte kan gunstig kan uitpakken voor waterplanten in Natuurvriendelijke oevers (NVO's). Tijdelijke droogval stimuleert de kieming van bepaalde ondergedoken waterplanten (bv kranswier) en een flink aantal helofytensoorten. Van NVO's wordt juist gezegd dat deze alleen effectief zijn als ze onderhevig zijn aan een natuurlijk fluctuerend waterpeil. Lage waterpeilen in de zomermaanden (leidend tot gedeeltelijke droogval van de oever) hoort hier ook bij.

Er zijn echter ook risico's. In de praktijk zullen veel NVO's volschieten met helofyten, zoals riet, vooral ook omdat deze in stedelijk gebied op voedselrijke oevers zullen staan. Dit kan ook een nadelig aspect zijn: de variatie in habitats in de NVO verdwijnt (het wordt een brede rietkraag zonder open water), en er zal een intensievere beheersinspanning gepleegd moeten worden om de NVO 'functioneel' te houden. Bovendien zit niet iedereen in het stedelijk gebied te wachten op een hoge rietkraag voor de deur door bijvoorbeeld, belemmering uitzicht, andere natuurbeleving, etc. (Brouwer en de Kwaadsteniet, 2011).

In Nederland is een onderscheid te maken in tussen steden in peilbeheerst en niet peilbeheerst gebied (Deltares, 2011 en Figuur 3.19):

- Steden in laag Nederland (op klei en veen). In deze steden wordt het peil beheerst en kan water aanvoer voor ondermeer doorspoeling plaatsvinden.
- Steden in hoog Nederland (op de zandgronden). In deze steden is door de afwezigheid van een aaneengesloten netwerk van watergangen het peil meestal niet gebiedsdekkend beheerst en kan niet worden doorgespoeld.



Figuur 3.19 Voorzieningsgebieden zijn peilbeheerste gebieden die van oppervlaktewater kunnen worden voorzien (bron: Deltares, 2011).

Kennishiaten

Het is bijzonder moeilijk de watervraag van stedelijk gebied te kwantificeren (Deltares 2011). De mogelijke consequenties van een te laag waterpeil zijn voor stedelijk gebied slecht nog voldoende gekwantificeerd.

3.2.2 Schade aan (woon)schepen en drijvende woningen door droogvallen van waterlopen

In de grote rivieren waar waterstand fluctuaties regelmatig voorkomen veroorzaakt droogvallen overlast in de vorm van scheef hangende kasten en dergelijke. In de berichtgeving wordt geen melding gemaakt van constructieve schade aan woonschepen als gevolg van droogval. Tijdens de dijkdoorbraak in Wilnis (2003) kwamen tientallen woonboten scheef op de bodem te liggen en trokken leidingen die aan de wal vastzaten krom. Het

mechanisme is in de knelpunten analyse van N&H 2012 als relevant beoordeeld, maar tegelijkertijd is het niet mogelijk geweest het risico op landelijk schaal te bepalen door een gebrek aan data.

Kennishiaat

De omvang van de schade en de relatie tot waterpeil is onvoldoende bekend.

3.2.3 Oppervlaktewaterkwaliteit

De kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater is medebepalend voor de bruikbaarheid van dat water voor recreatie (vissen, varen, zwemmen), voor watervoorziening (irrigatie, spoelwater, bluswater) en voor de kwaliteit van ecosystemen (vissen, macrofyten, algen, kroos) en dus ook voor de landschappelijke kwaliteit en leidt – in het ergste geval – tot stank. Indien de kwaliteit van het aangevoerde water hoog genoeg is kan volstaan worden met aanvulling van het watertekort in de stad. Als de kwaliteit van het stedelijk water echter onvoldoende is en hinder oplevert ontstaat een doorspoelbehoefte. Juist in droge, warme perioden zien we de noodzaak tot wateraanvoer en doorspoelen ontstaan, omdat de wateren in de stad vrijwel altijd eutroof zijn en dus snel geplaagd worden door algenbloei en kroos. Met doorspoeling wordt ook *verzilting* bestreden. Verzilting speelt vooral in Zeeland, in kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland.

De waterkwaliteit in stedelijk gebied is soms beter dan in het omliggende landelijk gebied. Mede daarom staan stedelijke oppervlaktewatersystemen vaak los van het landelijk gebied. Toch wordt er vaak inlaatwater gebruik om het stedelijk watersysteem door te spoelen. Hierdoor komt er water met een mindere kwaliteit (vooral hogere nutriëntconcentratie) mee uit het landelijk gebied.

Een gebrek aan inlaatwater om het stedelijk watersysteem door te spoelen kan zorgen voor een beperktere mogelijkheid om warm water af te voeren. Daarnaast ontstaat er in stilstaand water een sterkere stratificatie. Dit leidt tot: verhoogde concentraties aan voedingsstoffen, algenbloei, meer bacteriën en lagere zuurstof concentraties (en als gevolg daarvan onder andere vissterfte).

Daarom worden stedelijke watersystemen bij voorkeur aangelegd met een intern circulatiesysteem, zodat het water nooit langdurig stil komt te staan. Doodlopende grachten mogen in zo'n systeem niet voorkomen. Maar zelfs al wordt het water in de stad gecirculeerd dan nog kan droogte, in combinatie met hoge temperaturen, de waterkwaliteit in stedelijk gebied verslechteren. In stedelijk gebied uit zich dit in de vorm van:

- Stankoverlast;
- Blauwalgen;
- Vissterfte;
- Botulisme;
- Overstortingen;
- Bacteriologische verontreiniging van zwemwater.

Vooral in ondiepe stilstaande wateren kunnen deze fenomenen optreden. Daarnaast kunnen problemen optreden door overstortingen uit vooral gemengde riolering bij extreme buien aan het eind van droge perioden.

Droogte kan leiden tot een verminderde waterdiepte. De verminderde waterdiepte kan, in warme droge periodes, zorgen voor een extra stijging van de watertemperatuur doordat de straling en voelbare warmtestroom geabsorbeerd worden door een kleiner watervolume.

Daarnaast zorgt het Urban Heat Island voor een relatief hogere watertemperatuur in stedelijk gebied dan in landelijk gebied (van den Eertwegh, 2012, persoonlijke mededeling). Dit effect kan versterkt worden door aanvoer van relatief warm afstromend regenwater op warme dagen uit regenwater riolering of bij extreme buien ook uit de gemengde riolering. Beiden zijn vooral een temperatuur en geen droogte effect en zijn daarom niet verder uitgewerkt.

Hieronder volgt een korte beschrijving van de schades en overlast en de veroorzakende processen:

Stankoverlast

Stankoverlast is het gevolg van afbraak van organisch materiaal (planten en dieren) door bacteriën. De bacteriën verbruiken hierbij zuurstof uit het water. Bij hogere temperaturen gaat dit proces sneller (Stowa, 2007). Naast de stank zal de verminderde zuurstofconcentratie ook kunnen leiden tot sterfte van vis. Ook in het geval van overstortingen bij extreme neerslag vanuit gemengde riolering is dit een probleem. Of er meer visbiomassa komt door hogere temperaturen is afhankelijk van het voedselaanbod (draagkracht van het systeem). Hoeveel meer stankoverlast er als gevolg van droogte zal ontstaan is niet bekend.

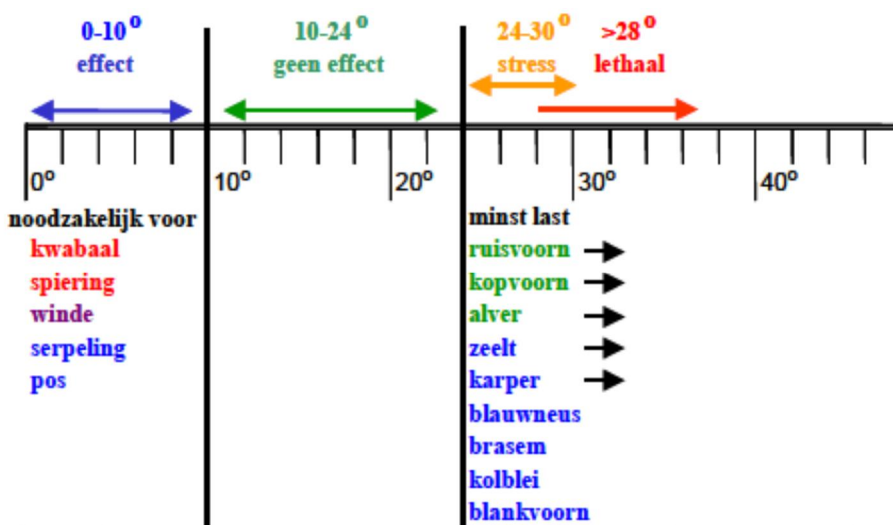
Blauwalgen

Blauwalgen zijn bacteriën die tussen april en oktober in, vooral, stilstaande wateren voor overlast kunnen zorgen. Doordat ze in het voorjaar en zomer hard groeien kunnen er van bepaalde soorten drijfvlagen ontstaan die bij afsterven gaan rotten en voor stankoverlast zorgen. Daarnaast produceren blauwalgen veel gifstoffen, zoals microcystines en neurotoxines, die gevaarlijk zijn voor dieren en mensen. De meest voorkomende symptomen zijn misselijkheid, huidirritaties en diarree, en in extreme gevallen sterfte. Hiervoor moet men dan wel de blauwalgen hebben opgedronken. Ook kan tijdens perioden van overmatige blauwalgengroei zuurstofloosheid optreden wat kan leiden tot massale vissterfte (Lurling & van Dam, 2009).

Jöhnk et al. (2008) berekenden dat een temperatuurverhoging van 1,9 °C (zoals in het geval van de extreme zomer van 2003) tot 385% meer blauwalgen leidde in de Nieuwe Meer, ten opzichte van een gemiddelde zomer.

Vissterfte

Toenemende watertemperatuur leidt tot verlaagde zuurstofconcentraties in het water. De meeste vissoorten zijn temperatuur-gelimiteerd (Figuur 3.20).



Figuur 3.20 Temperatuurseisen van een aantal, in Nederland voorkomende, vissoorten. Rode soorten zijn viseters, blauwe soorten bodemfauna-eters, paars een combinatie van vis en bodemfauna-eters en groene soorten eten bodemfauna en planten (uit: Kerkum et al. 2004)

Vooraf viseters zijn de dupe van verhoogde temperaturen, zeker in combinatie met een verminderde zuurstof concentratie. Bodemfauna-eters zoals karper en brasem hebben het minste last van hogere temperaturen. Dit zijn tegelijkertijd ook soorten die minder gewenst zijn in wateren vanuit het oogpunt van goede waterkwaliteit. Beide soorten woelen de bodem om en zorgen voor troebel water waardoor ander leven (behalve ongewenste algen) zich moeilijk kan ontwikkelen (Gulati et al. 2008). Wateren die als streefbeeld kijkwater of natuurwater hebben zijn niet gebaat bij deze soorten.

Bepaling van de mate waarin extra vissterfte optreedt als gevolg van droogte (en verhoogde temperatuur) is nog nooit uitgevoerd en voor zover bekend zijn er ook geen data om dit te kwantificeren.

Botulisme

Door het gif botuline, veroorzaakt door de bacterie *Clostridium botulinum*, sterven vooral watervogels en vissen. Deze bacterie kan zich enkel onder bepaalde omstandigheden vermenigvuldigen. De eisen zijn een eiwitrijk zuurstof-arm milieu (bijvoorbeeld dode karkassen in het water) en een watertemperatuur van minimaal 20 °C. In dode vissen of watervogels kan *C. botulinum* zich vermenigvuldigen en zijn eigen succes in stand houden (meer slachtoffers die op hun beurt weer een goed milieu zijn voor de bacterie). Het water waarin botulisme is geconstateerd raakt verontreinigd met het gif botuline.

Voor mensen is deze situatie ook gevaarlijk, maar dat komt niet door het botuline zelf (deze variant is namelijk niet gevaarlijk voor mensen) maar doordat er in de kadavers allerlei andere ziekteverwekkende bacteriën kunnen voorkomen (Informatiestandaard botulisme door dode waterdieren, 2011).

Het extra gevaar van botulisme en de schade hierdoor als gevolg van droogte is nog niet gekwantificeerd.

Overstortingen aan het eind van droge perioden

De gevolgen van excessieve regenval voor de waterkwaliteit van de regionale watersystemen na een extreem droge periode zijn groot. Zo is er vanaf het verhard oppervlak tijdelijk meer aanvoer van zware metalen, rubber, stof, olieresten, benzineresten en organisch materiaal

(vroegtijdige bladval). Daarnaast wordt vanuit de riolering tijdelijk meer rioleringsslib aangevoerd op de zuiveringsinstallatie. Bij stortbuien bestaat de kans op overstortingen. Door de periode van droogte bevindt zich in de riolering meer rioleringsslib waardoor de hoeveelheid vuil door overstort groter kan zijn dan normaal. Daarnaast bestaat de kans dat de capaciteit van het ontvangende oppervlaktewater door de droogte kleiner is dan normaal dan wel een slechtere kwaliteit heeft door de verminderde doorspoeling. Kortom: de negatieve gevolgen van een overstorting voor de waterkwaliteit kunnen groter zijn dan normaal (stank, grotere vuillast, zuurstofgebrek, sterfte waterorganismen).

Deskundigen op gebied van afvalwaterzuiveringen schatten in dat de gevolgen beperkt invloed hebben op het zuiveringsproces. Het zuiveringsproces verloopt tijdelijk minder optimaal maar dit komt ook in de normale bedrijfsvoering voor. Bovendien hebben de hierboven genoemde stoffen, afkomstig van het verhard oppervlak, geen bijzonder schadelijke effecten op het zuiveringsproces.

Maatregelen

Er zijn verschillende maatregelen en adaptatiemaatregelen voor de toekomst mogelijk:

1) Circuleren, water in beweging houden voorkomt het ontstaan van zuurstofloosheid en ophoping van vuil, bacteriën en blauwalgen. Dit zal in tijden van droogte wel moeilijk zijn want één van de methoden om doorstroming te creëren is het verbinden van watergangen met elkaar. Er kan echter mogelijk onvoldoende water zijn om dit te realiseren. Andere optie is dan om het aanwezige water te laten circuleren al kost dit wel veel energie. In vijvers kunnen fontein en aangelegd worden voor realisatie van waterbeweging en beluchting. Voor het streefbeeld kijkwater is dit ook een mooie aanvulling.

2) Verwijderen overtollige biomassa (van algen en planten) en dode dieren. Algen, kroos en waterplanten zoals waterpest kunnen tijdig verwijderd worden. Daardoor wordt onder andere voorkomen dat er zuurstofloosheid ontstaat en als gevolg daarvan stankoverlast en dode vissen. Tijdig verwijderen van dode dieren voorkomt botulisme.

3) Reductie nutriënten. Dit is vooral gericht op stikstof en fosfaat en is belangrijk om overlast door blauwalgen te voorkomen. Waterbeheerders doen al veel om de belasting vanuit landbouw of industrie te reduceren en het is maar de vraag of dit in de stedelijke omgeving nog verder omlaag kan. Meer perspectief is er dan bij:

4) Maatregelen in stadswater zelf. Daarbij moet gedacht worden aan baggeren en eventueel inbrengen van fosfaatbinders (Lurling & Faassen 2012).

5) Goede communicatie richting burgers is belangrijk. Een meldpunt voor het melden van overlast of van dode karkassen of ander vreemd materiaal in het water kan hierbij helpen. Verder dient afgeraden te worden honden dichtbij het water te laten poepen en eenden en vis te voeren, omdat dit kan leiden tot meer bacteriën en (vooral) overlast door blauwalgen (http://www.aanenmaas.nl/over_ons/service/nieuws/@215153/droogte/).

Kennishiaten

Waterkwaliteit in stedelijk gebied is een onderwerp dat tot nu toe vrij weinig aandacht heeft gekregen (en nog steeds niet krijgt). Duidelijk is dat de bruikbaarheid van het stedelijk water er ernstig door wordt beperkt. De processen die de schades veroorzaakt zijn redelijk bekend. Wat ontbreekt is vooral de analyse van wat er gebeurt met de waterkwaliteit in droge

perioden. Monitoringsdata zijn hier onvoldoende voor beschikbaar. Modellen kunnen hier deels een oplossing bieden, maar deze zijn op dit moment voor zover bekend nog niet uitgevoerd.

Verder bestaan er vooral kennishiaten rond het voorkomen (anticiperen) van die processen en welke maatregelen getroffen kunnen worden. Per schadesymptoom is hieronder aangegeven waar nog geen of te weinig kennis van is.

Aan blauwalgen is al veel onderzoek gedaan maar komen er ook steeds nieuwe vragen. De verwachting is dat met toenemende temperatuur meer stadswateren last zullen krijgen van blauwalgen. De laatste jaren duiken nieuwe soorten op, die voorheen niet in Nederland voorkwamen of slecht werden waargenomen. In 2011 bijvoorbeeld stierven in een paar dagen tijd een aantal honden nabij Almere als gevolg van een, voor Nederland, slecht beschreven blauwalgensoort (Phormidium). Waterschap de Dommel ging vervolgens op die blauwalg letten en deze bleek in verschillende stadswateren te zitten (in fonteinen). Deze soort is vrij onbekend en dus is meer onderzoek wenselijk aangezien het er naar uitziet dat hij algemener voorkomt in Nederland dan gedacht. Bij meer onderzoek moet je in dit kader dan vooral denken aan factoren die gunstig zijn voor Phormidium zoals temperatuur en voedingsstoffen. Frappant is dat deze soort helder water nodig heeft om te kunnen groeien wat strijdig is met doelstellingen voor verbetering van de waterkwaliteit. Moet je wel altijd helder water nastreven? En wanneer mag je baggeren of een sloot of vijver verschonen? Deze blauwalg zit normaliter op de bodem maar kan bij baggeren los raken en dus een gevaar vormen. Ook in stadswateren komen de laatste jaren ook andere soorten voor waar niet veel over bekend is: Woronichinia en Cylindrospermopsis (Lurling & van Dam 2009). Beide soorten zijn zeer giftig

Er is vrij veel bekend over temperatuurseffecten op verschillende vissoorten maar niet over zuurstofregimes (bijvoorbeeld wat is de minimale zuurstofconcentratie van een soort?). Ook is niks bekend over hoe de zuurstofconcentratie ten behoeve van vissen omhoog te brengen tijdens moeilijke perioden (Elshout et al. In press).

Stankoverlast ontstaat zoals gezegd doordat organisch materiaal wordt afgebroken en er anaerobe situaties ontstaan. Heel vaak is er een surplus van dat organische materiaal, zoals bedekking door kroos of drijfslagen van blauwalgen. Over die explosieve toename in biomassa en vooral hoe daar op tijd op in te spelen is weinig bekend.

Over botulisme is vrij veel bekend en ook wat je er tegen kunt doen.

3.2.4 Recreatie

Uit de verkenning van Nieuwbouw en Herstructurering worden op basis van 2 verkenningen (Burger en Van der Vat, 2007 en Witteveen + Bos e.a. (2006) en expertkennis de volgende conclusies getrokken op landelijke schaal:

- Jaarlijkse schade voor de recreant, toerekenbaar aan droogte: orde van grootte enkele tienduizenden euro's.
- Jaarlijkse schade voor de exploitant, toerekenbaar aan droogte: orde van grootte tienduizend euro.
- Totale jaarlijkse schade, toerekenbaar aan droogte: orde van grootte enkele tienduizenden euro's.
- Onzekerheidsmarge rond deze schattingen: vele tientallen %.

Schade die hierin is meegenomen zijn gedeelde inkomsten voor recreatie-exploitanten gericht op zon- en zwemrecreanten en extra reiskosten voor recreanten om elders te zonnen of zwemmen. Niet meegenomen schade aan vis- en vaarrecreatie geeft onderschatting. Ook bestaat er een aanzienlijke onzekerheid als gevolg van de bijdrage door droogte en definitie van “stedelijk” zwemwater.

Op basis van het lage risico en verwachting geen nieuwe relevante informatie aan te treffen is deze schade in dit literatuuronderzoek niet verder uitgewerkt.

Kennishiaat

De relatie tussen schade voor recreatie en watertekort is nog slecht bekend. De voorspelde omvang van schade is echter beperkt.

3.3 Waterbehoefte en waterverbruik

Het waterverbruik van stedelijk gebied in droge periodes is op lokale en op landelijke schaal zeer slecht bekend (Deltares, 2011 en Deltares 2012).

Het waterverbruik wordt met name bepaald door de verdamping van vegetatie (Paragraaf 3.1.1) en deels door verdamping van oppervlaktewater. Het drinkwaterverbruik wordt hier niet meegenomen, omdat drinkwater doorgaans wordt aangevoerd van buiten het stedelijk gebied en geloosd wordt op het regionale watersysteem. Het waterverbruik wordt gezien als de actuele watervraag.

Daarnaast kan een (gefundeerde) waterbehoefte worden gedefinieerd. Dit is de hoeveelheid water die nodig is om schade te voorkomen. Deze is moeilijk te bepalen omdat er dan inzicht moet zijn in de inrichting van het stedelijke systeem en werking van het hydrologische systeem. Hier is op dit moment onvoldoende inzicht in.

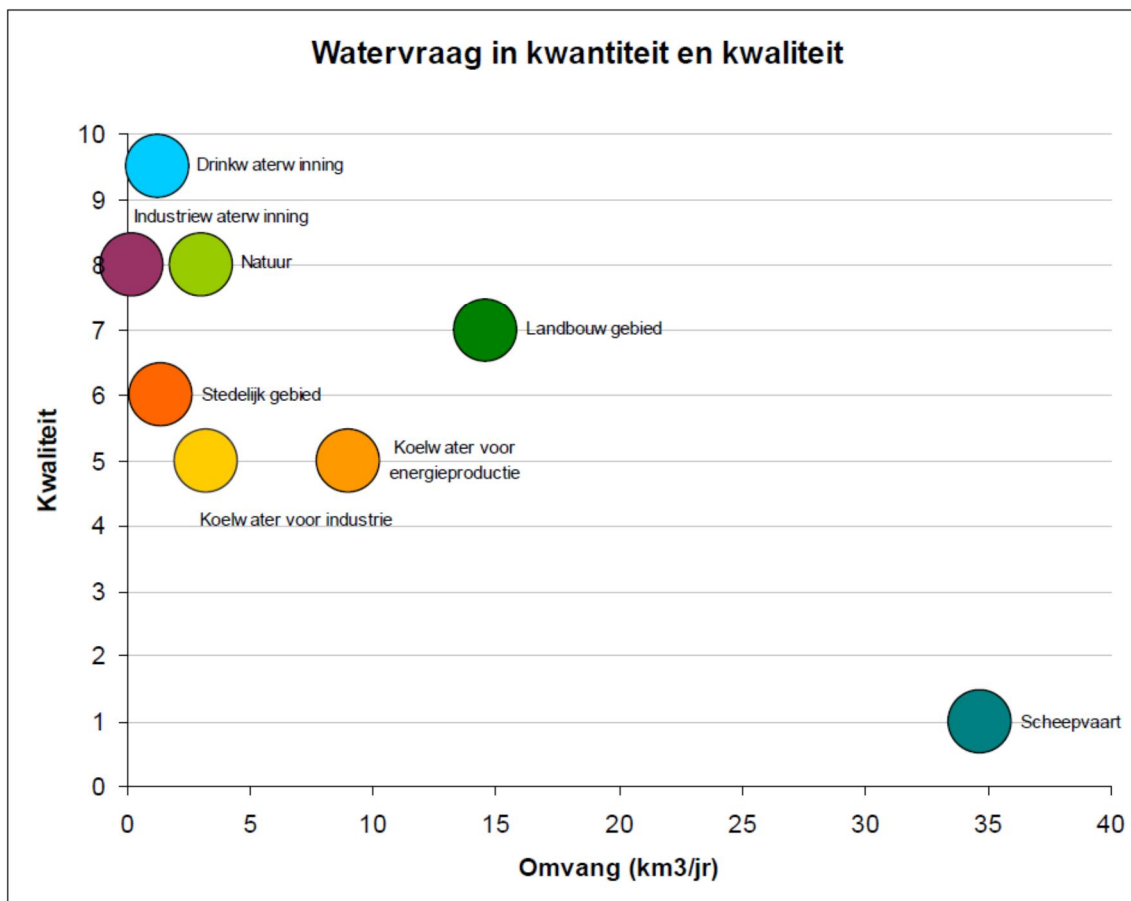
De lokale watervraag is ook in de studie “Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied” voor het Programma Nieuwbouw en Herstructurering (Deltares, 2012) als voornaam kennishiaat erkent. Momenteel wordt er in een vervolgstudie de watervraag indicatief bepaald op basis van een waterbalans model.

Voor de verkenning zoetwatervoorziening (Deltares, 2011) is een globale raming opgesteld op landelijke schaal voor de watervraag die met verdamping is gemoeid. De watervraag voor doorspoeling is hierin niet verdisconteerd. De verdamping in steden blijkt uit metingen circa 320 mm te bedragen in een gemiddeld meteorologisch jaar. Dit is minder dan in het landelijk gebied (ca. 500 mm/jaar). Op basis van het oppervlak aan stedelijk gebied in Nederland (16%), waarvan naar schatting 45% bestaat uit water en groenvoorziening, kan een schatting worden verkregen. Als de verdamping van de vegetatie gelijk wordt gesteld aan die in het landelijk gebied bedraagt de totale watervraag voor verdamping in voor stedelijk gebied in Nederland circa 1,5 km³ in een gemiddeld meteorologisch jaar.

Vervolgens is de watervraag van stedelijk gebied vergeleken met de andere functies, waarbij de absolute kwantiteitsvraag hier is opgevat als: hoeveel is nodig voor een functieervulling, los van waar het water vandaan komt: van boven, van onder, of uit het hoofdsysteem? Als we die vraag uitdrukken in kubieke kilometers kan dat in een grafiek worden gezet om een indruk te krijgen van de verhoudingen (Figuur 3.21). De lastigste sector is dan de scheepvaart: die verbruikt namelijk geen water. Dan is de vraag zeer gering. Maar zonder flinke rivierafvoer is er onvoldoende vaardiepte op de Rijn.

Verder stellen de functies/ sectoren nog eisen aan de kwaliteit. Daar is in deze studie – alleen ter oriëntatie – een ‘rapportcijfer’ voor gegeven (Figuur 3.21). Ook dat is lastig, want het gaat

om zeer veel verschillende kwaliteitsparameters: zout, algen, gifstoffen, etc. Dat neemt niet weg dat je ook in vies water kunt varen, ook in zout water kunt vissen (je vangt alleen wat anders), je een 7-tje wilt om goed te kunnen boeren, maar men voor drinkwater toch wel een 9,5 eist. In dat cijfer is ook verdisconteerd dat natuur, bijvoorbeeld, hoge eisen stelt aan het grondwaterpeilregime.



Figuur 3.21 Indicatief overzicht van de watervraag van sectoren/ landgebruikfuncties in kubieke kilometers per jaar voor een gemiddeld jaar, en van hun kwaliteitseis (rapportcijfer) (Deltares, 2011).

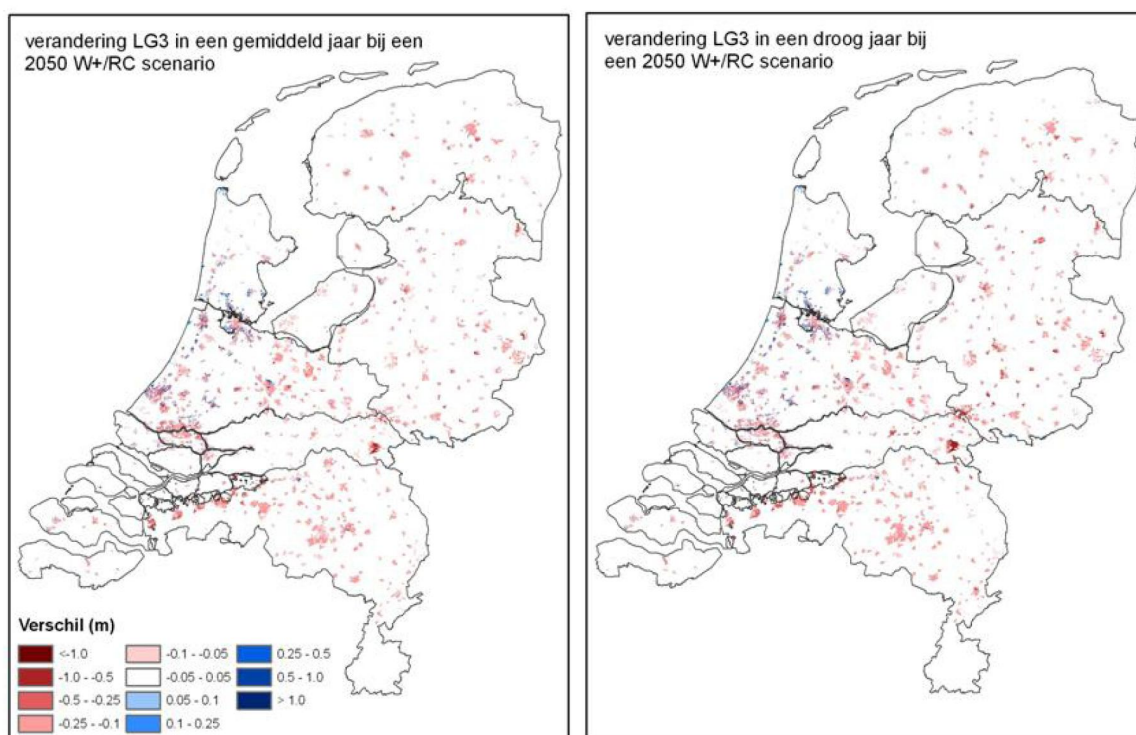
Ook is een geografische analyse gemaakt van waar grondwaterstanddaling door klimaatverandering overlapt met stedelijk gebied. Daarbij is gebruik gemaakt van de met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI 2.1) berekende daling van de laagste grondwaterstanden in een gemiddeld jaar en een droog jaar (Figuur 3.22). Hierbij dient aangetekend te worden dat de schematisatie in het NHI zeer sterk vereenvoudigd is, waardoor de voorspellende waarde beperkt is.

De kaarten laten zien dat de grondwaterstanden in bestaand stedelijk gebied in 2050 in scenario W+ in het zomerhalfjaar enkele decimeters kunnen dalen ten opzichte van de huidige situatie. Dit zijn dalingen die groter zijn dan de huidige verschillen tussen een gemiddeld en een droog jaar.

De dalingen zijn het grootst in steden op de hoge zandgronden, zoals in Twente, de Nijmeegse stuwwal, de Utrechtse Heuvelrug en in Brabant. Dat zijn steden op zandgrond, waar de gevolgen van grondwaterstanddaling beperkt zullen blijven. Maar de grondwaterstanden dalen ook meer dan een decimeter in Laag-Nederland, zoals in Rotterdam, Dordrecht, Delft, Leiden, Amsterdam, Gouda, Woerden, Hoorn, Leeuwarden en

Groningen. In steden met een slappe bodem zullen deze dalingen onherroepelijk leiden tot verdere bodemdaling.

Afsluitend wordt geconcludeerd dat stedelijke functies sterk afhankelijk zijn van de juiste condities. De schade kan groot zijn als er onvoldoende water of water van onvoldoende kwaliteit beschikbaar is. Maar de mogelijke schade is nooit goed gekwantificeerd. Daarenboven biedt een groter aanbod en/of een betere kwaliteit van stedelijk water nieuwe kansen voor economische activiteiten; kansen die nu blijven liggen.



Figuur 3.22 Verskil tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand (LG3) in scenario W+/RC in 2050 en die in de huidige situatie in bestaand stedelijk gebied (Deltares, 2011).

Kennishiaten

Het watergebruik van stedelijke gebieden in droge perioden is zeer beperkt onderzocht. Grote onbekende in hierin vaak het de hoeveelheid verdamping Paragraaf 3.1.1. Doordat ook de hoeveelheid inlaatwater slecht bekend is, is deze verdamping ook niet te verkrijgen uit de waterbalans.

Metingen zijn in stedelijk gebied zeer beperkt. Aan vegetatie wordt vrijwel nooit gemeten in stedelijk gebied en ook inlaatwater wordt zelden gemonitord. Het meest gemeten zijn grondwaterstanden. Deze zijn in combinatie met een geohydrologisch model om te zetten naar fluxen.

Door het opstellen van een waterbalans van stedelijk gebied kan inzicht worden verkregen in de verschillende waterfluxen die het stedelijk gebied in en uitgaan. Deze balans beïnvloedt ook de waterkwaliteit en dus de bruikbaarheid van het water, maar daarover is vrijwel niets bekend, ook niet in het buitenland.

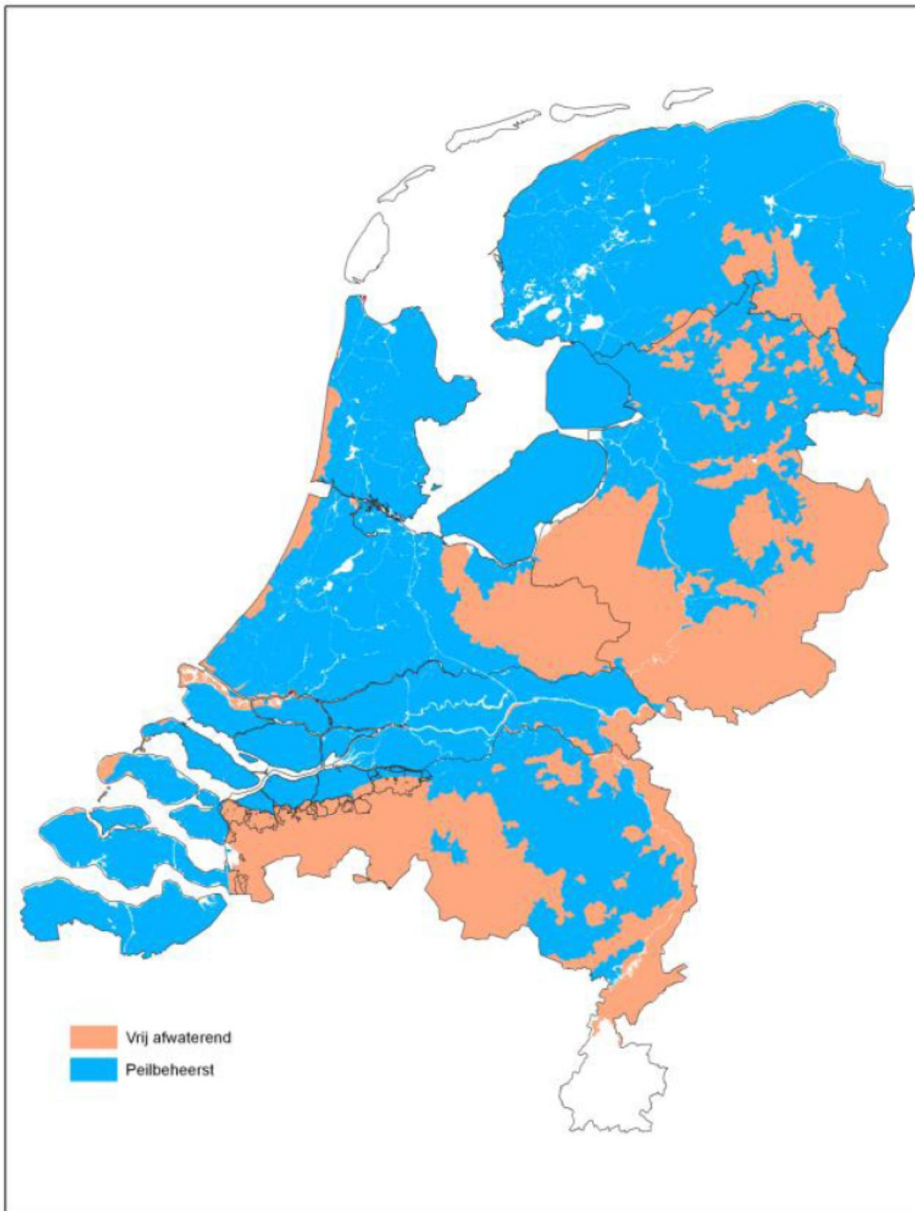
3.4 Wateraanvoer

Voor wateraanvoer wordt hier onderscheid gemaakt tussen wateraanvoer naar de stad vanuit het regionale watersysteem en waterverdeling binnen de stad.

3.4.1 Water aanvoer naar de stad

De wateraanvoer naar de stad wordt hier slecht kort toegelicht, omdat dit watersysteem slechts beperkt deel uitmaakt van het stedelijk watersysteem. De zoetwatervoorziening in Nederland is onderdeel van het Deltaprogramma en een eerste verkenning heeft plaatsgevonden in 2011 (Deltares, 2011).

Figuur 2.1 geeft een overzicht van het gebied in Nederland dat peilbeheerst is. Dit deel van Nederland kan vrijwel altijd van oppervlaktewater worden voorzien. Knelpunten in de zoetwatervoorziening, zijn in deze studie onderkend.

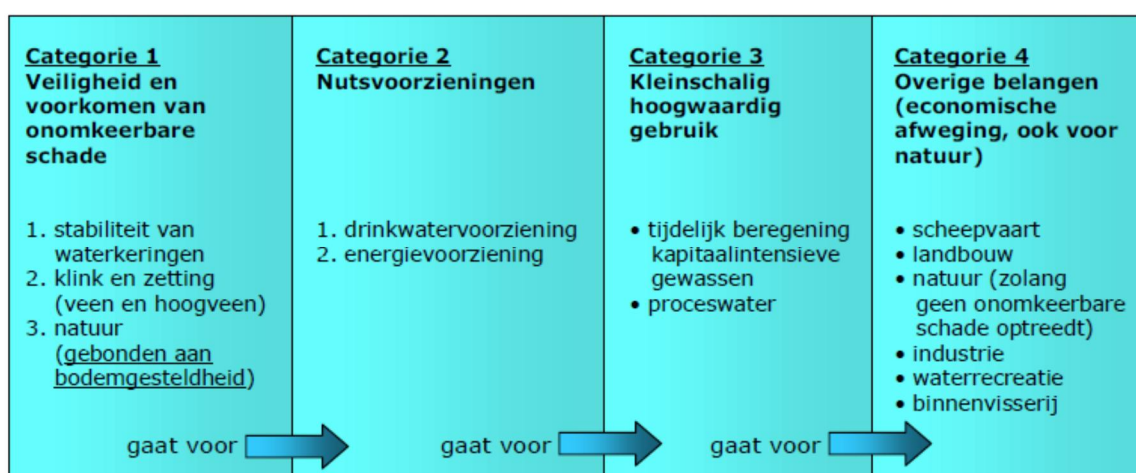


Figuur 3.23 Indeling van Nederland in peilbeheerste en vrij afwaterende gebieden (LSW's) (Deltares, 2011)

Wateraanvoer naar de stad vindt met name plaats vanuit het regionale hoofdwatersysteem (Figuur 2.2). Middels inlaten (en eventueel gemalen) wordt water ingelaten in het stedelijk watersysteem. Inlaten worden doorgaans niet of slecht bemeten waardoor de het onbekend is hoeveel water er wordt ingelaten.

De stedelijke watervraag vormt in de Deltares (2011) studie een kennishiaat: “Stedelijk gebied wordt zelden als afzonderlijke watervrager geïdentificeerd, behalve in het geval van enkele grote steden (Amsterdam, Rotterdam). Meestal wordt meegelift met het regionaal waterbeheer en wordt de vraag verdisconteerd in regionale watervragen voor doorspoeling en peilbeheer. Gezien de grote belangen kan wel van een grote afhankelijkheid van dit waterbeheer worden gesproken, met name in laag Nederland.

De watervraag van stedelijk gebied staat niet letterlijk in de verdringingsreeks. Deze komt terug in stabiliteit van waterkeringen en het voorkomen van klink en zetting. De watervraag voor vegetatie, en voorkomen van schade door paalrot en vegetatie komen niet voor in de verdringingsreeks.



Figuur 3.24 Landelijke verdringingsreeks (www.droogtestude.nl)

Kennishiaten

Wateraanvoer naar het stedelijk watersysteem gebeurt vanuit het regionale watersysteem. De probleemanalyse van wateraanvoer in dit systeem is onderdeel van het Deltaprogramma. Hierin is gebleken dat het waterverbruik en gefundeerde watervraag van stedelijk gebied slecht bekend is, maar naar verwachting door het beperkte stedelijk oppervlak en lage verdamping een kleine balanspost is. In sterk verstedelijkte gebieden zou deze wel significant kunnen zijn en kan een beter inzicht in de vraag wenselijk zijn.

3.4.2 Waterverdeling binnen de stad

Waterverdeling binnen de stad vindt veelal plaats via het oppervlaktewater en in beperkte mate door drainage-infiltratie systemen.

De meeste schades als gevolg van droogte treden op als gevolg van de te lage grondwaterstanden en veelal niet naast het oppervlaktewater. Het oppervlaktewater systeem is bij voldoende inlaatwater in staat het oppervlaktewater overal in het stedelijk gebied op het gewenste peil te houden. De mogelijkheid tot aanvulling van het grondwater is door de vaak lage stroomsnelheid beperkt.

Een belangrijke regulerende factor is het peil in het oppervlaktewater. Peilvariatie in het oppervlaktewater werkt door op de grondwaterstand via:

- directe doorwerking, zijwaarts vanuit het oppervlaktewater naar het freatisch watervoerende pakket.
- een dieper gelegen watervoerend pakket, en vervolgens opwaarts naar de deklaag waarin zich de freatische grondwaterstand bevindt.

In welke mate deze doorwerking plaats heeft is voor stedelijk gebied nauwelijks onderzocht in relatie tot droogte.

Kennishiaat

Voor waterverdeling binnen de stad bestaat wordt het belangrijkste kennishiaat gevormd door de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater. Omdat te verwachten is dat in laag Nederland het oppervlaktewater overal op peil gehouden kan worden zodra er water beschikbaar is in het regionale water systeem is vooral van belang in welke mate het grondwater is te sturen door peilhandhaving van het oppervlaktewater.

4 Conclusies

Voorafgaand aan het onderzoek gaven verschillende experts op basis van hun kennis aan dat er weinig bekend is over droogte in stedelijk gebied. Dit beeld is in dit literatuuronderzoek bevestigd. Informatie over droogteschade, schadegevoeligheid, verdamping, watervraag en watervoorziening mogelijkheden en beperkingen is slechts mondjesmaat te vinden in de literatuur. In een studie die deels hieraan voorafgaand heeft plaatsgevonden voor het deelprogramma Nieuwbouw en Herstructurering van het Deltaprogramma op landelijke schaal zijn wel de risico's geïventariseerd van droogte in stedelijk gebied (Deltares, 2012). Daarin is vooral de kwetsbaarheid van het stedelijk gebied bepaald. Dit onderzoek is meer gericht op de relevante processen bij droogte en op de kwantificering hiervan.

Waterbehoefte

Vegetatie is de grootste verbruiker van water in het stedelijk watersysteem. Naar het waterverbruik van stedelijke vegetatie in gematigde klimaatzones is weinig onderzoek gedaan; al wel is aangetoond dat een plant of boom in stedelijk gebied potentieel meer verdampt dan vegetatie in landelijk gebied. Er is een gebrek aan zowel geschikte metingen als modellen. Over het optreden van schade aan stedelijke vegetatie (openbaar groen en particuliere tuinen) door droogte is weinig bekend, zeker niet voor de Nederlandse situatie.

Grondwaterdaling speelt een grote rol bij het optreden van veel van de schades als gevolg van droge omstandigheden zoals: schade aan vegetatie, funderingsschade, schade aan infrastructuur (kabels, leidingen, wegen en rails), bodemdaling, verstopping van drainagebuizen en versterking van hittestress door verminderde verdamping.

Er zijn twee studies bekend waarin lokale effecten van meteorologische droogte op de grondwaterstand zijn onderzocht. Mede uit een verkennende analyse die voor dit onderzoek is uitgevoerd, blijkt dat de huidige meetnetten vaak niet geschikt zijn voor dergelijke analyses door de lage meetfrequentie en door de plaatsing van de peilbuizen.

Over de snelheid van optreden van funderingsschade bij droogstand en met name paalrot is wel het een en ander bekend. Wáár schade optreedt, is minder over bekend omdat het sterk afhangt van lokale omstandigheden. Dit is vooral een datahiaat. De herstellkosten zijn zeer hoog waardoor dit probleem op basis van eerder onderzoek als ernstig wordt bestempeld.

Over het proces van bodemdaling wordt steeds meer bekend. Analyses van en metingen aan bodemdaling in stedelijk gebied zijn echter niet voor handen en vooral analyses van seizoensinvloeden en klimaatprojecties ontbreken.

Er zijn geen of nauwelijks schades door (ongelijke) zettingen aan infrastructuur bekend, behalve bij slecht bouwrijp gemaakte wijken. Gegevens van leidingnetbedrijven zijn niet beschikbaar. Het probleem wordt daarom voorlopig als niet ernstig beschouwd.

Verstopping van drainage buizen door oxidatie van ijzer als gevolg van het uitzakken van de grondwaterstand kan een probleem worden. Hierover is erg weinig bekend. Het probleem kan bij aanleg beperkt worden door de drainagebuizen voldoende diep aan te leggen.

Hittestress en het urban heat island wordt verergerd door droogte doordat er minder water beschikbaar is voor verdamping. De schaderamingen lopen sterk uiteen, maar het effect op de gezondheid is aantoonbaar negatief.

Over de waterbehoefte voor peilbeheer van het oppervlaktewater in stedelijk gebied is weinig bekend. Uit eerdere schattingen (Deltares, 2011) lijkt deze beperkt. Over schade aan woonschepen door peildaling is weinig bekend. Mogelijke schades zijn alleen opgetreden bij woonboten bij rivieren. De te verwachten schade zal beperkt zijn.

Over de processen die de waterkwaliteit bij droogte en hitte beïnvloeden is redelijk veel bekend. Monitoring en (model)analyses om droogte effecten te bepalen zijn echter nog niet uitgevoerd. Dit wordt als potentieel redelijk ernstig probleem beschouwd. Niet zozeer vanuit economisch oogpunt, maar wel vanuit de publieke opinie, regelgeving en volksgezondheid.

Er hebben verschillende inventarisaties plaatsgevonden om de schade aan recreatie door slechte waterkwaliteit te kwantificeren. Dit wordt niet als ernstig probleem beschouwd.

Wateraanvoer

De mogelijkheid tot wateraanvoer naar de stad is vooral een datahiaat. Water wordt vaak via allerlei inlaten stedelijk gebied ingelaten. Het debiet van de inlaten wordt veelal niet gemeten. Dit zorgt ervoor dat de watervraag van de stad slecht bekend is.

Tabel 4.1 Samenvatting van beschikbare kennis, data en analyses naar droogte effecten in stedelijk gebied op basis van literatuur en expertkennis.

Proces/schade	Beschikbare proces kennis	Beschikbare data	Beschikbare Analyse	Geschatte ernst
Vegetatie	Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	Redelijk
Grondwaterdaling	Onvoldoende	Matig	Onvoldoende	N.v.t.
Funderingen	Voldoende	Wisselend	Wisselend	Hoog
Bodemdaling	Redelijk	Onvoldoende	Onvoldoende	Redelijk-hoog
Infrastructuur (door ongelijke bodemdaling)	Weinig	Onvoldoende	Onvoldoende	Laag (potentieel redelijk)
Verstopping drainage buizen	Matig	Onvoldoende	Onvoldoende	Onbekend
Hittestress	Groeiend	Groeiend	Groeiend	Redelijk-hoog
Peilbeheer	Weinig	Weinig	Weinig	Laag
Schade aan woonschepen	Weinig	Weinig	Weinig	Laag
Oppervlaktewater kwaliteit	Voldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	Redelijk
Recreatie	Voldoende	Beperkt	Voldoende	Laag

Om de ernst en urgentie van toename van meteorologische droogte problematiek in stedelijk gebied goed in te kunnen schatten lijkt te weinig kennis beschikbaar.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt al wel het volgende geconcludeerd met betrekking tot (redelijk) ernstige schades:

- Daar waar nu al problemen optreden als gevolg van te lage grondwaterstanden of daar waar de waterkwaliteit nu al slecht is zullen de problemen bij extremere droogte ernstiger worden.
- Een aantal belangrijke schades treden vooral op door de huidige inrichting van stedelijk gebied en in mindere mate door toename van meteorologische droogte als gevolg van klimaatverandering.

- Met name grondwaterdaling door lekke, drainerende riolen veroorzaakt schade aan houten paalfunderingen.
- Schade door bodemdaling wordt mede veroorzaakt door de gehanteerde drooglegging als ook door het diep uitzakken van het grondwater in droge perioden. Droogte heeft vooral een desastreus effect in gebieden met veen aan of nabij het oppervlak, waarbij veenoxidatie kan optreden door droogstand.
- Verstopping van drainagebuizen wordt met name veroorzaakt door een te ondiepe ligging van de drainage, waardoor ze niet permanent met water gevuld zijn.
- Schade aan vegetatie (openbaar groen en op particulier terrein) zal vooral in infiltratiegebieden toenemen bij toename in meteorologische droogte. De mate waarin dit gebeurt, is niet bekend. Datzelfde geldt voor hittestress door afgenomen verdamping van vegetatie.
- Schade door een slechte waterkwaliteit en aan (particuliere) vegetatie kan door publieke opinie urgent worden.

5 Vertaling naar Regionale/Rotterdamse Adaptatie Strategie (RAS)

In een workshop met wetenschappers en medewerkers van de gemeente Rotterdam en de Waterschappen Schieland-Krimpenerwaard en Hollandse Delta en Hoogheemraadschap Delfland zijn de conclusies en kennishiaten gepresenteerd en bediscussieerd, specifiek gericht op de case Rotterdam-Noord. Hierbij is in gedachten gehouden dat generieke problemen voor Rotterdam die niet in Rotterdam-Noord spelen wel aan bod moesten komen. Het is van belang op te merken dat bij grote gemeentes als Rotterdam veel relevante kennis aanwezig is voor tijdige adaptatie, maar dat dit bij veel kleinere gemeenten vaak in minder mate het geval is. Overdracht van kennis rond klimaatverandering kan daardoor worden bemoeilijkt.

Schades door droogte

Paalrot van houten paalfunderingen wordt veroorzaakt door het dalen van het grondwaterpeil tot onder het niveau van de paalkop. Momenteel wordt dit naar verwachting vooral veroorzaakt door lekke, drainerende riolen en niet zozeer door meteorologische droogte. De kwetsbaarheid van funderingen vormt een groot potentieel risico voor Rotterdam.

Zetting wordt vooral veroorzaakt door drooglegging en wordt in beperkte mate versterkt door het uitzakken van het grondwater in droge perioden (diepte van het grondwater onder maaiveld). Ook zetting kan versneld worden door het dalen van grondwaterpeilen door lekke drainerende riolering. Dit laatste is niet onderzocht.

Schade aan wegen en leidingen door (ongelijke) bodemdaling kan theoretisch een groot risico vormen door de grote investeringen hierin en het veiligheidsrisico in het geval van schade aan het gasleidingnet. Vanuit praktijk en literatuur zijn hier (behalve bij onvoldoende voorbelaste nieuwbouwwijken met extreme restzetting) geen meldingen over bekend.

Over slechte waterkwaliteit als gevolg van droogte is weinig bekend. Er wordt verwacht dat droogte, vooral in combinatie met temperatuurstijging, leidt tot meer waterkwaliteit problemen. Locaties waar door een slechte waterkwaliteit nu al overlast optreedt, zullen de problemen erger worden.

Voor groenvoorziening is in de huidige situatie geen sprake van problemen. Op openbaar terrein behoeven alleen jonge aanplant en verplante vegetatie irrigatie in lange droge periodes. In particuliere tuinen worden vaak alle planten besproeid. Bij toenemende droogte zal de irrigatiebehoefte toenemen.

Naast het financiële risico kan ook de kwaliteit van de leefomgeving in gevaar komen wat moeilijk in geld is uit te drukken, maar door veelvuldige klachten wel als urgent kan worden ervaren. Verdorring van vegetatie (in openbaar of particulier groen) is een zichtbare schade die de waardering van de groenvoorziening en recreatie beïnvloedt. Ook stankoverlast van en drijfvlagen op oppervlaktewater vallen hieronder. Dit kan een reden zijn om hiertegen toch maatregelen te nemen.

Schaalniveau

Schades zullen meestal locatiespecifiek zijn. In inzigtgebieden, zoals Rotterdam-Noord, zakt het grondwater dieper uit, door wegzijging naar de diepere ondergrond en nabijgelegen polders. Dit kan leiden tot een versterkt droogte effect ten opzichte van kwelpolders.

Op een lager schaalniveau wordt de schade aan funderingen bepaald door de grondwaterstand onder het huis en type fundering en eventuele hoogte van houten paalkoppen. Hoe het grondwaterpeil ruimtelijk varieert binnen de straat, zoals door de aanwezigheid van grote bomen is onvoldoende bekend. Door deze onbekendheid is een opschaling naar wijkniveau lastig.

Om tot een uitgewerkte adaptatiestrategie te komen voor de stad Rotterdam zal meer locatiespecifieke data verzameld moeten worden. Het gaat hierbij om ondermeer bodemopbouw, grondwaterstand(dynamiek) en bodemdaling, als ook om schadegevoeligheid van gebouwen, infrastructuur, groen en bewoners als gevolg van droogte.

Droogte en meteorologische droogte

Dit onderzoek heeft geen antwoord gegeven op de vraag hoe groot het effect van klimaatverandering is op droogteproblemen in stedelijk gebied. Het lijkt erop dat de grondwatergerelateerde schades (paalrot, bodemdaling en vershilzetting) vooral bepaald worden door de huidige inrichting van het stedelijk gebied:

- Paalrot wordt momenteel meer beïnvloed door drainerende lekken riolen dan door het extra diep uitzakken van het grondwater in een droge periode.
- Door de gehanteerde drooglegging van meer dan 1 m gedurende het hele jaar heeft de drooglegging voor Rotterdam-Noord de eerste decennia nog een groter effect op de bodemdaling en vershilzetting dan het extra diep uitzakken van het grondwater in een droge periode. Droogte verergert de bodemdaling wel, zeker in veengebieden waar veenoxidatie optreedt als gevolg van droogstand.
- De watervraag van vegetatie zal toenemen door een toename van verdamping door een hogere luchttemperatuur als gevolg van klimaatverandering. Rotterdam heeft een vergroeningsstrategie, maar tegelijkertijd zal hierdoor ook de watervraag door vegetatie toenemen. Gecombineerd met een afname in neerslag zorgt dit voor een groter neerslag tekort.

Veel oude wijken zoals Rotterdam-Noord zijn als gevolg van de huidige inrichting op het gebied van droogte zonder ingrijpen momenteel niet duurzaam ingericht en daarmee beperkt toekomstbestendig. Het effect van klimaatverandering zal dit verergeren.

Ontwikkelingen

Rotterdam is begonnen met het vervangen drainerende lekke riolen op locaties waar een groot risico bestaat voor schade aan rioleringen. Hierdoor zal de blootstelling voor met name paalrot en in mindere mate bodemdaling afnemen. Dit lijkt effectief, maar de monitoring is te beperkt om deze conclusie te onderbouwen.

Het telkens opnieuw ophogen van wegen tot aanleg niveau is effectief om de maaiveld daling als gevolg van bodemdaling tegen te gaan, maar mogelijk niet efficiënt. Binnentuinen zakken wél waardoor deze steeds natter worden. Dit leidt uiteindelijk tot een onwenselijke situatie inclusief het risico op het omvallen van bomen door afstervende boomwortels.

Rotterdam streeft naar vergroening van de stad, wat zorgt voor een grotere verdamping. Hoe dit uitwerkt op de waterbalans en watervraag is onduidelijk. Hierdoor is ook de mate van grondwaterstanddaling en daarmee de schade aan houten funderingen, bodemdaling en

vegetatie niet bekend. Bij voortzetting van huidig beleid ten aanzien van de waterhuishouding treedt dus zondermeer schade op die bovendien wordt versneld door droogte.

Maatregelen om blootstelling te beperken

Hoe ingrijpen

Momenteel is er vanuit de gemeente geen adaptatiestrategie op het gebied van droogte. Om het stedelijk systeem robuuster te maken zijn adaptatiemaatregelen nodig.

Hierbij kan ingegrepen worden op de kwetsbaarheid en op de blootstelling.

Ingrijpen op de kwetsbaarheid kan een dure oplossing zijn als het gaat om het vervangen van houten paalfunderingen en vegetatie. In het geval van nieuwbouw en herstructurering worden betonnen paalfunderingen gebruikt welke ongevoelig zijn voor droogte. Bij nieuwe aanplant van vegetatie kunnen droogte bestendigere soorten geplant worden.

Ingrijpen in de blootstelling wordt door sommige beleidsmedewerkers van de gemeente ervaren als risico, omdat in hun beleving bij ingrijpen in het watersysteem de gemeente verantwoordelijk wordt voor het functioneren van het systeem. Adaptatie maatregelen zullen overigens deels vallen onder het mandaat van het waterschap.

Wanneer ingrijpen

Veel schades door droogte zoals paalrot, bodemdaling, ongelijk zetting en veenoxidatie uiten zich na een lange periode van opeenvolgende droogtes. Hierdoor wordt de urgentie om in te grijpen door burgers en bestuurders veelal niet gevoeld. Andere schades zoals aan vegetatie kunnen wel instantaan optreden door droogte; na 1 jaar droogte of door een beperkt aantal opeenvolgende droogtes.

No- of low-regret maatregelen kunnen nu al genomen worden. Maatregelen om de blootstelling te verminderen zijn gericht op het vasthouden van water en aanvulling van grondwater. De maatregelen komen veelal overeen met de voorkeursstrategie uit het omgaan met neerslagafvoer: vasthouden, bergen en pas als het niet anders kan afvoeren. Maatregelen die hieraan bijdragen:

- Minder gesloten verhardingen waardoor infiltratie naar grondwater toeneemt. Dit leidt tot een iets nattere situatie met hogere grondwaterstand voorafgaand aan de droogte. De nattere situatie zal meestal beperkt worden door het 'aftoppen' van de grondwaterstand door aanwezige drainage.
- Om grondwater aan te vullen kunnen ook infiltratie voorzieningen worden aangelegd. De effectiviteit van de infiltratievoorziening in de droge periode zelf is beperkt, dus is deze met name gericht op het creëren van een bodemvocht en grondwater buffer.
- Het vasthouden van grondwater kan ook gestuurd worden middels het oppervlaktewaterpeil, wellicht in combinatie met het intensiveren van het drainage systeem. Grondwateroverlast moet voorkomen worden.
- Gebruik van meer en beter vochtvasthoudende grond (humeuze en siltige grond in plaats van zand maar) waarin planten en bomen beter kunnen wortelen en het verbeteren van bodemstructuur voor betere infiltratie en water retentie.
- Aanleg van infiltratie leidingen vanuit oppervlaktewater en regelbare drainage om grondwater vast te houden of aan te vullen. Dit vergroot de watervraag van stedelijk gebied doordat er meer oppervlaktewater infiltreert naar de bodem en vegetatie door kan gaan met verdampen doordat er water beschikbaar blijft.

Infiltratie voorzieningen, doorlatende verhardingen en het opzetten van het oppervlaktewaterpeil zorgen vooral voor een betere uitgangspositie voordat de droogteperiode begint. Infiltratieleidingen kunnen zorgen voor wateraanvoer gedurende de droge periode. De effectiviteit van deze maatregelen is nog slecht bekend en vergt verder onderzoek.

6 Richtingen voor vervolgonderzoek

Op basis van dit onderzoek zijn vier richtingen voor vervolgonderzoek gedefinieerd:

- 1 *Effect van vegetatie op de water- en energiebalans;*
- 2 *Grondwater;*
- 3 *Kwetsbaarheid;*
- 4 *Maatregelen.*

De eerste onderzoeksrichting is een tamelijk fundamenteel kennishiaat waar uitgebreider onderzoek voor nodig is.

De andere drie richtingen zijn bepaald vanuit de ernst van mogelijke schades en mogelijkheid om snel vooruitgang te boeken qua kennis ontwikkeling. De invulling van de richtingen is vormgegeven in samenspraak met de gemeente Rotterdam, om te zorgen voor relevante input voor de Rotterdamse/Regionale Adaptatie Strategie. Uitkomsten van dit onderzoek zullen locatie-specifiek zijn wat betreft de data. Het inzicht in processen wordt hiermee wel vergroot en is generiek.

1 Effect van vegetatie op de water- en energiebalans

Zoals beschreven in sectie 3.1.1 is vegetatie samen met drinkwatergebruik de grootste watervrager in stedelijk gebied. Geconstateerd is dat er onvoldoende bekend over de effecten van advectie van warmte op de verdamping van vegetatie in de stad. Dit zorgt ervoor dat straatbomen en grasperken relatief meer verdampen dan vegetatie buiten de stad. Urbane modellen lijken te focussen op de atmosferische uitwisselingsprocessen en bovengrondse energiehuishouding, Modellen waarin ook de stadshydrologie wordt meegenomen zijn erg schaars. Op dit gebied zou met behulp van metingen en modelontwikkeling veel generieke kennis over het stedelijk microklimaat in relatie tot vegetatie en oppervlaktewater verkregen kunnen worden.

2 Grondwater

Grondwater speelt een cruciale rol in het ontstaan en het voorkómen van de meeste schades in stedelijk gebied als gevolg van droogte. Belangrijke schades zijn:

1. Paalrot van houten paalfunderingen;
2. Schade door bodemdaling, ongelijke zettingen en veenoxidatie;
3. Hittestress;
4. Droogteschade aan vegetatie.

Deze schades treden op bij een niet optimale inrichting en onvoldoende onderhoud en kan verergerd worden door meteorologische droogte.

Hoe snel het grondwaterpeil daalt in periodes van droogte, waar en hoe diep het grondwater uitzakt, is slecht bekend. Dit komt door een gebrek aan analyses en geschikte meetdata.

Er zijn verschillende mogelijkheden om meer grip te krijgen op grondwater in stedelijk gebied:

1. Grondwatermetingen;
2. Waterbalans;
3. Grondwater model.

Ad 1 Er zijn vrijwel geen geschikte metingen in stedelijk gebied. De ruimtelijke en temporele resolutie van de beschikbare metingen is erg laag. Hierdoor is het vrijwel onmogelijk om verschillende relevante hydrologische effecten van lekkende riolen, droogte, wegcunetten, bomen en slecht doorlatende tuinen op basis van huidige metingen te ontrafelen. Door Waternet is recentelijk een studie hiernaar gedaan op basis van de bestaande meetreeksen. Om een beter inzicht te krijgen in grondwaterdynamiek kunnen op een aantal locaties meetnetten ingericht worden op straatniveau, met een hoge ruimtelijke en temporele resolutie.

Ad 2 Waterbalans. Dit is een vereenvoudigde aanpak die voortbouwt op de metingen van grondwaterstanden, neerslag, straling, wind en luchtvochtigheid. Hierbij wordt een grovere benadering gekozen dan in een grondwater model. Dit type model is relatief snel op te zetten en alle fluxen kunnen hierin gemodelleerd worden. Op relatief eenvoudige wijze kan zo grofstoffelijk de effectiviteit van verschillende adaptatiemaatregelen bepaald worden.

Ad 3 Om een beter inzicht te krijgen in grondwaterdynamiek is een grondwatermodel nodig. De huidige grondwatermodellen zijn niet geschikt voor het modelleren van droogte in stedelijk gebied. Dit komt door de grove resolutie de bestaande modellen in combinatie met de zeer heterogene opbouw van de stedelijke bodem en ondergrond. Wegcunetten, rioolsleuven, infiltratievoorzieningen, bomen en slecht doorlatende wegverhardingen en slecht doorlatende tuinen zijn in bestaande modellen niet geschematiseerd, terwijl juist de lokale grondwaterstand en stroming van belang zijn.

3 Kwetsbaarheid

De kwetsbaarheid van stedelijk gebied voor extreme droogte wordt bepaald door lokale omstandigheden. Een lokale uitwerking van deze schades geeft daarom inzicht in de kwetsbaarheid van de stad. Voor een stad kunnen kaarten gemaakt worden om een ruimtelijk inzicht te krijgen in de kwetsbaarheid van deelgebieden en (kwetsbare) objecten en groepen van de bevolking.

Voor verschillende onderdelen kunnen losse kaarten gemaakt worden. Voorbeelden van relevante kaarten zijn:

- Kwetsbaarheid voor paalrot van bebouwing en monumentale objecten in het bijzonder.
- Kwetsbaarheid voor (verschil) zetting en bodemdaling.
- Kwetsbaarheid van vegetatie en monumentale bomen in het bijzonder.

Bovenstaande kaarten maken inzichtelijk waar de kwetsbaarheid voor droogte groot is en waar met prioriteit ingegrepen zou moeten worden op de kwetsbaarheid en/of blootstelling.

Kwetsbaarheid wordt mede bepaald door de adaptatie capaciteit, dus het vermogen om de stad op termijn aan te passen aan veranderde omstandigheden. Het is daarom van belang om een End Of Life Span analyse uit te voeren om zo inzichtelijk te maken wanneer gebieden of gebouwen toe zijn aan een structurele herinrichting.

4 Maatregelen

In deze studie is nauwelijks aandacht geweest voor maatregelen om schades door droogte tegen te gaan. In gebieden met een hoge kwetsbaarheid voor droogte kunnen maatregelen genomen worden. Er kan worden ingegrepen op de kwetsbaarheid en/of de blootstelling. In alle gevallen zal het vooral gaan om meeliften in situaties waarbij de straat open gaat, zoals bij rioolvervanging of waarbij renovaties worden uitgevoerd.

Het uitzakken van grondwater is cruciaal voor het optreden van verschillende schades. Er zijn verschillende maatregelen mogelijk om het uitzakken van het grondwater te beperken. Deels kan dit door het gebruik van water doorlatende wegverhardingen en infiltratievoorzieningen om regenwater te bergen in de bodem. Bij langdurige droogte heeft dit geen effect meer en moet water worden aangevoerd. Er zijn inmiddels enkele ervaringen met infiltratieleidingen, maar langdurige monitoring heeft nog niet plaatsgevonden.

Daar waar water gedurende een droge periode naar het grondwater wordt geïnfiltreerd, is aanvoer van oppervlaktewater nodig. Dit water moet dan wel voorhanden zijn in de omgeving. De aanleg van nieuwe watergangen of leidingen vanuit het bestaande oppervlaktewater naar gebieden zonder oppervlaktewater behoren tot de oplossing, maar deze dienen in gezamenlijke projecten met andere infrastructuur gerealiseerd te worden. Ook wordt de watervraag van stedelijk gebied hiermee vergroot. Ervaringen met grootschalige infiltratie projecten om de grondwaterstand op peil te houden zijn beperkt.

7 Referentielijst

Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith (1998) Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Bij nagte J.L. en H.J. Luger (2011) Het bepalen van schadekansen ten gevolge van meerdere zettingsbijdragen, in Geotechniek, April 2011.

Boegh, E., R.N. Poulsen, M. Butts, P. Abrahamsen, E. Dellwik, S. Hansen, C.B. Asager, A. Ibrom, J.-K. Loerup, K. Pilegaard, H. Soegaard (2009) Remotesensing based evapotranspiration and runoff modeling of agricultural, forest and urban flux sites in Denmark: From field to macro-scale. Journal of Hydrology, Volume 377, Issues 3–4, Pages 300–316.

Broks-Messelaar Consultancy (2011) Grondwaterkaarten Amersfoort. Effect van klimaatveranderingen op de grondwaterstanden in Amersfoort. Rapport 11-071-2, Apeldoorn.

Burland, M.D and Wroth, C.P (1974) Settlement of buildings and associated damage Proc. Conf. on Settlement of Structures, PentechPress, London, England.

Sollie, S., E. Brouwer en P. de Kwaadsteniet (2011) Handreiking natuurvriendelijke oevers: een standplaatsbenadering. Stowa-rapportnummer 2011-19.

Burger, D. en M. van der Vat (2007) Batenstudie KRW-WB21, Vermeden effecten van blauwalgen, WL Delft Hydraulics en IVM, Q4432.00.

Burghardt, Markus en Markus Riederer (2003) Ecophysiological relevance of cuticular transpiration of deciduous and evergreen plants in relation to stomatal closure and leaf water potential. Journal of Experimental Botany, Vol. 54, No. 389, pp. 1941-1949.

Burland & Wroth (1975) Settlement of Buildings and Associated Damage. Proceedings of the Conference of the British Geotechnical Society, London 1975.

Cebeon (14 november 2005). Meerkosten gemeenten met een slechte bodemgesteldheid, nadere verfijning maatstaven slappe bodem in gemeentefonds.

Christen, A.; Bernhofer, C.; Parlow, E.; Rotach, M.W.; Vogt, R. (2003) Partitioning of turbulent fluxes over different urban surfaces. Fifth International Conference on Urban Climate.

Christen, A.; Vogt, R. (2004) Energy and radiation balance of a central European city. International Journal of Climatology, 24, 1395-1421.

Daanen, H.A.M., Simons, R., Janssen, S. (2010) De invloed van hitte-eilanden op gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam. Report TNO-DV 2010 D-248.

Deltares (KZN-infra 2009) Baarse G, Buma J, Koelewijn A, Meerten H van, Stoutjesdijk T, Velzen E., van, Voorstudie Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Nederland. Invloed van tijdelijke peilveranderingen op infrastructuur. Deltares rapport 0911-0082, Utrecht.

Deltares (2011) Frans Klijn, Judith ter Maat, Emiel van Velzen, Zoetwatervoorziening in Nederland landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw, 1204358-002.

Deltares (2012) Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied. Quick scan van beschikbaarheid schadegetallen en mogelijkheden om schades te bepalen. Conceptrapport 1205463-000-BGS-0002, Utrecht.

den Haan, E.J. (2003) Het *a,b,c*-isotachenmodel: hoeksteen van een nieuwe aanpak van zettingsberekeningen. Geotechniek, oktober, 28-35.

Döpp, S., Klok, L., Janssen, S., Jacobs, C., Heusinkveld, B., Kleerekoper, L., Lenzholzer, S., Brolsma, R., Blocken, B., Bosch, P., Heijden, M. van der, Daanen, H., Timmermans, H., Hensen, J., Broeke, H. ten, Klemm, W., Uittenbroek, C. (2011). Kennismontage. Hitte en Klimaat in de Stad, ClimateProofCities Consortium, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering, TNO-060-UT-2011-01053.

Droogers, P. (2009) Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer: definitiestudie. Report FutureWater 82.

Dupont, Sylvain; Mestayer, Patrice G.; Guilloteau, Emmanuel; Berthier, Emmanuel; Andrieu, Hervé (2006) Parameterization of the Urban Water Budget with the Submesoscale Soil Model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 45, Issue 4, p.624-648.

Elshout, P.M.F., L.M. Dionisio Pires, R.S.E.W. Leuven, S.E. Wendelaar Bonga & A.J. Hendriks Low oxygen tolerance of different life stages of temperate freshwater fish species. *Journal of Fish Biology*, in press.

Etten BD van, Kuilen JWG van de, Nijs PJM den (2000) Schimmelaantasting in houten paalfunderingen, een literatuurstudie en inventarisatie van de Nederlandse situatie, in opdracht van VROM. TNO Bouw, TU Delft, Wareco.

Grimmond, C.S.B. (1999) Evapotranspiration rates in urban areas. IAHS Publication.

Grimmond, C. S. B., M. Blackett, M. J. Best, J. Barlow, J-J. Baik, S. E. Belcher, S. I. Bohnenstengel, I. Calmet, F. Chen, A. Dandou, K. Fortuniak, M. L. Gouvea, R. Hamdi, M. Hendry, T. Kawai, Y. Kawamoto, H. Kondo, E. S. Krayenhoff, S-H. Lee, T. Loidan, A. Martilli, V. Masson, S. Miao, K. Oleson, G. Pigeon, A. Porson, Y-H. Ryu, F. Salamanca, L. Shashua-Bar, G-J. Steeneveld, M. Tombrou, J. Voogt, D. Young, and N. Zhang (2010) The International Urban Energy Balance Models Comparison Project: First Results from Phase 1. *J. Appl. Meteor. Climatol*, 49, 1268–1292.

Gulati, R.D., L.M. Dionisio Pires & E. van Donk (2008) Lake restoration studies: failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures. *Limnologica* 38: 233-247.

Hagishima, K Narita, (2007) Field experiment on transpiration from isolated urban plants. *Hydrological processes*, Volume 21, Issue 9, pages 1217–1222.

Hallegate, Henriët & Corfee-Morlot (2008), The economics of Climate Change Impacts and Policy Benefits at City Scale: A Conceptual Framework – OECD Environment Working Paper No 4. OECD Publishing.

Handreiking Watertekorten, factsheet droogte en wateroverlast (2009).

Informatiestandaard botulisme, door dode waterdieren, voorlopig concept oktober 2011.

Jöhnk, K. D., J. Huisman, et al. (2008). Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology* 14(3): 495-512.

Kerkum, L.C.M., A. bij de Vaate, D. Bijstra, S.P. de Jong and H.A. Jenner (2004) Effecten van koelwater op het zoete aquatische milieu. RIZA 2004.

Kjelgren, Roger, Thayne Montague (1998) Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. *Atmospheric Environment*, Volume 32, Issue 1, Pages 35-41, ISSN 1352-2310, 10.1016/S1352-2310(97)00177-5.

Koppejan AW (1948) A formula combining the Terzaghi load compression relationship and the Buisman secular time effect. *Proc. 2nd Int. Conf. Soil Mech. And Found. Eng.*, Rotterdam, 3, pp. 32-38.

KPMG, Grontmij (2001), Grondwateroverlast in het stedelijk gebied. Een bestuurlijk-juridische en technische analyse als basis voor een structurele aanpak van een al jaren spelend vraagstuk.

Lange de G, Velden WHJ van der, Kopinga J, Hanssen RF, Marinkovic P, Buma JT, Goorden N, Bakker M (2009) Onderzoek naar zettingen in de gemeente Zevenaar. Rapport 2009-U-R79206, Deltares / Fugro, Alterra / TU Delft.

Loridan, Thomas, C. S. B. Grimmond (2012). Characterization of Energy Flux Partitioning in Urban Environments: Links with Surface Seasonal Properties. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 51, 219–241.

Luijendijk, E. (2006), Als een paal boven water. Afstudeeronderzoek RUG / Grontmij / Sterk Consulting. Document nr. 13/99066894/EL, versie D1.

Lurling, M. & H. van Dam (2009) Blauwalgen: giftig groen. Stowa 2009-43.

Lurling, M. & E.J. Faassen (2012) Controlling toxic cyanobacteria: effects of dredging and phosphorus-binding clay on cyanobacteria and microcystins. *Water Research* 46:1447-1459.

Moriwaki, R., M. Kanda (2004) Seasonal and Diurnal Fluxes of Radiation, Heat, Water Vapor, and Carbon Dioxide over a Suburban Area. *J. Appl. Meteor.*, 43, 1700–1710.

Oke, T. R. (1979) Advectively-assisted evapotranspiration from irrigated urban vegetation. *Boundary Layer Meteorology* Volume 17, Number 2, 167-173, DOI: 10.1007/BF00117976.

Peters, E. B., J. P. McFadden, and R. A. Montgomery (2010) Biological and environmental controls on tree transpiration in a suburban landscape. *J. Geophys. Res.*, 115, G04006, doi:10.1029/2009JG001266.

Rachel A. Spronken-Smith, Timothy R. Oke and William P. Lowry (2000) Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. *Int. J. Climatol.* 20: 1033–1047.

Rahman, M.A., J.G. Smith, P. Stringer, A.R. Ennos (2011). Effect of rooting conditions on the growth and cooling ability of *Pyrus calleryana*. *Urban Forestry & Urban Greening* 10, 185–192.

Stichting Rioned (november 2010), Riolerings in beeld. Benchmark rioleringszorg 2010.

Salmond, JA, Roth, M., Oke, TR, Satyanarayana, ANV, Vogt, R., Christen, A. (2003) Comparison of turbulent fluxes from roof top versus street canyon locations using scintillometers and eddy covariance techniques. Fifth International Conference on Urban Climate.

SBR (2006) Funderingen. Deel A4340 Schadecriterium gebouwszakking & Deel A4620 Oorzaken van funderingsschade. Sdu uitgevers, Den Haag.

SHR (2004) Houtonderzoek bij funderingsinspecties. Syllabus bij cursus 12 en 19 oktober 2004, Stichting Hout Research, Wageningen.

Sollie, S., E. Brouwer & P. de Kwaadsteniet (2011) Handreiking natuurvriendelijke oevers: een standplaatsbenadering. Stowa-rapportnummer 2011-19.

Stowa (2007) Wat er is als er water is. Speciale WEW uitgave.

TNO (2011) Fysieke bouwstenen voor de probleemanalyse nieuwbouw en herstructurering, Bosch, P.R., M. Hoogvliet, H. Goosen, F. van der Hoeven, Climate Proof Cities, Kennis voor Klimaat, TNO-060-UT-2011-01826.

Wareco (2012), Presentatie Werkgroep Stedelijk Grondwater, 24 mei, Amsterdam.

Whitlow, Thomas H., Nina L. Bassuk and Deborah L. Reichert (1992) A 3-Year Study of Water Relations of Urban Street Trees. *Journal of Applied Ecology* Vol. 29, No. 2, pp. 436-450.

WHO, 2009. Improving public health responses to extreme weather/heat waves-EUROHEAT, Technical summary. B. Menne and F. Matthies (eds). WHO Regional office for Europe, Copenhagen.

Witteveen en Bos e.a. (2006), MKBA in de regio – Kengetallen waardering natuur, water, bodem en landschap. Hulpmiddel bij MKBA's. I.s.m. Stichting Recreatie KIC, Waterloopkundig Laboratorium Delft, ES Consulting, Leerstoelgroep Milieusysteemanalyse WUR, Landbouw Economisch Instituut, SEO Economisch Onderzoek UvA, Rotterdam.

A Verslag interviews

Ir. Peter den Nijs en Drs. ing. M.J. Kuiper (Wareco)

Onderwerp: Grondwater en droogte

De belangrijkste oorzaken van droogte in stedelijk gebied zijn:

- 1 Hevigere buien;
- 2 Droge periodes duren langer;
- 3 Te grote bomen zorgen voor grote onttrekkingen.

Kleine veranderingen in neerslag en verdamping zorgen voor een groot effect op de waterbalans en het grondwater. Dit komt doordat in West-Nederland de relatief dunne ophooglaag (doorlatende bakje) snel leeg raakt in een droge periode.

Welke processen en schades zijn relevant in perioden van extreme droogte?

Klimaat heeft nog geen aantoonbare schades opgeleverd. De belangrijkste schades die optreden als gevolg van droge omstandigheden zijn in volgorde van belangrijkheid:

- 1 Paalrot, Dit is veruit de belangrijkste schade, die kan oplopen in de miljarden euro's

Droogte schades hebben meestal meervoudige oorzaken en lokale problemen zijn meestal de hoofdoorzaken.

De oorzaken van paalrot in volgorde van belangrijkheid zijn:

- a. Lekke rioleringen;
 - b. Verharding van het oppervlak (wegen, gebouwen, etc.);
 - c. Verdamping van vegetatie (netto neerslag), deze is dus klimaat gerelateerd;
 - d. Surface runoff.
- 2 Schade door ongelijke zakkings – zit in bandbreedte, bebouwing
- Processen:
- a. Ongelijke zakkings zijn veel kleiner bij bebouwing, omdat de verschillen in grondwaterstand in de orde van een decimeter zitten. De relatief homogene bodemopbouw met ophooglaag zorgt ervoor dat het effect beperkt blijft.
 - b. Lekke riolering kan zichzelf ingraven daardoor stuk gaan.
 - c. Peter den Nijs is onbekend met schade aan leidingen.

Ongelijke zettingen komen vooral voor in achtertuinen in veengebieden.

- 3 Kosten voor het moeten ophogen van grond als gevolg van bodemdaling
Wanneer het grondwaterbeheer hier niet goed op wordt afgestemd kunnen wortels van bomen hierbij afsterven, met het omvallen van bomen tot gevolg. Bekend is het omvallen van bomen in binnentuinen (door slechte afvoer)

Welke bronnen onderbouwen dit?

- 1 Paalrot, hier is veel onderzoek naar gedaan en gerapporteerd.
- 2 Het effect van droogte hierop is echter nog niet te onderbouwen.

Peter den Nijs ziet een landelijke inventarisatie van paalrot als wenselijk.

Hoe kan hierop gestuurd worden, adaptatie mogelijkheden?

- 1 Grondwaterbeheer systeem aanleggen dat grondwater reguleert;
- 2 Lokaal grondwater beheren in wijkgerichte/gebiedsgerichte aanpak;
- 3 Funderingen vervangen is een optie, maar een dure optie;
- 4 Ringleidingen van drainage aanleggen onder gebouwen.

Uit evaluatie blijkt dat dit werkt, ook bij extreme droogte.

Welk beleid is hiervoor nodig?

Onderstaande beperkingen in de Waterwet worden gesignaleerd:

De Waterwet is vooral gericht op grondwateroverlast en te weinig gericht op grondwateronderlast. Een betere borging van grondwateronderlast in de Waterwet is wenselijk.

De Waterwet geeft (te) veel beleidsvrijheid. De concrete invulling van beleid blijft daardoor achter. Jurisprudentie zal mogelijk leemtes in beleid en rondom grondwateronderlast opvullen.

Het gemeentebestuur is op hoofdlijnen, waardoor handhaving voorlopig beperkt is.

De gemeente heeft een grondwatertaak toebedeeld gekregen maar is niet aansprakelijk. De aansprakelijkheid ligt vooralsnog bij Waterschap. Hierdoor is het voor burgers lastig een aanspreekpunt te vinden.

Ligt er een kennishiaat/innovatie opgave?

De werking van infiltratie voorzieningen, infiltratie capaciteiten, uittree weerstanden is slecht bekend.

Hydraulische berekening van drainage systeem; de huidige modellen zijn gericht op hoge stroomsnelheden waarbij traagheidsterm wordt verwaarloosd en voldoen daarom niet bij lage stroomsnelheden. Ook de intreeweestanden zijn slecht bekend.

Wat de bijdrage is van klimaatverandering (meteorologische droogte) is aan droogte in stedelijk gebied is niet bekend. Dit kan bijvoorbeeld in een proefstraat onderzocht worden. Een van de vragen die hiermee beantwoord kan worden is het bepalen van het nut en de noodzaak van waterdoorlatende verhardingen.

Huidige meetreeksen in stedelijk gebied zijn doorgaans ongeschikt om de effecten van droogte te bestuderen. Dit komt door de locatie van peilbuizen en de lage dichtheid van metingen in ruimte en tijd. Het inrichten van een proefstraat kan hierin meer inzicht opleveren.

Peter de Nijs ziet een landelijke inventarisatie van paalrot als wenselijk

Een NEN systematiek in Riolering, wij willen een lans breken voor vervanging, waarbij prioritering beter kan plaats vinden op basis van risico voor bebouwing, in plaats van slechts riolinspecties.

Interactie oppervlakte grondwater is slecht bekend, met name de verticale en horizontale uitwisseling.

Funderingschade in landelijk gebied is nog slecht onderzocht.

Een waarschuwing: er ontstaat een gebrek aan systeem kennis bij gemeentes.

Gé van den Eertwegh (Futurewater)
Onderwerp: Waterkwaliteit en droogte

Welke processen en schades zijn relevant in perioden van extreme droogte?

Droogte an sich is geen probleem voor de waterkwaliteit, maar droogte is niet los te zien van warmte en dit heeft een effect op chemische processen.

Droogte in combinatie met warmte leidt tot:

- Kleiner volume;
- P+N+Sulfaat;
- Macro en micro fauna;
- Sneller omzettingen.

Door droogte zullen de extremen in concentraties verder uitslaan.

Het is de vraag in hoeverre vegetatie de veranderingen kan bufferen. Zodra dit niet meer lukt, zal ondermeer algenbloei optreden.

Voorals 's nachts zullen problemen door zuurstofgebrek optreden. Aan het einde van nacht ontstaat de laagste zuurstof concentratie (door respiratie van alle organismen) en temperatuur. Dit valt dan samen met de fosfaatpiek.

Zuurstof gebrek in het water zorgt voor een concurrentievoordeel voor soorten die zuurstof uit de lucht halen, waardoor evenwichten zullen verschuiven. Mogelijk dat Azolla hierdoor in het voordeel is.

Diep water zal minder last hebben van droogte en hitte. Dit maakt het verdiepen van watergangen een mogelijke adaptatiemaatregel.

Waterkwaliteitsproblemen kunnen zowel in kwel- als infiltratiegebieden optreden. In infiltratiegebieden zal het waterpeil sneller dalen en de temperatuur daardoor toenemen met bovengenoemde problemen van dien. In kwelgebieden is de chemische samenstelling van het kwelwater van belang en met name of het uit een oxidisch of anoxisch milieu komt.

In mariene afzettingen zijn de zuurstof, sulfaat, stikstof en fosfaat concentraties te hoog

De aanvoer van water is hier van groot belang.

Om de oppervlaktewater kwaliteit goed te houden is het van groot belang om het oppervlaktewater koel te houden. Hiervoor is het nodig om ook de stad koel te houden.

De urgentie wordt bepaald door beleidsoverwegingen, praktische overwegingen en kosten. De kwaliteit van watersystemen is geen absolute grootheid, maar wordt gebaseerd op soortenlijstjes en scorelijstjes. Als gevolg van temperatuurstijging en droogte zal de samenstelling van soorten veranderen en daarmee de score. Eventueel zullen de scoringslijstjes op den duur aangepast worden als de omstandigheden of waarden veranderen.

Zuurstofloosheid en rotting worden het grootste probleem. Dit leidt tot stankoverlast en zal het meest urgent worden.

Beleving en klachten van burgers zullen een probleem maken van een slechte waterkwaliteit.

Stank en nutriënten en daarmee algen en kroos die leiden tot een minder helderwater en daardoor mindere beleving veroorzaken dan het probleem.

Bovenstaande overwegingen zullen de investeringen in maatregelen bepalen.

Welke bronnen onderbouwen dit?

Bovenstaande is vooral gebaseerd op algemene chemische principes.

Meeste van deze processen komen aan bod in:

- Van helder naar troebel... en weer terug, STOWA;
- Kennisprogramma Watermozaïek, STOWA;
- Handleidingen van PC Lake, PC Ditch, Delwaq.

Hoe kan hierop gestuurd worden, Adaptatie mogelijkheden?

- De KRW is gebaseerd op ecologisch functioneren en biedt daardoor een oplossing voor het verbeteren/goed houden van de waterkwaliteit.
- De diepte van de watergang vergroten in combinatie met een voldoende groot volume leidt tot een betere waterkwaliteit. Een diepte van meer dan 1m is genoeg.
- Het koelen van oppervlaktewater en koel houden van het oppervlaktewater in stedelijk gebied zorgt voor het goed houden van de waterkwaliteit.
- Circulatie van oppervlaktewater.
- Zuurstofconcentratie verhogen door fonteinen en bellenschermen.

Welk beleid is hiervoor nodig?

Het huidige beleid levert geen problemen op. Er zijn genoeg instrumenten in de vorm van de KRW en waterplannen. Er is een grote droogte nodig waarbij middelen en mensen worden vrijgemaakt moeten worden. Op het moment dat het noodzakelijk is, zullen deze voor handen zijn.

Voor stedelijk gebied is het verstandig om te zorgen dat je je eigen broek op kunt houden, zodat je niet afhankelijk bent van wateraanvoer. Dit betekent:

- Water vasthouden;
- Koeling van oppervlaktewater en de omgeving.

Ligt er een kennishiaat/innovatie opgave?

Er bestaan simulatie modellen die waarschijnlijk geschikt zijn om de effecten van droogte en temperatuurstijging op de waterkwaliteit te modelleren.

- Delwaq
- PC-Ditch
- PC-Lake

Welke processen relevant zijn, kan blijken uit simulatiemodellen. Er is echter nog weinig gerekend aan lokale ondiepe systemen.

Wat wel een kennishiaat is, is de interactie tussen de waterbodem en het oppervlaktewater en met name de fosfaat en sulfaat chemie.

Drs. Roelof Stuurman (Deltares)

Onderwerp: Stedelijk waterbeheer en droogte

Welke processen en schades zijn relevant in perioden van extreme droogte?

Verschilzetting kan lokaal een groot probleem zijn. In het verleden heeft droogte in Zevenaar verschilzetting opgeleverd met gevolgschade bij funderingen op staal. Hier ligt een relatief dun kleidek op een zandpakket. Door grondwateruitzakking tot onder het kleipakket stopte capillaire nalevering uit het grondwater en droogde de klei snel uit, met klinkt tot gevolg.

Achteraf zijn huizen hier gefundeerd.

In verschillende polders zullen zonder aanvoer van water, door hun diepe ligging en grondwaterkwel (bijvoorbeeld Amstelveen) weinig problemen optreden. In hogere naastgelegen oudere wijken kunnen er wel problemen ontstaan.

Het uitzakken van de grondwaterstand kan een probleem worden tussen watergangen. Dit is bekend vanuit de theorie, maar hoever het grondwater uitzakt, is voorsnog een kennishiaat. In andere polders wordt water ingelaten om het oppervlaktewater op peil te houden, voorbeelden hiervan zijn de Schermer en Haarlemmermeer.

Het uitzakken van grondwater zal invloed hebben op houten paalfunderingen.

Wateraanvoer kan in West-Nederland een probleem worden, door zout inlaatwater

Visuele schade kan een probleem worden. Een hoge algenconcentratie kan invloed hebben op recreatie. Slechte oppervlaktewaterkwaliteit in de vorm van stankoverlast kan een probleem worden voor de recreatie, bijvoorbeeld in de grachten van Amsterdam als een geen water beschikbaar is voor doorspoeling. Het is dus de vraag of er genoeg water is om te circuleren. Andere oplossingen zijn het mengen van zuurstof in het water met behulp van fontein en bellenschermen.

In veengebieden is er een duidelijk probleem. Hier kan eenmalige droogte tot een significante bodemdaling leiden.

In landelijk gebied met veen met een hoge doorlatendheid (bijv. Broek in Waterland) daalt de grondwaterstand mee met de oppervlaktewaterstand.

Voor het centrum van Amsterdam is de vraag wat er gebeurt er met grondwater bij daling van het grachtenpeil.

Oever- en kadestabiliteit kan een probleem worden als gevolg van dalende oppervlaktewaterpeilen.

Groen heeft grote invloed op grondwaterstand.

Vegetatie komt mogelijk in de problemen, maar dit is makkelijk op te lossen door het planten van andere soorten

In droge perioden worden door verschillende gemeentes wagens ingezet om vegetatie te voorzien van water.

Gemengde rioleringen slibben dicht tijdens droogte, hiervan wordt melding gemaakt door loodgieters.

Op basis van zijn ervaring ervaart de heer Stuurman droogte niet als een groot probleem, omdat het huidige systeem voldoende goed is ingericht.

Om deze ervaring te staven is er wel een gebrek aan kennis:

- Grondwater is mogelijk een probleem; Wat is het effect van droogte op de grondwaterstand.
- Wat gebeurt er met de vegetatie als het droger wordt, in het geval van uitval dienen er droogte resistentere soorten herplant te worden.
- Het effect van te weinig circulatie in oppervlaktewater is slecht bekend.

Welke bronnen onderbouwen dit?

Er zijn geen rapportages die droogte problematiek onderbouwen.

Rapportage Zevenaar: Deltares, Onderzoek naar zettingen in de gemeente Zevenaar (2009), 2009-U-R79206.

Welke adaptatie mogelijkheden zijn er om schade door droogte te beperken?

Water vasthouden en conserveren zijn een oplossing in combinatie met niet onnodig draineren. De vraag hierbij is hoeveel ruimte (drooglegging) er onder de grond beschikbaar is om water vast te houden zonder dat er wateroverlast optreedt in natte perioden.

Robuuster groen (droogte bestendig) aanplanten. Voor groen met een cultuurhistorische waarde dienen passende maatregelen voor genomen te worden.

Water aanvullen door beregening, bi voorkeur door drip-irrigatie, omdat dit het meest efficiënt is.

Aanleg van horizontale onderwater drainage. Hierdoor kan water aangevoerd worden vanuit het oppervlaktewater.

Welk beleid is hiervoor nodig?

Het huidige beleid is toereikend.

Ligt er een kennishiaat of innovatie opgave?

De volgende kennishiaten bestaan:

- Kwantificering van het effect van droogte op het uitzakken van de grondwaterstand.
- Interactie en de (hydraulische) weerstand tussen oppervlaktewater en grondwater.
- Wat is het effect van zandcunetten op de grondwateraanvulling en op de drainage?
- Hoeveel ruimte is er beschikbaar om in de ondergrond water vast te houden?
- Is er nog een effect op WKO systemen?

B Verslag workshop

3 april 2012 heeft een workshop met wetenschappers en medewerkers van de gemeente Rotterdam en de Waterschappen Schieland-Krimpenerwaard en Hollandse Delta en Hoogheemraadschap Delfland plaatsgevonden.

De groep bestond uit onder meer waterbeheerders en waterkwaliteitsbeheerders van de waterschappen. Vanuit de gemeente waren specialisten op het gebied grondwaterbeheer, ondergrond en oppervlaktewaterbeheer aanwezig. De specialisten dekten de volgende kennisgebieden af: grondwater, ondergrond, funderingen, oppervlaktewater, vegetatie en verdamping af.

Het doel was de conclusies en kennishiaten te presenteren en bediscussiëren. Daarnaast zijn met het oog op de RAS de volgende vragen, gericht op Rotterdam-Noord, waarbij generieke problemen voor Rotterdam maar mogelijk niet in Rotterdam-Noord spelen wel aan bod moesten komen:

- 1 *Wat zijn voor Rotterdam Noord de belangrijkste schades/schademechanismen als gevolg van droogte?*
 - 6.1 *Wat speelt/gaat er (waar) spelen in het gebied?*
 - 6.2 *Welke problemen/schades zullen als ernstig worden ervaren (euro's en beleving)?*
- 7 *Op welke schades/mechanismen kunnen we daadwerkelijk ingrijpen?*
- 8 *Als we een adaptatiestrategie voor het gebied moeten vormen, hoe gaan we dan waarop ingrijpen? Maak onderscheid naar:*
 - 8.1 *Beïnvloeden van blootstelling (bijv. peilbeheer aanpassen)*
 - 8.2 *Beïnvloeden van kwetsbaarheid (bijv. vervangen van houten paal funderingen)*
- 9 *Aan welke typen maatregelen valt te denken:*
 - 9.1 *Technische, fysieke maatregelen*
 - 9.2 *Governance*
 - 9.3 *Voorlichting*
 - 9.4 *Financieringsconstructies*
 - 9.5 *...*
- 10 *Wat moeten we gaan uitzoeken om hier handen en voeten aan te geven? Wat zijn de primaire kennishiaten?*

Groep 1

1 - *Wat zijn voor Rotterdam Noord de belangrijkste schades/schademechanismen als gevolg van droogte?*

In Rotterdam is momenteel sprake van een vergroeningsstrategie. Deze vergroeningsstrategie zal mogelijk leiden tot een grotere waterbehoefte voor verdamping

Schades als gevolg van droogte zullen locatiespecifiek zijn Rotterdam-Noord is een inzijingsgebied. Het effect van droogte zal hier groter zijn dan in infiltratiegebieden.

Beleving in een park kan een rol spelen, verdorring van vegetatie is zichtbare schade. Deze zichtbare schade is moeilijk te vergelijken met schades die duidelijker in euro's zijn uit te drukken.

Houten paalfunderingen problematiek wordt in Rotterdam aangepakt door vervanging van riolering. Schade door droogte zou aanzienlijk kunnen zijn.

Waterkwaliteit en met name overstorten na een droge-warme periode kunnen problemen opleveren, zeker als er niet voldoende water aanwezig is om het overgestorte water door te spoelen.

Het effect van droogte op wegen en leidingen zou aanzienlijk kunnen zijn, maar er bestaat een grote onzekerheid over de daadwerkelijke kwetsbaarheid. De potentiële omvang rechtvaardigt meer aandacht.

Het gebrek aan kennis maakt dat sommige schades hoger op de agenda staan dan ze op basis van euro's staan.

2 - Op welke schades/mechanismen kunnen we daadwerkelijk ingrijpen?

Leefbaarheid van de stad heeft momenteel prioriteit, daar waar dit een relatie met droogte heeft is ingrijpen van.

Droogte heeft momenteel geen urgentie omdat het een lange termijn proces

Vanuit de wet gemeentelijke watertaken wordt door medewerkers van de gemeente opgemerkt dat:

Niet ingrijpen = risicomijdend

Adaptatie = risico

Dit komt doordat bij ingrijpen de gemeente verantwoordelijk wordt voor mogelijke gevolgschades en beheer.

3 Als we een adaptatiestrategie voor het gebied moeten vormen, hoe gaan we dan waarop ingrijpen? Maak onderscheid naar:

A - Beïnvloeden van blootstelling (bijv. peilbeheer aanpassen)

B - Beïnvloeden van kwetsbaarheid (bijv. vervangen van houten paal funderingen)

Op basis van het antwoord op vraag 2 (beperking Adaptatie = risico) is het veiliger om de kwetsbaarheid te beperken dan in te grijpen op de blootstelling.

Dit spoort met de terugtrekkende overheid.

4 - Aan welke typen maatregelen valt te denken:

A - Technische, fysieke maatregelen

B - Governance

C - Voorlichting

D - Financieringsconstructies

E - ...

Fysiek:

Water vasthouden

Beperkte vegetatiekeuze

Overig:

Acceptatie in beleid en door burgers

Prioriteitstelling in beleid

5 - Wat moeten we gaan uitzoeken om hier handen en voeten aan te geven? Wat zijn de primaire kennisvelden?

De laatste vraag is door tijdgebrek slechts zeer kort behandeld, waardoor de inventarisatie niet volledig is.

Wat kan je vanuit beleid doen?

Wat zijn behaalde effecten van maatregelen?

Er is weinig kennis rond

- waterkwaliteit en droogte
- leidingen en wegen

Er zijn twee studies bekend waarin lokale effecten van meteorologische droogte op de grondwaterstand zijn onderzocht. Om hier voor een wijk in Rotterdam een beter inzicht in te krijgen is een beperkte tijdreeksanalyse uitgevoerd op gemeten grondwaterstanden. De meteorologische omstandigheden gaven nauwelijks een verklaring voor de gemeten grondwaterstanden. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door andere invloeden die door de lage meetfrequentie niet te achterhalen zijn. De huidige meetnetten zijn vaak niet geschikt voor dergelijke analyse door de lage meetfrequentie en plaatsing van de peilbuizen waardoor lokale verschillen slecht gemeten worden.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek:

Grondwater

Grondwater speelt een cruciale rol in het ontstaan en voorkomen van schades in stedelijk gebied als gevolg van droogte. Belangrijke schades zijn:

5. Paalrot van houten paalfunderingen
6. Schade door ongelijke zettingen
7. Droogteschade aan vegetatie

Deze schades treden op door een niet optimale inrichting en onvoldoende onderhoud en kan verergerd worden door meteorologische droogte.

Hoe grondwaterpeil reageert in periodes van droogte, ofwel hoe diep het grondwater uitzakt, is slecht bekend. Dit komt door een gebrek aan analyses en aan geschikte meetdata.

Er zijn verschillende mogelijkheden om meer grip te krijgen op grondwater in stedelijk gebied:

4. Grondwatermetingen
5. Grondwater model
6. Waterbalans

Ad 1 Er zijn vrijwel geen geschikte metingen in stedelijk gebied. De ruimtelijke en temporele resolutie van metingen is erg laag. Hierdoor is het lastig om verschillende relevante hydrologische effecten van lekkende riolen, droogte, wegcunetten, bomen en slecht doorlatende tuinen op basis van huidige metingen te ontrafelen. Door Waternet is recentelijk een studie hiernaar gedaan op basis van de bestaande meetreeksen.

Om een beter inzicht te krijgen in grondwaterdynamiek stellen we voor om op een aantal locaties een meetnet in te richten op straat niveau met een hoge ruimtelijke en temporele resolutie.

Ad 2 De huidige grondwatermodellen zijn slecht geschikt voor het modelleren van droogte in stedelijk gebied. Dit komt door de grove resolutie van het model in combinatie met de zeer heterogene ondergrond. Wegcunetten, bomen en slecht doorlatende tuinen zijn in bestaande modellen niet geschematiseerd, terwijl juist de lokale grondwaterstand en stroming van belang zijn.

Ad 3 Waterbalans

Dit is een vereenvoudigde aanpak ten opzicht van het grondwatermodel en metingen. Hierbij wordt een grovere benadering gekozen dan in een grondwater model. Dit type model is relatief snel op te zetten en alle fluxen kunnen hierin gemodelleerd worden. Om een beter inzicht te krijgen in grondwaterdynamiek wordt de voorkeur gegeven aan een grondwatermodel.

Kwetsbaarheid

De kwetsbaarheid voor droogte van stedelijk gebied wordt bepaald door lokale omstandigheden.

In een studie voor het Programma Nieuwbouw en Herstructurering (Deltares, 2012) is getracht voor alle schades als gevolg van droogte ramingen te maken van schades aan stedelijk gebied. Voor een landelijke dekking is dit beperkt gelukt. Schades treden echter lokaal op en zijn afhankelijk van de aanwezige infrastructuur en gebouwen en vegetatie. Een lokale uitwerking van deze schades geeft inzicht in de kwetsbaarheid van de stad. Voor een stad kunnen kaarten gemaakt worden om een ruimtelijk inzicht te krijgen in de kwetsbaarheid van stedelijk gebied. Dit kan gezien worden als een vertaling van de resultaten vanuit het Programma Nieuwbouw en Herstructurering naar wijkniveau.

Voor verschillende onderdelen kunnen losse kaarten gemaakt worden. Voorbeelden van relevante kaarten zijn:

- Kwetsbaarheid voor paalrot van bebouwing en monumentale objecten in het bijzonder
- Kwetsbaarheid voor (verschil) zetting en bodemdaling
- Kwetsbaarheid van vegetatie en monumentale bomen in het bijzonder.

Bovenstaande kaarten maken inzichtelijk waar de kwetsbaarheid voor droogte groot is en waar ingegrepen kan worden op de kwetsbaarheid en/of blootstelling.

Kwetsbaarheid wordt mede bepaald door de adaptatie capaciteit. Het is daarom van belang om een End Of Life Span analyse uit te voeren om zo inzichtelijk te maken hoe de lange termijn kwetsbaarheid eruit zien wat adaptatie mogelijkheden zijn.

Maatregelen

In gebieden met een hoge kwetsbaarheid voor droogte kunnen maatregelen genomen worden. Er kan worden ingegrepen op de kwetsbaarheid en blootstelling. Ingrijpen op kwetsbaarheid vergt meestal grote investeringen, in tegenstelling tot ingrijpen op blootstelling. In het laatste geval gaat het vooral om meeliften in situaties waarbij de straat open gaat, zoals bij rioolvervangning.

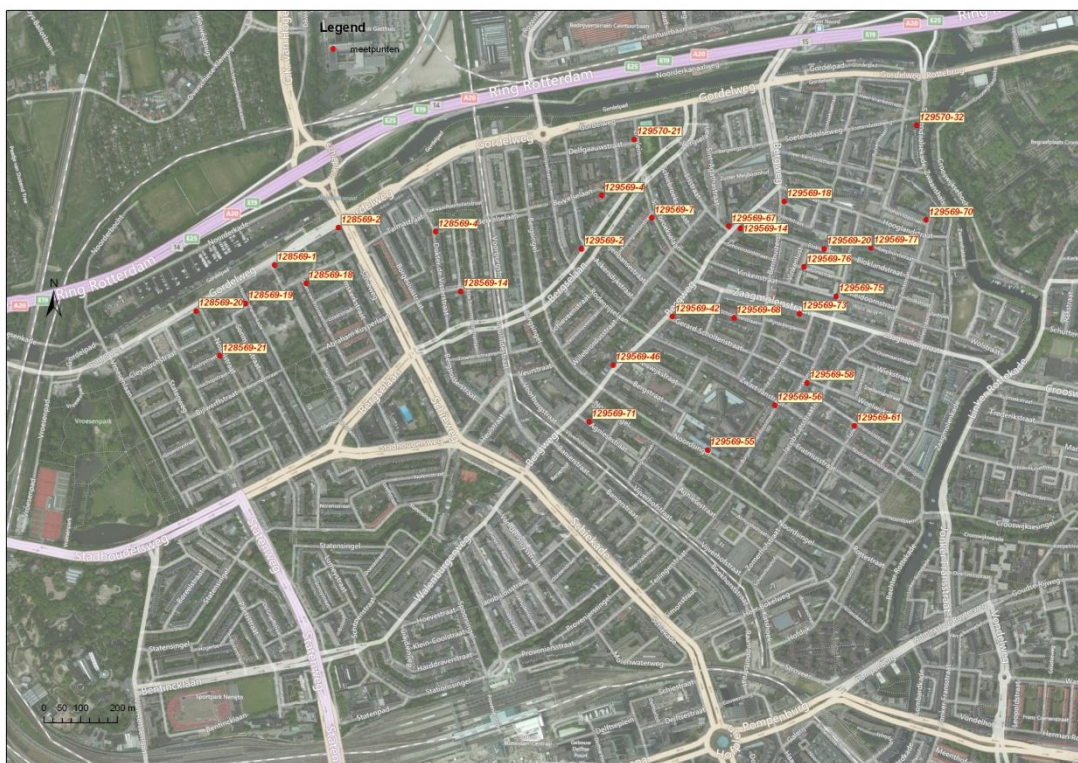
Het uitzakken van grondwater is cruciaal voor het optreden van verschillende schades. Er zijn verschillende maatregelen mogelijk om het uitzakken van het grondwater te beperken. Deels kan dit door het gebruik van water doorlatende wegverhardingen en infiltratievoorzieningen om regenwater te bergen in de bodem. Bij langdurige droogte heeft dit geen effect meer en moet water worden aangevoerd. Er zijn ervaringen met infiltratieleidingen, maar langdurige monitoring heeft nog niet plaatsgevonden. Daar waar water naar het grondwater wordt geïnfiltreerd, is oppervlaktewater nodig. Dit water moet dan wel voorhanden zijn in de omgeving. De aanleg van hoofdleidingen vanuit het oppervlaktewater naar gebieden zonder oppervlaktewater behoren tot de oplossing, maar ook deze dienen in gezamenlijke projecten met andere infrastructuur vervangen te worden. Ervaringen met grootschalige infiltratie projecten zijn beperkt. Ook wordt de watervraag van stedelijk gebied hiermee vergroot.

C Grondwater - Case Rotterdam

Verkennde grondwateranalyse voor Deelgemeente Noord, Rotterdam.

Rotterdam heeft voor Nederlandse begrippen een uitgebreid grondwatermeetnet, weliswaar niet dicht genoeg om per pand droogstand te kunnen monitoren, maar in principe voldoende om een ruimtelijk beeld te kunnen schetsen van de invloed van droogte op grondwaterfluctuaties. Niet de ruimtelijke spreiding is hier dus beperkend, echter wel de meetfrequentie. Deze bedraagt gemiddeld eenmaal per 6 weken. Pieken en dalen in de grondwaterstand kunnen met deze meetfrequentie gemist worden, zodat een goede kwantificering van de relatie tussen neerslag, verdamping en grondwaterstand belemmerd wordt. In bijlage 1 is voor een aantal peilbuizen in de deelgemeente Noord een globale, verkennende analyse gemaakt van deze relatie. Het gebruik van automatische drukopnemers, waarmee hoogfrequent kan worden gemeten (eenmaal of meermalen daags) zou dit probleem opheffen.

Om een eerste indruk te verkrijgen van de invloed van neerslag en verdamping op de grondwaterfluctuaties zijn de meetreeksen van 30 peilbuizen in de Rotterdamse deelgemeente Noord op hoofdlijnen geanalyseerd. De peilbuizen zijn weergegeven in figuur 1.



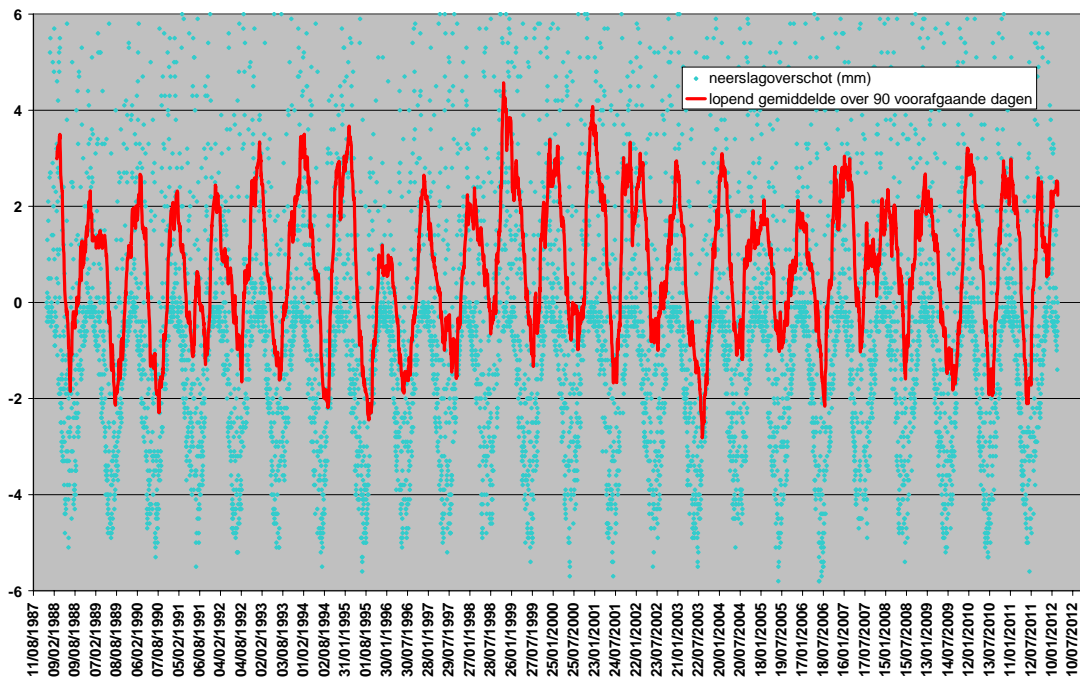
Figuur 1. Ligging van de geanalyseerde peilbuizen in de Rotterdamse deelgemeente Noord.

In de deelgemeente Noord zijn 235 freatische peilbuizen van het gemeentelijke grondwatermeetnet van Rotterdam aanwezig. De 30 peilbuizen zijn hieruit geselecteerd op basis van de volgende criteria:

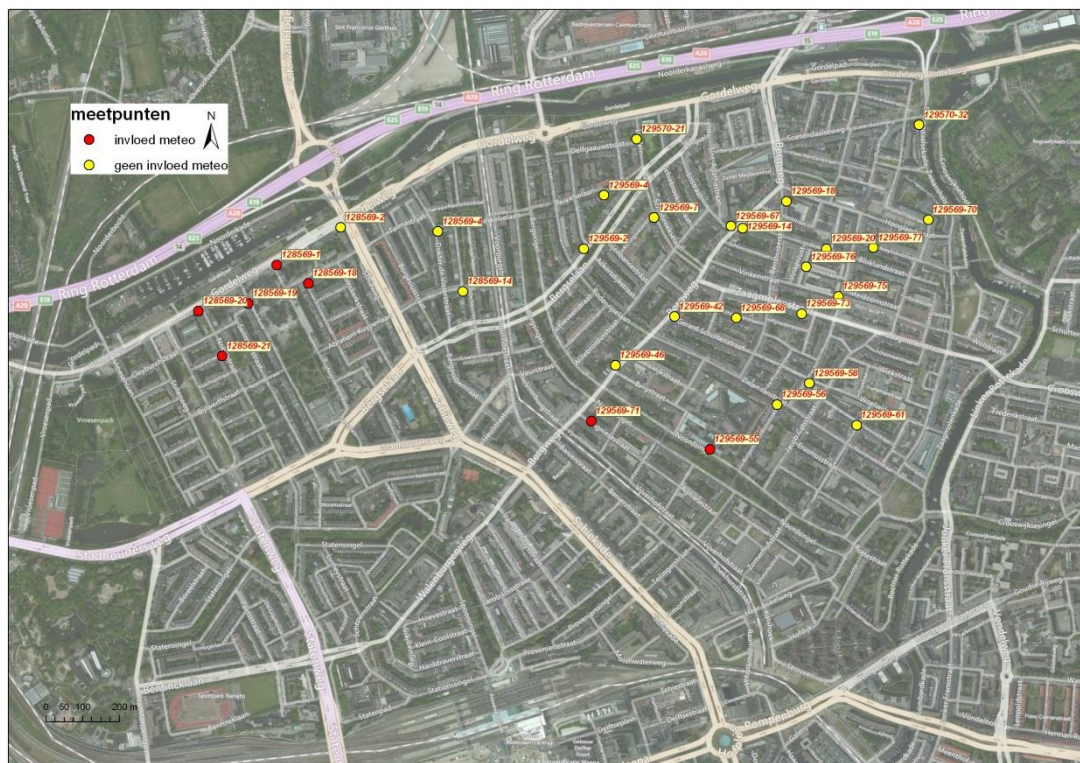
- lange reeksen (> 100 metingen na 2000; de totale meetreeksen bevatten elk ca. 250 metingen);
- zo ver mogelijk noordelijk = dichtst bij de diepe polders Schiebroek etc. dus meeste kans op wegzijging en invloed verdamping;
- in oost west richting zoveel mogelijk ruimtelijke spreiding.

De verkennende analyse vond plaats in twee stappen. De eerste stap is een visuele, kwalitatieve beoordeling van de meetreeksen op een 'logisch' seizoenaal verloop. Met "logisch" wordt bedoeld dat de hoogste grondwaterstanden doorgaans in het winterhalfjaar optreden en de laagste grondwaterstanden doorgaans in het zomerhalfjaar. Ook is gekeken naar het vóórkomen van een lage grondwaterstand in augustus of september 2003. In de zomer van 2003 was sprake van een uitzonderlijk neerslagtekort (zie figuur 2 voor Rotterdam¹). Als aan beide criteria wordt voldaan, is er sprake van in ieder geval een zekere mate van beïnvloeding van de grondwaterstand door neerslag en verdamping, en wordt de peilbuis verder geanalyseerd in stap 2. Er bleken 7 van de 30 peilbuizen te voldoen aan de criteria. In de overige 23 peilbuizen was sprake van meerdere pieken en dalen in de "verkeerde" seizoenen, of van tijdelijke sterke verlagingen, sprongen in de grondwaterstand, ontbrekende metingen in meteorologisch belangrijke perioden zoals 2003, en dergelijke. In figuur 3 is de geografische spreiding van de wel- en niet-meteorologisch-beïnvloede peilbuizen weergegeven. Opvallend is dat de meeste meteorologisch beïnvloede peilbuizen ten westen van de Schieweg en ten noorden van de Bergselaan liggen. De grondwaterstanden liggen hier relatief hoog, rond de NAP -1 m, wat overeenkomt met het boezempeil van Schieland. Blijkbaar wordt het grondwatersysteem hier beïnvloed vanuit het Noorderkanaal, en levert dit een extra sterke wegzijgingssituatie. Anderzijds lijkt de voeding niet voldoende om uitzakking in droge perioden tegen te gaan. De grondwaterstanden verder naar het zuiden en oosten liggen in het algemeen tussen NAP -2.5 en -3.0 m.

¹ en http://www.knmi.nl/klimatologie/geografische_overzichten/neerslagoverschot_tijdgrafiek_historisch.html voor een landelijk gemiddelde over 13 stations



Figuur 2. Neerslagoverschot KNMI-station 344 (Rotterdam). berekend als het verschil tussen neerslaghoeveelheid en Makkink-verdamping op dagbasis.



Figuur 3. Invloed neerslag en verdamping in de geanalyseerde meetreeksen, op basis van een visuele (kwalitatieve) beoordeling.

In de tweede stap is een lineaire regressie uitgevoerd op 3 van de meteorologisch beïnvloede peilbuizen (128569-1, 128569-21 en 129569-55), en op een niet-meteorologisch beïnvloede controlepeilbuis (129569-68). De te verklaren variabele (y) is de gemeten grondwaterstand op een bepaalde datum. De verklarende variabele (x) is het gemiddelde neerslagoverschot in de voorafgaande 15, 30 of 60 dagen. Het neerslagoverschot is daarin berekend als het verschil tussen neerslaghoeveelheid en Makkink-verdamping op dagbasis.

In onderstaande tabel is de verklaarde variantie (r^2) van de regressies weergegeven.

Peilbuis	Verklarende variabele	Verklaarde variantie (r^2)
128569-1	voorafgaand neerslagoverschot (30 dagen)	0.24
128569-21	voorafgaand neerslagoverschot (30 dagen)	0.22
129569-55	voorafgaand neerslagoverschot (15 dagen)	0.15
129569-55	voorafgaand neerslagoverschot (30 dagen)	0.18
129569-55	voorafgaand neerslagoverschot (60 dagen)	0.19
129569-68 (controle)	voorafgaand neerslagoverschot (30 dagen)	0.01

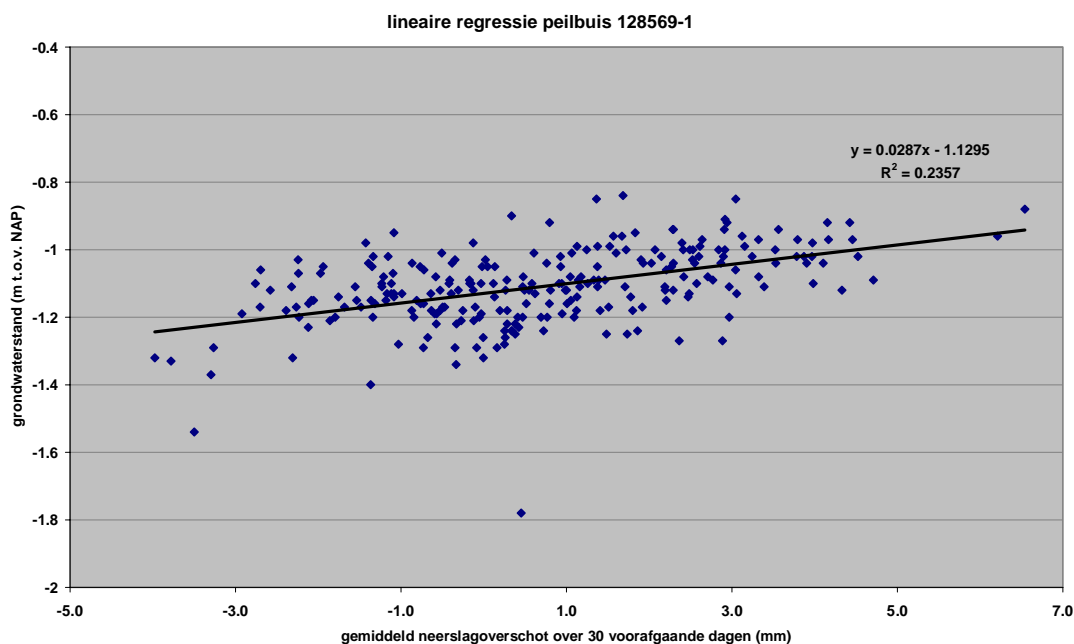
In figuur 4 is één van de regressies als voorbeeld weergegeven.

Uit de tabel en figuur blijkt dat maximaal ca. 25% van de grondwaterstandsfluctuaties verklaard kan worden door variaties in het neerslagoverschot. Dit geldt dus voor de peilbuizen die visueel als “meteorologisch beïnvloed” werden beoordeeld. Ter vergelijking: geschat wordt dat in het landelijk gebied de door het neerslagoverschot verklaarde variantie in de grondwaterstand oplopen tot maximaal 70 à 80% (pers. comm. Deltares).

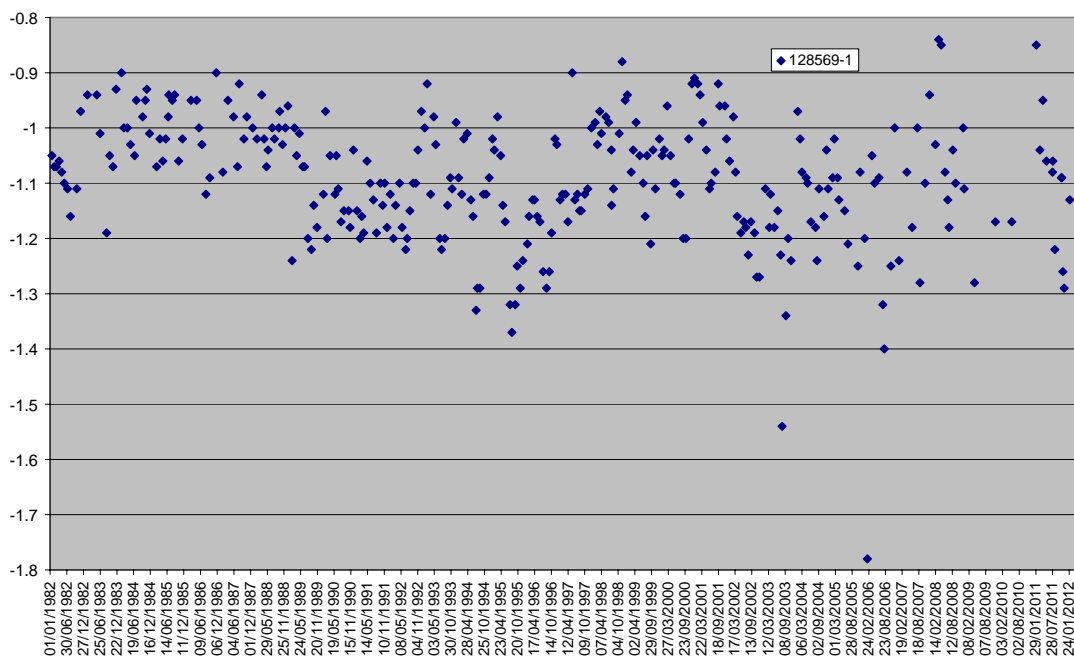
In de meetreeks van peilbuis 128569-1 is de laagste grondwaterstand niet gemeten in de zomer van 2003, maar op 10 februari 2006 (zie B5). In de naburige peilbuizen is dit niet het geval; er lijkt dus sprake van een zeer lokale ingreep (bijvoorbeeld een bemaling) of een meet- of verwerkingsfout. Als deze meting wordt verwijderd uit de dataset neemt de verklaarde variantie voor deze peilbuis toe van 0.24 naar 0.27. Maar ook na verwijdering van dergelijke uitschieters blijft er sprake van andere dan meteorologische invloedsfactoren op de grondwaterstand. Hiervoor zijn de volgende oorzaken aan te wijzen die terug te voeren zijn op een verschil tussen landelijk en stedelijk gebied:

- een afwijkende relatie tussen neerslag, verdamping en afvoer in verhard gebied, waarbij de neerslagintensiteit mogelijk zwaarder meeweegt dan in onverhard terrein;
- vaker waterhuishoudkundige of civieltechnische ingrepen in de directe omgeving;

In de controle-peilbuis is de invloed van het neerslagoverschot nihil ($r^2 = 0.01$). Dit ondersteunt de visuele beoordeling van stap 1.



Figuur 4. Lineaire regressie voor peilbuis 128569-1.



Figuur 5. Meetreeks peilbuis 128569-1 (voorbeeld).

Wat kunnen we hiermee?

Op basis van de bovenstaande verkennende analyse voor de deelgemeente Noord in Rotterdam kan worden geconcludeerd dat er in stedelijk gebied beïnvloeding van grondwaterstanden door neerslag en verdamping kan plaatsvinden, ook al is dit lang niet overal aan de orde en blijft de bijdrage beperkt tot maximaal ca. 25%.

De toegepaste lineaire regressie is gekozen als analyse methode vanwege de lage meetfrequentie. In principe is een analyse door middel van tijdreeksmodellering te verkiezen, maar dat vereist een veel hogere meetfrequentie van de grondwaterstand, bijvoorbeeld dagelijks, danwel een veel langere meetreeks. Dit zou kunnen worden gerealiseerd dor middel van automatische drukopnemers.

Indien de wens bestaat om een mogelijke invloed van klimaatverandering op de grondwatersituatie in Rotterdam beter in kaart te brengen, zou deze als volgt gerealiseerd kunnen worden:

1. Uitbreiding van de lineaire regressie voor alle freatische peilbuizen die aan bepaalde criteria voldoen voor wat betreft ligging in stedelijk gebied en lengte meetreeks. Vanzelfsprekend zou dit geautomatiseerd moeten worden gezien het grote aantal peilbuizen.
2. Vervaardiging van een kaart op basis van deze regressie, waarop de bijdrage van het neerslagoverschot aan grondwaterfluctuaties ruimtelijk wordt weergegeven ("r²-kaart").
3. Bepaling invloed klimaatverandering op grondwaterstand per peilbuis, door extrapolatie van de regressie naar drogere omstandigheden, indien een significante bijdrage door het neerslagoverschot aan de orde is (bijvoorbeeld $r^2 > 20\%$).

Een uitgebreidere en nauwkeurigere is mogelijk met de volgende aanvullende inspanning:

4. Uitrusting van een beperkt aantal peilbuizen met een relatief hoge r² met automatische drukopnemers.
5. Na bijvoorbeeld één of twee jaar een tijdreeksmodellering van de meetreeksen, voor de huidige situatie en onder klimaatverandering.

Een mogelijk eindresultaat is een kaart met per (geselecteerde) peilbuis een verandering in bijvoorbeeld de GLG als gevolg van klimaatverandering.