



# **Fysieke bouwstenen voor de knelpuntenanalyse nieuwbouw en herstructurering**

TNO-060-UT-2011-01826  
oktober 2011

Climate Proof Cities consortium



**Opdrachtgever:** Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering

**Opdrachtnemer:** Climate Proof Cities consortium  
[www.knowledgeforclimate/climateproofcities](http://www.knowledgeforclimate/climateproofcities)

**Datum:** 19 oktober 2011

**Auteurs:**

P.R. Bosch (TNO)  
M. Hoogvliet (Deltares)  
H. Goosen (Alterra)  
F. van der Hoeven (TUD)

Met bijdragen van:

B. van de Pas (Deltares)  
K. de Bruijn (Deltares)  
K. Slager (Deltares)  
F. van Weert (Deltares)  
G. Oude Essink (Deltares)  
A. Gerritsen (Deltares)  
F. van de Ven (Deltares)  
R. Brolsma (Deltares)  
J. Buma (Deltares)  
B. M. Tjon Sie Fat (TUD)

# Inhoud

<b>1 Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>2 Inleiding en begrippenkader</b>	<b>9</b>
<b>Deel I. Veiligheid</b>	<b>18</b>
<b>3 Overstroming</b>	<b>18</b>
3.1 Veiligheid tegen overstromingen en beleid in Nederland	18
3.2 Gegevensbronnen	19
3.3 Kans en blootstelling in de huidige situatie	20
3.4 Kwetsbaarheid in de huidige situatie	30
3.5 Gevolgen in de huidige situatie	31
3.6 Effecten van de Deltascenario's in 2050 en 2100	36
3.7 Conclusie	43
<b>Deel II. Overlast</b>	<b>46</b>
<b>4 Wateroverlast door neerslag</b>	<b>46</b>
4.1 Wat verstaan we onder wateroverlast door neerslag	46
4.2 Gegevensbronnen	46
4.3 Dreiging van wateroverlast	47
4.4 Gevoeligheid voor wateroverlast	50
4.5 Effecten van de Deltascenario's in 2050	52
4.6 Doorkijk naar 2100	57
4.7 Conclusie	58
<b>5 Verzilting van grond- en oppervlaktewater</b>	<b>59</b>
5.1 Wat is verzilting	59
5.2 Gegevensbronnen	59
5.3 De dreiging van verzilting	59
5.4 Gevoeligheid en kwetsbaarheid voor verzilting	64
5.5 Effecten van de Deltascenario's in 2050	65
5.6 Doorkijk naar 2100	66
5.7 Conclusie	66
<b>6 Grondwateroverlast</b>	<b>68</b>
6.1 Wat is grondwateroverlast	68
6.2 Gegevensbronnen	68
6.3 De dreiging van grondwateroverlast	69
6.4 Blootstelling aan grondwateroverlast	69
6.5 Gevoeligheid voor grondwateroverlast	69
6.6 Kwetsbaarheid voor grondwateroverlast	70
6.7 Effecten van de Deltascenario's in 2050	72
6.8 Doorkijk naar 2100	74
6.9 Conclusie	74
<b>7 Grondwateronderlast</b>	<b>75</b>
7.1 Wat is grondwateronderlast	75

7.2	Gegevensbronnen	75
7.3	De dreiging van grondwateronderlast	76
7.4	Blootstelling aan grondwateronderlast	76
7.5	Gevoeligheid voor grondwateronderlast	77
7.6	Kwetsbaarheid voor grondwateronderlast	78
7.7	Effecten van de Deltascenario's in 2050	78
7.8	Doorkijk naar 2100	79
7.9	Conclusie	79
<b>8</b>	<b>Bodemdaling</b>	<b>81</b>
8.1	Wat verstaan we onder bodemdaling	81
8.2	Gegevensbronnen	81
8.3	De gevoeligheid voor bodemdaling	82
8.4	Kwetsbaarheid voor bodemdaling	87
8.5	Effecten van de Deltascenario's in 2050	88
8.6	Doorkijk naar 2100	89
8.7	Conclusie	89
<b>9</b>	<b>Waterkwaliteit</b>	<b>90</b>
9.1	Belang van waterkwaliteit voor de bebouwde omgeving	90
9.2	Gegevensbronnen	90
9.3	Effect van klimaatverandering op waterkwaliteit	90
9.4	Conclusie	92
<b>10</b>	<b>Stedelijk groen</b>	<b>93</b>
10.1	Functies en areaal stedelijk groen	93
10.2	Gegevensbronnen	93
10.3	Effecten van de Deltascenario's in 2050 en 2100	93
10.4	Conclusie	95
<b>11</b>	<b>Watervraag en watervoorziening</b>	<b>97</b>
11.1	Huidige watervraag van het stedelijk gebied	97
11.2	Gegevensbronnen	97
11.3	Effecten van de Deltascenario's in 2050 en 2100	97
11.4	Conclusie	99
<b>Deel III. Gezondheid</b>		<b>100</b>
<b>12</b>	<b>Hitte in de stad</b>	<b>100</b>
12.1	Het stedelijk warmte eiland effect	100
12.2	Gegevensbronnen	101
12.3	Kwetsbaarheid: de effecten van warmte	101
12.4	Blootstelling: wat beïnvloedt het stedelijk warmte-eiland effect?	103
12.5	Effecten van de Deltascenario's in 2050	110
12.6	Doorkijk naar 2100	113
12.7	Conclusie	114
<b>13</b>	<b>Luchtkwaliteit</b>	<b>115</b>
13.1	Hitte en luchtverontreiniging	115
13.2	Gegevensbronnen	115
13.3	Effecten van de Deltascenario's in 2050	115

13.4 Doorkijk naar 2100	116
13.5 Conclusie	116
<b>Literatuur</b>	<b>118</b>
<b>Bijlage A: Verstedelijking in de Deltascenario's</b>	<b>125</b>
<b>Bijlage B: Deelnemers workshops</b>	<b>131</b>

# 1 Samenvatting

## Fysieke aspecten van nieuwbouw en herstructurering

Klimaatverandering met al z'n neveneffecten via bodem en (grond)water is één van de factoren die mogelijk een rol gaat spelen bij keuzes over toekomstige nieuwbouw en herstructurering. Dit rapport, gemaakt in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, heeft als doel inzicht te geven in de stand van kennis voor wat betreft de fysieke aspecten (bodem, water, klimaat) die samenhangen met nieuwbouw en herstructurering.

*Weinig kennis over het stedelijk gebied...*

Voor veel van de onderzochte thema's op dit gebied is er weinig kennis over het stedelijk gebied zelf: vaak is wat we weten afgeleid van kennis over het landelijk gebied. Het gedrag van bodem en grondwater binnen de grenzen van de bebouwing is vaak complex en als er al kennis van bestaat, dan is die alleen lokaal beschikbaar.

Een aantal van de thema's blijkt ook sterk bepaald door lokale omstandigheden. Nationale gegevens, zoals gebruikt in deze verkennende studie, zijn dan onvoldoende om een goede inschatting te geven van de omvang van de problematiek.

*Tot 2050; alle problemen bestaan al...*

Ook al kunnen slechts tot op zekere hoogte conclusies worden getrokken, toch kan worden gesteld dat alle gesignaleerde toekomstige problemen voor nieuwbouw en herstructurering nu al bestaan. Verstedelijking en klimaatverandering verhogen slechts de omvang en de intensiteit. In de periode tot 2050 zijn voor de volgende thema's de potentiële effecten van klimaatverandering samen met toenemende verstedelijking veel groter dan op dit moment:

- overstromingsrisico's,
- wateroverlast,
- stedelijke watervoorziening (droogte),
- hitte in de stad.

Voor de andere onderwerpen in dit rapport (verzilting, grondwateroverlast, grondwateronderlast en bodemdaling) geldt dat er wel een probleem is en mogelijk blijft, omdat Nederland nu eenmaal in een delta ligt, maar niet een veel grotere opgave dan de huidige. Weliswaar is in droge klimaatscenario's een toename van de schade door grondwateronderlast en bodemdaling en in natte klimaatscenario's een toename van de schade door grondwateroverlast te verwachten, maar de toename door klimaatverandering van ieder van deze problemen afzonderlijk is gering in vergelijking met de ernst en omvang van de huidige problemen. Desondanks kan aandacht voor deze onderwerpen lokaal belangrijk zijn voor de kwaliteit van de leefomgeving en het voorkomen van schade. De combinatie van verschillende problemen beïnvloedt ook stedelijke waterkwaliteit en stedelijk groen. Zie ook tabel 1.1.

*Verstedelijking en klimaatverandering verhogen omvang en intensiteit...*

De omvang van de optredende effecten is sterk gerelateerd aan zowel de intensiteit van klimaatverandering en de mate van verstedelijking. Scenario's die een sterke verstedelijking in de Randstad en in bestaande stedelijke gebieden combineren met een klimaatscenario waarin de gemiddelde temperatuur flink stijgt, waarin extremen in regenval toenemen, maar ook droge zomers frequenter worden, betekenen een versterking van de toekomstige problemen.

### *Onderlinge verbanden kunnen problemen versterken...*

Tussen de thema's zijn er veel onderlinge verbanden: droogte leidt bijvoorbeeld tot grondwaterstands daling en zetting van bodemlagen en bodemdaling, bodemdaling versterkt overstromingsrisico's en kan leiden tot meer verzilting, droogte en watertekorten beïnvloeden zowel stedelijk groen als funderingen, verzilting heeft invloed op de waterkwaliteit en daarmee stedelijk groen. De hitteproblematiek is gekoppeld aan luchtkwaliteit in de stad.

### *Veel van de huidige en toekomstige problemen in Laag-Nederland....*

Vanwege de ligging en de opbouw van de bodem liggen veel van de huidige en toekomstige problemen in Laag-Nederland. De Randstad en het westelijke deel van het rivierengebied heeft door z'n overwegend lage ligging te maken met overstromingsrisico's en tegelijkertijd met bodemdaling. De grootste bodemdaling vindt plaats in dat deel van West Nederland dat in het geval van overstromen juist is blootgesteld aan een grote waterdiepte en stijgsnelheid. Bodemdaling door het inklinken van veenlagen is het meest uitgesproken in het landelijk gebied, en daarmee vooral een probleem voor nieuwbouw. Bestaande bouw in dit deel van Nederland heeft meer last van (verschil)zetting en verlaging van de grondwaterstand welke onder het droge W+ scenario in steden in Laag-Nederland gemiddeld met meer dan een decimeter bedraagt. Dit kan leiden tot schade aan gebouwen (scheurvorming en paalrot), infrastructuur, openbare en private ruimte. Voorkomen van schade aan bestaande constructies vraagt om het handhaven van het grondwaterpeil en daarmee enerzijds peilbeheer van het oppervlaktewater en anderzijds aanvulling van het grondwater vanuit het regenwater.

Ditzelfde is nodig voor het voorkomen van verdroging van openbaar groen. Watervoorziening van en waterbeheer in het stedelijk gebied blijkt dus een sleutelfactor in het beheersen van een aantal mogelijke problemen.

Het overige rivierengebied met kleibodems heeft behalve met overstromingsrisico's vooral te maken met wateroverlast. Wateroverlast door neerslag kan in principe in alle Nederlandse steden optreden. Onder het natte W scenario krijgen vooral gebieden in Laag-Nederland en Zuid-Limburg extra water te verwerken. Problemen ontstaan bij het uitblijven van aanpassingen in laaggelegen gebieden met kleibodems zoals in de Betuwe, de IJsselvallei, en de gebieden die ook gevoelig zijn voor overstromingen (klei en veengebieden van West en Noord Nederland, Flevopolders).

Onder het W scenario neemt ook grondwateroverlast toe. Dit gebeurt vooral in die gebieden die daar nu ook al last van hebben en langs de grote rivieren, nabij de kust en aan de randen van hoger gelegen zandgronden.

### *En Hoog Nederland...*

Hoog Nederland heeft te maken met verdroging onder de droge (G+,W+) klimaatscenario's, leidend tot dalingen van de gemiddelde laagste grondwaterstand met enkele decimeters op de hoge zandgronden. Voor gebouwen maakt dat weinig verschil, maar met het uitdrogen van de bodem nemen de problemen voor de watervoorziening van openbaar groen toe en vermindert de evapotranspiratie en daarmee de koeling van het stedelijk gebied. Problemen rond de kwaliteit van het oppervlaktewater treden hier sneller op vanwege de aanwezigheid van kleinere waterlichamen en minder doorspoeling.

Problemen met hitte in de stad en luchtverontreiniging nemen toe met de omvang van het stedelijk gebied. Dit is grotendeels onafhankelijk van ligging en bodem, hoewel de beschikbaarheid van water een belangrijke factor is voor verkoeling.



*Na 2050...*

De situatie na 2050 is afhankelijk van de mate waarin in de komende decennia het stedelijk gebied klimaatbestendig is gemaakt. In scenario's met grote stedelijke groei en een onveranderde invulling van het stedelijk gebied blijven de vier genoemde thema's aandacht vragen.

Dit rapport, en ook deze samenvatting, ordent de verschillende onderwerpen in drie overkoepelende thema's: veiligheid, overlast en gezondheid

### ***Thema: veiligheid***

#### *Overstroming*

In het verleden, maar ook onder de deltasceario's, vond en vindt veel van de economische groei en bevolkingstoename plaats in laaggelegen delen van Nederland die worden omringd door steeds hogere waterstanden. De blootstelling aan potentiële overstromingen en ook het maatschappelijk belang van deze gebieden nam en neemt dus voortdurend toe.

Als reactie hierop is Nederland goed beschermd tegen overstromingen door een uitgebreid systeem van dijken, kades, duinen, dammen en kunstwerken en is beleid ontwikkeld om deze bescherming op peil te houden. De kans op overstromen blijft daarom ook bij klimaatverandering gelijk, er van uitgaande dat de dijkeringen tijdig worden aangepast en onderhouden. Overstromingen zijn echter niet volledig uit te sluiten en er bestaan in de huidige situatie verschillen in overstromingsrisico's per gebied.

In door primaire keringen beschermde gebieden bevinden de locaties met de grootste kans op overstromen en de ernstigste blootstelling zich in het rivierengebied en de IJsselmeerpolders. Daar kunnen overstromingen een groot gebied treffen, er kunnen grote waterdieptes optreden en het water kan lang blijven staan. De potentiële schade door overstromingen is het grootst in de dichtbevolkte stedelijke gebieden.

Door klimaatverandering zal, bij gelijkblijvend beleid, de blootstelling bij overstromen groter worden: door hogere buitenwaterstanden bij een dijkdoorbraak zal de maximale waterdiepte in het overstroomd gebied toenemen. Ook kan een groter gebied onder water komen te staan. De grootste toename in blootstelling wordt verwacht in Zuid-Holland, IJsselmonde, Dordrecht, West-Brabant en Groningen-Friesland. Hierdoor neemt tussen 2000 en 2050 de potentiële schade toe met een factor 1,5. Deze toename is tussen 2000 en 2100 ongeveer een factor 1,5 á 2,5.

Door economische groei, bevolkingsgroei en bijbehorende ruimtelijke ontwikkelingen neemt de gevoeligheid voor verstoringen toe. In het GE scenario is het effect van economische groei op de potentiële schade en slachtofferaantallen veel groter dan het effect van de toegenomen blootstelling. In 2050 zou door stedelijke uitbreiding onder het GE scenario 50% meer oppervlak bebouwd gebied in de categorie "zeer diep" (meer dan twee meter diep) vallen dan in de huidige situatie. In het RC scenario zijn het effect van klimaatverandering en economische groei op de schade van vergelijkbare grootte.

Buitendijkse gebieden hebben vaak een grote blootstelling, maar aangezien overstromingen hier frequent optreden is het landgebruik daar meestal op aangepast. Gezien de geringe kwetsbaarheid verandert er voor de meeste buitendijkse gebieden in de toekomst weinig. Er bestaan echter ook intensief gebruikte buitendijkse woon- en werkgebieden met een kleinere kans op overstromen, maar met grote (economische) waarde, zoals bij Katwijk,

Scheveningen, in (de havens van) Rotterdam en de Drechtsteden. Door klimaatverandering zal ook in deze gebieden de blootstelling aan overstroming en door demografische en economische ontwikkelingen de waarde toenemen. Bij het nalaten van aangepaste bouwwijzen of andere maatregelen, nemen daardoor de risico's toe.

Overstromingen vanuit regionale waterlopen zijn in het algemeen lokaal, maar kunnen in diep gelegen polders, zoals de droogmakerijen in Zuid-Holland, wel leiden tot grote waterdieptes. Ze zijn meestal niet levensbedreigend. Door klimaatverandering kan de neerslagintensiteit toenemen waardoor de kans op overstromen vanuit het regionale systeem zal stijgen. Dit zal volgens het huidige beleid gecompenseerd worden door maatregelen aan het watersysteem of door de keringen te versterken. In de toekomst zal de waarde van het gebied achter regionale keringen toenemen door economische groei, bevolkingsgroei en ruimtelijke ontwikkelingen. Als dat gebeurt, zal conform het huidige beleid ook de kans op overstromen verkleind moeten worden.

### ***Thema: overlast***

#### *Wateroverlast door neerslag*

Er is geen relatie tussen het huidige voorkomen van problemen met water op straat en de geografische ligging in Nederland. Dat wil zeggen dat ieder stedelijke gebied ongeveer het waterafvoersysteem heeft dat nodig is voor de plaatselijke omstandigheden en het behalen van de gangbare normen, en dat problemen veroorzaakt worden door het lokaal falen van het systeem door specifieke omstandigheden of beheer. Er is ook geen significant onderscheid gevonden tussen verstedelijkingsstypen en de mate van wateroverlast. Alleen hoogstedelijke centra zijn vanwege de hoge verhardingsgraad gevoeliger voor het optreden van wateroverlast door neerslag dan andere bebouwde gebieden. De omvang van de schade door wateroverlast is, met veel kleine gevallen, moeilijk te kwantificeren.

In 2050 krijgen zomerse buien onder alle klimaatscenario's een hogere intensiteit. Het (natte) W-scenario betekent een stijging van de neerslagintensiteit in een T = 100 jaar piekbui van 25% en een stijging van de dagelijkse maximale neerslag van 24%. De potentiële toename van de blootstelling aan wateroverlast concentreert zich in de gebieden waar de infiltratiecapaciteit van de bodem gering is. Bij een herhalingstijd van T = 100 jaar zullen vooral in Laag-Nederland en Zuid-Limburg de afvoersystemen meer dan 20 tot 30 millimeter extra water te verwerken krijgen. Onder beide deltasenario's neemt richting 2050 het areaal bebouwd gebied dat blootgesteld wordt aan veel extra af te voeren water bij een 1:100 bui (> 30 mm) toe met circa 70.000 hectare. Enerzijds komt dit door de toename van de neerslag onder het klimaatscenario, maar anderzijds wordt ook bijgebouwd in juist die gebieden die een hoge blootstelling en dus grote wateropgave kennen. Deze ontwikkeling zet door richting 2100.

#### *Verzilting*

Verzilting via opwellend grondwater is een autonoom proces dat in belangrijke mate veroorzaakt wordt door droogleggingen, waterpeilverlagingen en de hieruit voortkomende bodemdaling. Deze hebben het diepe grondwater in beweging hebben gebracht, waardoor oud zout water zich nu naar het oppervlak beweegt. De kuststrook van Friesland-Groningen, Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden, kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland zijn blootgesteld aan verzilting. Met name onder het klimaatscenario W+ wordt verwacht dat de zoutbelasting vanuit het grondwater toeneemt. Dit is het gevolg van het neerslagtekort, een hogere zeespiegelstand en een dalend maaiveld, waardoor het drukverschil toeneemt. Echter, ten opzichte van de autonome processen is de additionele

invloed van klimaatverandering en zeespiegelstijging op de verzilting via opwellend grondwater, marginaal.

Behalve via het grondwater kan bebouwing en infrastructuur worden blootgesteld aan verzilting via oppervlaktewater (kademuren). Historische gebouwen zijn het meest kwetsbaar voor zoutkristallisatie. De mate van schade is sterk gebouw- en materiaalafhankelijk. Schaderamingen zijn niet beschikbaar. Chloride lijkt, behoudens de niet-onbelangrijke historische gebouwen geen grootschalige problemen voor constructies te geven. Sulfaat kan meer schade aan beton opleveren en is daarmee een potentieel groter probleem. De omvang hiervan is echter niet bekend.

#### *Grondwateroverlast*

Grondwateroverlast is een lokaal probleem, waar volgens een raming uit het jaar 2000 260.000 woningen mee geconfronteerd werden. Dit betrof gemiddeld 3% van de woningen in laaggelegen provincies, 1% van woningen in de provincies in hoog Nederland. Voor bepaalde wijken kan het echter een groot probleem zijn. Oorzaken zijn lokaal en divers, zoals stoppen van grondwateronttrekkingen, dempen of slecht onderhoud afwateringen of fouten bij bouwrijp maken. Voor bestaande bebouwing leidt klimaatverandering tot meer problemen in gebieden die nu al last hebben van grondwateroverlast en vooral aan de randen van hoger gelegen zandgronden (stuwwallen en duinen). Bij nieuwbouw is grondwateroverlast middels de juiste bouwmethoden relatief gemakkelijk te voorkomen. De verschillende klimaatscenario's maken voor de toekomst hierbij weinig verschil uit. En ook al wordt er in de toekomst veel meer gebouwd in natte gebieden (tot 90% van de toename in het GE scenario), de verwachting is dat dit niet leidt tot meer overlast door al genomen bestuurlijk en technische maatregelen.

#### *Grondwateronderlast*

Grondwateronderlast doet zich vooral lokaal voor in de stedelijke gebieden van Laag-Nederland. Schattingen van het aantal woningen met huidige grondwateronderlast lopen uiteen van ca. 70.000 tot 250.000. In het (droge) W+scenario daalt de gemiddeld laagste grondwaterstand in steden in Laag-Nederland met meer dan een decimeter. Lokaal zijn grotere dalingen mogelijk. Onder invloed van klimaatverandering is daarom een toename van schade te verwachten, maar deze toename is gering vergeleken met de ernst en de omvang van de problemen die momenteel al spelen.

Op zandgronden in Hoog Nederland kunnen grotere dalingen van de laagste grondwaterstand optreden, maar deze leiden tot minder schade. Het lagere bodemvochtgehalte hier vormt wel een knelpunt voor stedelijk groen.

#### *Bodemdaling*

Bodemdaling komt in Laag-Nederland veel voor als gevolg van zetting en krimp van klei- en veenlagen, of veenoxidatie. Bodemdaling leidt tot hoge kosten voor aanleg, herstel, beheer en onderhoud van bebouwing, infrastructuur en het watersysteem. Bodemdaling in peilbeheerste gebieden kan worden geremd door hogere grondwaterstanden te handhaven. Er is op landelijk niveau in kaart gebracht waar, onder welke omstandigheden, en hoeveel bodemdaling kan worden verwacht. Deze informatie is bruikbaar voor nieuwbouw. Voor nieuwbouw geldt dat in 2050, 4-5% van het oppervlak mogelijk valt in zeer bodemdalingsgevoelig gebied (60-100 centimeter bodemdaling in 50 jaar). Dit komt overeen met tussen de 27.000 en 75.000 woningen.

In bestaand stedelijk gebied is de bodem sterk geroerd en ontbreekt veelal informatie over de actuele bodemsamenstelling. Daardoor is het niet mogelijk te voorspellen hoeveel bodemdaling nog kan plaatsvinden.

### *Watervoorziening en waterkwaliteit*

Watertoevoer naar het stedelijk gebied is hoofdzakelijk nodig

- voor peilbeheer van oppervlaktewater en in mindere mate grondwater (om verzakking van gebouwen en infrastructuur te voorkomen, ter bescherming van houten paalfunderingen, en voor watervoorziening van (meestal openbaar) groen;
- voor de doorspoeling van watergangen (voor een goede waterkwaliteit).

De kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater is medebepalend voor de bruikbaarheid van dat water voor recreatie, watervoorziening, de gezondheid van ecosystemen, en uiteindelijk ook de belevingswaarde van water in de stad.

In de droge G+ en W+ klimaatscenario's kunnen knelpunten ontstaan in de watervoorziening van stedelijk gebied. Problemen met peilbeheer zullen zich vooral voordoen in steden in Laag-Nederland. In een droog jaar (nu 1 op 10 jaar) treden in 2050 nog geen problemen op met peilbeheer; in een extreem droog jaar (nu eens in de 82, in W+ eens in de 22 jaar) ontstaan wel tekorten. In Hoog Nederland ontstaat een probleem door de afname van bodemvocht in de niet door grondwater verzadigde zone, wat kan leiden tot verdroging van stedelijk groen, terwijl de mogelijkheden voor beregening beperkter worden. Hoe groot het precieze tekort in stedelijke watervoorziening is kan niet kwantitatief worden onderbouwd omdat steden deel uitmaken van grotere waterbeheereenheden. Er is bovendien nauwelijks informatie beschikbaar over de huidige watervraag van Nederlandse steden.

### ***Thema: gezondheid<sup>1</sup>***

#### *Hitte in de stad*

In scenario's met zowel verstedelijking als een snelle klimaatverandering is het onderwerp hitte in de stad belangrijk. Dat komt door de potentieel grote (tot zelfs levensbedreigende) effecten op de gezondheid van vooral ouderen. In recente hittegolfterperioden stierven in Nederland 40 mensen per dag meer. Dit blijkt geen "early harvest" effect, waarbij verzwakte ouderen eerder sterven maar een reële extra sterfte. Tevens leiden hittegolven tot slaapstoornissen en verminderde arbeidsproductiviteit. In steden worden door het warmte-eiland effect de optredende temperaturen verhoogd ten opzichte van het omringende platteland.

In 2050 draagt verstedelijking onder het GE scenario bij tot aaneengroeien van stedelijke warmte-eilanden waardoor een extra opwarming (0,7°C) ontstaat. Hier komt de algehele opwarming volgens de klimaatscenario's (1 tot 3,8°C op de warmste zomerdag, voor resp. G en W+) bovenop. In het RC scenario is de omvang van de hitteproblematiek een stuk lager door verminderde verstedelijking.

#### *Luchtkwaliteit*

Bij gelijkblijvende emissies kan klimaatverandering leiden tot een toename van zomersmog en hogere lokale concentraties van fijn stof. Zowel ozon (een belangrijk bestanddeel van zomersmog) als fijn stof leiden bij de mens bij langdurige blootstelling aan verhoogde concentraties tot verminderde longfunctie en verhoogde gevoeligheid voor luchtweginfecties. Vermindering van luchtverontreinigende emissies op continentale schaal is de belangrijkste weg naar een betere stedelijke luchtkwaliteit. Een aantal maatregelen om stedelijke doorstroming met frisse lucht te verbeteren uit oogpunt van hitte kan echter ook leiden tot verbeterde lokale luchtkwaliteit.

---

<sup>1</sup>Ook waterkwaliteit (hierboven) kan deels onder het thema gezondheid gerekend worden.

Tabel 1.1 Fysieke aspecten van nieuwbouw en herstructurering.

thema	onderwerp	Impact 2010	Impact 2050	Doorkijk 2100
Veiligheid	overstroming	laag NL: risico	toename	toename
Overlast	wateroverlast door neerslag	lokaal: materiële schade, belemmering econ. verkeer	toename	toename
	verzilting	zeer lokaal; schade aan oude/historische gebouwen	onveranderd	onveranderd
	grondwateroverlast	lokaal: gebouwschade	toename bij bestaande bebouwing waar nu ook al overlast is	gering door verwachte autonome vernieuwing bebouwing
	grondwateronderlast	laag NL: funderings- en zettingsschade	toename	toename
	bodemdaling	laag NL: ophoging, funderingsschade; schade kabels en leidingen	geringe toename	toename
	waterkwaliteit	bepaald door complexe lokale factoren	toename lage kwal. opp. water	toename
	stedelijk groen	verdroging	toename	toename
	watervoorziening	laag NL: tekort aanvoer	toename	toename
Gezondheid	hitte in de stad	incidenteel sterfte ouderen	toename, ook overlast	toename, ook overlast
	luchtkwaliteit	normoverschrijdingen PM10 en ozon	afhankelijk emissies	afhankelijk emissies

### De belangrijkste kennislacunes op een rijtje

In een aantal hoofdstukken van dit rapport is gepoogd uitspraken te doen over de situatie in stedelijke gebieden op grond van gegevens die alleen beschikbaar waren voor het omliggende landelijke gebied. In het algemeen is de belangrijkste kennislacune dan ook inzicht in (grond)water en bodem binnen het stedelijk gebied. Specifieke kennislacunes betreffen:

**Overstroming:** ontwikkeling van een robuuste risicozonering; effecten van klimaatverandering op de blootstelling van gebieden.

**Wateroverlast:** gedetailleerder overzicht omvang problematiek (schades) nu en in toekomst, waaronder een overzicht van de kwetsbaarheid van objecten in het stedelijk gebied.

**Verzilting:** kwetsbaarheid voor blootstelling aan sulfaat.

**Grondwateronderlast:** inventarisatie omvang kwetsbaarheid constructies.

**Bodemdaling:** omvang probleem in stedelijk gebied; inzicht in de (totale, inclusief toekomstige) kosten van bouwen in bodemdalingsgevoelig gebied.

**Waterkwaliteit:** kwantitatieve informatie omvang probleem onder de klimaatscenario's, ook in verband met veranderende recreatieve behoeften.

**Stedelijk groen:** effecten van klimaatverandering op (verdroging van) stedelijk groen, aanpassingsvermogen van vegetatie, evenals de invloed van klimaatverandering op de dreiging van natuurbranden.

**Watervoorziening:** kwantitatieve onderbouwing watervraag door steden, nu en onder deltasenario's.

**Hitte:** omvang problematiek onder deltasenario's met detail binnen stedelijk gebied.

**Luchtkwaliteit:** effect klimaatverandering op concentraties luchtverontreinigende stoffen.

## 2 Inleiding en begrippenkader

### Inleiding

Het Deltaprogramma is een nationaal programma dat ervoor moet gaan zorgen dat de huidige en volgende generaties veilig zijn tegen overstromingen, dat we de komende eeuw kunnen beschikken over genoeg zoet water en dat Nederland een aantrekkelijke, gezonde en veilige plek is om te wonen en te werken. Eén van de transversale deelprogramma's binnen het Deltaprogramma is Nieuwbouw en Herstructurering. Dit deelprogramma bekijkt welke regelgeving en afspraken nodig zijn om de gevolgen van klimaatverandering te betrekken bij plannen voor nieuwbouw en het herstructureren van bebouwde gebieden. Met andere woorden, hoe kunnen we zorgen dat we bij nieuwbouw in en herinrichting van steden en dorpen beter rekening houden met het watersysteem, de bodem en het klimaat? Hierbij gaat het nadrukkelijk om de kansen voor een aantrekkelijke en duurzame leefomgeving bij nieuwbouw en herstructurering te zien en te pakken.

In dit rapport zijn, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, gegevens over de interacties tussen bebouwing en bodem, water, grondwater, klimaat als fysieke aspecten van nieuwbouw en herstructurering samengebracht. Dankzij haar ligging in de delta van de rivieren Rijn en Maas heeft Nederland zich in de afgelopen eeuwen ontwikkeld als een van de dichtstbevolkte en welvarendste gebieden in Europa. Deze concentratie van mensen en kapitaal goederen brengt ook een grote kwetsbaarheid voor bedreigingen als overstroming, wateroverlast, droogte, verzilting en bodemdaling met zich mee. Door zowel klimaatverandering als verdere verstedelijking neemt de kwetsbaarheid alleen maar toe. Door gebrek aan gunstiger locaties vinden stedelijke ontwikkelingen plaats in gebieden die daartoe van nature minder geschikt zijn door een diepe ligging, een slappe bodem of buitendijks. Verdichting van het bebouwde gebied leidt veelal tot versterking van overlast bij heftige regenbuien. Klimaatverandering zal in de toekomst mogelijk leiden tot frequenter voorkomen van zulke heftige regenbuien, terwijl bovendien de temperatuur in de stad tijdens hittegolven onaangenaam hoog kan worden. Een samenhangende benadering van stedelijke ontwikkeling met inachtneming van het watersysteem, de ondergrond en het klimaat is nodig om Nederland in de toekomst veilig en aantrekkelijk te houden.

Dit rapport is een van de eerste studies voor het deelprogramma Nieuwbouw en Herstructurering. Het rapport draagt bouwstenen voor het bepalen van de omvang en de urgentie van de problemen die om een oplossing vragen bij het bieden van een veilige en duurzame plek om te wonen en te werken. Uiteraard bouwt het rapport voort op eerdere studies. Als brede verkenning mag "Building The Netherlands Climate Proof, Urban Areas" (van de Ven et al., 2010), voortbouwend op "Wegen naar een klimaatbestendig Nederland" (PBL, 2009a) met name genoemd worden, terwijl de Klimaat-effectatlas<sup>2</sup> een belangrijke bron van kaartmateriaal was.

Behalve het gebruik van de meest recente informatie bestaat het grote verschil met eerdere studies uit een consequente analyse van de ontwikkelingen in klimaatverandering en verstedelijking tot circa 2050, met een doorkijk naar 2100. Hiervoor is gebruik gemaakt van de zogenaamde Deltascenario's (Bruggeman et al., 2010); op deze scenario's wordt hieronder verder ingegaan.

---

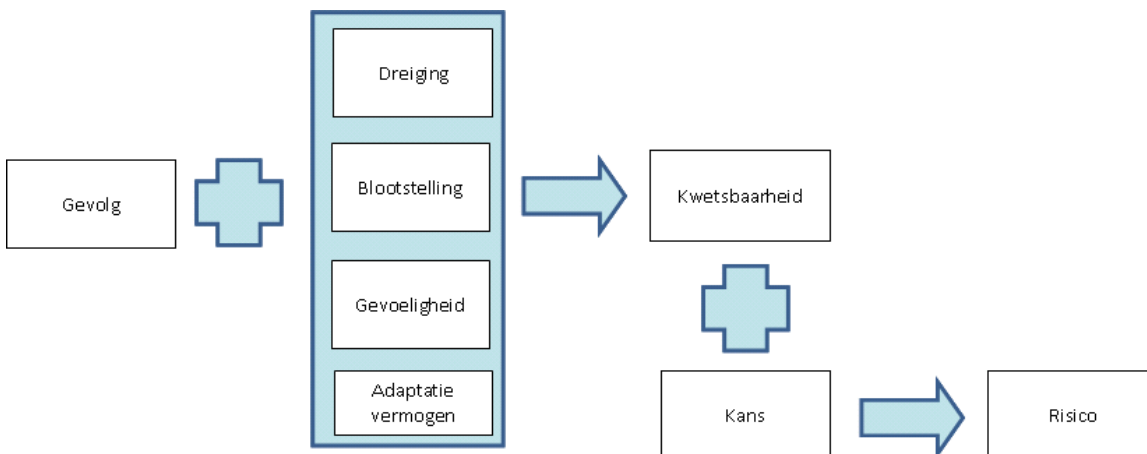
<sup>2</sup> <http://klimaat-effectatlas.wur.nl>

Deze studie is niet beperkt tot het huidige stedelijke gebied<sup>3</sup> waarvoor “herstructurering” op een zeker moment aan de orde is, maar is gebaseerd op landsdekkende kaarten, om alle mogelijke locaties voor “nieuwbouw” in de toekomst in de analyse kunnen betrekken. In het algemeen zijn de analyses in dit rapport gebaseerd op modelberekeningen voor de verschillende thema’s op nationale schaal (bijvoorbeeld: overstromingen, grondwateroverlast, bodemdaling). Voor thema’s waarbij lokale omstandigheden erg bepalend zijn (zoals hitte in de stad of regenwateroverlast) hebben extra inventarisaties plaatsgevonden in een aantal geselecteerde gemeenten.

Deze studie is uitgevoerd door het consortium “Climate Proof Cities”, een samenwerking van universiteiten en kennisinstellingen welke voortkomt uit het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat.

### In dit rapport gebruikte terminologie

Bij het doen van uitspraken over de aard van fysieke problemen met betrekking tot nieuwbouw en herstructurering, worden een aantal begrippen gebruikt uit de literatuur over risico analyse en klimaatverandering. Hieronder worden deze kort toegelicht aan de hand van Figuur 2.1.



Figuur 2.1 De samenhang tussen gevolgen van klimaatverandering, kwetsbaarheid en risico.

De mondiale klimaatverandering heeft een aantal gevolgen (Engels: Impacts) die ook in Nederland en in Nederlandse steden merkbaar zullen zijn. Deze gevolgen worden uitgedrukt als verandering van gemiddelde hoeveelheid neerslag, aantal dagen met veel neerslag, verandering in gemiddelde temperaturen in de zomer en de winter, of een toename van het aantal zomerse of tropische dagen. Maar behalve in meteorologische parameters kunnen gevolgen ook beschreven worden als hydrologische parameters, zoals verandering in het debiet van de grote rivieren, of stijging van de zeespiegel.

Gevolgen van klimaatverandering hebben de potentie om schade te veroorzaken, maar dat hoeft niet.

Wanneer we het hebben over dreiging (in relatie met de kans van optreden wordt soms ook gevaar gebruikt; Engels: Hazard), gaat het over klimaat en weer gerelateerde gebeurtenissen

<sup>3</sup> Onder stedelijke gebied wordt verstaan de bebouwde omgeving, zijnde alle gebieden met huizen, kantoren, bedrijventerreinen en voorzieningen. Het gaat dus zowel om binnensteden als om dorpen en gebouwen in het buitengebied.



die direct of indirect de mogelijkheid hebben om schade toe te brengen aan mensen, goederen en landschappen. De dreiging geeft de omvang en ernst weer van het fenomeen dat schade kan aanbrengen. We spreken dan over de dreiging van het verdrogen van de bodem door minder regenval in de zomer (en daarmee een bedreiging voor openbaar groen). Dreiging wil nog niet zeggen dat op een bepaalde plek in Nederland die schade ook werkelijkheid kan worden: dat hangt af van de drie hierna volgende begrippen (Füssel en Klein, 2006):

Blootstelling (Engels: Exposure): de mate waarin elementen in contact kunnen komen met een bepaalde dreiging. Om een enkel voorbeeld te noemen: de Veluwe is niet blootgesteld aan overstromingsdreigingen zoals voorzien tot 2100. Maar: wegwerkers zijn blootgesteld aan de dreiging van hogere temperaturen overdag.

Gevoeligheid (Engels: Sensitivity): de mate waarin een systeem wordt verstoord door een dreiging. Gevoeligheid hangt af van de waarde of het maatschappelijk belang van objecten in het gebied: een transformatorstation dat een deel van een stad van elektriciteit voorziet is gevoeliger voor een overstroming dan een koeienstal.

Adaptatievermogen (Engels: Adaptive capacity); de mate waarin een systeem (zowel natuurlijke als ook menselijke systemen) in staat is zich aan te passen aan klimaatsverandering (inclusief de sterkere mate van variabiliteit en aan de extreme situaties) om met de gevolgen om te gaan, kansen te benutten en zo schade te beperken (Smit et al., 2001). Herstructurering biedt dus een mogelijkheid het adaptatievermogen te versterken. Je zou een wijk met veel kelders als erg gevoelig voor overstroming door zee en rivieren kunnen karakteriseren, maar de betreffende wijk kan door de geografische ligging (hoog en droog) weinig blootgesteld zijn aan de dreiging van overstroming. Een wijk in buitendijks gebied kan regelmatig worden blootgesteld aan overstromingen, maar doordat drempels zijn aangelegd (adaptatie vermogen) is de schade en overlast hiervan beperkt.

Het is dus de combinatie van de omvang en reikwijdte van de dreiging, de blootstelling, de gevoeligheid en het adaptatievermogen die de kwetsbaarheid<sup>4</sup> (Engels: vulnerability) bepaalt. Kwetsbaarheid is de mate waarin een systeem ontvankelijk is voor de negatieve gevolgen van klimaatverandering en niet in staat is om die op te vangen, dus wanneer er een of andere vorm van schade zou kunnen optreden.

Bovenstaande begrippen zijn voldoende wanneer het gaat om langdurige processen of gemiddelde veranderingen, zoals bij bodemdaling of gemiddelde temperatuurstijging. Bij extreme gebeurtenissen speelt ook de kans van optreden. Het begrip risico (Engels: risk) wordt gebruikt voor die situaties waarbij sprake is van een kans dat een (vaak extreme) gebeurtenis plaatsvindt. Het risico is de resultante van kans en kwetsbaarheid. Als we het hebben over het risico van water op straat, dan gaat het om zowel de kans dat intensievere regenbuien optreden, als om de schade die hierdoor aan mensen en hun omgeving of hun investeringen zou worden aangericht.

Het onderscheid tussen langdurige geleidelijke veranderingen en extreme gebeurtenissen bepaalt ook het analyse kader. In de literatuur wordt gesproken van een “vulnerability approach” met een focus op wie of wat effecten ondervindt tegenover een “risk management approach” (Fünfgeld and McEvoy, 2011).

---

<sup>4</sup> In hoofdstuk 3 wordt een schema gehanteerd specifiek voor overstromingen dat afwijkt van de internationale begrippen, waarbij ‘gevoeligheid’ wordt aangeduid als ‘kwetsbaarheid’, en ‘kwetsbaarheid’ met ‘gevolgen’.

## Deltascenario's

De verkenning in dit rapport is gebaseerd op de zogenaamde Deltascenario's (Bruggeman et al., 2010). Dit zijn vier scenario's met vier mogelijke combinaties van drijvende krachten: twee klimaatscenario's (ruwweg G en W+ van de KNMI06 scenario's) en de scenario's Regional Communities en Global Economy uit de WLO scenario's (zie Tabel 2.1).

- G is een gematigd klimaatscenario met een gemiddelde opwarming van de wereldtemperatuur van 1°C en ongewijzigde luchtstroming boven Nederland.
- W+ is een scenario met een gemiddelde opwarming van de wereldtemperatuur van 2°C en gewijzigde luchtstroming boven Nederland waardoor de winters warm en nat zijn en de zomers extra warm en droog.
- Regional Communities (RC) heeft een lage economische en bevolkingsgroei, zodat de bevolkingsomvang in Nederland stabiel blijft rond 16 miljoen.
- Global Economy (GE) heeft een hoge economische groei en de bevolking van Nederland neemt toe tot 20 miljoen inwoners.

Waar in dit rapport gegevens worden gepresenteerd over toekomstige verstedelijking, dan verwijst dit naar de oppervlakte stedelijk gebied onder de Deltascenario's. Voor meer details over de Deltascenario's, zie Annex A.

Tabel 2.1 Gebruikte scenario's (deltascenario's zie Bruggeman et al., 2011).

	Naam	Relevante effecten
Klimaatscenario	G: gematigd: ongewijzigde luchtstroom boven NL	Toename rivierafvoeren (Maatgevende afvoer Rijn van 16.000 naar 17.000 m <sup>3</sup> /s te Lobith), zeespiegelstijging 35 cm, neerslagintensiteit neemt enigszins toe
	W+: Warm met nattere winters (en drogere zomers)	Toename rivierafvoeren (Maatgevende afvoer Rijn naar 18.000 m <sup>3</sup> /s te Lobith), 85 cm zeespiegelstijging, neerslagintensiteit neemt sterk toe
Sociaal-economische scenario's	RC: Regional Communities	Zwakke economische groei (0.7% per jaar), bevolking stabiliseert eerst en krimpt dan (bevolking 16 miljoen in 2050 en 12 miljoen in 2100).
	GE: Global Economy	Sterke economische groei (2.6% per jaar), bevolkingsgroei en verstedelijking (bevolking 2050: 20 miljoen; 2100: 24 miljoen)

## Herhalingstijden

Veel knelpunten die in de navolgende hoofdstukken worden beschreven komen voort uit langdurige droogtesituaties en hoge temperaturen of extreme regenval. De frequentie waarin deze extreme omstandigheden zich voordoen, gaat veranderen wanneer het klimaat verandert. Om een idee te geven van de frequentie waarin droogtesituaties zich nu en omstreeks 2050 kunnen voordoen, worden in Tabel 2.2 de herhalingstijden gegeven van karakteristieke droogtejaren. De jaren 2003 en 1976 worden in veel studies als voorbeeld aangehaald. Globaal kan worden gesteld dat onder omstandigheden zoals in 2003, een breed spectrum aan knelpunten begint op te spelen. Deze omstandigheden doen zich nu eens in de 10 jaar voor, maar onder W+ in 2050 eens in de 2 jaar.

Tabel 2.2 Gemiddelde maximale neerslagtekort in het zomerhalfjaar (vanaf 1 april) in de huidige situatie en in de vier KNMI'06 scenario's rond 2050, en de verandering in herhalingstijd voor een maximaal neerslagtekort zoals in 2003 (rond de 220 mm) en andere voorbeeldjaren.

	Huidige situatie	G	G+	W	W+
Gemiddelde maximale neerslagtekort [mm]	144	151	179	158	220
Herhalingstijd [1 maal in de x jaar] voor een neerslagtekort zoals in...					
1967 (gemiddeld)	3	2	1,5	2	1,2
2003 (droog)	10	8	4	7	2
1976 (extreem droog)	89	64	36	47	22

bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl) en [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)

### Gebiedsindeling

In deze rapportage wordt bij het bespreken van effecten gerefereerd aan bepaalde delen van Nederland. Op het hoogste niveau wordt onderscheid gemaakt tussen Hoog Nederland (hoger gelegen zandgronden, veelal niet peilbeheerst) en Laag Nederland (klei en veengebieden, waterpeil wordt beheerst). Binnen Laag Nederland is het voor sommige thema's relevant om de Zuid-Westelijke Delta en het Rivierengebied apart te onderscheiden. Ook de waddeneilanden en het buitendijkse gebied zijn aparte gevallen. Deze indeling in deelgebieden is weergegeven in Figuur 2.2.

De indeling is gebaseerd op een gedetailleerdere indeling dan die gebruikt wordt voor het Deelprogramma Zoetwater. De daarin onderscheiden gebieden vormen natuurlijke landschappelijke eenheden, die relatief homogeen zijn ten aanzien van landgebruik, bodemtypen, hoogteligging, grondwaterstanden, kwel/infiltratie, en die hydrologisch relevant zijn - dus een relatie hebben met waterbeheereenheden zoals stroomgebieden, de waterinfrastructuur en polder-/dijkringgebieden.



*Figuur 2.2 Ruimtelijke begrenzing van landschappelijke deelgebieden waaraan in deze rapportage wordt gerefereerd. NB. het winterbed van het Maasdal is in de figuur niet als buitendijks gebied aangegeven. Vanuit het perspectief van nieuwbouw en herstructurering gelden voor het Maasdal echter dezelfde eigenschappen als voor het buitendijkse gebied.*

### **Het stedelijk water als systeem**

In de hierna volgende hoofdstukken komen regelmatig aspecten van het stedelijk watersysteem en het stedelijk waterbeheer aan de orde. Hoofdstuk 12 behandelt de effecten van de Deltascenario's op de watervraag en -voorziening van het stedelijk gebied. De volgende paragrafen geeft als algemene inleiding voor deze hoofdstukken een overzicht van de specifieke functies en afhankelijkheden van ge- en verbruik van stedelijk water.

Het gebruik en verbruik van water in de stad wordt in belangrijke mate gereguleerd via het peilbeheer van grond- en oppervlaktewater en de doorspoeling van watergangen. In onderstaande tabel is schematische weergegeven welke factoren, processen en functies afhankelijk zijn van peilbeheer en doorspoeling. Drinkwatervoorziening is in deze studie buiten beschouwing gelaten. Dit thema is onderdeel van de knelpuntenanalyse van het deelprogramma Zoetwater.

Tabel 2.3 Functies (en daarin te voorkomen knelpunten) die verantwoordelijk zijn voor de watervraag van de bebouwde omgeving.



	Regulering via	Waterafhankelijke factoren en processen	Gerelateerde stedelijke functies of knelpunten	
Watervraag bebouwde omgeving	Peilbeheer	Handhaven grondwaterpeil (hoofdstuk 7)	Voorkomen van bodemdaling en zetting (hoofdstuk 8)	Voorkomen verzakken van gebouwen, constructies en infrastructuur
			Voorkomen schade aan funderingen (o.a. paalrot) (hoofdstuk 7)	
			Ondersteuning groenvoorzieningen (hoofdstuk 11)	
		Handhaven oppervlaktewaterpeil (hoofdstuk 11)	Garanderen bevaarbaarheid	
			Tegengaan hitte (hoofdstuk 12)	
	Doorspoeling	<i>algemeen</i> Goede waterkwaliteit (hoofdstuk 9)	Plezierige beleving, aantrekkelijke leefomgeving	
			Faciliteren recreatie	
		<i>specifiek</i> Tegengaan verzilting (hoofdstuk 5)	Ondersteuning stedelijke aquatische ecologie	
		Voorkomen schade aan bebouwing en constructies (hoofdstuk 6)		

Water komt het stedelijk gebied binnen via neerslag, kwel, effluent van waterzuiveringsinstallaties (behandeld leidingwater) en (indien mogelijk) vanuit het hoofdwatersysteem of regionaal watersysteem. Het verlaat de stad via (gewas)verdamping, het stedelijk watersysteem en (plaatselijk op de zandgronden) infiltratie naar het diepe grondwater.

Wat de vraag is van stedelijke functies en via welke routes water wordt aangevoerd, verschilt per stad. Elke stad heeft een watersysteem met specifieke kenmerken, behoeften en knelpunten. We maken hier alleen een ruimtelijk onderscheid naar steden in Laag-Nederland (op klei en veen), inclusief het Rivierengebied en de Zuid-Westelijke Delta, en steden in Hoog-Nederland (op de zandgronden). Met dit onderscheid hangen de belangrijkste verschillen samen. In de eerste categorie steden wordt het peil beheerst en vindt doorspoeling plaats. In de tweede categorie is door de afwezigheid van een aaneengesloten netwerk van watergangen het peil meestal niet gebiedsdekkend beheerst en kan niet worden doorgespoeld.

Zeker in Laag-Nederland kan het stedelijk gebied geen moment zonder water. Vele functies zijn afhankelijk van voldoende water van voldoende kwaliteit, en dus gevoelig voor droogte. Dat betekent ook dat er veel belanghebbenden zijn bij voldoende, goed water.

#### *Handhaven grond- en oppervlaktewaterpeil*

Het oppervlaktewaterpeilbeheer is belangrijk voor het garanderen van de bevaarbaarheid van waterwegen (denk aan de grachten) en voor drijvende woningen en woonboten, ter voorkoming van schade aan de toegangsconstructie en aan de huisaansluiting. Tevens ondervinden natuurvriendelijke oevers schade bij een te laag peil, evenals recreatiestranden. Beschoeiingen en kades kunnen beschadigd raken door een te laag waterpeil.

Het grondwaterpeil in de stad wordt beïnvloed door meerdere factoren. Neerslag, verdamping, kwel, infiltratie, vegetatie, ondergrondse constructies, drainage, (lekkende) rioolbuizen e.d. hebben allen tot gevolg dat het grondwaterpeil in de stad een grillig verloop heeft en lokaal sterk kan variëren. Een belangrijke regulerende factor is evenwel het peil van het oppervlaktewater. Peilvariatie van 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.

De reikwijdte van bovenstaande processen is afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem.

Een te laag grondwaterpeil kan leiden tot diverse problemen, maar ook een te hoog grondwaterpeil leidt tot knelpunten:

- Schade aan panden met kelders op staal gefundeerd of op trekpalen, als gevolg van een wijziging in de opwaartse waterdruk onder de fundering
- Spoorvorming, ongelijkmatige zakking en onvlakheid in (spoor)wegen als gevolg van te geringe drooglegging of taludinstabiliteit.

Aangezien zowel te lage als te hoge grondwaterstanden resulteren in knelpunten, is een toename van het verschil tussen de hoogste en laagste grondwaterstanden (buiten de huidige ranges) en een toename van de dynamiek (snellere variatie in peilen) ongewenst.

#### *Voorkomen van bodemdaling en zetting*

Handhaven van het grondwaterpeil is van belang in die gebieden die kwetsbaar zijn voor bodemdaling (zie hoofdstuk 8). Bodemdaling komt in Laag-Nederland veel voor als gevolg van zetting en krimp van klei- en veenlagen, of veenoxidatie. Dit treedt onder meer op als gevolg van lage grondwaterstanden. De processen zijn irreversibel. In Hoog-Nederland is bodemdaling een zeer beperkt probleem door de meestal zandige ondergrond. Leemlagen kunnen nog wel ongelijke zettingen veroorzaken.

Schade door bodemdaling kan omvangrijk zijn, omdat buizen, kabels en leidingen moeten worden vervangen en wegen, pleinen, parken en ook particuliere tuinen, opritten en parkeerplaatsen moeten worden opgehoogd. Ook op infrastructuur zijn tijdelijke peilveranderingen van grote invloed door ongelijkmatige zakking. Dit leidt tot scheurvorming en onvlakheid in (spoor)wegen en drempelvorming bij overgangen tussen verschillende gefundeerde constructiedelen in (spoor)wegen. Tenslotte kan daling van het

oppervlaktewaterpeil leiden tot stabiliteitsverlies van waterkeringen (dijken en langsconstructies) en waterkerende kunstwerken.

#### *Voorkomen van schade aan funderingen*

Vooraf in Laag-Nederland is in vooroorlogse wijken gebruik gemaakt van houten paalfunderingen. Door het dalen van de grondwaterstand kunnen de palen deels droog komen te staan. Op dat moment worden de palen door oxydatie en mogelijk schimmels aangetast. Bij herhaalde droogstand kunnen de palen dusdanig worden aangetast dat de fundering vervangen moet worden. Dit probleem kan ondermeer beperkt worden door het vasthouden van water in het gebied en het handhaven van een voldoende hoog grondwaterpeil.

#### *Ondersteuning groenvoorzieningen*

Op dit moment wordt kleinschalig openbaar groen in stedelijk gebied zelden geïrrigeerd, terwijl particulieren dit in de tuin wel regelmatig doen. Als door klimaatverandering de potentiële verdamping toeneemt, is te verwachten dat de irrigatie van openbaar groen en tuinen verder zal toenemen. Particulieren gebruiken nu veelal drinkwater voor dit doel, maar dit is een weinig duurzame oplossing, zeker als grotere volumina nodig zijn. Bovendien is de kwaliteit van het lokaal aanwezige oppervlakte- en grondwater in veel gevallen voldoende om te worden gebruikt voor irrigatie.

Sportparken en andere grootschalige groenvoorzieningen worden nu al vaak berekend uit lokaal oppervlaktewater of grondwater. De omvang en de schaal van deze inrichtingen zal toenemen.

Tenslotte is een goede watervoorziening van het stedelijk groen ook belangrijk op de hogere gronden om bosbranden in en nabij de bebouwde omgeving te voorkomen. Met de toenemende droogte en hitte neemt de kans daarop toe.

#### *Goede waterkwaliteit*

De kwaliteit van het stedelijk oppervlaktewater is medebepalend voor de bruikbaarheid van dat water voor recreatie (vissen, varen, zwemmen), voor watervoorziening (irrigatie, spoelwater, bluswater), voor de kwaliteit van ecosystemen (vissen, macrofyten, algen, kroos) en dus ook voor de leefomgevingskwaliteit.

Bij droogte ontstaat in het stedelijk watersysteem een watertekort en moet veelal water worden ingelaten. Indien de waterkwaliteit zowel van het aangevoerde water als in de stad op peil is, kan worden volstaan met aanvulling van het watertekort. Als de kwaliteit van het stedelijk water echter onvoldoende is en hinder oplevert, ontstaat een doorspoelbehoefte. Met doorspoeling wordt ook verzilting van het oppervlaktewater bestreden.

## Deel I. Veiligheid

### 3 Overstroming

#### 3.1 Veiligheid tegen overstromingen en beleid in Nederland

Nederland is zeer goed beschermd tegen overstromingen door hoge rivierafvoeren of stormen op zee door ons uitgebreide stelsel van waterkeringen, zoals duinen, dijken, dammen en andere kunstwerken. Toch kunnen overstromingen nooit helemaal uitgesloten worden. Overstromingen kunnen optreden als gevolg van een doorbraak in een waterkering of in gebieden die niet beschermd zijn door de wettelijk genormeerde dijkeringen (buitendijkse gebieden).<sup>5</sup>

Als overstromingen optreden kunnen de *gevolgen* zeer groot zijn. Een overstroming kan leiden tot economische schade, tot stress en leed bij getroffen en/of tot dodelijke slachtoffers. De gevolgen worden enerzijds bepaald door het overstromingsverloop (ook wel *blootstelling* genoemd, gekarakteriseerd door onder andere de grootte van het overstroomde gebied, de waterdiepte en de aankomsttijd van het eerste water) en worden anderzijds bepaald door de *kwetsbaarheid* van het gebied dat overstroomt. De kwetsbaarheid van een gebied voor een overstroming is afhankelijk van het aantal mensen in het gebied, hun bezittingen, en het landgebruik. Soms wordt ook gesproken over *overstromingsgevaar*<sup>6</sup>: dit is een combinatie van de kans op overstromen en blootstellingskarakteristieken (zie Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Begrippenkader voor thema Overstroming<sup>7</sup>.

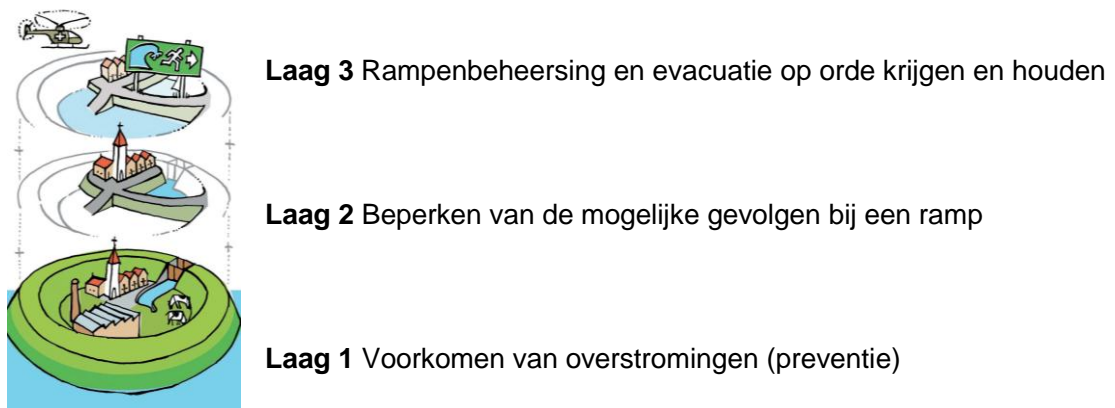
5. In het geval van het overstromen van buitendijks gebied wordt meestal gesproken van een hoogwatersituatie

6. Naar het Engelse 'hazard'

<sup>7</sup> NB: Het gebruik van terminologie in dit hoofdstuk wijkt af van de internationale praktijk (zie Hoofdstuk 2) waarbij kwetsbaarheid wordt aangeduid met gevoeligheid en gevolgen met kwetsbaarheid.



Om het overstromingsrisico beheersbaar te houden – nu, maar ook in de toekomst – wordt in Nederland ingezet op ‘meerlaagsveiligheid’ (Min V&W, 2009). Het zwaartepunt ligt bij de eerste laag (preventieve maatregelen), gericht op het voorkomen van overstromingen door dijken, dammen en andere kunstwerken. De tweede veiligheidslaag richt zich op het beperken van de gevolgen van mogelijke overstromingen door ruimtelijk beleid. De derde laag richt zich via rampenbestrijding en crisismanagement op het voorkomen van slachtoffers en het redden van mensen door het beheersen van de crisis als een overstroming onvermijdelijk is of werkelijk optreedt (zie Figuur 3.2).



Figuur 3.2 Het concept van meerlaagsveiligheid (bron: Nationaal Waterplan (Min. V&W, 2009)).

Om de kans op overstroom te beperken zijn wettelijke normen vastgesteld in de vorm van de overschrijdingsfrequenties van maatgevende condities (waterstanden en golfopzet) die de dijken nog moeten kunnen keren. Zo moeten bijv. de dijken rond Zuid-Holland condities die gemiddeld eens in de 10.000 jaar voorkomen, nog kunnen keren (norm is 1/10.000). Uitgaande van continuering van dit beleid zullen de keringen versterkt moeten worden als door klimaatverandering de maatgevende waterstanden dreigen te stijgen en de kansen op overstroming dus dreigen toe te nemen. In deze studie wordt uitgegaan van een dergelijke continuering van dit beleid. Dit betekent dat aangenomen wordt dat klimaatverandering niet leidt tot grotere kansen op overstroming, omdat de hogere waterstanden door klimaatverandering worden gepareerd met dijkversterking of rivierverruiming.

Desalniettemin kan door klimaatverandering via toename van blootstelling en kwetsbaarheid, het overstromingsrisico in de toekomst toch toenemen, en ook door bevolkingsgroei en economische groei. Klimaatverandering zal vooral effect hebben op de blootstelling (het wordt bijv. dieper), terwijl bevolkingsgroei en economische groei de kwetsbaarheid vergroten.

Dit hoofdstuk beschrijft eerst de huidige situatie ten aanzien van overstromingen in Nederland en geeft daarna een indicatie van de toekomstige effecten van klimaatverandering, economische groei en bevolkingsgroei. Het begrippenkader uit Figuur 3.1 vormt bij deze beschrijving de leidraad.

### 3.2 Gegevensbronnen

Voor deze probleemanalyse is gebruik gemaakt van een aantal bestaande studies, namelijk:

- Het project Waterveiligheid in de 21<sup>ste</sup> eeuw: van dit project zijn met name de kaarten en gegevens over overstromingsverlopen en overstromingsgevolgen gebruikt, zoals die voortkomen uit overstromingen door doorbraken van primaire waterkeringen.

- Het nog lopend project “overstromingsrisicozonering” waarin uitwerking gegeven wordt aan een actie uit het NWP om samen met de betrokken overheden een methode voor overstromingsrisicozonering te ontwikkelen (Van de Pas, Slager, Klijn & Pieterse, 2011). Uit deze studie zijn het begrippenkader (figuur 3.1) en een aantal kaarten overgenomen.
- De analyse van risicovolle plekken: locaties die gevaarlijk en kwetsbaar zijn vanuit het perspectief van slachtofferrisico's (De Bruijn & Klijn, 2009).
- Het Deltaprogramma Rijnmond Drechtsteden: hiervan zijn de deelstudies naar binnendijkse en buitendijkse overstromingsrisico's gebruikt (De Bruijn, 2011; en Huizinga, 2011).
- Het project “Wegen naar een klimaatveranderingsbestendig Nederland” van PBL en haar voorloper: “Nederland Later”: In achtergrondstudies van Deltares (Klijn *et al.*, 2007; en Klijn *et al.*, 2010) zijn de veranderingen in overstromingsrisico's in de toekomst volgens twee scenario's beschreven en zijn mogelijke beleidsalternatieven onderzocht.
- Studies van Arcadis (2009 en 2011) naar overstromingsrisico's buitendijks.

### 3.3 Kans en blootstelling in de huidige situatie

Het overstromingsgevaar is gedefinieerd als de combinatie van de *kans* op overstromen en de *blootstelling*. Dit gevaar verschilt in de huidige situatie van gebied tot gebied en is afhankelijk van de ‘bron’ waaruit de overstroming plaats vindt. In dit hoofdstuk wordt onderscheid gemaakt tussen:

- overstromingen als gevolg van een doorbraak in primaire keringen;
- overstromingen als gevolg van een doorbraak in regionale keringen;
- en hoogwatersituaties in buitendijks gebied.

Met primaire keringen worden hier de als primaire kering aangewezen duinen, dijken en kunstwerken langs de kust, het IJsselmeer en het Markermeer, en langs de grote rivieren (Rijn, Maas en Vecht) bedoeld. Regionale keringen zijn provinciaal genormeerde dijken en kades van het regionale watersysteem (boezemkades, dijken langs kleinere rivieren, kanalen etc.).<sup>8</sup> Het ‘onbeschermd’ gebied (buitendijks gebied) is het gebied dat vanuit de grote rivieren, zee en het IJsselmeer onder kan lopen, zonder dat daarvoor een waterkering hoeft te breken. Voorbeelden van buitendijkse gebieden zijn de uiterwaarden langs de rivieren, onbedijkte delen in het Maasdal, smalle zones van enkele kustplaatsen, buitendijkse gebieden in de grote meren en buitendijkse havens en industrieterreinen langs de rivieren en kust.

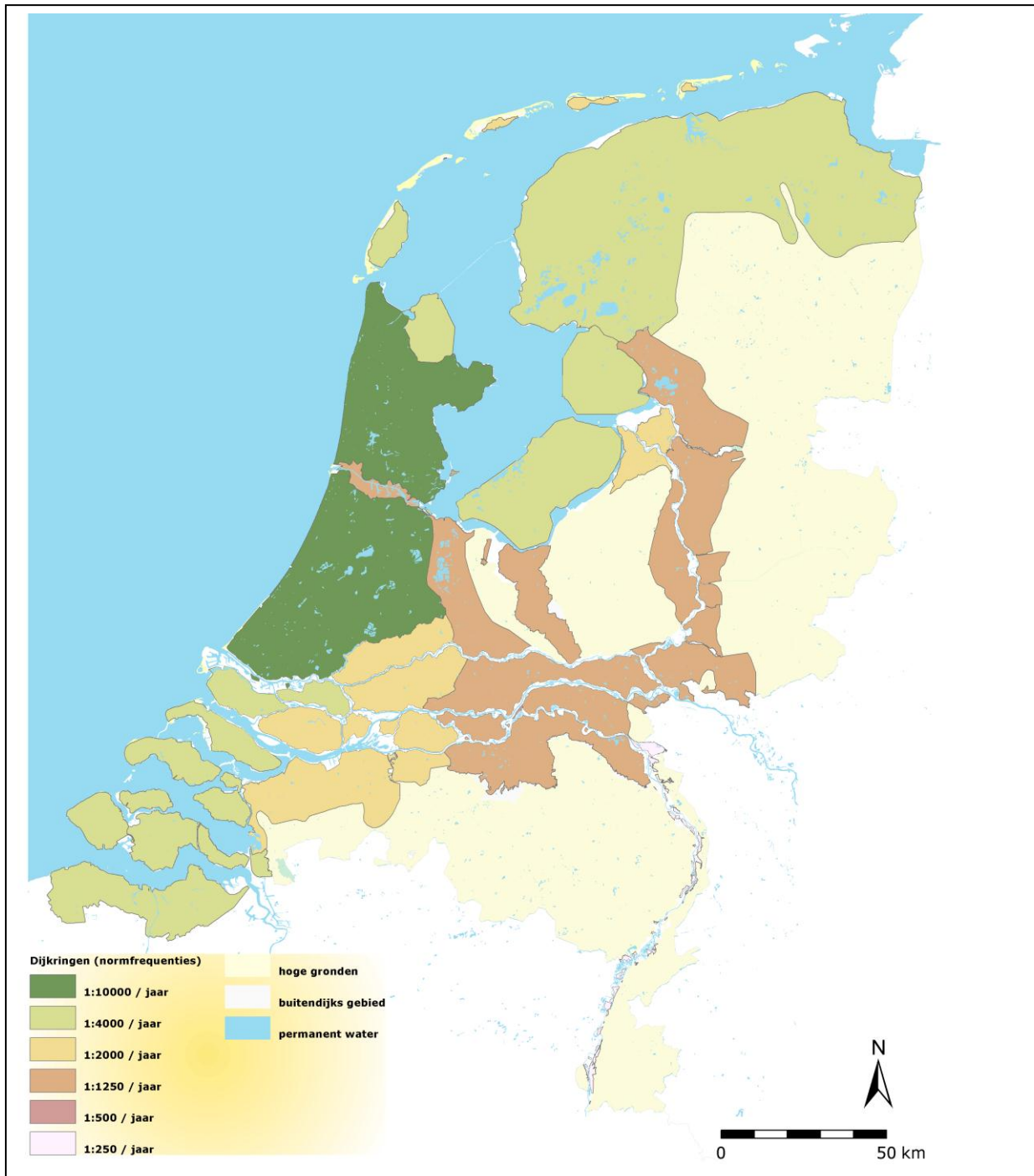
#### 3.3.1 Overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire waterkeringen

##### **Kans op overstromen**

In door primaire waterkeringen beschermde gebieden kunnen overstromingen optreden als een kering breekt. De kans van falen van de keringen is gerelateerd aan de omstandigheden waarvoor de dijken zijn ontworpen (de maatgevende condities). De overschrijdingskansen van de maatgevende condities zijn weergegeven in Figuur 3.3. Deze overschrijdingskansen zijn het grootst in het rivierengebied en het kleinst langs de kust van Noord- en Zuid-Holland.

8. Wanneer tijdens natte periodes waterlopen buiten hun oevers treden, wordt gesproken van wateroverlast (zie hoofdstuk 4). Wanneer er een dijkdoorbraak optreedt in een dijk of kade, spreken we van een overstroming.

De kans op overstroming van de gebieden achter de keringen wijkt af van de overschrijdingskans van de maatgevende condities van de keringen. Dit komt doordat dijken vaak sterker of zwakker zijn dan ze volgens de normen moeten zijn en omdat ze behalve door overloop en overslag, ook door andere faalmechanismen kunnen breken (piping bijvoorbeeld). De werkelijke huidige kansen op overstromen zijn (nog) niet landsdekkend bekend; er zijn slechts enkele schattingen naar verraicht (bijv. Klijn et al., 2007). Als de primaire dijken aan de norm zouden voldoen en de nieuwe inzichten in de ontwerp- en toetsregels zouden zijn meegenomen, dan zijn de kansen op overstromen voor alle door primaire dijken beschermde gebieden klein (kleiner dan 1/1000). Alleen de kades van de Limburgse Maasdijkkringen zijn gedimensioneerd op afvoeren met een grotere kans van voorkomen, namelijk 1/250 per jaar.



De kaart "Bescherminingsnormen: Overschrijdingskansen van de maatgevende condities voor de dijkringen in Nederland" geeft de huidige wettelijke overschrijdingskansen van de maximale waterstanden die de dijken nog moeten kunnen keren voor alle dijkringen in Nederland. De bij deze kans horende condities (waterstanden en golfopzet) worden gebruikt bij het ontwerpen en toetsen van waterkeringen. De keringen langs de rivieren hebben de grootste overschrijdingskansen en de keringen langs de dichtbevolkte kustgebieden de kleinste.

Figuur 3.3 Bescherminingsnormen van de dijkkringgebieden: Overschrijdingskansen van de maatgevende condities voor de dijkringen in Nederland (volgens de waterwet).

## Blootstelling

Het gevaar van overstroming wordt niet alleen bepaald door de kans op een overstroming, maar ook door het overstromingsverloop en de daaruit voortvloeiende *blootstelling*. Blootstelling kent meerdere dimensies. Een overstroming met een grote kans van optreden waarbij de waterstand slechts kniediep is (dit is een beperkte blootstelling) kan forse schade veroorzaken, maar is niet direct (levens)gevaarlijk. Aldus is onderscheid te maken tussen de relevante blootstellingparameters voor het bepalen van economische schade en voor het bepalen van slachtofferaantallen (zie Tabel 3.1). De parameters uit Tabel 3.1 worden hieronder toegelicht.

Tabel 3.1 Belangrijke blootstellingsparameters met betrekking tot schade en slachtoffers.

Bezittingen en objecten	Personen
Maximale waterdiepte	Maximale waterdiepte
Maximale stroomsnelheid	Maximale stroomsnelheid
Overstromingsduur	Minimale aankomsttijd
	Maximale stijgsnelheid

### *Waterdiepte*

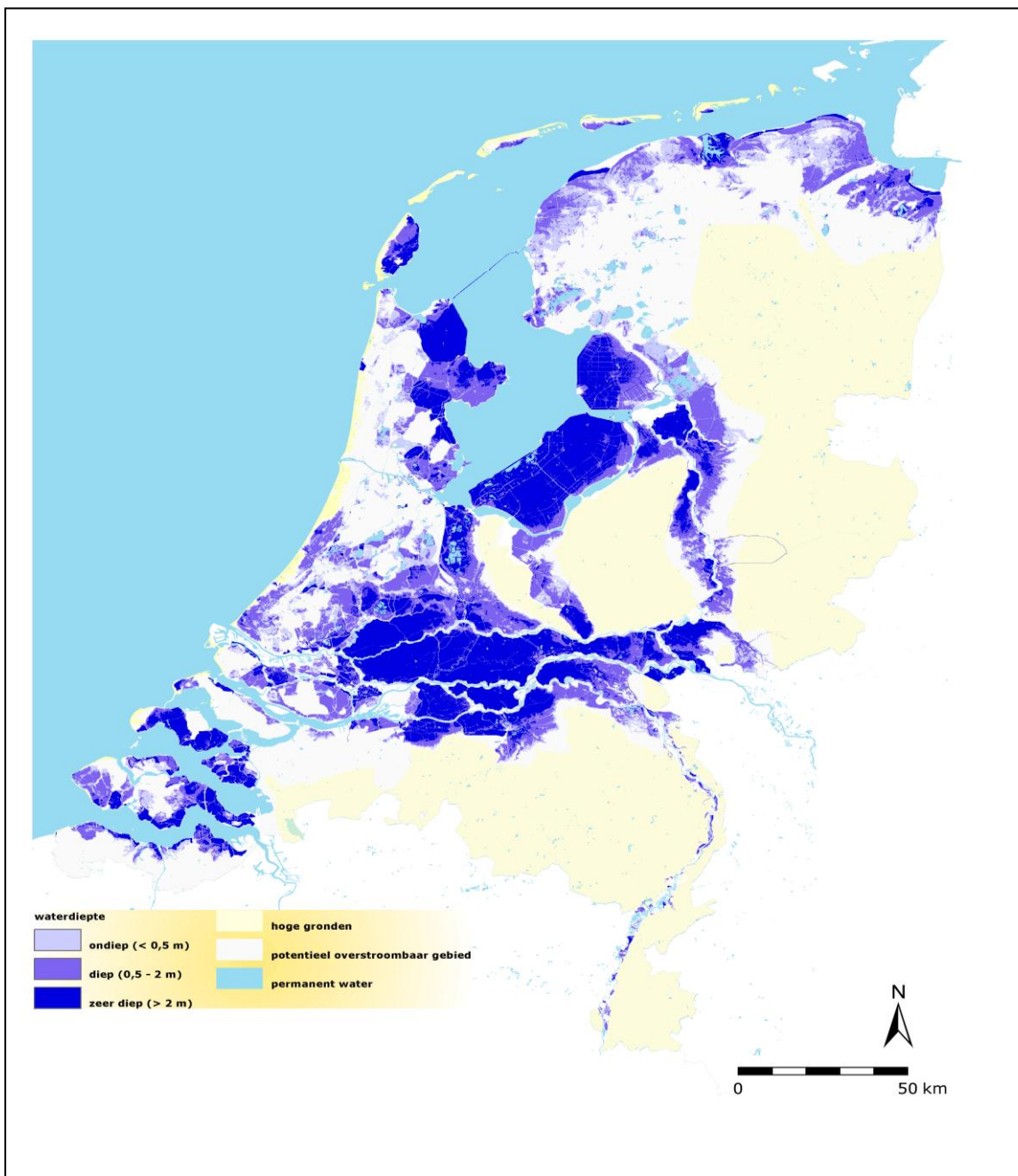
Overstromingen vanuit het hoofwatersysteem (rivieren, meren en zee) kunnen grote gebieden diep onder water zetten. De grootste *waterdieptes* kunnen zich voordoen in het rivierengebied en in de diepe IJsselmeerpolders. Langs de kust zijn de overstroomde gebieden en de bereikte *waterdieptes* meestal kleiner. Dit komt doordat (De Bruijn & Van der Doef, 2011):

- de hoeveelheid water die naar binnen stroomt bij kustoverstromingen meestal kleiner is, doordat het hoogwater korter duurt (een storm duurt maximaal een dag of 2, terwijl een hoogwater op de rivieren wel 4 dagen tot meer dan een week kan voortduren);
- de kustgebieden vaak sterk gecompartmenteerd zijn: de overstroming wordt daar beperkt door boezemkades, oude dijken, verhoogd aangelegde infrastructuur e.d., terwijl in de riviergebieden het water over hellend land door kan stromen en een groot gebied onder water kan zetten;
- riviergebieden relatief lager liggen ten opzichte van de (langdurig hoge) buitenwaterstanden dan kustgebieden. Dit geldt met name voor de Alblasserwaard en de Lopiker en Krimpenerwaard, maar ook voor de westelijke kant van de Betuwe, het Land van Maas en Waal en de Bommelerwaard.

De maximale *waterdieptes* die ontstaan bij dijkdoorbraken onder de huidige maatgevende condities (dit zijn de condities die de dijken nog net zouden moeten kunnen weerstaan) zijn weergegeven in Figuur 3.4.

### *Overstromingsduur*

Behalve waterdiepte is ook de blootstellingparameter *overstromingsduur* voor de schade van belang. Als een gebied voor een langere tijd onder water staat zullen productieverliezen en inkomstenderving groter zijn. De duur van overstroming verschilt per gebied. Laag gelegen gebieden, zoals de diepe polders in Noord- en Zuid-Holland en Flevoland kunnen bij overstroming enkele maanden onder water staan, terwijl de hellende riviergebieden naar verwachting tot enkele weken onder zullen staan.



De kaart "Maximale waterdieptes als gevolg van doorbraken in primaire keringen bij de huidige maatgevende condities" is gemaakt in het kader van het project "overstromingsrisicozonering" (Van de Pas et al., 2011). De kaart geeft de maximale waterdiepte als gevolg van een doorbraak in een primaire waterkering bij maatgevende omstandigheden. De kaart is gebaseerd op een uitgebreide set representatieve overstromingssimulaties (De Bruijn & Van der Doef, 2011). Er is rekening gehouden met systeemwerking: bij een doorbraak langs de Nederrijn/Lek ten westen van de Utrechtse Heuvelrug (dus in dijkkring 44 Kromme Rijn of 15 Lopiker en Krimpenerwaard) zal niet alleen de betreffende dijkkring onderlopen, maar zal er naar verwachting ook water over het Amsterdam-Rijnkanaal en de Hollandse IJssel heen naar de buurdijkkring (14 Zuid-Holland) stromen.

Figuur 3.4 Maximale waterdieptes als gevolg van doorbraken bij de huidige maatgevende condities.

### *Stroomsnelheid*

De *maximale stroomsnelheid* wordt ook genoemd als relevante parameter: Als deze zeer groot is ( $> 0,5$  m/s) betekent dat een grotere kans op instorting van gebouwen. Hoge stroomsnelheden treden echter in Nederland binnendijs niet vaak op, behalve bij de doorbraak zelf.

### *Aankomsttijd en stijgsnelheid*

Vanuit het perspectief van personen zijn behalve de waterdiepte ook de *aankomsttijd van het water* en de *stijgsnelheid* van het water (hoe snel wordt het diep) van belang. Deze bepalen de vluchtmogelijkheden van de aanwezige mensen in het gebied. De minimale aankomsttijd van het water is het kortst nabij de doorbraak. Deze is dus sterk afhankelijk van de doorbraaklocatie. Gebieden die ver van de primaire kering liggen zoals (bijv. Zoetermeer en Gouda) hebben een lange aankomsttijd (enkele dagen). Hier zouden mensen nog een veilige plek kunnen zoeken, zelfs nadat de storm is geluwd en nadat er in de omgeving dijken gebroken zijn. De aankomsttijd is overigens niet alleen afhankelijk van de afstand tot de doorbraak, maar ook van de ligging en sterkte van obstructies, zoals regionale keringen en verhoogde snelwegen en van de verspreiding van water door het regionale waterloppennetwerk. De stijgsnelheid is het grootst in kleine diepe 'kommetjes' (bijv. bij Capelle aan de IJssel, op veel plekken in Zeeland, bij IJsselmonde, in Pernis, etc.) en net stroomopwaarts van hoge obstakels, zoals aan de oostzijde van de Diefdijk tussen de Betuwe en Alblasserwaard. Op die locaties kan het water moeilijk weg en zal het in korte tijd diep kunnen worden.

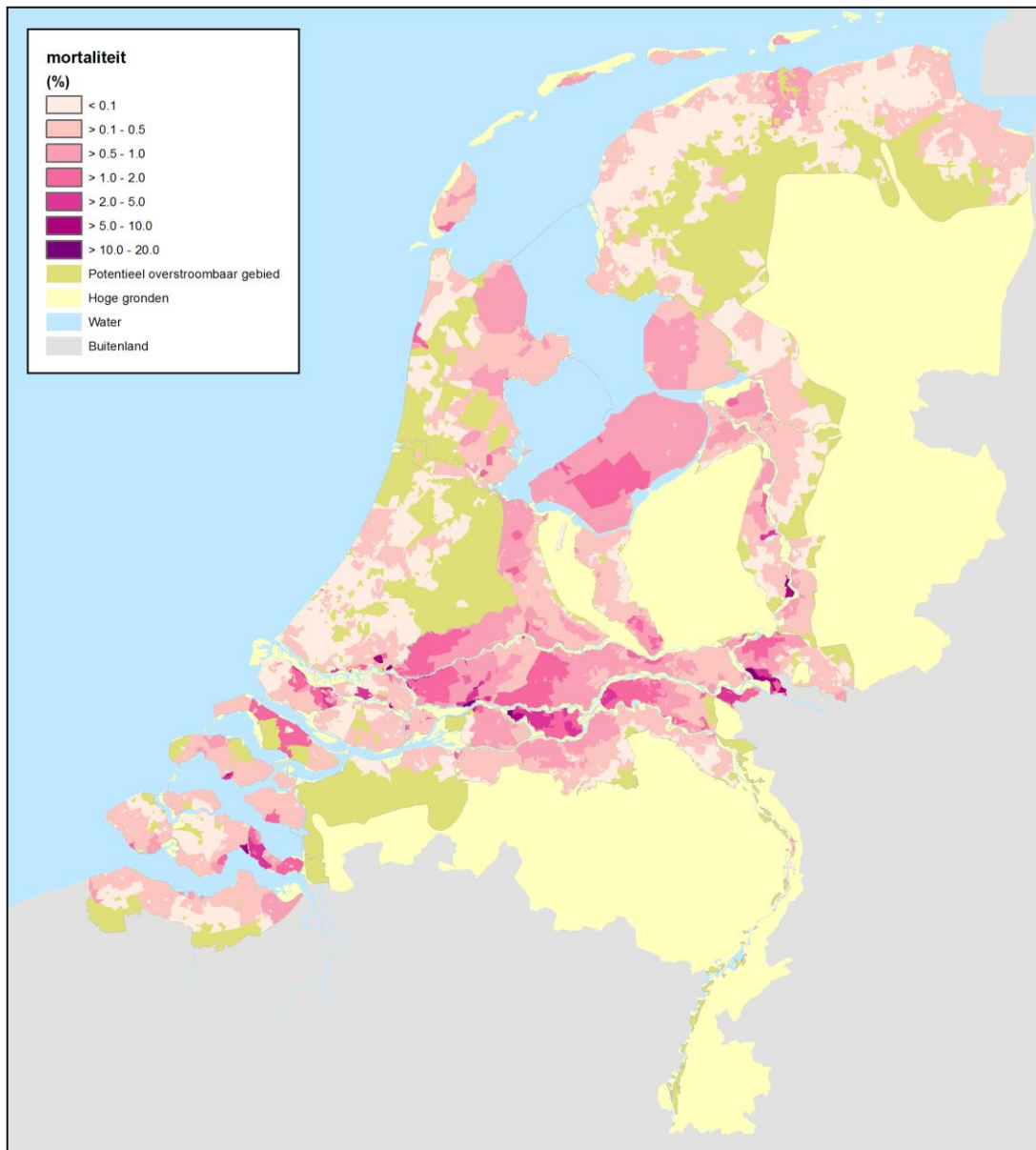
Figuur 3.5 laat de locaties in Nederland zien waar de blootstellingkarakteristieken vanuit het perspectief van slachtoffers 'groot' zijn. De figuur geeft de potentiële mortaliteit: het percentage van de nog aanwezige mensen (de achterblijvers, na evacuatie) dat gezien de blootstellingskarakteristieken verwacht wordt te overlijden<sup>9</sup>. De blootstellingsparameters maximale waterdiepte en stijgsnelheid zijn hiertoe geïntegreerd op basis van de mortaliteitsfuncties van Jonkman (2007; zie De Bruijn & van der Doef, 2011). Deze figuur laat zien dat de potentiële mortaliteit het grootst is in het centrale rivierengebied (Alblasserwaard, Lopiker en Krimpenerwaard, westelijke Betuwe), maar ook in de kustgebieden bij Rotterdam (IJsselmonde, Capelle aan de IJssel) en Dordrecht met kleine diepe polders waar in het geval van een doorbraak de kans om te overlijden groot is. De mortaliteit bedraagt daar meer dan 1% van het aantal aanwezigen (niet-geëvacueerde inwoners) (lokaal zelfs 20%). De locaties met de laagste potentiële mortaliteit vinden we vanzelfsprekend in de hoger gelegen delen waar het water gemakkelijk weg kan stromen. De mortaliteit ligt daar tussen de 0 en de 0,1% van de aanwezige mensen.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de locaties waar de blootstellingskarakteristieken extra aandacht vragen in door primaire keringen beschermd gebied, worden gevonden in het centrale rivierengebied (Alblasserwaard, Lopiker- en Krimpenerwaard, Kromme Rijngebied, Betuwe, en IJsselmeerpolders). In die gebieden kunnen overstromingen een zeer grote omvang hebben, wordt het snel diep en zullen overstromingen lang duren.

---

9. *Evacuatiemogelijkheden zijn in deze figuur niet meegenomen. Deze zijn in het bovenrivierengebied veel beter dan aan de kust en in het benedenrivierengebied. In WV21 is uitgegaan van een gemiddeld evacuatiepercentage van 75% van alle mensen in het rivierengebied en 15% in het benedenrivierengebied (De Bruijn & Van der Doef, 2011).*





De “*Mortaliteitskaart*” geeft het percentage aanwezigen (inwoners die niet op tijd geëvacueerd zijn) dat omkomt bij een overstroming door een doorbraak in een primaire waterkering in de huidige situatie. De kaart is gebaseerd op de blootstellingsparameters stijgsnelheid en waterdiepte die zijn berekend op basis van een uitgebreide representatieve set overstromingsberekeningen. Er is uitsluitend naar blootstelling gekeken en niet naar kwetsbaarheid: het aantal inwoners en de mogelijkheden voor evacuatie zijn in de kaart niet meegenomen. De kaart is gemaakt in het kader van het project “Waterveiligheid in de 21<sup>e</sup> eeuw” (De Bruijn en van der Doef, 2011).

*Figuur 3.5 Mortaliteitskaart (% van de aanwezigen dat waarschijnlijk omkomt door een overstroming) voor de huidige situatie (bron: De Bruijn & Van der Doef, 2011).*

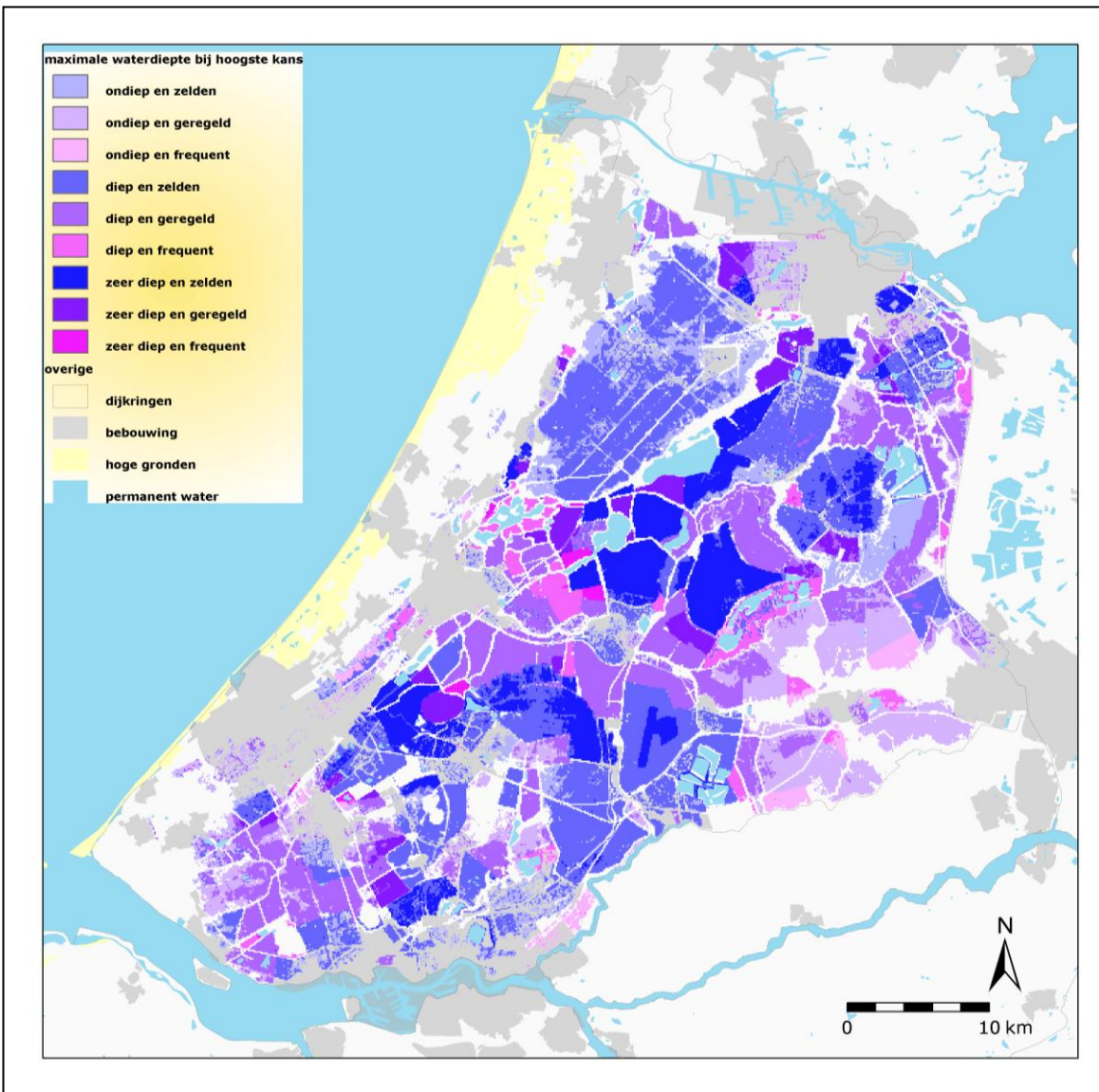


### 3.3.2 Overstromingen als gevolg van doorbraken in regionale waterkeringen

Bij extreme omstandigheden kunnen doorbraken ontstaan in kades langs regionale keringen. Regionale keringen zijn keringen die recentelijk door provincies zijn genormeerd. Zij hebben daarbij een norm toegewezen gekregen afhankelijk van het achterliggende landgebruik: hoe kwetsbaarder het achterliggende gebied, hoe kleiner de maximaal toelaatbare kans op overstromen is. De norm geeft, net als bij de primaire waterkeringen, de overschrijdingskans van de maximale waterstand die gekeerd moet kunnen worden. De kansen variëren van 1/10 per jaar (agrarische gebied) tot 1/1000 per jaar (Gouwe, Noordzeekanaal etc.).

Doorbraken van regionale keringen leiden tot geringere blootstelling dan die optreedt bij overstromingen ten gevolge van doorbraken in primaire keringen. In het regionale watersysteem is immers minder water beschikbaar dan in het hoofdwatersysteem. Bovendien kunnen stuwen en andere regelmechanismen het waternetwerk compartimenteren, zodat de instroom bij een doorbraak in het algemeen beperkt blijft. Wel kunnen lokaal grote waterdieptes voorkomen en deze kunnen ook in korte tijd bereikt worden. Dit type overstromingen kan wel veel schade veroorzaken, maar is nauwelijks levensbedreigend.

Er bestaat op dit moment nog geen landsdekkend beeld van mogelijke gevaren op overstromingen vanuit het regionale watersysteem. Voor diverse regio's bestaan er wel indicatieve waterdieptekaarten van overstromingen vanuit regionale wateren bij maatgevende omstandigheden. Zo is voor dijkkring 14 een voorbeeld beschikbaar (zie figuur 3.6) waaruit blijkt dat doorbraken van regionale keringen kunnen leiden tot flinke waterdieptes in met name droogmakerijen en andere diepgelegen polders. Figuur 3.6 dient met zorg te worden geïnterpreteerd. Voor deze figuur is namelijk elke polder apart gemodelleerd, onder de aanname dat het gehele boezemsysteem leegloopt in die ene polder. De kaart toont het totaal van al deze overstromingen, waarbij opgemerkt moet worden dat deze niet tegelijkertijd zullen optreden. In werkelijkheid zal de waterbeheerder tijdens een calamiteit zoïets trachten te voorkomen door stuwen op te zetten of sluisdeuren te sluiten. Dit beperkt de overstromingsomvang en diepte.



De kaart “Maximale waterdiepte en frequentie van overstromen als gevolg van doorbraken in regionale keringen in dijkkring 14 (Zuid-Holland) bij de huidige maatgevende omstandigheden” is gemaakt in het kader van het project “overstromingsrisicozonering” (Van de Pas et al., 2011). De kaart toont per locatie de maximale waterdiepte die bereikt wordt bij een hoogwaterstand met de grootste overschrijdingskans (frequent (1/10 jaar), geregeld (1/100 jaar) en zelden (1/1000 jaar)). Geringere maximale waterdiepten die op een locatie worden bereikt bij hoogwaterstanden met grotere overschrijdingskansen staan niet op de kaart. Het bronbestand van de maximale waterdiepte voor dit gebied is vervaardigd in het kader van de EU-ROR (Min V&W, 2010).

*Figuur 3.6 Maximale waterdiepte en frequentie van overstromen als gevolg van doorbraken in regionale keringen in dijkkring 14 (Zuid-Holland) bij de huidige maatgevende omstandigheden.*

### 3.3.3 Hoogwatersituaties in buitendijkse gebieden

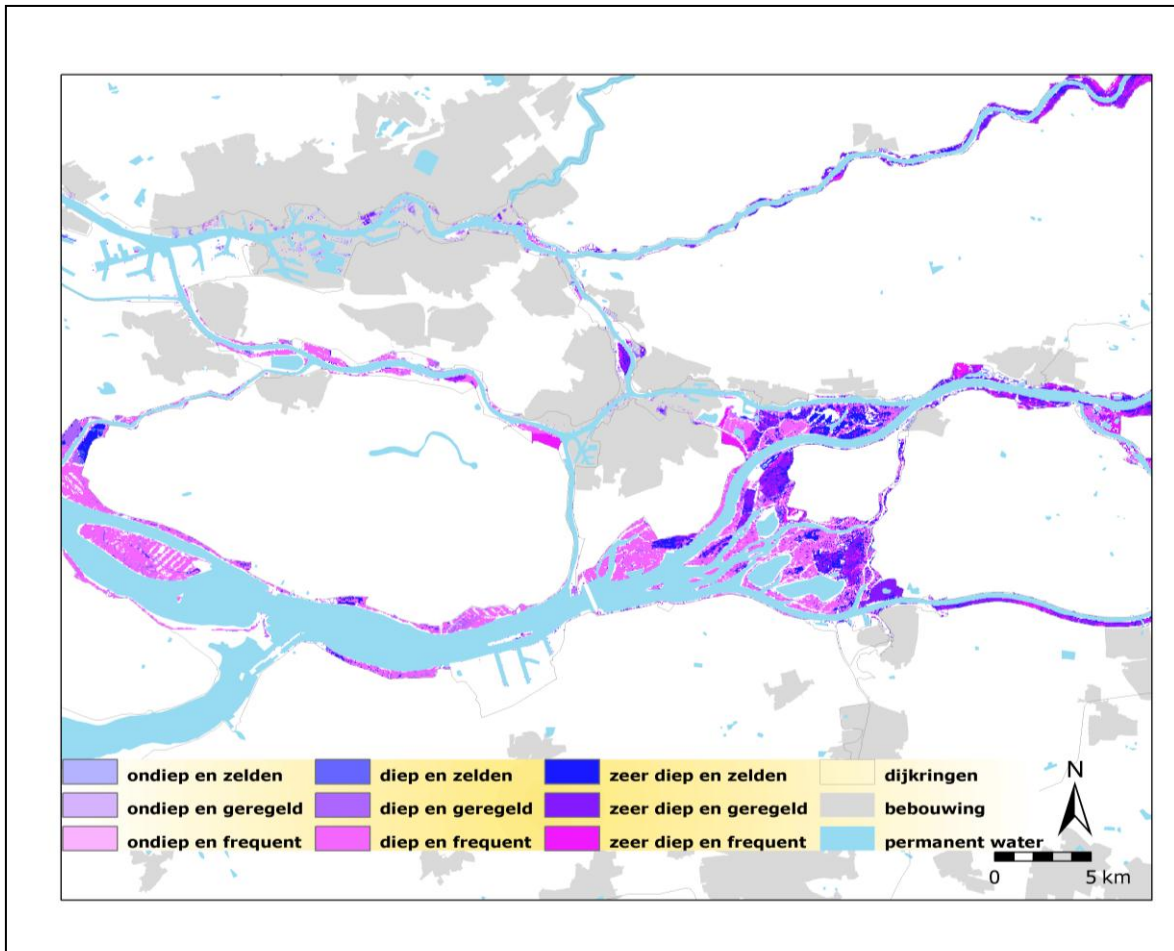
Buitendijkse gebieden worden niet beschermd door wettelijk genormeerde dijkringen. De frequentie van onderlopen, de voorspelbaarheid en het overstromingspatroon verschillen daardoor van die in het binnendijkse gebied.

Buitendijkse gebieden vinden we langs de grote rivieren, langs de kust en in de merengebieden. Deze hebben alle drie andere karakteristieken:

- Buitendijks gebied aan zee (Noordzee, Waddenzee en Westerschelde). Hier kan het waterstandverschil oplopen tot verscheiden meters, en is een korte voorspeltijd van het hoogwater (van ongeveer een dag).
- Buitendijks gebied aan rivieren. Hier kan het waterstandverschil in het bovenrivierengebied oplopen tot vele meters en in het benedenrivierengebied tot enkele meters; de voorspeltijd van hoogwater is circa 2 dagen voor de Maas en 3 a 4 dagen voor de Rijn.
- Buitendijks gebied aan meren en overige wateren. Hier kan storm een opwaaiing veroorzaken van slechts enkele meters, maar optredend in zeer korte tijd en slecht voorspelbaar.

De frequentie van onderlopen buitendijks verschilt van locatie tot locatie. Er zijn locaties die ieder jaar onderlopen, gebieden die met een frequentie van gemiddeld eens per 10 jaar onderlopen, maar er zijn ook gebieden die pas bij hoogwaters met een frequentie van minder dan eens per 1000 jaar bedreigd worden.

Als voorbeeld laat figuur 3.7 het gebied van de Rijn-Maasmonding zien met per locatie de huidige maximale waterdiepte en de frequentie waarmee deze wordt bereikt. Grote van nature laaggelegen gebieden (zoals zandplaten in de Biesbosch en het Haringvliet, maar ook recreatiegebieden en natuurgebieden langs de Noord en de Oude Maas), lopen vrijwel geheel diep onder bij hoogwaterstanden die eens per 10 jaar voor kunnen komen. Het grootste deel van deze overstroomde gebieden betreft landbouw- of natuurgebied, waar het onderlopen een bekend fenomeen is. Voor de natuurgebieden is het zelfs gewenst. Vrijwel alle bebouwde gebieden lopen pas onder bij hoogwatersituaties met een veel lagere frequentie of zijn door een hoge ligging hoogwatervrij bij de huidige maatgevende waterstanden. Relatief 'jonge' gebieden, waaronder nieuwe haventerreinen zoals de Europoort en de Maasvlakte, lopen niet of nauwelijks onder bij hoogwaters doordat deze hoger zijn aangelegd. De oudere stedelijke en havengebieden kennen een iets hogere frequentie van onderlopen (o.a. Rotterdam: Noordereiland, Kop van Feijenoord, Waalhaven en Botlek).



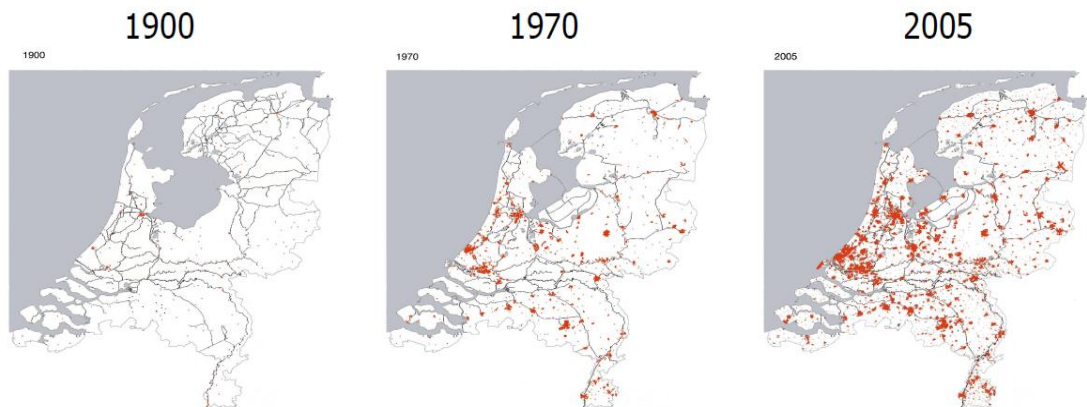
De kaart “De maximale waterdiepte van buitendijkse gebieden in het Rijn-Maasmondgebied en de frequentie waarmee deze optreedt” is gemaakt in het kader van het project “overstromingsrisicozonering” (Van de Pas et al., 2011). De kaart toont per locatie de maximale waterdiepte die bereikt wordt bij een hoogwaterstand met de grootste overschrijdingskans (frequent (1/10 per jaar), geregeld (1/100 per jaar) en zelden (1/1000 per jaar). Geringere maximale waterdieptes die worden bereikt met grotere frequenties staan niet op de kaart. Het bronbestand van de maximale waterdiepte voor dit gebied is gemaakt in het kader van de EU ROR (Min V&W, 2010).

*Figuur 3.7 De maximale waterdiepte van buitendijkse gebieden bij de Rijn-Maasmonding en de frequentie waarmee deze optreedt voor de huidige situatie.*

De blootstelling buitendijks wordt ook bepaald door de maximale stroomsnelheid en de duur van hoogwaters. De maximale stroomsnelheid zal vrijwel overal gering zijn, maar kan bijvoorbeeld in de uiterwaarden langs de Waal mogelijk lokaal wel groot zijn (en voor schade zorgen). De duur van hoogwaters varieert van gebied tot gebied tussen enkele uren tot orde een week. Stijgsnelheden zijn in het algemeen klein en dus minder van belang.

### 3.4 Kwetsbaarheid in de huidige situatie

De gevolgen van een overstroming worden niet alleen bepaald door de blootstelling (het overstromingsverloop) maar ook door de kwetsbaarheid van het gebied voor overstromingen; m.a.w. het landgebruik en het aantal inwoners van het gebied waar een overstroming kan optreden. De kwetsbaarheid is het grootste in dichtbevolkt stedelijk gebied.



Figuur 3.8 Stedelijk gebied in Nederland in 1900, 1970 en 2005 (Klijn et al., 2011).

De afgelopen eeuw is de kwetsbaarheid van het land voor overstromingen sterk toegenomen (maar de kans op overstroming sterk afgenomen) door bevolkingsgroei en welvaartstoename (zie Figuur 3.8).

In buitendijkse gebieden is de kwetsbaarheid gering en het potentiële schadebedrag relatief laag (in vergelijking met binnendijkse gebieden), omdat het landgebruik en of de bouwwijze meestal aangepast is aan regelmatige overstromingen en er niet veel bebouwing aanwezig is. Er zijn wel enkele dichtbevolkte gebieden, maar deze zijn vaak opgehoogd of anderszins aangepast (bijv. met kademuuren of verhoogde vloerniveaus van de leefruimte) aan het overstromingsrisico. Met name in het Rijnmondgebied en in enkele kustplaatsen (o.a. Scheveningen en Katwijk) zijn er locaties buitendijks die relatief dichtbevolkt zijn. Binnen deze gebieden zijn wel verschillen aanwezig, zowel in de mate van blootstelling aan overstroming als in de kwetsbaarheid. De buitendijkse gebieden met relatief hoge economische waarde bevinden zich voornamelijk in de regio Rijnmond-Drechtsteden en enkele havenplaatsen (o.a. Vlissingen, IJmuiden, Delfzijl).

### 3.5 Gevolgen in de huidige situatie

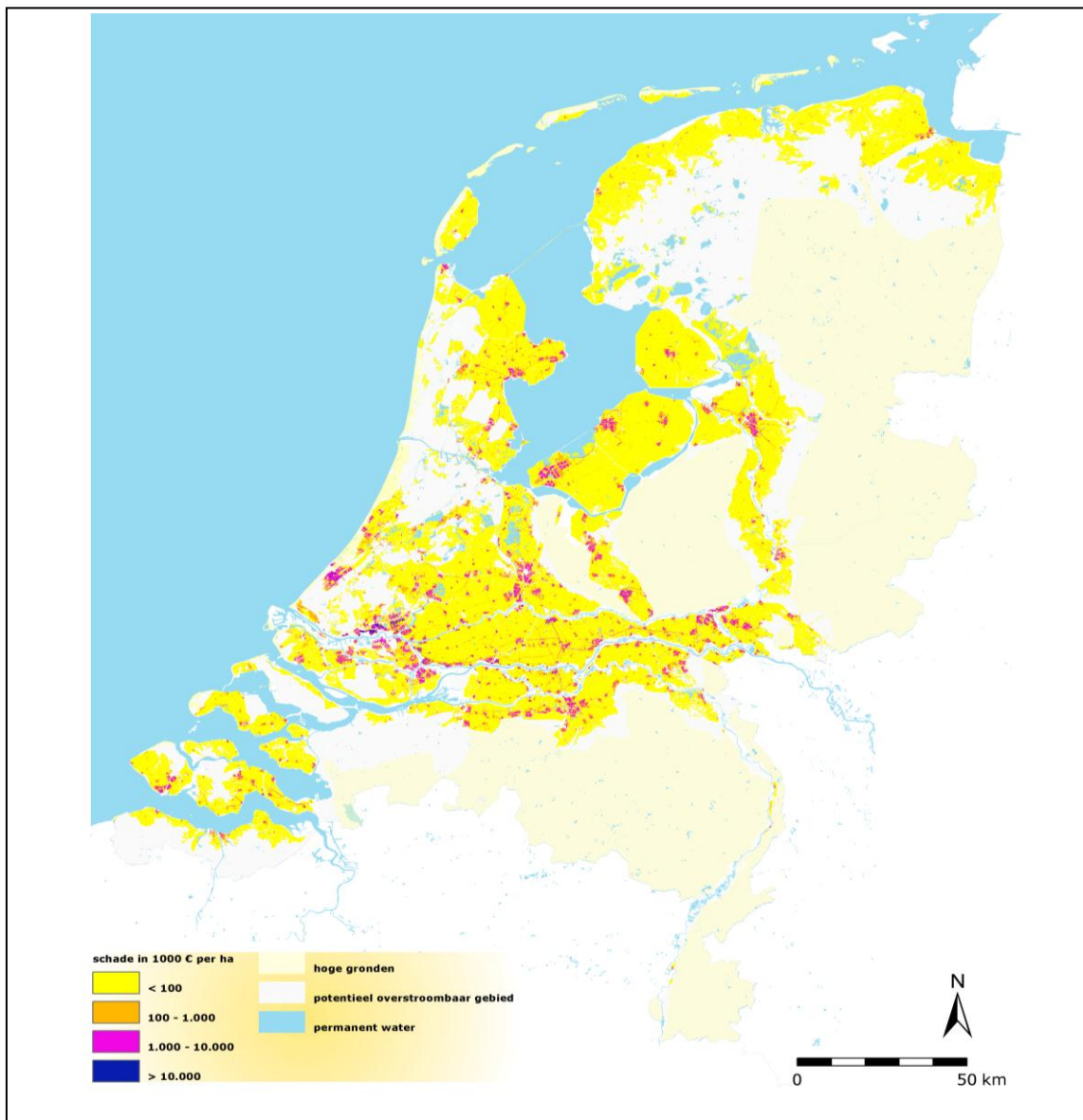
#### 3.5.1 Gevolgen in door primaire keringen beschermde gebieden

Kwetsbaarheid is alleen relevant in gebieden die blootgesteld zijn aan overstromingen. In Nederland woont het grootste deel van de bevolking in potentieel overstroombaar gebied en kan dus blootgesteld worden aan overstromingen. De grootste gevolgen van overstromingen vinden we in gebieden met een grote kwetsbaarheid en een grote blootstelling.

#### **Schade**

Figuur 3.9 laat zien waar de hoogste verwachte schade per hectare gevonden wordt bij overstromingen door doorbraken in primaire keringen: in stedelijke gebieden die te maken kunnen krijgen met grote waterdieptes, zoals in bijvoorbeeld Rotterdam, IJsselmonde, Dordrecht, Nieuwegein, Capelle aan de IJssel, Almere en Lelystad, Den Haag, Arnhem en Zwolle.





De kaart “Potentiële schade per hectare voor overstromingen bij maatgevende omstandigheden” is gemaakt in het kader van het project “Waterveiligheid in de 21<sup>e</sup> eeuw” (De Bruijn & Van der Doef, 2011). De kaart geeft de maximale schade (per hectare) op basis van alle WV21 overstromingsscenario’s bij maatgevende omstandigheden. Er is rekening gehouden met systeemwerking (water dat bij een doorbraak vanuit de Lek in dijkkring 15 en 44 over het Amsterdam-Rijnkanaal en de Hollands-IJsselkeringen heen dijkkring 14 in stroomt). De schade is berekend met de Schade en Slachtoffer-Module van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS-SSM) versie 2.5 (Kok et al., 2005). Als prijspeil is het jaar 2000 gebruikt. De waarde bevat de directe schade, directe schade door bedrijfsuitval en indirecte schade.

Figuur 3.9 Potentiële schade per hectare door overstromingen in de huidige situatie bij maatgevende omstandigheden.

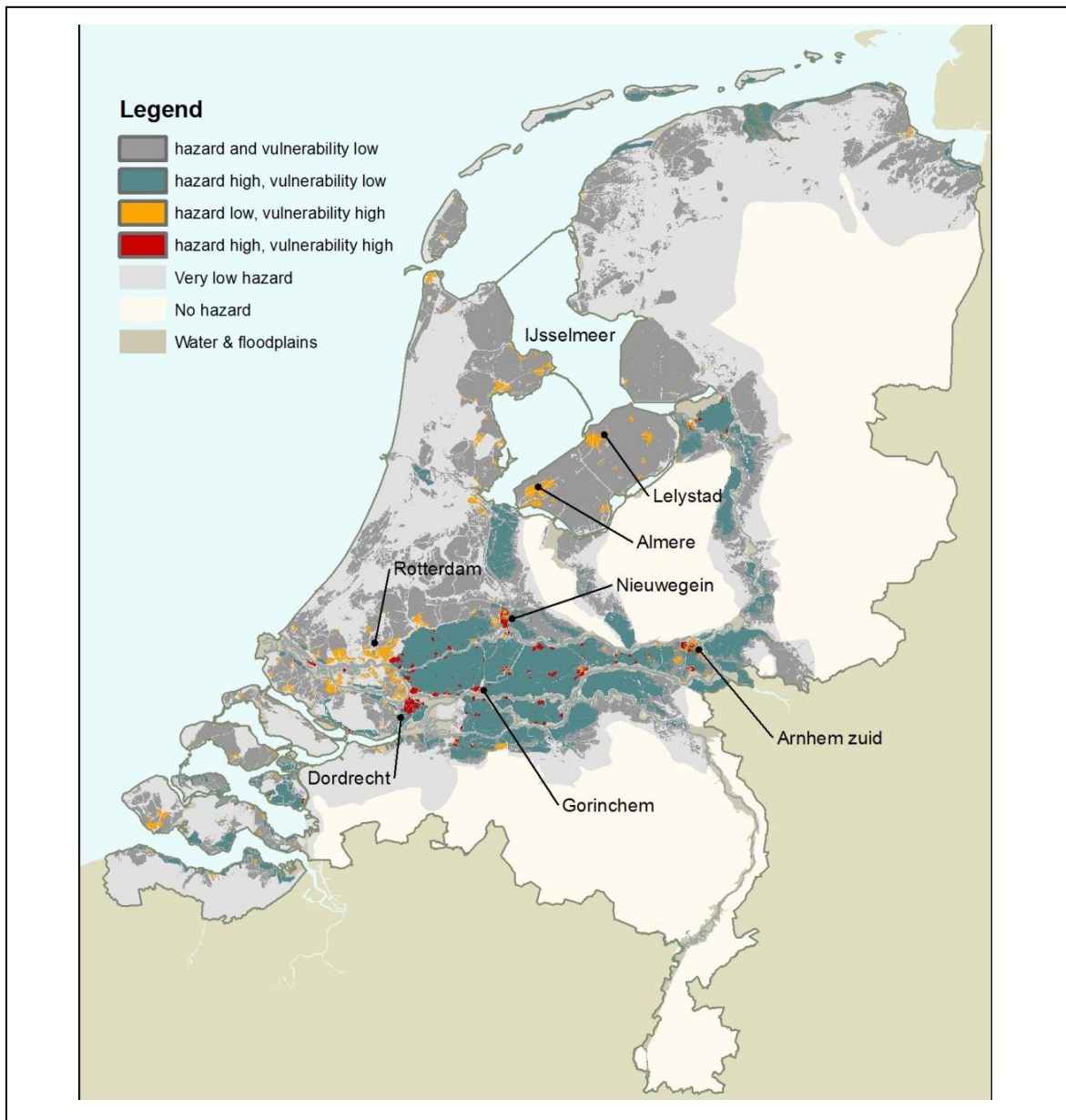
De grootste economische gevolgen van overstromingen in de huidige situatie vinden we in dijkkring Kromme Rijn (gebied bij Utrecht tussen de Utrechtse Heuvelrug en het Amsterdam-Rijnkanaal), de Betuwe en Tieler- en Culemborgerwaard, en de Gelderse Vallei (zie ook tabel 3.2) (De Bruijn & Van der Doef, 2011). In deze gebieden is de blootstelling groot (grote omvang van het overstroemd gebied en grote waterdiepte) en is de potentiële schade groot. Het aantal getroffen en inwoners van overstroemd gebied is in deze gebieden ook groot.

Tabel 3.2 De verwachte gevolgen gegeven overstroming vanuit het primaire waterloopstelsel van de dijkringen met de grootste gevolgen in Nederland voor het jaar 2000 (selectie uit De Bruijn & Van der Doef, 2011).

Dijkkringgebied	Schade (miljard €)	Getroffenen	Slachtoffers
Kromme Rijn (vanuit Lek/NR)	16	450000	300
Betuwe, en TCW	13	200000	300
Alblasserwaard en Vijfherenlanden	10	150000	2400
Lopiker en Krimpenerwaard	10	160000	1000
Zuid-Holland (vanuit Noordzee)	10	380000	800
Gelderse Vallei (Vanuit Lek)	10	250000	300
Flevoland (Zuid-west)	9	140000	500
Land van Heusden (de Maaskant)	8	170000	200
Zuid-Holland (vanuit nieuwe Maas)	6	130000	3000

### Slachtoffers

De Bruijn & Klijn (2007) hebben risicovolle plekken (*'risky places'*) geïdentificeerd. Dit zijn gebieden waar veel slachtoffers kunnen vallen omdat er een grote kans en blootstelling is, en zij tevens kwetsbaar (grote aantallen personen) zijn. Uit deze studie bleek dat de meest risicovolle plekken gelegen zijn in het benedenrivierengebied bij Capelle aan de IJssel, Dordrecht, IJsselmonde, maar ook in het rivierengebied bij Nieuwegein, Gorinchem-Oost, Hardinxveld en Arnhem-Zuid (zie figuur 3.10). De grootste slachtofferaantallen vinden we in de dijkringen Zuid-Holland (bij doorbraken vanuit de Nieuwe Maas), de Alblasserwaard en Vijfherenlanden en de Lopiker- en Krimpenerwaard (zie tabel 3.2). De drie gebieden met de grootste schade uit tabel 3.2 hebben te maken met iets lagere verwachte slachtofferaantallen, omdat deze langs de bovenrivieren liggen. Deze gebieden hebben relatief goede evacuatiemogelijkheden, waardoor de meeste inwoners naar verwachting op tijd een veilig gebied kunnen bereiken.



De kaart "Risicovolle plekken: gevaarlijke en kwetsbare gebieden voor grote slachtofferaantallen" is gemaakt in het kader van het project "Risky places" (De Bruijn en Klijn, 2007). Het beeld toont de risicovolle locaties in de huidige situatie in door primaire waterkeringen beschermde gebieden en de reden van de hoge (of lage) waarde; een groot gevaar, grote kwetsbaarheid, of beiden. Het gevaar is bepaald op basis van de kans op overstromen (dijkkringnorm), maximale stijgsnelheid en maximale waterdiepte. Het resultaat is een relatieve gevaarkaart met waarden tussen 0 en 1. De kwetsbaarheid is bepaald op basis van de voorspelbaarheid, de evacuatiemogelijkheden, en het landgebruik. Uiteindelijk zijn de relatieve gevaar- en kwetsbaarheidskaart gecombineerd tot een risicokaart.

Figuur 3.10 "Risicovolle plekken: Gevaarlijke en kwetsbare gebieden voor grote slachtofferaantallen" in de huidige situatie.



### 3.5.2 Gevolgen in door regionale keringen beschermde gebieden

Er zijn geen landsdekkende schadeberekeningen bekend van doorbraken van regionale keringen. Wel zijn voor sommige regio's schadeberekeningen gedaan, zoals in 2004 voor het Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht, Stichtse Rijnlanden, Schieland en Delfland (BCC en WL | Delft Hydraulics, 2004a, b en c). De potentiële schades die hier werden berekend voor doorbraken varieerden per polder van 0,5 miljoen euro tot 1,6 miljard euro. Op basis van deze berekende schades zijn de polders ingedeeld in 'veiligheidsklassen'. Hiervoor is de IPO-richtlijn uit 1999 gebruikt (zie tabel 3.3).

Tabel 3.3 IPO richtlijn voor de 'veiligheid van boezemkades' (IPO, 1999).

Veiligheidsklasse	Verwachte schade bij doorbraak (M€)	Overschrijdingkans van de maatgevende waterstanden
I	0-8	1/10
II	8-25	1/30
III	25-80	1/100
IV	80-250	1/300
V	>250	1/1000

In 2003 is een regionale kering doorgebroken bij Wilnis in Utrecht: er bezweek toen een 60 m lang gedeelte van de veenkade langs de ringvaart van de Polder Groot-Mijdrecht. De ringvaart viel bijna droog en in de straten van Wilnis kwam een halve meter water te staan. De woonwijk Veenzijde liep onder water en circa 1500 bewoners moesten worden geëvacueerd. De bewoners van acht woonboten en vier huizen moesten voor langere tijd naar vervangende woonruimte. Om de instroom te stoppen, werd de Ringvaart afgedamd. Hierdoor zakte het grondwaterpeil, wat grondverzakkingen en schade aan funderingen veroorzaakte. Bij de doorbraak zijn geen slachtoffers gevallen.

De gevolgen verschillen dus sterk per gebied. In het kader van de ROR wordt op dit moment getracht meer inzicht te krijgen in de potentiële gevolgen van overstromingen door doorbraken in regionale keringen (Min. V&W, 2010).

### 3.5.3 Gevolgen van hoogwaters in buitendijks gebied

De schade buitendijks zal meestal beperkt zijn. De gebieden die frequent te maken krijgen met water hebben immers een landgebruik dat meestal aangepast is aan deze hoge overstromingsfrequentie. Extreme hoogwatersituaties kunnen leiden tot het overstromen van gebieden die normaal niet onderlopen en waar gebouwen en landgebruik dus ook minder aangepast zijn. Extreme hoogwatersituaties kunnen dus wel flinke schade veroorzaken. Er zijn momenteel nog geen eenduidige schadebedragen of schadekaarten beschikbaar.

Buitendijks worden nauwelijks slachtoffers verwacht door overstroming: de voorspelbaarheid is groter (aangezien er geen kering onverwachts kan falen), en de stijgsnelheden en dieptes zijn in het algemeen beperkt, zeker op de locaties waar mensen wonen. Ook de kwetsbaarheid is kleiner door het geringe aantal inwoners en de betere evacuatie- en vluchtmogelijkheden. Deze zijn beter omdat er minder mensen tegelijkertijd moeten

evacuëren en de afstand die afgelegd moet worden tot hoger terrein kleiner is dan binnendijks.

### 3.6 Effecten van de Deltascenario's in 2050 en 2100

Door klimaatverandering en sociaal-economische veranderingen zullen in de toekomst de blootstelling en de kwetsbaarheid toenemen. Aangenomen is dat door continuering van het huidige beleid de kans op overstromen niet verandert. Klimaatverandering veroorzaakt zeespiegelstijging, toename van rivierafvoeren en een grotere neerslagintensiteit. Bodemdaling zorgt, zeker in het westen, voor een nog grotere relatieve zeespiegelstijging. Dit alles heeft effect op de *blootstelling*. Sociaal-economische veranderingen, zoals economische groei en bevolkingsgroei zullen de *kwetsbaarheid* beïnvloeden (zie ook Tabel 2.1).

#### 3.6.1 Effecten van klimaatverandering op de blootstelling

##### **In door primaire keringen beschermd gebied**

De effecten van klimaatverandering op overstromingsrisico's hangen grotendeels af van toekomstige keuzes in het waterveiligheidsbeleid. Uitgaande van het continueren van huidig beleid, en dus het handhaven van de huidige normen, zullen in de toekomst de waterkeringen zo aangepast moeten worden dat de kans op overstromen niet verandert. Omdat de toekomstige waterstanden horend bij die kansen hoger zullen liggen, zullen de dijken moeten worden verhoogd en versterkt.

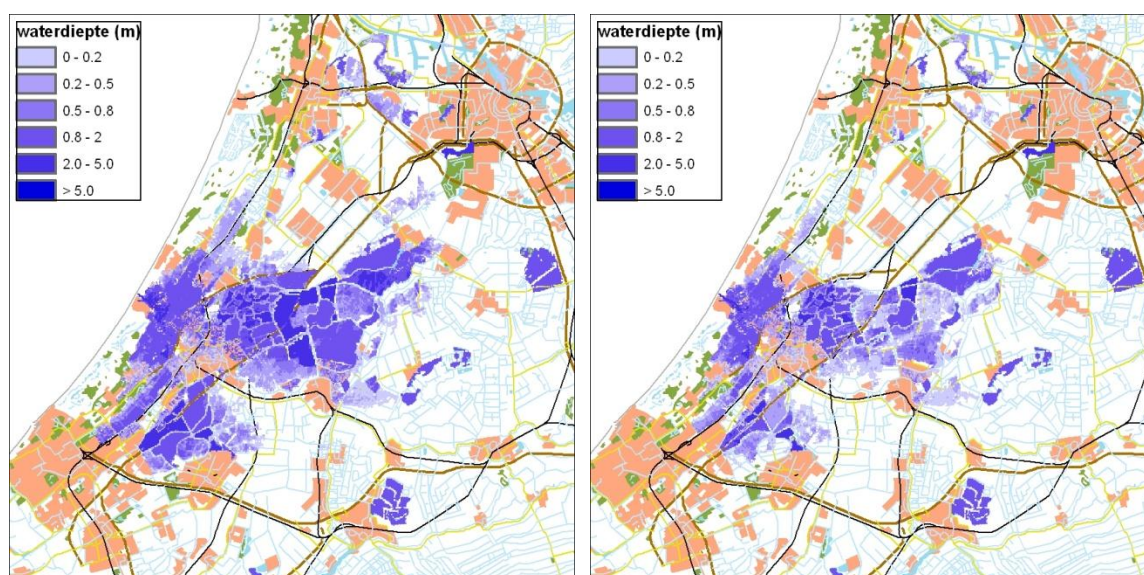
Het Bovenriviereengebied krijgt door klimaatverandering te maken met grotere rivierafvoeren. Hier is het huidige beleid dat voor zover en waar mogelijk niet de keringen worden aangepast aan de hogere rivierafvoeren, maar dat de rivier zo wordt verruimd dat deze de afvoertoeename zonder waterstandsverhoging kan accommoderen. Er kan echter worden verwacht dat het in de toekomst lastiger wordt om ruimte voor verruiming te vinden en moet worden teruggevallen op dijkverhogingen. In dat geval neemt de waterstand in het winterbed toch toe en daarmee de blootstelling van de binnendijkse gebieden. De kansen op overstromen zullen bij voortzetting van het huidige beleid door klimaatverandering evenwel niet toenemen.

In tegenstelling tot de kans, neemt de blootstelling wel toe: door het falen van waterkeringen bij hogere waterstanden zal er meer water naar binnen kunnen stromen waardoor de omvang van de overstroming, de overstromingsdiepte en de stijgsnelheden toe zullen nemen.

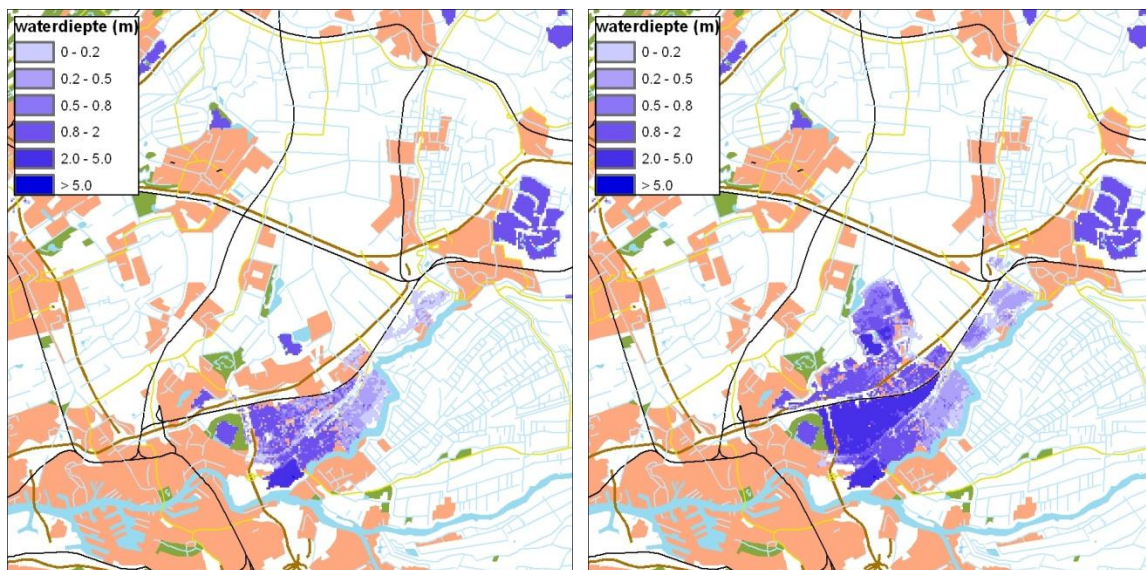
De mate van toename van de blootstelling door klimaatverandering is gebiedsafhankelijk: (Klijn et al., 2010):

- In de gebieden langs de bovenrivieren nemen de waterstanden volgens het huidige beleid nauwelijks toe, ook al stijgt de rivierafvoer. De duur van de hoogwaters kan wel iets langer worden. Het overstromingsverloop zal hierdoor iets kunnen veranderen, maar waarschijnlijk zijn de veranderingen in blootstelling beperkt.
- In die gebieden die bij een dijkdoorbraak naar verwachting nu al geheel onderlopen, zoals kleine dijkkringen (Pernis, Geertruidenberg) en diepe niet-gecompartimenteerde dijkkringen (Noord- en Zuid Flevoland, Wieringen) kan de overstromingsdiepte toenemen. Het overstromd oppervlak wordt niet of nauwelijks groter. Aangezien deze dijkkringen al in de huidige situatie met grote waterdieptes te maken hebben, zijn de veranderingen door klimaatveranderingen in termen van gevolgen van overstromingen voor deze dijkkringen beperkt.

- In gebieden die bij een dijkdoorbraak nu slechts gedeeltelijk zullen onderlopen omdat ze heel groot en/of sterk gecompartmenteerd zijn, kunnen de gevolgen van overstromingen sterk toenemen. Immers, door de grotere instroom van water kunnen kades die nu het overstroomd oppervlak beperken, hun compartimerende werking verliezen waardoor een groter gebied onder water kan komen te staan. Hierdoor stijgt de schade en het verwachte aantal slachtoffers mogelijk sterk. Voorbeelden van dergelijke dijkringen zijn de dijkkring Zuid-Holland, dijkkring Groningen-Friesland, het eiland van Dordrecht, IJsselmonde, de Hoekse Waard, de Zeeuwse eilanden, Voorne Putten, en West-Brabant. Ter illustratie van de toename in gevolgen laten figuren 3.11 en 3.12 het overstroomd gebied en de waterdiepte zien, bij de huidige maatgevende condities en bij een zeespiegelstijging van 85 cm, bij respectievelijke doorbraken te Katwijk en Kralingen.
- Als het IJsselmeer meestijgt met de zeespiegel, dan worden de maximale potentiële overstromingsdieptes direct door deze waterstandstijging beïnvloed. Bij een waterstandstijging van 1,2 m op het IJsselmeer, nemen de maximale overstromingsdieptes in de aanliggende gebieden gemiddeld zo'n 0,8-1 m toe (Klijn *et al.*, 2010). Bij een peilstijging van 35, respectievelijk 85 cm zal de verwachte gemiddelde overstromingsdieptes in de IJsselmeerpolders dus zo'n 0,3 en 0,7 m zijn.



Figuur 3.11 Illustratie van het effect van een hogere zeespiegel op het overstromingspatroon: Waterdiepte bij doorbraak te Katwijk in de huidige situatie en bij een 85 cm hogere zeespiegel.



Figuur 3.12 Illustratie van het effect van een hogere zeespiegel op het overstromingspatroon: Waterdiepte bij doorbraak te Kralingen in de huidige situatie en bij een 85 cm hogere zeespiegel.

De grotere blootstelling werkt direct door in de verwachte gevolgen van overstromingen. Klijn et al. (2010) verwachten dat de gevolgen bij een zeespiegelstijging van 30 à 85 cm ongeveer een factor 1 à 2 toenemen t.o.v. de huidige situatie. Deze toename is gering vergeleken bij de toename door economische groei (zie paragraaf 3.8). De toename is het kleinst in het rivierengebied en de nu al diep onderlopende polders en het grootst in de grote gecompartmenteerde dijkringen Zuid-Holland, Dordrecht, IJsselmonde, en Groningen-Friesland. Hier kan de toename een factor 1.5 à 2.5 bedragen.

#### **In door regionale keringen beschermd gebied**

Er is nog geen kwantitatieve en ruimtelijk specifieke kennis over de effecten van klimaatverandering op de blootstelling van door regionale waterkeringen beschermd gebied. Wel is een algemene analyse te geven.

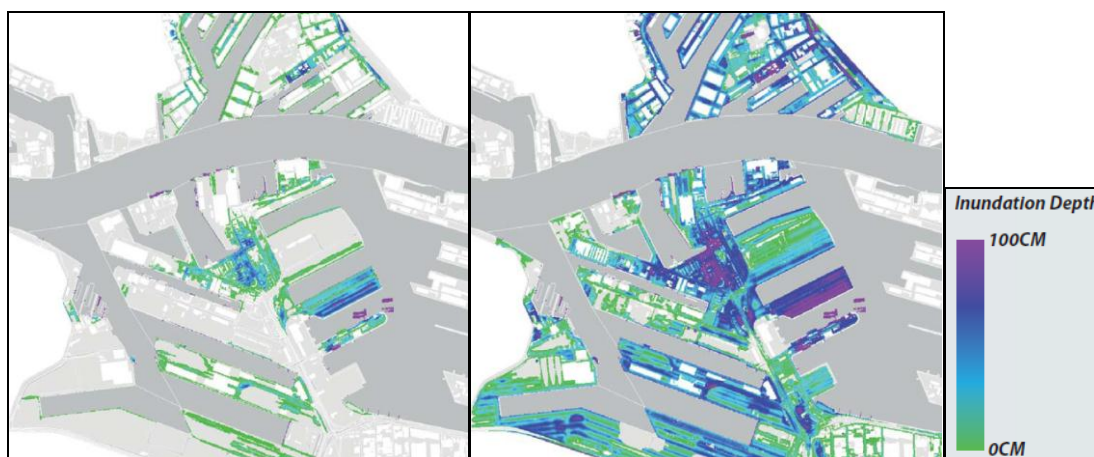
Door klimaatverandering zal de neerslagintensiteit toenemen, waardoor als er niets verandert, de kans op overstromen zal toenemen. Als echter de huidige normen worden gehandhaafd, zullen waterbeheerders het watersysteem zo aanpassen, dat de kans gelijk blijft. Zij kunnen dit op verschillende wijzen doen. Als ze de afvoercapaciteit zo vergroten dat de waterstanden in de regionale waterlopen niet significant stijgen, zal de blootstelling bij overstroming ook niet toenemen. Als de waterstanden wel stijgen en de kans gelijk wordt gehouden door de waterkeringen te versterken zodat ze deze gestegen waterstanden aan kunnen, dan zal de blootstelling iets toenemen. Dit effect is waarschijnlijk klein.

#### **In buitendijks gebied**

Door grotere rivierafvoeren, zeespiegelstijging en een hoger IJsselmeerpeil wordt de blootstelling groter. De toename is – bij continuering van het huidig beleid – met name een toename in frequentie, en deze is naar verwachting het kleinst in het bovenrivierengebied.

Langs de kust is de stijging direct gerelateerd aan de zeespiegelstijging (35 cm in het G scenario en 85 cm in het W scenario). Overstromingen zullen bij een hogere zeespiegel vaker voorkomen, langer duren en de waterdieptes zullen groter zijn. Er zijn nog geen kaarten beschikbaar van toegenomen blootstelling in buitendijkse kust- en merengebieden.

Om duidelijk te maken dat de situatie in nu al intensief bebouwde gebieden als het buitendijkse gebieden als in Rotterdam, aandacht verdient, toont figuur 3.13 ter illustratie 2 kaartjes van een deel van het havengebied in Rotterdam. De plaatjes tonen de toename van de waterdiepte bij een gelijke herhalingstijd in de huidige situatie en onder G+ in 2050. Er is in dit voorbeeld voor een overschrijdingskans van 1/4000 per jaar gekozen, omdat dit de beschermingsnorm is van het aan de zuidkant aangrenzende binnendijkse gebied.



Figuur 3.13 Voorbeeld van het effect van klimaatverandering voor een buitendijks gebied bij Rotterdam: De waterdiepte bij een hoogwater met een kans van voorkomen van 1/4000 per jaar in de huidige situatie (links) en volgens het klimaatscenario G+ in 2050 (rechts). Bron (Bron: HKV Lijn in Water et al., 2010).

### 3.6.2 Effecten van sociaal-economische veranderingen op de kwetsbaarheid

#### **In door primaire en regionale keringen beschermde gebieden**

Economische groei, verstedelijking en bevolkingsgroei zullen de kwetsbaarheid doen toenemen. Een groot deel van de economische groei vindt plaats in reeds ontwikkelde gebieden (In het GE scenario is dat ongeveer 1,6% van de 2,6% toename). Hier neemt bijvoorbeeld de productie toe of krijgen mensen meer waardevolle bezittingen in huis (zoals meer computers, blackberries e.d.). Een ander deel uit zich echter in nieuwbouw (in het GE scenario is dat ongeveer 1% van de 2,6% economische groei (Klijn et al., 2010)).

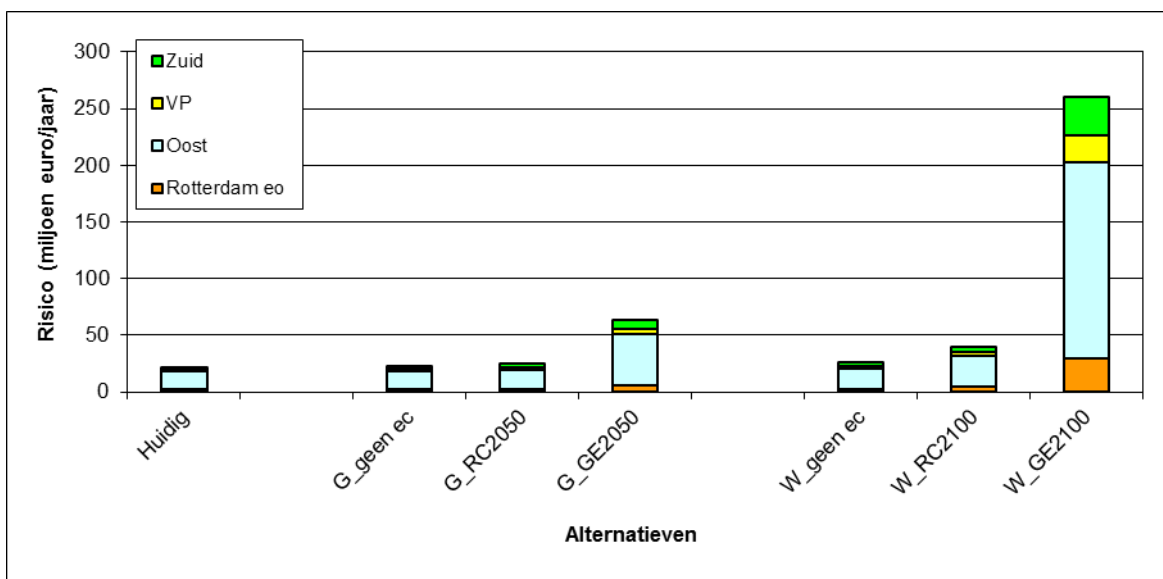
De toename van de kwetsbaarheid door met name nieuwbouw hangt af van de locatie waarop deze plaatsvindt en de wijze waarop gebouwd wordt. In het huidige beleid wordt maar zeer sporadisch rekening gehouden met overstromingsrisico's bij de keuze voor bouwlocaties en of de wijze van bouwen.

Om een eerste indruk te krijgen van de belangrijkheid van economische groei voor overstromingsrisico's kan het effect bekeken worden van een jaarlijkse groei van resp. 0,7 en 2,6% in het RC en GE scenario die een eeuw lang doorzet en zich direct vertaalt in een schadetoename. Dit zou leiden tot een toename van de schade met respectievelijk een factor  $1,007^{100}$  en  $1,026^{100}$ , dus tot een factor 1,5 en 13 toename tussen 2000 en 2100. In werkelijkheid zal niet alle economische groei zich vertalen in een schadetoename. Het gaat hier dan ook niet om de precieze getallen, maar wel om de aanwijzing dat economische groei mogelijk (als de economie hard groeit) voor een veel sterkere toename van de potentiële overstromingsgevolgen zorgt, dan klimaatverandering (daar vonden we immers een factor 1 à 2). Groeit de economie slechts zeer gering dan is het effect van economische groei



vergelijkbaar met dat van de toegenomen blootstelling door klimaatverandering. Dit is ook te zien in figuur 3.14 voor het Rijnmond-Drechtstedengebied.

In het Rijnmond-Drechtstedengebied heeft klimaatverandering in 2050 een effect dat vergelijkbaar is met dat van economische groei volgens het RC scenario (zie Figuur 3.15). In het GE scenario is het effect van economische groei op het overstromingsrisico vele malen groter dan dat van klimaatverandering. Economische groei is hier direct doorvertaald naar schadetoename en als ruimtelijk homogeen percentage opgelegd. De effecten van klimaatverandering zijn bepaald op basis van effecten op de buitenwaterstanden en vertaling van verhoogde buitenwaterstanden naar schadetoename (zie De Bruijn, 2011).



Figuur 3.14 Overstromingsrisico's in de huidige situatie en in de toekomst bij continueren van het huidige beleid in het Rijnmond-Drechtstedengebied bij klimaatscenario's G (gematigd) voor het jaar 2050 en klimaatscenario W (warm) in 2100 voor de economische scenario's Global Economy (GE) en Regional Communities (RC). (Rotterdam = dijkkring 14, 17, 18, 19; Vp = Voorne Putten is dijkkring 20, Oost = dijkkring 15, 16, 22 en Zuid = dijkkring 21, 24, 25, 34 en 35) (gebaseerd op De Bruijn, 2011).

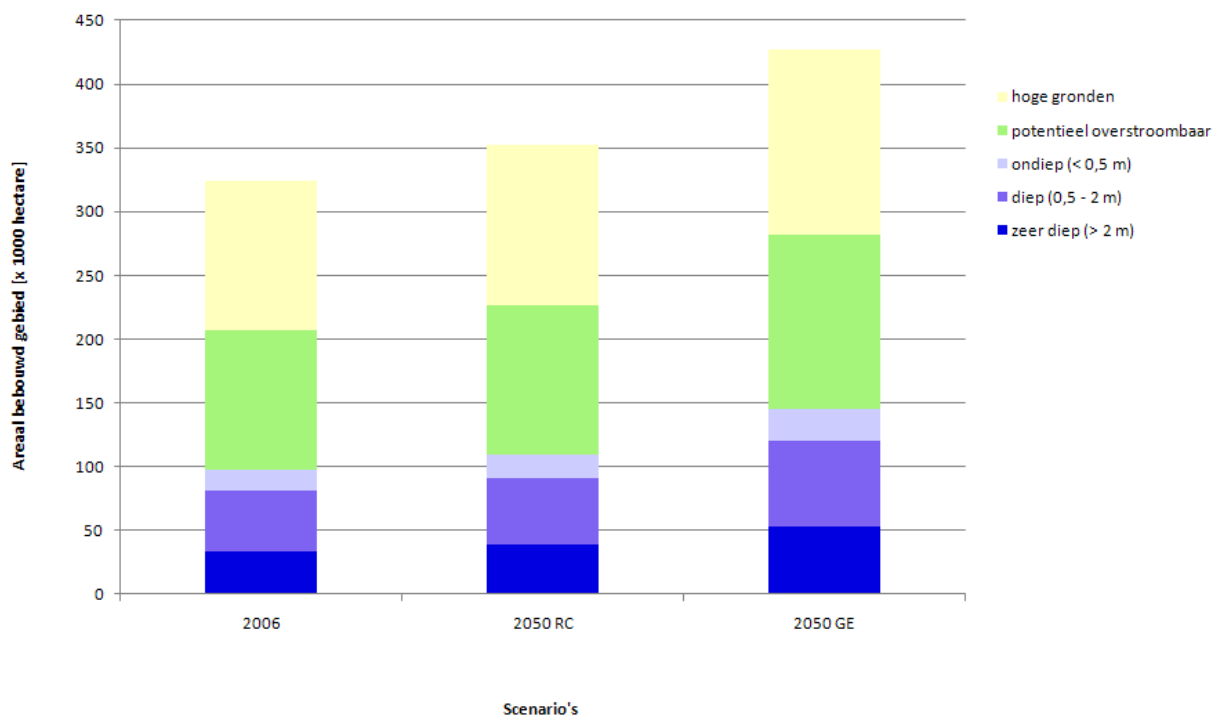
Om meer inzicht te geven in de toename van het aantal huizen en mensen dat blootgesteld wordt aan overstromingen is het mogelijk toekomstig landgebruik, horend bij de twee deltasceario's over de potentiële maximale waterdiepte kaart gelegd. De toename van het aantal mensen dat woont in een gebied met een bepaalde maximale waterdiepte is gegeven in figuur 3.15, tabel 3.4 en 3.5. Het bebouwd gebied in het gebied met een grote potentiële overstromingsdiepte neemt het meest toe in percentage (15 en 57% in respectievelijk het RC en GE scenario). In die zone wordt het oppervlak bebouwd gebied in het GE scenario dus 1,6 keer zo groot als het nu is. Van al het nieuwe bebouwd gebied wordt zo'n 20 % in die zone gebouwd. De meeste nieuwe bebouwing wordt in beide scenario's overigens in LaagNederland gebouwd; slechts 27% op de hoge gronden, die circa 45 % van Nederland beslaan.

Tabel 3.4 Groei van bebouwd gebied per diepteklasse in % van het bestaande bebouwd gebied in die klasse.

Toename	Scenario	Potentiële overstromingsdiepte				
		zeer diep (> 2m)	diep (0,5 - 2 m)	ondiep (< 0,5 m)	Overstroombaar	Hoge gronden
% van bestaand gebied in die klasse	2050 RC	15	9	10	8	7
	2050 GE	57	43	46	25	24

Tabel 3.5 Procentuele verdeling van de nieuwbouw over verschillende diepteklassen

Toename	Scenario	Potentiële overstromingsdiepte					Totaal
		zeer diep (> 2m)	diep (0,5 - 2 m)	ondiep (< 0,5 m)	Overstroombaar	Hoge gronden	
% van totale toename bebouwd gebied in NL	2050 RC	18 %	16 %	6 %	30 %	30 %	100 %
	2050 GE	19 %	20 %	7 %	27 %	27 %	100 %

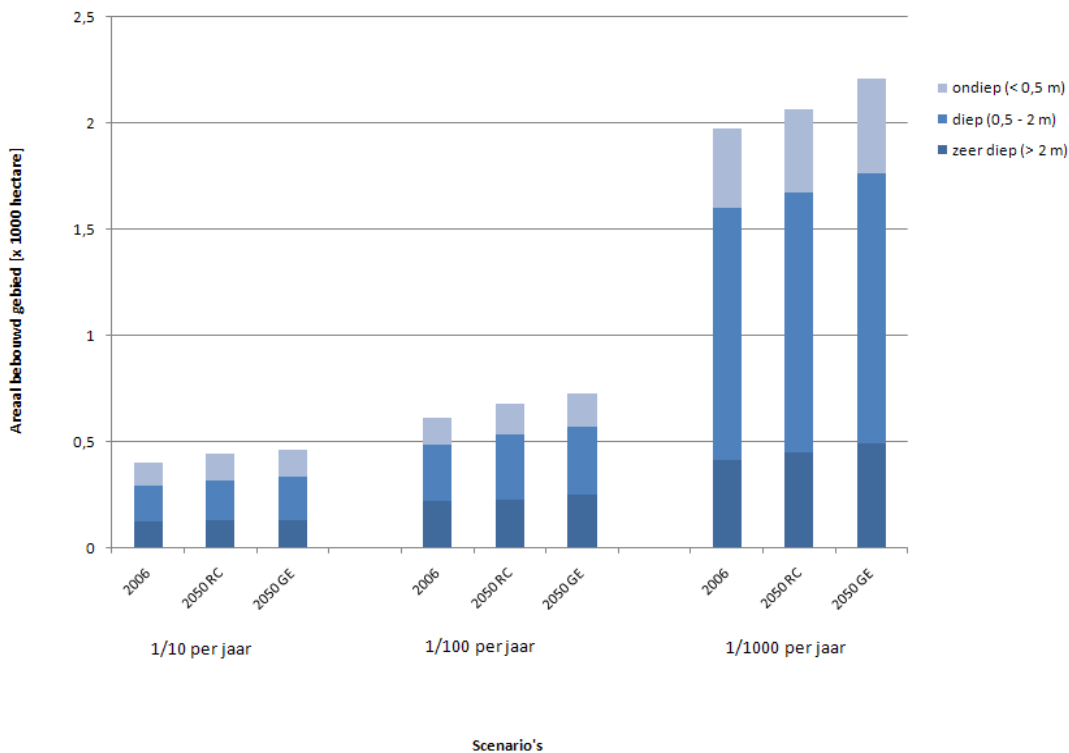


Figuur 3.15 Oppervlak bebouwd gebied voor de huidige situatie, en in de Deltascenario's RC en GE in gebieden met verschillende waarden voor de maximale overstromingsdiepte.

De genoemde toenames van stedelijk oppervlak in potentieel diep overstroombare gebieden gelden wanneer in de ruimtelijke ordening geen rekening wordt gehouden met overstromingsrisico's. In de deltasenario's gebeurt dit niet, want die gaan uit van vigerend beleid. Mocht dit wel gedaan worden dan zal de toename kleiner zijn. De toename van kwetsbaarheid in nieuwe bebouwde gebieden en gebieden die geherstructureerd worden is te beïnvloeden. Een mooi voorbeeld hiervan is Hafencity in Hamburg, waar door inrichting en bouwwijze de kwetsbaarheid is verminderd.

### In buitendijks gebied

Ook buitendijks neemt de kwetsbaarheid toe door economische groei, bevolkingsgroei en ruimtelijke ontwikkelingen. In de huidige situatie wordt bij het plannen van nieuwbouw rekening gehouden met mogelijk hoogwater. Gebouwen worden boven maatgevende waterstanden geplaatst of anderszins aangepast aan de hoogwateromstandigheden. De toename in kwetsbaarheid is hierdoor beperkt. De economische groei in reeds bestaande bebouwde gebieden zal wel leiden tot een kwetsbaarheidstoename.



Figuur 3.16 Oppervlak bebouwd terrein in buitendijks gebied voor de huidige situatie, en in de Deltascenario's RC en GE in gebieden die onderlopen bij hoogwaters met een frequentie van 1/10 per jaar, 1/100 en 1/1000 per jaar.

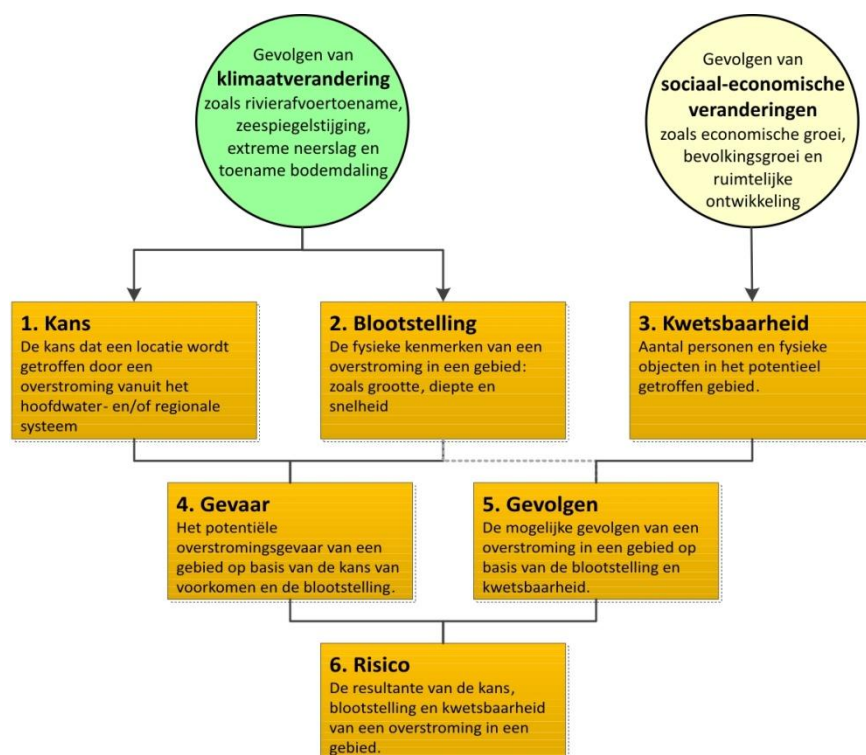
Figuur 3.16 toont de toename van bebouwing in gebieden met verschillende frequenties van onderlopen en waterdieptes voor het scenario RC en GE tot 2050. De grafiek laat zien dat de meeste bebouwing zich bevindt in gebieden met een lage overstromingsfrequentie en dat daar ook de grootste toename te verwachten is. Overigens kan het zijn dat het gebied dat in de toekomst bebouwd wordt en nu frequent te maken kan krijgen met water eerst opgehoogd wordt, zodat de frequentie van overstromen afneemt. Dit is in deze grafiek niet meegenomen.



### 3.7 Conclusie

#### Veiligheid tegen overstromingen; begrippenkader en situatieschets

De definitie van en relaties tussen de begrippen die worden gehanteerd in het onderzoek naar het voorkómen van overstroming en de gevolgen van overstroming zijn weergegeven in Figuur 3.17. De figuur geeft tevens weer hoe klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkelingen invloed hebben op dit systeem. Aan de hand van het kader kan de overstromingsthematiek worden gestructureerd en ontleed.



Figuur 3.17 Begrippenkader overstroming en invloed van toekomstveranderingen.

Kort samengevat is het centrale en overkoepelende knelpunt in de overstromingsthematiek dat in het verleden, maar ook in de geprojecteerde toekomstbeelden, veel (zo niet de meeste) economische groei en bevolkingstoename plaatsvond en -vindt in gebieden met een hoge blootstelling: laaggelegen gebieden die worden omringd door steeds hogere waterstanden. De kwetsbaarheid van deze gebieden nam en neemt dus voortdurend toe.

Als reactie hierop is Nederland goed beschermd tegen overstromingen door een uitgebreid systeem van dijken, kades, duinen, dammen en kunstwerken en is beleid in stelling gebracht om deze bescherming op peil te houden. In theorie blijft daarom ook bij klimaatverandering de kans op overstromen gelijk. Overstromingen zijn echter niet volledig uit te sluiten en er bestaan in de huidige situatie verschillen in overstromingsrisico's per gebied. Het belangrijkste gebiedsonderscheid is dat tussen:

- gebieden beschermd door wettelijk genormeerde dijkkringen (keringen langs de kust, Rijn- en Maas, het IJsselmeer en het Markermeer)
- gebieden beschermd door regionale keringen
- de buitendijkse gebieden die niet door keringen worden beschermd.

Deze gebieden verschillen in de kans op, blootstelling aan en kwetsbaarheid voor overstromen (zie Tabel 3.6).

Tabel 3.6 *Impressie van algemene karakteristieken van de drie gebieden*

Gebied	Frequentie van onderlopen (kans)	Blootstelling	Kwetsbaarheid
Door primaire keringen beschermd gebied	Zeer zelden (normen strenger dan 1/1000 per jaar (in Limburgse dijkkringen 1/250)	Varieert: in rivierengebied en Flevopolder zeer groot overstroomd gebied mogelijk, grote dieptes. Moeilijk voorspelbaar.	Kwetsbaarheid meestal groot.
Buitendijks	Frequent tot zeer zelden (jaarlijks – 1/1000 per jaar)	Diepte meestal beperkt, redelijk goed voorspelbaar.	Wisselend: landgebruik meestal aangepast aan huidige frequentie van onderlopen
Door regionale keringen beschermd gebied	Frequent tot zeer zelden (normen keringen 1/10 - < 1/1000)	Oppervlak beperkt, diepte soms groot, moeilijk voorspelbaar.	Kans van overstromen is aangepast aan landgebruik en moet dat volgens normen blijven. Kwetsbaarheid in zelden bedreigde gebieden dus hoog, in frequent bedreigde gebieden laag.

Vanwege de fundamentele verschillen tussen de drie gebieden zijn hieronder per gebiedstype de conclusies weergegeven t.a.v. van de huidige situatie en toekomstige ontwikkelingen. Uitgangspunt daarbij is dat ook in de toekomst via het beleid de *kans* op overstromen constant wordt gehouden. Ondanks dat is voor alle gebieden evenwel een toename in de *blootstelling* en *kwetsbaarheid* te verwachten, en daarmee een toename in de *gevolgen* en *risico's*.

### Door keringen beschermde gebieden

#### *Huidige situatie*

- De locaties met de grootste kans op overstromen en de ernstigste blootstelling bevinden zich in het rivierengebied en de IJsselmeerpolders. Daar kunnen overstromingen een groot gebied treffen, er kunnen grote waterdieptes voorkomen en het water kan lang blijven staan. Veel locaties in deze gebieden hebben bovendien een hoge potentiële mortaliteit.
- De kwetsbaarheid voor overstromingen is het grootst in de dichtbevolkte stedelijke gebieden.
- De overstromingsrisico's zijn het grootst in gebieden met een grote kans, blootstelling en kwetsbaarheid. Dit zijn de Alblasserwaard, Lopiker en Krimpenerwaard, Kromme Rijn, Betuwe, Gelderse Vallei, en Zuid-Holland.
- Overstromingen vanuit regionale waterlopen zijn in het algemeen lokaal, maar kunnen in diep gelegen polders zoals droogmakerijen in Zuid-Holland wel leiden tot grote waterdieptes. Ze zijn meestal niet levensbedreigend.
- Er is nog geen landsdekkend beeld beschikbaar van blootstelling, schades of risico's van overstromingen vanuit het regionale watersysteem.

#### *Blootstelling neemt toe*

- Door klimaatverandering zal, bij gelijkblijvend beleid, de blootstelling bij overstromen groter worden: door hogere buitenwaterstanden bij een dijkdoorbraak zal de maximale waterdiepte in het overstroomd gebied toenemen. Ook kan een groter gebied onder

water komen te staan. De grootste toename wordt verwacht in gecompartmenteerde, grote dijkkringen die in de huidige situatie bij potentiële dijkdoorbraken nog niet geheel onder water komen te staan, zoals dijkkring 14 (Zuid-Holland), IJsselmonde, Dordrecht, West-Brabant en Groningen-Friesland. Het effect op schade van de blootstellingstoename is daar tussen 2000 en 2050 een factor 1,5 en tussen 2000 en 2100 ongeveer een factor 1,5 á 2,5.

- Door klimaatverandering kan de neerslagintensiteit toenemen waardoor de kans op overstromen vanuit het regionale systeem zal stijgen. Dit zal volgens het huidige beleid gecompenseerd worden door maatregelen aan het watersysteem of door de keringen te versterken.

#### *Kwetsbaarheid neemt toe*

- In de toekomst zal de kwetsbaarheid van het gebied achter primaire en regionale keringen toenemen door economische groei, bevolkingsgroei en ruimtelijke ontwikkelingen.
- In het GE scenario is het effect van economische groei op de potentiële schade en slachtofferaantallen zeer groot in verhouding tot het effect van de toegenomen blootstelling. In het RC scenario zijn beide van vergelijkbare grootte.
- In 2050 zou door stedelijke uitbreiding onder het GE scenario 50% meer oppervlak bebouwd gebied in de categorie “zeer diep” (meer dan twee meter diep) vallen dan in de huidige situatie.
- Een groot deel van de kwetsbaarheidstoename vindt plaats in bestaand bebouwd gebied. Deze toename is vrijwel autonoom.

### **Buitendijkse gebieden**

#### *Huidige situatie*

- Buitendijkse gebieden hebben vaak een grote blootstelling, maar aangezien overstromingen frequent optreden is het landgebruik hier meestal op aangepast. De gebieden die al onderlopen bij hoogwaters met een hoge frequentie van voorkomen zijn natuur-, recreatie- of landbouwgebieden met een zeer lage kwetsbaarheid.
- Er zijn ook intensief gebruikte buitendijkse woon- en werkgebieden met een kleinere kans op overstromen en een grote kwetsbaarheid, zoals bij Katwijk, Scheveningen, in (de havens van) Rotterdam en de Drechtsteden. Bij de bouw en ontwikkeling van deze gebieden is in het verleden in meer of mindere mate rekening gehouden met hoogwatersituaties en de huidige nieuwe ontwikkelingen worden hier ook op aangepast. Er zijn echter grote verschillen in kwetsbaarheid binnen en tussen deze gebieden.

#### *Blootstelling neemt toe*

- Door grotere rivierafvoeren, zeespiegelstijging en bij een hoger IJsselmeerpeil, wordt de blootstelling in buitendijks gebied groter.

#### *Kwetsbaarheid neemt toe*

- Ook buitendijks neemt de kwetsbaarheid toe door economische groei, bevolkingsgroei en ruimtelijke ontwikkelingen. In de huidige situatie wordt bij nieuwbouw rekening gehouden met mogelijk hoogwater. De toename in kwetsbaarheid is hierdoor beperkt. De economische groei in reeds bestaande bebouwde gebieden zal wel leiden tot een kwetsbaarheidstoename.

## Deel II. Overlast

### 4 Wateroverlast door neerslag

#### 4.1 Wat verstaan we onder wateroverlast door neerslag

In de twintigste eeuw is het areaal stedelijk gebied en daarmee het verhard oppervlak in Nederland enorm toegenomen. Regenwater wordt snel afgevoerd naar de riolering of direct naar het oppervlaktewater. De afvoer- en bergingscapaciteit van systemen voor het verwerken van neerslag is altijd begrensd. Wanneer de grens is bereikt kan dit leiden tot twee typen wateroverlast:

- Langdurig en grootschalig water op straat, indien de capaciteit van het regenwaterafvoersysteem (riolering) wordt overschreden (bij piekbuien met zeer hoge intensiteit).
- Inundatie vanuit watergangen<sup>10</sup>, indien de afvoer- en bergingscapaciteit van het oppervlaktewater is overschreden (regenperioden met een groot totaalvolume in een relatief korte duur).

Een essentieel verschil tussen overlast vanuit riolering of vanuit het oppervlaktewater is, naast de locatie, de duur van de overlast. Bij overstroming vanuit watergangen duurt de overlast veel langer omdat het totale watersysteem 'vol' is (er is geen extra bergingscapaciteit elders meer).

#### 4.2 Gegevensbronnen

De inhoud van dit hoofdstuk is voornamelijk gebaseerd op studies naar hemelwateroverlast van RIONED, Deltares en Alterra:

Future Water, Alterra (2010). Klimaatatlas, ontwikkeling wateroverlastkaarten.

Hoogvliet, M.C. et al., maart 2011. Brede, gebiedsspecifieke verkenning van effecten van klimaatverandering, in samenhang met toekomstscenario's en trendmatige ontwikkelingen.

Stichting RIONED, november 2006. Stedelijke Wateropgave. Vergelijking normen voor water op straat en inundatie.

Stichting RIONED, maart 2008. Regenwateroverlast in de bebouwde omgeving. Inventariserend onderzoek onder gemeenten.

Ten Veldhuis, J.A.E., 2010. Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland areas.

Van de Ven, F., E. van Nieuwkerk, Stone, K., Zevenbergen, C., Veerbeek, W., Rijke, J., and S. van Herk, 2010. Building the Netherlands Climate Proof: Urban Areas.

Daarnaast zijn voor dit thema een aantal gemeenten benaderd waarvan bekend is dat zij een goed beeld hebben van de wateroverlast op hun grondgebied. Praktijkervaringen uit deze gemeenten zijn in de tekst gebruikt. Informatie over klimaateffecten is voornamelijk beschikbaar voor het KNMI'06 W scenario. Onder dit scenario is de verwachte toename van wateroverlast het grootst.

---

10. In het Nationaal Bestuursakkoord Water en in dit rapport doelt de term 'inundatie' op het buiten de oevers treden van watergangen wanneer de bergingscapaciteit van het watersysteem wordt overschreden. Het gaat hierbij dus niet om het opzettelijk onder water zetten van terreinen, waarop de term inundatie normaliter betrekking heeft.

### 4.3 Dreiging van wateroverlast

#### 4.3.1 Water op straat

Het functioneren van de riolering wordt beoordeeld met behulp van een kort durende bui met een hoge neerslagintensiteit. De gangbare norm voor riolering is afgestemd op regulier functioneren en niet op zeer extreme situaties. Het regulier functioneren van een rioolstelsel wordt momenteel getoetst met een theoretische ontwerpbui met een herhalingstijd van  $T = 2$  jaar. Dat is een bui met een kans van eens in de 2 jaar, of anders gezegd, een bui waarvoor de kans van optreden in een jaar 1:2 is.

Een rioolstelsel moet deze ontwerpbui kunnen verwerken zonder het optreden van 'water op straat'. Als dat wel gebeurt zijn er formeel 3 gradaties in de situatie die optreedt (Stichting RIONED, november 2006):

- Hinder, kort durend beperkte hoeveelheden 'water op straat', met een duur in de orde van 15 –30 minuten.
- Ernstige hinder, forse hoeveelheden 'water op straat', ondergelopen tunnels, opdrijvende putdeksel, met een duur in de orde van 30 – 120 minuten.
- Overlast, langduriger en op grotere schaal 'water op straat', water in winkels, woningen met materiële schade en mogelijk ook ernstige belemmering van het (economische) verkeer, afvalwater dat uit de riolering stroomt (risico's voor volksgezondheid).

Water op straat is altijd zeer plaatselijk en over het algemeen beperkt tot één straat, plein of tunnel. De gemeente stelt momenteel vast wanneer de grens tussen 'hinder' en 'schade' wordt overschreden en bepaalt de maatregelen. Dit heeft een nauwe relatie met het bestuurlijk/maatschappelijk (niet) accepteren ervan. Ook na het treffen van maatregelen blijven sommige locaties door hun ligging kwetsbaar voor wateroverlast. Bijvoorbeeld laaggelegen plekken, ingesloten gebiedjes of een vlak terrein onder aan een helling, maar ook plaatsen waar het oppervlaktewater een beperkte capaciteit heeft en de riolering het water niet goed kwijt kan.

#### 4.3.2 Inundatie vanuit watergangen

Het functioneren van een oppervlaktewatersysteem wordt beoordeeld met een set meerdaagse regenperioden. Het systeem mag in het stedelijk gebied met een herhalingstijd van  $T = 100$  jaar falen (norm uit het NBW<sup>11</sup> o.b.v. inschatting van kosten versus potentiële schade). Voor overige landgebruikstypen gelden grotere faalkansen (tuinbouw 1/50 jaar; landbouw 1/25 jaar, gras 1/10 jaar). Door de lagere normen is de door klimaatverandering te verwachten toename van inundatie vanuit oppervlaktewater in het landelijk gebied groter dan in het stedelijk gebied (Hoogvliet et.al., maart 2011).

Een watersysteem in vlak gebied (Laag-Nederland) is vooral gedimensioneerd op bergingscapaciteit, de afvoercapaciteit via de gemalen is relatief beperkt. De waterlopen in de meer hellende gebieden (Hoog-Nederland) wordt vooral gedimensioneerd op afvoercapaciteit. De berging in de hellende waterlopen is relatief beperkt.

---

<sup>11</sup> *Nationaal Bestuursakkoord Water. In de 2008 actualisatie van het NBW hebben rijk, provincies, gemeenten en waterschappen de wateropgave opnieuw geformuleerd en afgesproken hoe ze het watersysteem op orde brengen en houden.*

Inundatie vanuit het oppervlaktewater treedt op bij regenperioden met een groot totaalvolume in een relatief korte duur (1 tot enkele dagen). Bij watersystemen in vlak gebied (Laag Nederland) is de oorzaak het overschrijden van de bergingscapaciteit en het uiteindelijk onderlopen van aanliggende gebieden. Bij watersystemen in hellend gebied (bijvoorbeeld de beekdalen in Hoog Nederland) gaat het vooral om het overschrijden van de afvoercapaciteit van de waterlopen en eventuele overstromingsvlaktes (Stichting RIONED, november 2006).

Anno 2008 anticipeerde ruim 60% van de gemeenten met maatregelen op de effecten van zwaardere buien door klimaatontwikkeling (Stichting RIONED, maart 2008). Dit bestaat in bestaand bebouwd gebied uit het realiseren van extra afvoercapaciteit in een regenwatersysteem (met als bijkomende voordelen: minder transport van regenwater naar een centrale RWZI, minder vervuiling van het oppervlaktewater en minder vervuild afvalwater op straat. Bovendien is dit in veel gevallen kosteneffectiever dan het vergroten van de afvoercapaciteit van de vuilwaterriolering). Bij nieuwbouw ligt momenteel het accent op het efficiënter verwerken van regenwater.

#### 4.3.3 Huidige knelpunten en oorzaken

Stichting RIONED heeft in 2007 een inventariserend onderzoek uitgevoerd onder alle gemeenten. Doel van dit onderzoek was het verkrijgen van een landelijk beeld van de huidige situatie (Stichting RIONED, maart 2008).

Ruim 90% van de gemeenten heeft aangegeven regenwateroverlast te ondervinden, hoofdzakelijk op een enkele locatie. De belangrijkste vormen zijn: water uit de riolering op straat en water in gebouwen. In mindere mate is sprake van stremmingen van wegen. In de meeste gemeenten gaat het om overlast korter dan een uur. Een kwart van de gemeenten heeft te maken met overlast langer dan een uur. Circa 10% van de gemeenten heeft op een groot aantal locaties regenwateroverlast, vooral in de vorm van water op straat. In 6% van de gemeenten komt water in gebouwen op een groot aantal locaties voor.

Over een langere periode beschouwd geeft meer dan 60% van de gemeenten aan overlast te hebben die gemiddeld vaker dan één keer per vijf jaar voorkomt. Ruim 30% geeft aan dat veel problemen (achteraf) waren te voorzien. Circa 16% zegt dat sprake is van overlast op nieuwe (voorheen onbekende) locaties. Ongeveer 30% van de gemeenten geeft aan dat regenwateroverlast lijkt toe te nemen. In 40% van de gemeenten neemt het aantal meldingen en klachten toe.

#### **Oorzaken van wateroverlast**

De inrichting van de bovengrond is in de loop der jaren sterk veranderd. Momenteel zorgen de volgende punten er meestal voor dat knelpunten ontstaan (Stichting RIONED, november 2006):

- Op veel plaatsen is het straatniveau (lage of geen stoepranden) vlakker geworden, waardoor de capaciteit van berging van water op straat substantieel is verminderd. Tevens is daarmee vloerpeil in gebouwen relatief lager komen te liggen.
- Op veel punten zijn verkeersdrempels aangelegd die de afvoer van water via de straat kunnen beïnvloeden.
- Steeds vaker worden ingangen naar woningen en gebouwen gemaakt die beneden het niveau van de weg liggen.

- Groenzones langs wegen worden hoger aangelegd dan de weg (om te voorkomen dat auto's erop parkeren).
- Steeds vaker worden greppels en sloten vervangen door leidingen.
- De verharding van tuinen neemt enorm toe waardoor er vooral in extreme situaties veel water wordt afgevoerd.
- Door verdichting van het stedelijk gebied is de belasting van de riolering en het oppervlaktewatersysteem toegenomen.
- Er wordt vaker gebouwd op lage natte punten.

Er zijn overigens ook ontwikkelingen die de stedelijke wateroverlast doen afnemen:

- Forse investeringen in maatregelen.
- Toepassen van doorlatende verharding.
- Afkoppelen van zones met verhard oppervlak van rioolsysteem en infiltreren van regenwater in de bodem.
- Stimuleren van kleinschalige elementen zoals waterpleinen, groene daken e.d.

Op basis van de meldingen uit gemeenten was geen duidelijke relatie te leggen tussen de kenmerken van een gebied en de mate van overlast. Het is dus bijvoorbeeld niet zo dat systemen in Laag-Nederland, op slecht doorlatende kleibodems, vaker falen dan systemen in Hoog-Nederland, waar water gemakkelijker in de zandbodem infiltreert. Het aanwezige waterafvoersysteem is overal in vergelijkbare mate afgestemd op de plaatselijke omstandigheden in combinatie met de landelijk gangbare normeringen.

Een oorzaak van overlast die nog niet hierboven is genoemd betreft het falen van onderdelen in het systeem, bijvoorbeeld het verstopt raken van rioolkolken. Onderzoek wijst uit dat de bijdrage van hevige regenval aan de totale kans op wateroverlast klein is in vergelijking met die van zaken als verstoppingen (Ten Veldhuis, 2010).

### **Schade en aansprakelijkheid**

Bijna de helft van de gemeenten is de afgelopen jaren aansprakelijk gesteld voor schade door regenwateroverlast. Circa 30% van de gemeenten is aangesproken met claims van meer dan € 1.000 per geval. Bijna 15% van de gemeenten heeft schadevergoedingen uitgekeerd.

Het aantal gehonoreerde schadeclaims is relatief laag. Gemeenten kunnen zich beroepen op overmacht, maar de ruimte daarvoor neemt af. In veel recente gevallen (32%) was namelijk de regenwateroverlast te voorzien. Ook is sprake van situaties waar overlast bij herhaling optrad (65%) (Stichting RIONED, maart 2008).

Schade betekent niet alleen materiële schade. Het gaat bijvoorbeeld ook om het effect van verkeerstromingen en het uitrukken van de gemeentelijke rioldienst en brandweer. Daarnaast kunnen nutsvoorzieningen uitvallen, evenals bedrijven die daarmee omzet mislopen. Schade aan gebouwen raakt weinig mensen, maar is goed in kosten uit te drukken. Schade door uitvallen van infrastructuur raakt veel mensen, maar is moeilijk kwantificeerbaar. Erg vuil water op straat kan leiden tot risico's voor de volksgezondheid.

Er is geen goede kwantitatieve informatie over de landelijke schade die optreedt t.g.v. water op straat en inundatie vanuit watergangen in het stedelijk gebied. Voor landbouwschade (bron LNV) en lekschade via daken (bron Verbond van Verzekeraars) is dit meer het geval, maar deze schades zijn voor de opgave van Nieuwbouw & Herstructurering niet relevant. Analyses van stedelijke wateroverlaststrisico's vereisen kwantitatieve historische gegevens

over frequenties en gevolgschade van wateroverlastgebeurtenissen om de risico's te kunnen kwantificeren. Zulke gegevens zijn schaars: gegevensverzameling vindt slechts op ad hoc basis plaats en blijft gewoonlijk beperkt tot ernstige gebeurtenissen. Het hieruit volgend gebrek aan gegevens maakt kwantitatieve berekeningen van wateroverlastrisico's onmogelijk of onzeker.

#### 4.4 Gevoeligheid voor wateroverlast

##### **Verschillen tussen typen stedelijke bebouwing**

Door van de Ven et.al. (2010) is voor steden met meer dan 30.000 inwoners onderzocht of er significante verschillen zijn tussen de aard van het stedelijk gebied en de gevoeligheid voor wateroverlast. De studie baseert zich op landgebruik en bodemkarakteristieken. Hieruit volgt dat alleen binnen hoogstedelijke centra (met functie wonen of werken) vaker wateroverlast optreedt. Tussen de 18 andere typen stedelijke bebouwing zijn geen verschillen gevonden. Op basis van wijktypologie bleek wateroverlast dus nauwelijks te voorspellen. Als verklaring hiervoor wordt gewezen op de grote ruimtelijke verschillen in de inrichting van steden. Dit uit zich in verschillen in de ruimtelijke spreiding en omvang van doorlatende en ondoorlatende gebiedsdelen. Gelijke wijktypen bezitten daardoor in verschillende steden geen vergelijkbare mate van wateroverlast. Alleen de grotere wateroverlast in de centra is universeel door het gebrek aan voldoende onverhard oppervlak en waterberging.

##### **Consultatie gemeenten**

Om een praktijkgericht inzicht te verschaffen in de kenmerken en schaal van de huidige problematiek zijn in het kader van dit onderzoek vijf gemeenten benaderd waarvoor bekend is dat daar de wateroverlast goed in beeld is. De benaderde gemeenten zijn:

- Rotterdam (Het Oude Noorden)
- Amsterdam (Watergraafsmeer)
- Arnhem
- Woerden
- Eindhoven.

De resultaten bevestigen dat de oorzaak en aard van de wateroverlast binnen een stad en tussen steden sterk varieert, en daarmee ook de oplossingen.

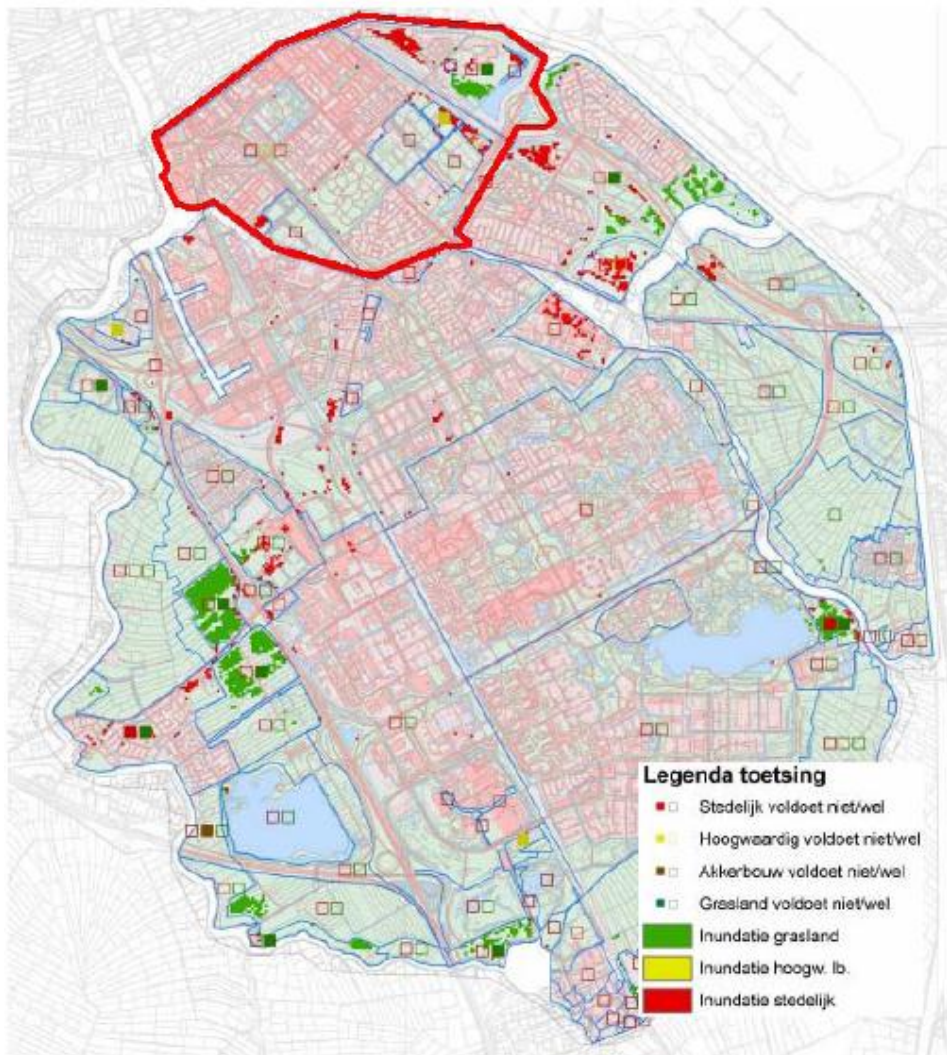
##### **Ruimtelijk beeld van wateroverlast in een stad**

Uit al het voorgaande kan worden geconcludeerd dat wateroverlast een door lokale karakteristieken bepaald probleem is. Een ruimtelijk beeld van de blootstelling aan wateroverlast in een stad is daarom alleen te maken wanneer een detailonderzoek wordt uitgevoerd. Waarnemingen en ervaringen van bewoners/beheerders zijn hierin een voorname component. Veel gemeenten registreren relevante informatie. Het registreren van de overlast in samenhang met de neerslagomstandigheden is de basis voor het anticiperen op extremere situaties. Het is belangrijk historische overlast te kunnen verklaren en te reproduceren met modelsimulaties, voor zowel het ondergrondse als bovengrondse systeem. Vanuit die basis zijn effecten van extremere buien en de werking van maatregelen in te schatten.

Uit modelberekeningen, hoogtekaarten en plaatselijke ervaringen is in een gemeente na te gaan welke locaties kwetsbaar zijn. Figuur 4.1 geeft de spreiding van (potentiële) wateroverlast weer voor Amsterdam Zuid-Oost. Uit de kaart blijkt dat wateroverlast een zeer lokaal probleem vormt. Het patroon in de kaart leert verder dat er in en grenzend aan de wijk

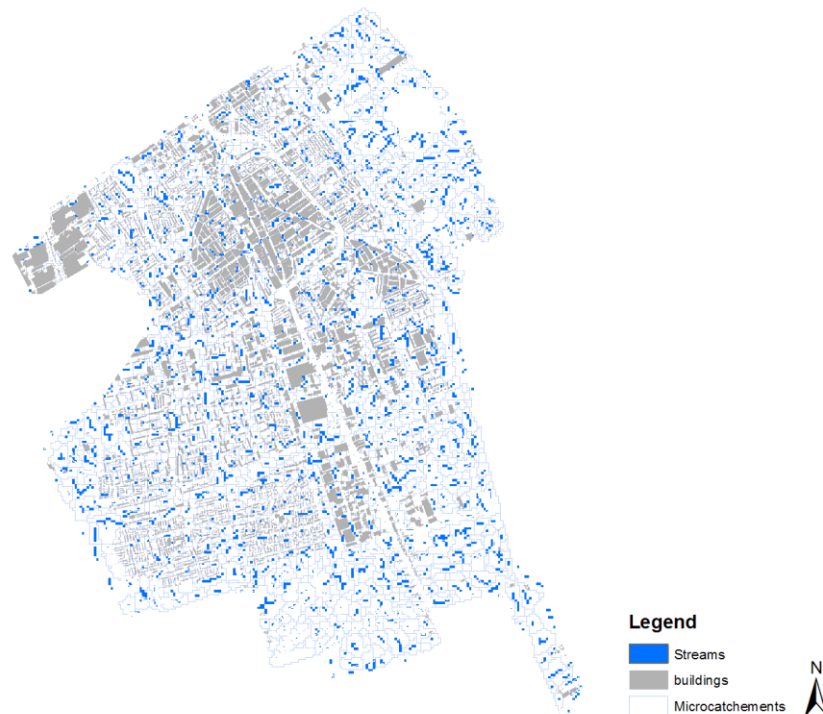


een grotere kans op wateroverlast bestaat binnen de peilvakken met een geringe drooglegging (een hoge grondwaterstand).



Figuur 4.1 Inundatiekaart Watergraafsmeer (met rood begrensd) en Amsterdam Zuid-Oost voor NBW toetsing aan het WB21 Middenscenario (Brouwer en Post, juni 2009). Rode stippen duiden op inundatie van stedelijk gebied.

Figuur 4.2 toont de laaggelegen plaatsen waar ophoping van water plaatsvindt bij een intensieve bui in de stad Delft. Deze kaart is de uitkomst van een modellering en toont in feite de potentiële blootstelling aan water op straat. In het model is deze blootstelling voornamelijk afhankelijk van de verhardingsgraad en hoogteligging. De kaart laat zien dat locaties waar water op straat kan komen te staan, willekeurig over de stad zijn verdeeld. Aangezien Nederlandse steden relatief vlak zijn, leiden kleine depressies of obstakels namelijk al tot kans op ophoping. Dergelijke situaties doen zich overal in de stad voor.



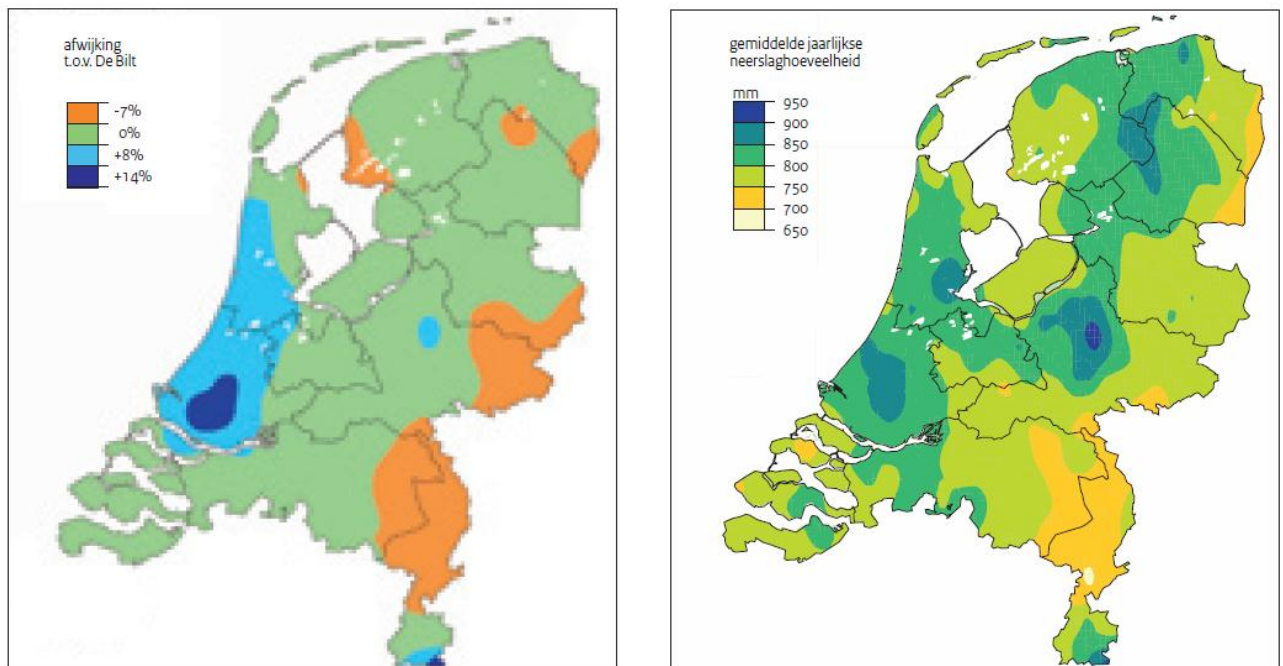
*Figuur 4.2 Laag gelegen plaatsen (in blauw) waar ophoping van water plaatsvindt bij intensieve neerslag in de stad Delft, modeluitkomst (van de Ven et. al., 2010).*

#### 4.5 Effecten van de Deltascenario's in 2050

Hoewel er regionale verschillen zijn in totale neerslaghoeveelheden binnen Nederland, kunnen piekbuien in principe overal plaatsvinden.

Figuur 4.3 illustreert de regionale verschillen die binnen Nederland heersen voor extreme en gemiddelde jaarlijkse neerslag.

Hoewel er geen 1-op-1 relatie is tussen de gemiddelde jaarlijkse neerslag en het aantal dagen met  $\geq 15$  mm, lijken de gebieden in Figuur 4.3 met een hogere gemiddelde neerslag ook iets meer dagen met  $\geq 15$  mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen waarschijnlijk blijven bestaan.



De kleuren in de linker kaart verbeelden het verschil in dagextreme neerslag (dagen met  $\geq 15$ mm neerslag) ten opzichte van De Bilt (gebaseerd op meetreeksen van 141 stations, 1951-2005). Ter vergelijking geeft de rechter kaart de regionale verschillen in de totale jaarlijkse neerslaghoeveelheid (gemiddelde, gebaseerd op meetreeksen van 283 stations, 1971-2000) (Klein Tank en Lenderink, 2009). Constateer dat er geen 1-op-1 relatie is tussen de patronen op beide kaarten.

Figuur 4.3 Regionale verschillen in de neerslagstatistiek.

Als gevolg van klimaatverandering wordt verwacht dat zomerse buien in Nederland een hogere intensiteit krijgen. Het W scenario kent de grootste toename van extreme zomerbuien. Onder de G+ en W+ scenario's ligt het aantal dagen met veel neerslag iets boven de huidige situatie. Momenteel valt in een T = 100 piekbui circa 43mm neerslag in 1 uur. Onder het W scenario stijgt die neerslag tot 53mm in 1 uur. De maximale neerslag gedurende 1 dag stijgt van 79mm nu, naar 98mm onder W in 2050. Dit is een gemiddelde verwachting, voor geheel Nederland. In sommige gebieden kunnen deze maxima nog veel verder oplopen, bijvoorbeeld in de regio Haaglanden, waar sprake is van het zogenaamde kusteffect dat neerslaghoeveelheden doet oplopen.

In stedelijke gebieden komt een groot deel van de neerslag direct tot afvoer. Door de aanwezigheid van veel verhard oppervlakte heeft slechts een klein deel de kans om in de bodem te infiltreren. Stedelijke verdichting versterkt dit effect. Hierdoor zal de afvoer in de toekomst toenemen op plaatsen waar deze al het hoogste was (van de Ven et.al., 2010). Ter indicatie: een toename in het verhard oppervlak van 10% geeft circa 15% meer volumebelasting van riolering en oppervlaktewater (bron: STOWA). Tabel 4.1 geeft de bandbreedte weer van de onder de verschillende klimaatscenario's, bij verschillende neerslagperioden en herhalingstijden, te verwachten toename in neerslaghoeveelheid.

Tabel 4.1 Jaarstatistiek voor de neerslagextremen (mm) in het huidige klimaat gebaseerd op de meetreeks van De Bilt (1906-2003) en het toekomstige klimaat rond 2050 (gebaseerd op 13 getransformeerde meetreeksen, 1906-2008, die samen representatief zijn voor De Bilt) voor verschillende herhalingstijden en neerslagperioden (Buishand et. al., 2009).

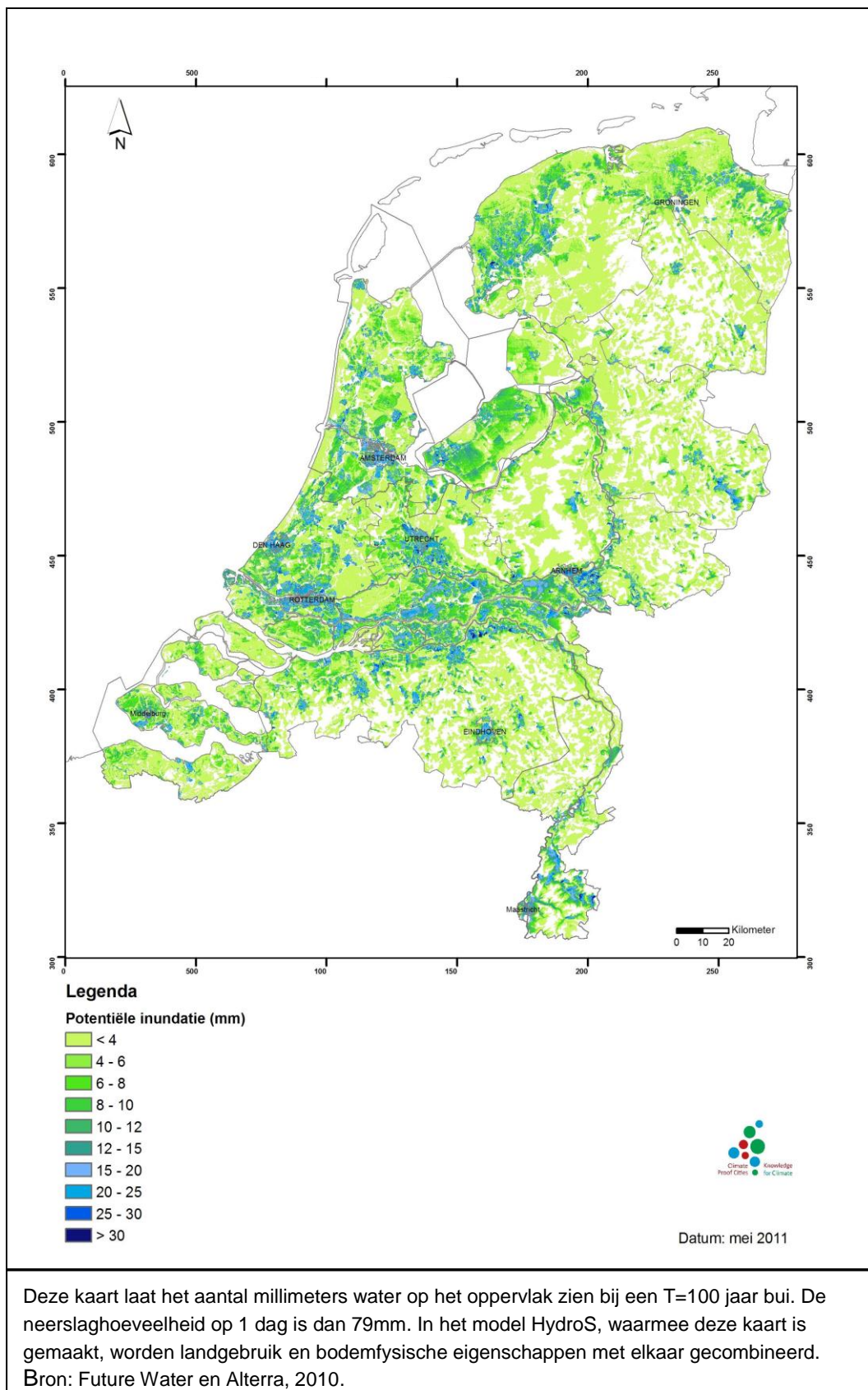
neerslagperiode	1 uur				1 dag				10 dagen						
	huidig	G	G+	W	W+	huidig	G	G+	W	W+	huidig	G	G+	W	W+
herhalingstijd															
1 jaar	14	15	-	17	-	33	36	35	39	36	80	85	81	89	82
10 jaar	27	30	-	33	-	54	60	57	66	60	114	122	116	130	119
100 jaar	43	48	-	53	-	79	88	84	98	88	143	154	146	164	150

### Huidige en toekomstige blootstelling aan wateroverlast

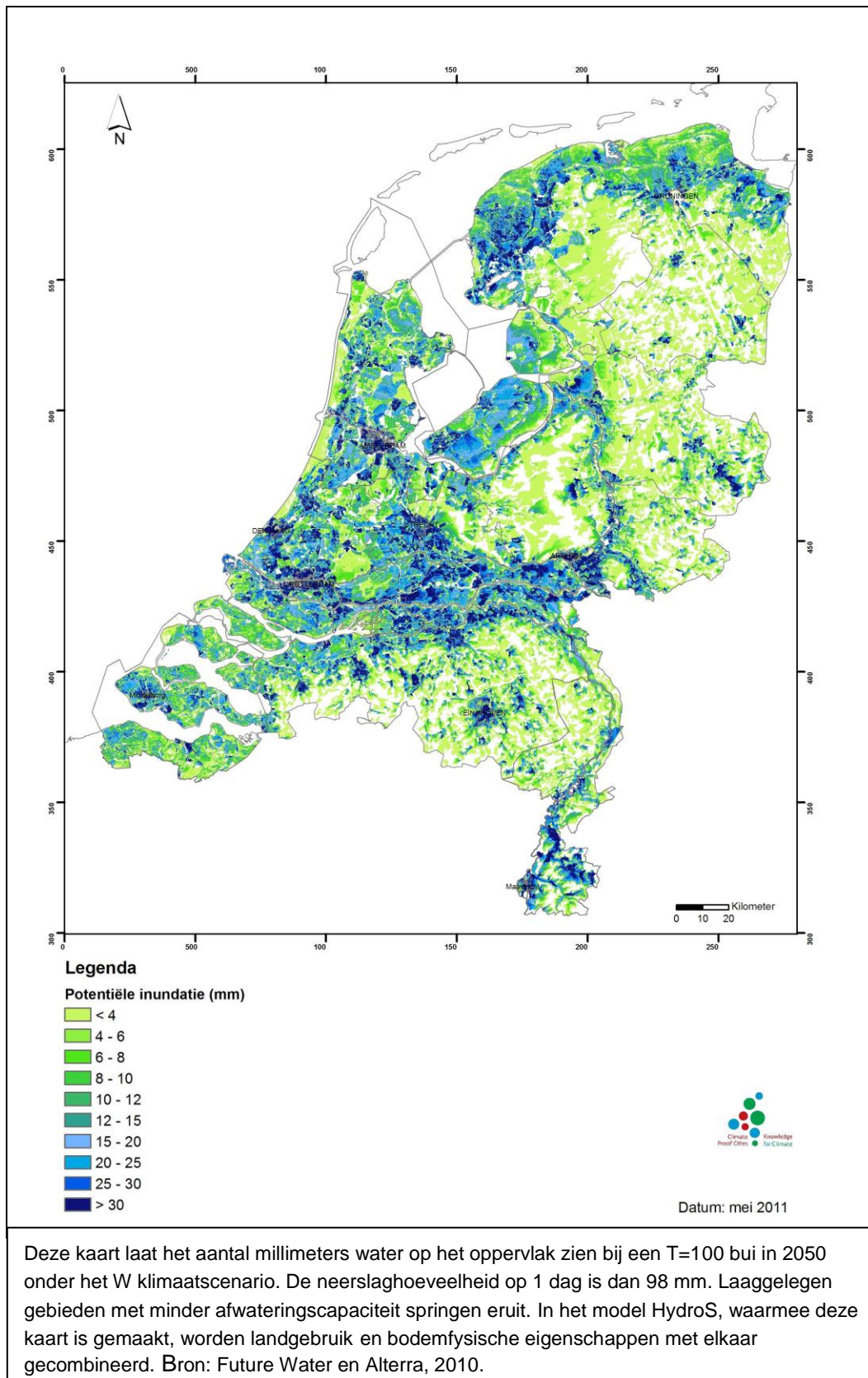
De kwetsbaarheid van steden voor regenwateroverlast komt voor het merendeel tot uitdrukking in een groot aantal 'kleine' schadegevallen. Daarnaast treedt er indirecte schade op vanwege de kwetsbaarheid van infrastructuur. Op dit moment is er geen methode beschikbaar waarmee deze schade landelijk op een accurate manier is te kwantificeren. De blootstelling geldt daarom als enige houvast bij het krijgen van een ruimtelijk beeld. Deze blootstelling zegt feitelijk niets over de kwetsbaarheid voor wateroverlast binnen een stad en het optreden daarvan. Er kan alleen mee worden aangeduid in welke delen van Nederland meer of minder inspanning is vereist om wateroverlast te voorkomen.

Figuur 4.4 toont de potentiële blootstelling aan wateroverlast op een zeer natte dag, die voorkomt met een kans van 1:100 jaar ( $T = 100$  jaar), onder het huidige klimaat. Onder het W scenario neemt de hoeveelheid neerslag toe die valt op dagen met deze herhalingstijd. Daardoor neemt ook de potentiële blootstelling aan wateroverlast toe in grote delen van Nederland (zie Figuur 4.5). De overlast zal zich concentreren in de lagere gebieden waar de afwateringscapaciteit tekort schiet. Bij een herhalingstijd van  $T = 100$  jaar zullen vooral in Laag Nederland en Zuid-Limburg grote gebieden meer dan 20 tot 30 millimeter water te verwerken krijgen. Dit vertaalt zich in een grotere wateropgave, vooral in bestaand bebouwd gebied, want door de hoge druk op de beschikbare ruimte zijn maatregelen hier lastig te realiseren.





Figuur 4.4 Potentiële blootstelling aan wateroverlast in de huidige situatie, bij een T = 100 bui.



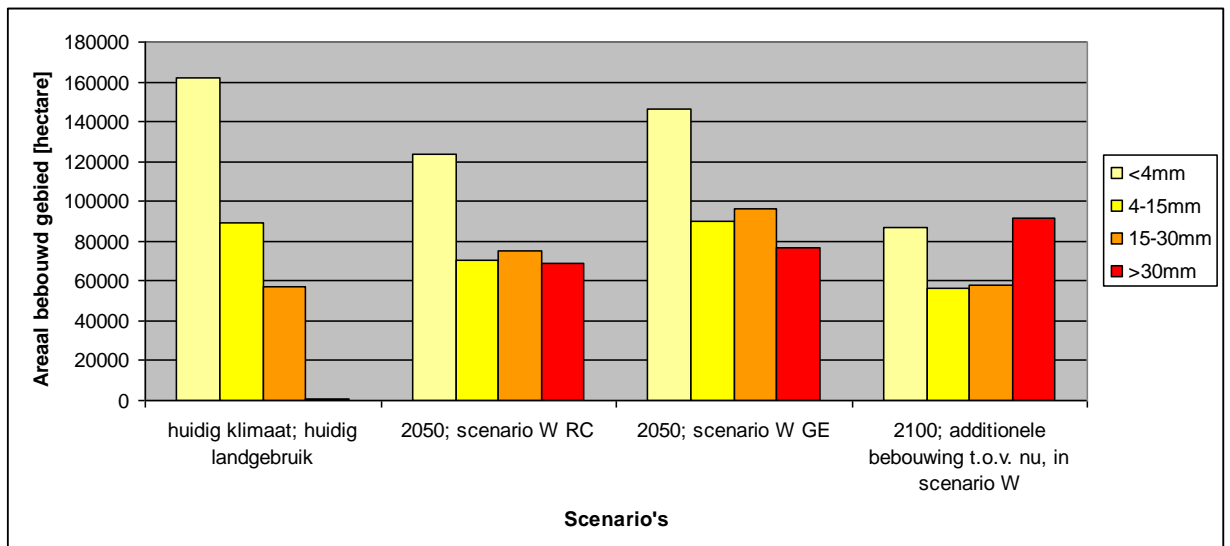
Figuur 4.5 Potentiële blootstelling aan wateroverlast in 2050 onder het W klimaatscenario, bij een T = 100 bui.

## 4.6 Doorkijk naar 2100

Er is geen additionele informatie beschikbaar die het mogelijk maakt om een goede doorkijk te geven richting 2100 voor het thema wateroverlast, anders dan het doortrekken van de ontwikkelingen die tot 2050 zijn voorzien. Vooral onder het W klimaatscenario neemt de wateropgave richting 2100 flink toe.

Met het oog op ruimtelijke ontwikkelingen zal de grootste opgave ontstaan in het GE groeiscenario. Door de verregaande verstedelijking is in dit scenario grote behoefte aan een goede bescherming tegen wateroverlast. Door urban sprawl zal de bebouwingsdichtheid naar verwachting vooral toenemen langs het wegennet en op de aantrekkelijke groene, natte plekken. Vooral op de plaatsen met een hoge blootstelling aan wateroverlast neemt de kwetsbaarheid dus toe.

Om een indruk te krijgen van de impact van de toename in blootstelling zijn de kaarten met de potentiële blootstelling gecombineerd met de kaarten van de Deltascenario's (Figuur 4.6). Op dit moment heeft de blootstelling in het bebouwde gebied een getrappt profiel: een groot deel van het bebouwde gebied kent geen of slechts een geringe blootstelling en een zeer hoge blootstelling komt nauwelijks voor. Onder de RC en GE scenario's vallen echter grote arealen bebouwing binnen de hoge en zeer hoge blootstellingsklasse. Dit komt grotendeels door de toename van de neerslag onder het klimaatscenario, maar anderzijds wordt ook bijgebouwd in juist die gebieden die een verhoogde blootstelling kennen. Deze ontwikkeling zet door richting 2100. Door beide factoren neemt de wateropgave toe. Er moet dus een steeds grotere inspanning worden verricht om wateroverlast te blijven voorkomen.



Figuur 4.6 Areaal bebouwd gebied (in stedelijk en landelijk gebied), onderverdeeld naar 4 klassen van potentiële blootstelling aan wateroverlast. Voor de huidige situatie, en onder het W scenario, uitgesplitst naar de twee ruimtelijke scenario's Regional Communities & Global Economy, en voor het areaal bebouwd gebied dat tussen 2100 en nu nog wordt toegevoegd.

## 4.7 Conclusie

Voor wateroverlast door neerslag in de huidige situatie geldt:

- Problemen met water op straat zijn zeer lokaal en worden voornamelijk veroorzaakt door achterstallig beheer (bijvoorbeeld verstoppingen van het afvoersysteem) en kenmerken van de bebouwing en infrastructuur (bijvoorbeeld trottoirhoogte); de inrichting van de bovengrond.
- Er is geen duidelijke relatie tussen het huidige optreden van problemen met water op straat en een specifieke geografische ligging in Nederland (bijvoorbeeld zandgebieden versus kleigebieden). Het waterafvoersysteem van de steden is en wordt afgestemd op de plaatselijke omstandigheden.
- Alleen in hoogstedelijke centra komt vanwege de hoge verhardingsgraad significant meer wateroverlast voor. Tussen andere stedelijke bebouwingstypen bestaan geen duidelijke verschillen.
- De omvang van de schade door water op straat en inundatie vanuit watergangen is, met veel kleine gevallen, ook nu al moeilijk te kwantificeren.

Hoe ontwikkelt de wateroverlast zich richting 2050 en 2100:

- Zomerse buien krijgen in alle klimaatscenario's een hogere intensiteit. Het W-scenario kent de grootste toename in neerslagintensiteit. Een T = 100 jaar piekbui gaat van 43mm naar 53mm neerslag in 1 uur. De maximale neerslag gedurende 1 dag stijgt van 79mm naar 98mm. Dit zijn gemiddelde cijfers voor geheel Nederland. Plaatselijk is de toename groter.
- Onder het W scenario stijgt de potentiële blootstelling aan wateroverlast flink. De toename concentreert zich in de lagere gebieden in Nederland, waar de afwateringscapaciteit tekort schiet. Bij een herhalingstijd van T = 100 jaar zullen vooral gebieden in Laag Nederland en Zuid-Limburg meer dan 20 tot 30 millimeter water extra te verwerken krijgen.
- In stedelijke gebieden komt een groot deel van dit water direct tot afvoer en belast daarmee het afvoersysteem (riool) en oppervlaktewater. Door de aanwezigheid van veel verhard oppervlak heeft slechts een klein deel de kans om in de bodem te infiltreren.
- Veel gemeenten en waterschappen investeren momenteel al in het voorkomen van wateroverlast middels diverse typen maatregelen voor een efficiënter verwerking van regenwater (doorlatende verharding, infiltratievoorzieningen, groene daken e.d.).
- Traditionele stedelijke verdichting verhoogt de verhardingsgraad van een gebied. Hierdoor zal de afvoer in de toekomst toenemen op plaatsen waar deze al hoog was. Door de hoge druk op de beschikbare ruimte zijn maatregelen hier lastig te realiseren.
- De grootste extra inspanning om wateroverlast te voorkomen, zal moeten worden gedaan onder het GE scenario. Door de verregaande verstedelijking is in dit scenario een grotere behoefte aan een goede bescherming tegen wateroverlast.

### Kennishiaten

Het modelleren en voorspellen van water op straat ten gevolge van overbelasting of falen van rioolstelsel is lastiger dan het modelleren van inundaties vanuit oppervlaktewater. In de modellering van rioolstelsel is al veel mogelijk, maar voor de beoordeling van het functioneren bij zeer extreme buien is een verbetering noodzakelijk. Met name de kwaliteit en beschikbaarheid van terreindata (hoogteverschillen aan het maaiveld) is een zwakke schakel. Tevens ontbreken gegevens over de schadegevoeligheid van objecten in het stedelijk gebied in relatie tot de waterhoogte. Dit is vooral voor het identificeren en beoordelen van kwetsbare objecten een probleem.



## 5 Verzilting van grond- en oppervlaktewater

### 5.1 Wat is verzilting

Verzilting is de geleidelijke toename van het zoutgehalte van bodem en (grond)water. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen externe verzilting (het landinwaarts binnendringen van zeewater via de openingen van het hoofdwatersysteem, zoals over de Nieuwe Waterweg) en interne verzilting (het opwellen van zout grondwater vanuit diepere lagen in de bodem waarin zich oud zeewater bevindt). Beide typen zijn onderwerp van studie in het deelprogramma Zoetwater. Voor het deelprogramma Nieuwbouw & Herstructurering is met name interne verzilting van belang aangezien dit proces een relatief groot areaal raakt en van directe invloed is op (toekomstig) bebouwd gebied.

### 5.2 Gegevensbronnen

Voor dit thema is gebruik gemaakt van modelresultaten die door Deltares in het kader van de knelpuntenanalyse voor het deelprogramma Zoetwater zijn gegenereerd. Een inventarisatie van literatuur over schade aan bebouwing door verzilt grond- en oppervlaktewater heeft slechts beperkte, algemene informatie over aantastingsprocessen en kwetsbaarheden opgeleverd. Belangrijke informatiebronnen zijn:

Deltares, 2011. Zoetwatervoorziening in Nederland. Landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw.

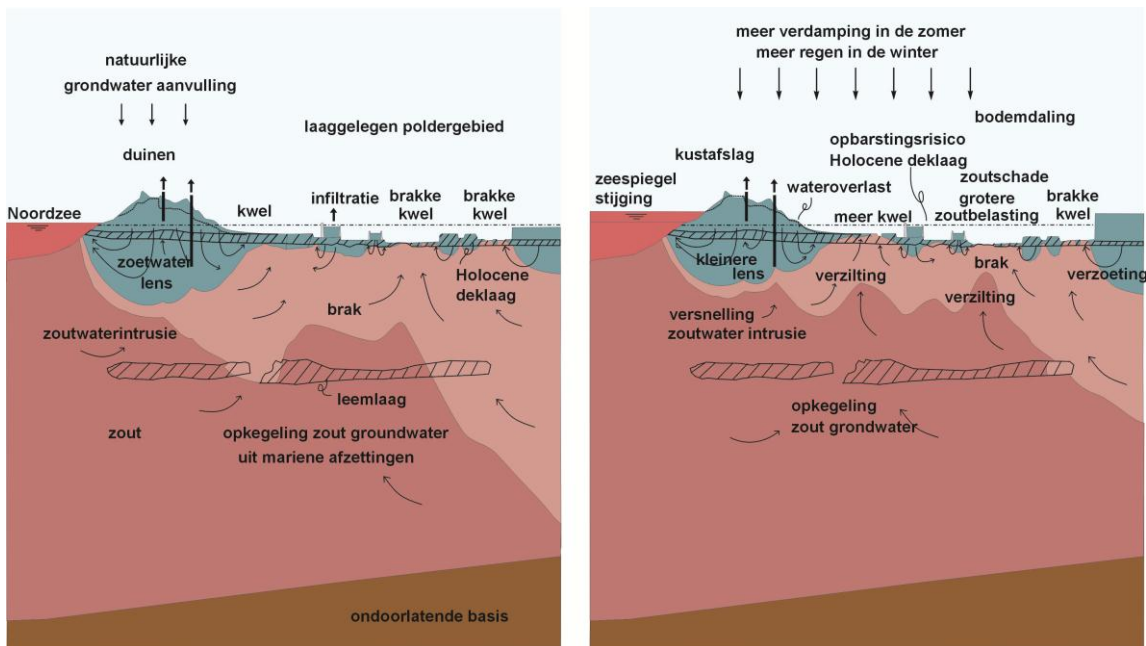
Hoogvliet, M.C. et al., maart 2011. Brede, gebiedsspecifieke verkenning van effecten van klimaatverandering, in samenhang met toekomstscenario's en trendmatige ontwikkelingen.

Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S., and P.G.B. de Louw, 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands.

### 5.3 De dreiging van verzilting

#### **Het proces van interne verzilting**

Het peilverschil tussen het zeeniveau en het achterliggend land veroorzaakt dat zeewater de watervoerende pakketten binnendringt en dat zout grondwater vanuit diepere (mariene) watervoerende pakketten landinwaarts opwelt (zie Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Vereenvoudiging van het regionale grondwatersysteem in het kustgebied: a. huidige situatie, inclusief grondwateronttrekkingen en b. toekomstige situatie, met de processen die mogelijk kunnen optreden. Opwellen van brak grondwater vindt op regionale schaal plaats omdat het gemiddeld polderpeil enkele meters lager ligt dan het gemiddeld zeeniveau.

Dit interne verziltingsproces is reeds eeuwen aan de gang en wordt veroorzaakt door de continue daling van het maaiveld en de daaraan gerelateerde daling van het oppervlaktewaterpeil. Natuurlijke ontwikkelingen en antropogene activiteiten liggen hieraan ten grondslag. Door ontwatering van de bodem (een traag en continu proces) en de aanleg van de laaggelegen droogmakerijen gedurende de 17de-19de eeuw (een relatief abrupte verandering in het maaiveld) is de bodem in grote delen van West Nederland gedaald. Deze ontwikkelingen in het verleden hebben nog steeds invloed op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater in Laag Nederland (Figuur 5.2). De brakke kwel beïnvloedt het bodemvocht, maar stroomt voor het grootste deel naar het oppervlaktewater, dat daardoor ook brakker wordt.

### Additioneel effect van klimaatverandering

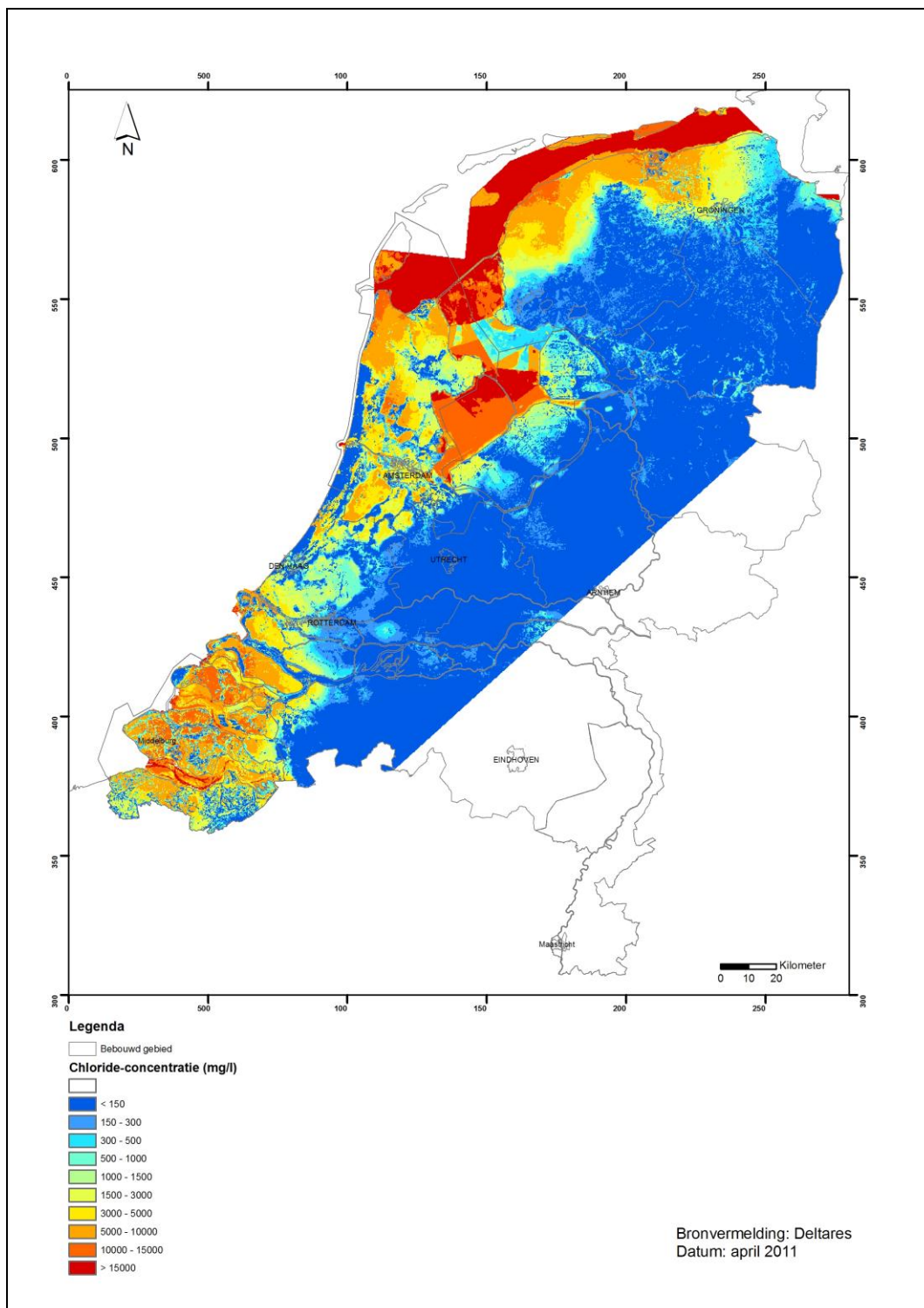
Ook klimaatverandering heeft invloed op interne verzilting. Zowel via veranderende grondwateraanvulling (neerslagtekort) als zeespiegelstijging. In een droog klimaatscenario (W+) leiden de lagere grondwaterstanden tot een groter drukverschil tussen 'buitenwater' en grondwater in de polder. Dat leidt tot een toename van de kwelflux. Een hogere zeespiegel vergroot die druk nog eens extra. En het meedalen van de polderpeilen met de dalende bodem vergroot het effect nog meer. Door de grotere kwelflux komt de zoutgrens – de grens tussen het onderliggende zoute grondwater en de erop liggende zoetwaterbel in West en Noord-Nederland omhoog. Alles bij elkaar leidt dat tot meer kwel. Interne verzilting speelt vooral in de kuststrook van Friesland - Groningen, Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden, in kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland.

Figuur 5.3 toont waar gedurende de periode tot 2100 verzilting of juist verzoeting van het grondwater zal optreden. Het patroon voor 2050 is hieraan vrijwel gelijk.

Ten opzichte van de autonome processen is de additionele invloed van klimaatverandering (via toename van neerslagtekort en bodemdaling) op de verzilting via opwellend grondwater, marginaal. Zeespiegelstijging zal maar tot enkele kilometers vanaf de kust zorgen voor een verhoging van de stijghoogte waardoor de kwel zal toenemen en daarmee de zoutvracht. 10 tot 15 kilometer landinwaarts zal het effect van de zeespiegelstijging verdwenen zijn.

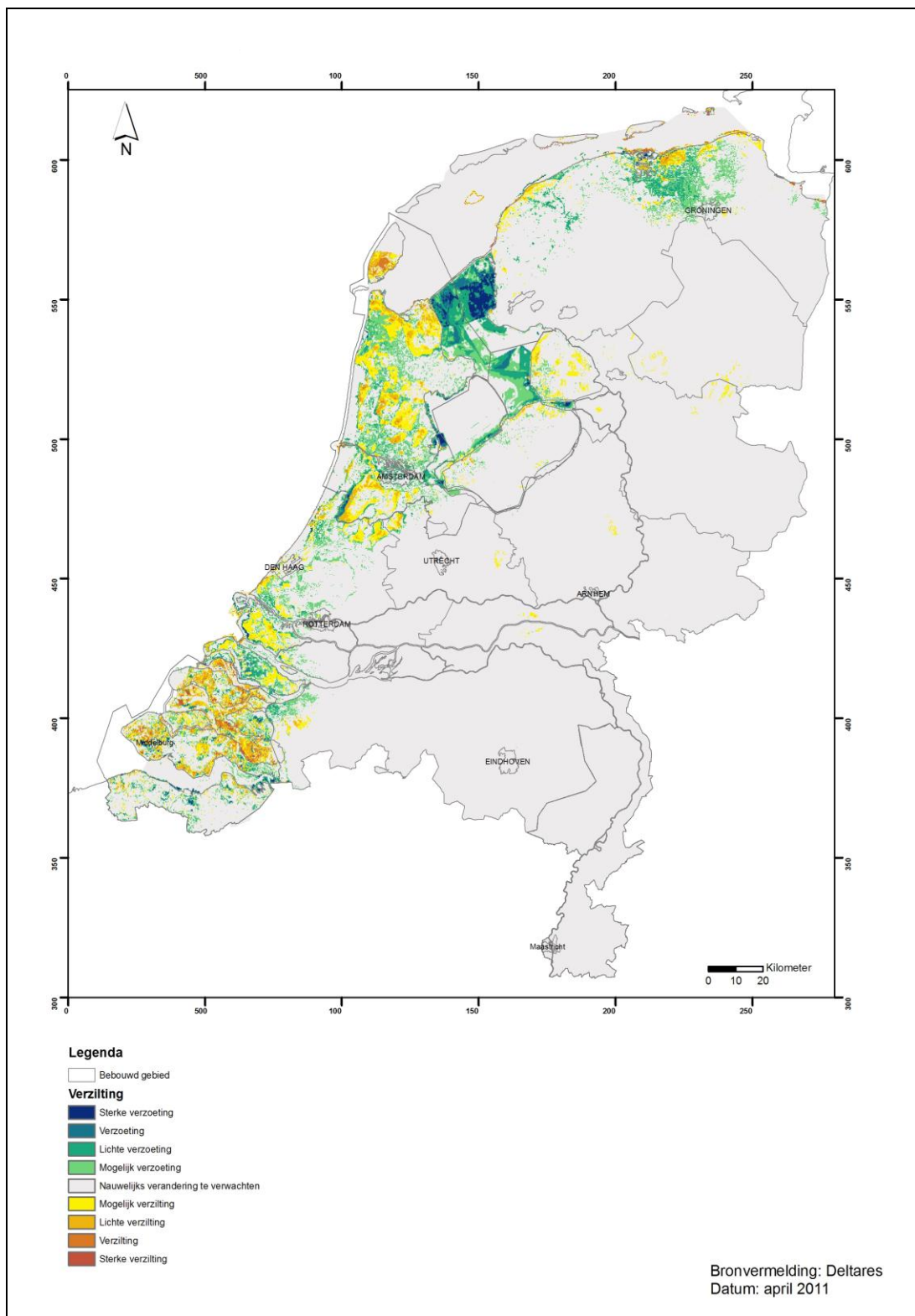
### **Verzilting oppervlaktewater**

Een maat voor de interne verzilting is de zoutbelasting: dat wat de sloten en het ondiepe grondwater 'belast'. Zoutbelasting is nog niet hetzelfde als de zoutgehalten van het oppervlaktewater, want daarbij speelt de mate van verdunning door neerslag en doorspoeling een rol. De zoutbelasting neemt in de toekomst in geringe mate toe, voornamelijk in en rond de gebieden waar nu reeds veel interne verzilting is (Figuur 5.4). In droge perioden neemt het zoutgehalte in wateren toe doordat er meer zoute kwel is en ook het inlaatwater hogere zoutconcentraties kent. In het zomerhalfjaar is er zelfs sprake van 'indampen', waardoor het zoutgehalte in de watergangen nog verder toeneemt. Dit alles leidt tot zouter grond- en oppervlaktewater en een toenemende behoefte aan doorspoelen met zoet water.



De kaart laat het zoutgehalte (als chloride) aan de onderzijde van de Holocene deklaag zien. Zout diep grondwater komt voor in de kuststrook van Friesland, Groningen, Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden, en de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland. (< 150mg/l is toegestaan voor drinkwater; 'zoet' < 1000 mg/l; 'brak' 1000 – 3000 mg/l; 'zout' > 3000 mg/l (conform indeling Zeeuwse Delta).

Figuur 5.2 Chlorideconcentratie in het grondwater in huidige situatie.



In de periode tot 2100 treedt meer verziltig op in Zeeland, in diepe droogmakerijen en enkele kustnabije gebieden. Het patroon voor 2050 is vrijwel gelijk.

*Figuur 5.3 Relatieve mate van verzoeting en verziltig van het grondwater, na 100 jaar, onder invloed van het autonome interne verziltigingsproces.*

## 5.4 Gevoeligheid en kwetsbaarheid voor verzilting

Schade aan bebouwing door zout treedt ook nu op in de gebieden waar zout grond- en oppervlaktewater voorkomt. Het gaat om de kuststrook van Friesland-Groningen, Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden, kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland. Vooral oude gebouwen, het cultureel erfgoed, is kwetsbaar. Het gaat om aantasting van stenen, metselwerk en betonwapening gevolgd door scheurvorming in de fundering van bebouwing of (water)kerende wanden. Over de omvang van deze schade is geen informatie beschikbaar.

Zoutkristallisatie is een belangrijke oorzaak van schade aan bouwmaterialen en gesteenten. Het gaat daarbij om schade aan materialen met kleine poriën, zoals mortel en kalkzandsteen. Als het water verdampt, hecht het zout zich in de vorm van een laagje aan het materiaal. Wanneer het zout vervolgens kristalliseert, verandert de structuur. Het bouw materiaal kan niet van vorm veranderen en daardoor ontstaat spanning tussen het materiaal en het zout. Dat leidt op den duur tot schade. Voor materialen met alleen grote poriën, zoals bijvoorbeeld baksteen, heeft dit schademechanisme geen effect. Hoe in deze materialen schade ontstaat, is nog niet duidelijk.

Corrosie van wapening is bij gewapend betonconstructies een knelpunt. Dit treedt op indien voldoende zuurstof, water en chloriden de wapening kunnen bereiken. Chloriden zijn voor beton van goede kwaliteit (hoe poreuzer het beton, des te kwetsbaarder de constructie is voor blootstelling aan zouten), niet bijzonder schadelijk. Schade aan wapening wordt overigens meestal veroorzaakt door chloriden die in het betonmengsel zijn verwerkt.

Chloride is echter niet het enige zout dat naar boven kwelt of in verzilt oppervlaktewater aanwezig is. Ook sulfaat is onderdeel van de cocktail. Sulfaten kunnen reageren met bepaalde cementmineralen in het beton. De gevormde producten hebben een groter volume dan het oorspronkelijke cementmineraal, onder meer door opname van water. Het beton wordt dan uiteingedrukt. Ook kan er sprake zijn van een afbraak van het cementskelet, bijvoorbeeld bij reactie met magnesiumsulfaat. Hierdoor kan de cementsteen ernstig verzwakt worden. Doordat sulfaat onderdeel is van de cocktail, mag worden verwacht dat in gebieden die worden blootgesteld aan verhoogde chlorideconcentraties, ook verhoogde sulfaatconcentraties optreden (zie bovenstaande kaarten). Voor sulfaatconcentraties in grondwater en grond is in de NEN-EN 206-1 een indeling naar de mate van de agressiviteit vastgelegd. Boven de 3000 mg/l is sprake van een 'sterk agressieve sulfaatconcentratie'. Noordzeewater heeft een sulfaatconcentratie van ongeveer 2700 mg/l. In de NEN 8005 is voorgeschreven dat voor beton dat wordt blootgesteld aan oplossingen (grondwater) met meer dan 600 mg/l sulfaat een cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten moet worden toegepast.

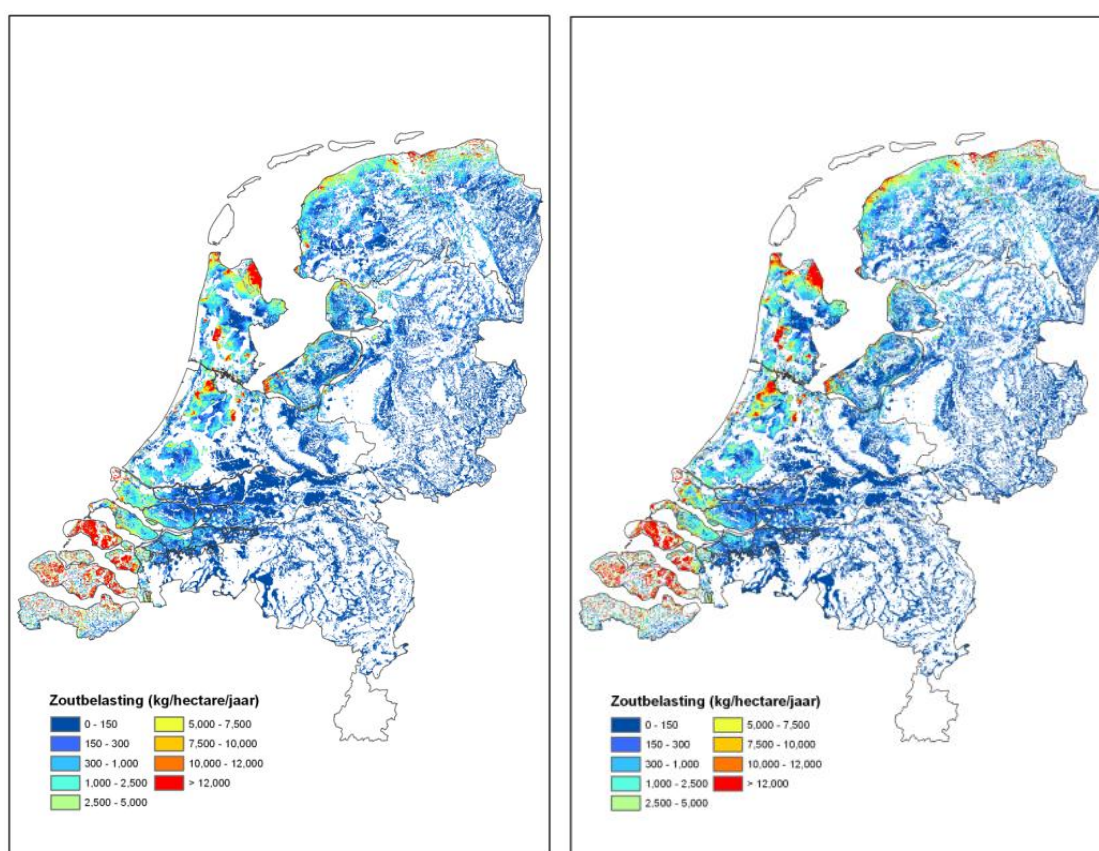
Het effect van interne verzilting op leidingen (zoals corrosie) lijkt gering. Momenteel liggen al veel leidingen in zout grondwater.

Herstel van zoutschade aan gebouwen en constructies is vaak duur, maar uitvoerbaar. Voor herstelwerkzaamheden is het belangrijk om uit te zoeken wat de precieze oorzaak is van de zoutschade in die specifieke situatie. Het zout kan namelijk overal vandaan komen: uit de lucht, uit optrekkend grondwater, van zeewater, of het is oorspronkelijk al in het bouw materiaal aanwezig. Elke situatie heeft een andere meest geschikte oplossing.

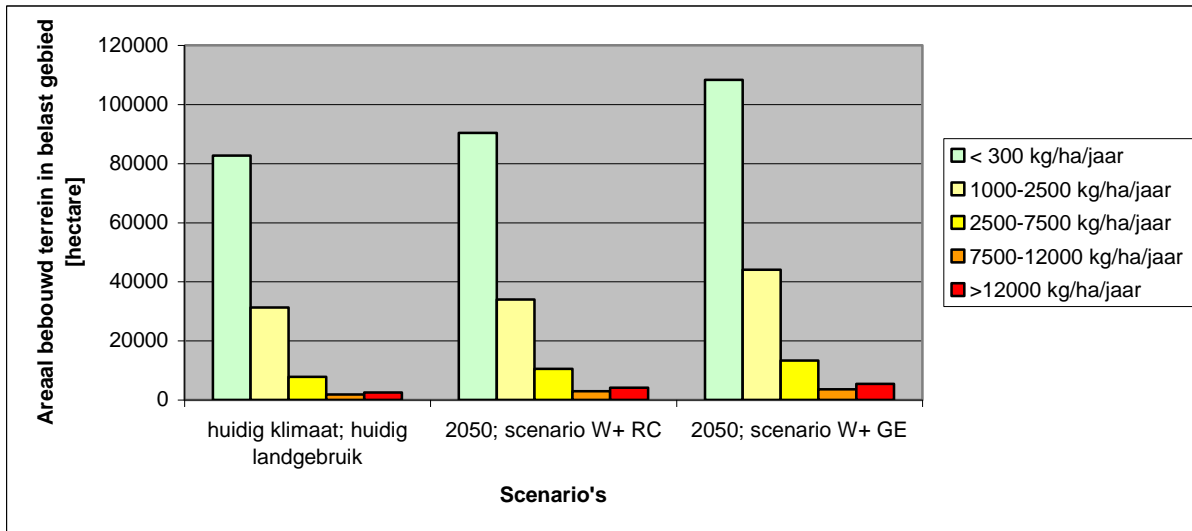


## 5.5 Effecten van de Deltascenario's in 2050

De kaartbeelden uit Figuur 5.4 zijn gecombineerd met de twee Deltascenario's voor 2050. De uitkomst hiervan is weergegeven in Figuur 6.5. De figuur toont een gering verschil tussen de huidige situatie en het scenario Regional Communities voor 2050 W+. Dit is in lijn met de conclusie dat klimaatverandering niet zorgt voor een significante verhoging van de zoutbelasting vanuit het grondwater. In het scenario Global Economy neemt het areaal bebouwing in Nederland aanzienlijk toe. Deze toename in areaal komt tot uiting in alle onderscheiden klassen. Er wordt in de scenario's dus niet onevenredig veel gebouwd in gebieden met een hoge belasting.



Figuur 5.4 Zoutbelasting (chloride) vanuit het grondwater (interne verzilting) in de huidige situatie (links) en in 2050 bij scenario W+/RC.



Figuur 5.5 Areaal bebouwd terrein (in stedelijk en landelijk gebied) dat overlapt met gebieden die belast worden door interne verzilting (zie Figuur 5.4), onderverdeeld naar 4 klassen. Voor de huidige situatie, en onder het W+ scenario, uitgesplitst naar de twee ruimtelijke scenario's Regional Communities & Global Economy.

Hoewel vanuit het oogpunt van belasting vanuit het grondwater geen significante toename van de knelpunten ontstaat, moet worden bedacht dat onder een droog klimaatscenario de beschikbaarheid van zoetwater voor doorspoelen wel afneemt. Bovendien is het zeer wel mogelijk dat af en toe verzilt water vanuit het hoofwatersysteem moet worden ingelaten om het peilbeheer van het regionale watersysteem te handhaven. Dus hoewel klimaatverandering naar verwachting de interne verzilting niet substantieel zal doen toenemen, kan deze wel afbreuk doen aan de bestrijdingsmogelijkheden van verzilting. Ook stedenbouw kan bijdragen tot het vergroten van het probleem wanneer in gebieden met een hoge blootstelling te diepe waterpartijen worden gegraven.

Mogelijkheden om verzilting af te remmen of tegen te gaan betreffen het aanleggen van voorzieningen om regenwater op te vangen en te infiltreren in de bodem, of door verhoging van het polderpeil (dit levert tegendruk aan zoute kwel). Daarnaast kan in gebieden met een hoge blootstelling preventief gebruik worden gemaakt van zoutbestendige mortel en beton.

## 5.6 Doorkijk naar 2100

De voor 2050 beschreven effecten lijken ook geldig voor de periode tot 2100: voor nieuwbouw lijkt er geen significante toename van problemen op te treden. De effecten van een veranderend en droger klimaat op de algehele waterkwaliteit nemen wel in omvang toe.

## 5.7 Conclusie

Verzilting van grondwater en oppervlaktewater leidt nu al tot schade aan gebouwen en constructies, en zal dat ook in de toekomst blijven doen. Er wordt lokaal melding gemaakt van schadegevallen. Deze meldingen betreffen voornamelijk historische bouwwerken.



Landsdekkend is geen informatie over schadegevallen beschikbaar. Ook over de omvang van de schade ontbreekt informatie.

Interne verzilting via opwellend grondwater is voor een belangrijk deel het gevolg van menselijk handelen: inpolderingen en droogmakingen uit het verleden, en voortschrijdende bodemdaling hebben drukverschillen vergroot met opwellen van zout grondwater tot gevolg. Dit is een niet te stoppen, autonoom proces.

De kuststrook van Friesland-Groningen, Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden, kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland zijn in meer of mindere mate blootgesteld aan verzilting.

Met name onder het klimaatscenario W+ wordt verwacht dat de zoutbelasting vanuit het grondwater toeneemt. Dit is het gevolg van het neerslagtekort, een hogere zeespiegelstand en een dalend maaiveld, waardoor het drukverschil toeneemt. Echter, ten opzichte van de autonome processen is de additionele invloed van klimaatverandering en zeespiegelstijging op de verzilting via opwellend grondwater, marginaal.

Er is geen duidelijke grenswaarde waarbij de chlorideconcentratie in het water problemen oplevert voor bouwwerken. Chloride lijkt, behoudens voor de niet onbelangrijke historische gebouwen, ook geen grootschalige problemen voor constructies op te leveren. Sulfaat levert meer knelpunten. Voor de blootstelling van beton aan sulfaat zijn dan ook grenswaarden en voorschriften vastgesteld (NEN), maar er is nog geen precieze kaart beschikbaar waarin blootstelling aan sulfaatconcentraties wordt weergegeven.

Of blootstelling aan zilt water daadwerkelijk tot schade leidt, is sterk afhankelijk van additionele factoren waarover ruimtelijke informatie ontbreekt, zoals de kwetsbaarheid van gebouwen (toegepaste materialen), duur van blootstelling en doorspoelmogelijkheden van het oppervlaktewater.

Verzilting beïnvloedt ook de algehele kwaliteit van het oppervlaktewater en heeft o.a. negatieve effecten op het stedelijk groen. Hierop wordt nader ingegaan in de hoofdstukken 10 en 11.

## 6 Grondwateroverlast

### 6.1 Wat is grondwateroverlast

In deze studie definiëren we grondwateroverlast als die situatie waarbij er sprake is van aantasting van de gebruiksfunctie van een perceel door een structureel (te) geringe ontwateringsdiepte (CIW, 2004). De ontwateringsdiepte is de afstand tussen de hoogste grondwaterstand tussen twee ontwateringsmiddelen (bijvoorbeeld een sloot of drainagebuis) en het maaiveld. De normen voor ontwateringscriteria illustreren de verschillen in de mate van ontwatering die verschillende stedelijk functies zoals wonen, wegen, openbaar groen vereisen. Deze normen bestaan uit een ontwateringsdiepte, overschrijdingkans en toegestane duur van die overschrijding (SBR/TUD, 2007). Grondwateroverlast uit zich op verschillende manieren en kan daarmee verschillende risico's opleveren voor functies in het stedelijke gebied:

- Grondwateroverlast kan zich uiten in water en vocht in kelders, kruipruimtes onder woningen en bijvoorbeeld in souterrainwoningen. Optrekkend vocht in de muren en bovenliggende ruimte resulteert mogelijk in gezondheidsproblemen (door toename van schimmels en huisstofmijt), vermindering van woonbaarheid en waardevermindering van bovenliggende woningen en gebouwen.
- Ondiepe grondwaterstanden in het stedelijke gebied kunnen leiden tot problemen voor openbaar groen en tuinen. Vegetatie kan door ondiepe grondwaterstanden verstikken en sterven. Dit kan leiden tot gevaarlijke situaties door instabiliteit van bomen. Door grondwateroverlast zijn onverharde stedelijke gebieden moeilijk bereikbaar en betreedbaar.
- Ondiepe grondwaterstanden verminderen de stabiliteit van weg- en rioleringscunnetten en grondfunderingen van bovengrondse infrastructuur. In extreem koude situaties kan ondiep grondwater bevriezen. Het afwisselend opvriezen en dooien van door grondwater verzadigde grondfunderingen, bedreigt de stabiliteit.

### 6.2 Gegevensbronnen

Voor dit thema is gebruik gemaakt van modelresultaten die door Deltares in het kader van de knelpuntenanalyse voor het deelprogramma Zoetwater zijn gegenereerd. Daarnaast is gebruik gemaakt van verschillende literatuurbronnen die de oorzaken, kenmerken en schaderamingen van grondwateroverlast beschrijven.

Belangrijke informatiebronnen zijn:

Commissie Integraal Waterbeheer (CIW), 2004. Samen leven met grondwater, Visie op het voorkomen en oplossen van stedelijke grondwaterproblemen.

Deltares, 2011. Zoetwatervoorziening in Nederland. Landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw.

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.

Luijendijk E., 2006. Als een paal boven water..., een onderzoek naar de technische en economische gevolgen van wisselende grondwaterstanden voor het oud stedelijk gebied.

SBR/TUD, 2007. Publicatie 'Ontwatering in stedelijk gebied, Project, Beter Bouw- en Woonrijp Maken.

### 6.3 De dreiging van grondwateroverlast

In verschillende Nederlandse steden kan de huidige grondwateroverlast worden gerelateerd aan het verminderen of geheel stopzetten van stedelijke grondwateronttrekkingen. Veelal is bij het bouwrijp maken van stadswijken geen rekening gehouden met deze mogelijke stopzettingen. Ook verandering van de functie van landbouw naar natuur, en daarmee naar een hoger grondwaterpeil, kan aan de randen van steden tot grondwateroverlast leiden. In een aantal steden zijn de afgelopen decennia watergangen en grachten gedempt of overkluist. Daarmee is de afwaterende maar ook de ontwaterende capaciteit in bepaalde wijken verminderd. Oude rioleringen zijn vaak lek en werken dan drainerend. Bij rioleringsvernieuwingen verdwijnt die drainerende capaciteit. Ook door slecht onderhoud kan de drainerende werking van ontwateringsmiddelen afnemen. Dit leidt allemaal tot ondiepere grondwaterstanden en daarmee potentiële grondwateroverlast (zie voorbeelden in Box 6.1). Verder kan ondergrondse infrastructuur grondwaterstroming belemmeren, wat tot opstuwning van grondwater leidt. Ook ondergrondse koude-warmte-opslagsystemen kunnen lokaal tot verondieping van grondwaterstanden leiden. Kortom, de oorzaken van grondwateroverlast zijn meestal lokaal bepaald en divers van aard.

### 6.4 Blootstelling aan grondwateroverlast

De lager gelegen delen van Nederland (langs de kust en aan de rivieren) waar juist veel stedelijke ontwikkeling heeft plaatsgevonden, kennen over het algemeen ondiepe grondwaterspiegels. Om blootstelling aan deze hoge grondwaterstanden te voorkomen is historisch vooral op de lokaal hoger gelegen en daarmee drogere gebiedsdelen gebouwd. In de lagere gebieden is door middel van ophoging van het maaiveld bij het bouwrijp maken en door het aanleggen van voldoende ontwatering, de gewenste ontwateringsdiepte gerealiseerd en de blootstelling aan de natuurlijk voorkomende ondiepe grondwaterstanden beperkt.

In Hoog Nederland liggen de grondwaterstanden over het algemeen dieper dan de gewenste ontwateringsdiepte en is de blootstelling daar minder. Ook in Hoog Nederland kunnen evenwel lokaal ondiepe grondwaterstanden voorkomen, bijvoorbeeld in beekdalen en in gebieden met slecht waterdoorlatende lagen in de ondergrond (Brabantse leen, Drentse keileem). Daarnaast is in sommige stedelijke gebieden het bouwrijp maken niet zorgvuldig uitgevoerd en zijn bijvoorbeeld dieper gelegen ondoordringbare lagen onvoldoende afgegraven of doorgestoken, zodat water zich daarboven ophoopt en 'badkuipen' voor geïnfiltreerd regenwater ontstaan.

### 6.5 Gevoeligheid voor grondwateroverlast

De gevoeligheid van gebouwen voor grondwateroverlast is vooral een functie van bouwwijze en gebruikte materialen. Voor 1960 werden huizen doorgaans met houten vloeren gebouwd en met een onderliggende kruipruimte om voldoende ventilatie te garanderen. De gevoeligheid voor grondwateroverlast van deze huizen is relatief hoog. Vanaf 1960-1990 zijn steeds meer huizen gebouwd met betonnen vloeren en zonder kruipruimte. Deze huizen zijn minder gevoelig, maar omdat de vloeren niet 100% waterdicht zijn bestaat er nog steeds kans op grondwateroverlast. Vanaf circa 1990 worden gebouwen met waterdichte vloeren

aangelegd waarmee de gevoeligheid sterk is verminderd. Deze waterdichtheid is wel sterk afhankelijk van hoe doorvoeren van de ondergrondse nutsvoorzieningen en kruipruimteluiken zijn geconstrueerd. Gebouwen met diepe kelders die deels onder de grondwaterspiegel liggen, zijn relatief gevoelig.

Hoofdwegen eisen een hogere ontwateringsdiepte dan bebouwing. Overschrijding van de ontwateringsdiepte voor wegen leidt meestal niet direct tot een vermindering van de gebruiksfunctie. Echter, bij veelvuldig optreden van te ondiepe grondwaterstanden neemt de levensduur van wegen (en andere lineaire infrastructuur) af.

Openbaar groen verlangt een relatief geringe ontwateringsdiepte. Beeldbepalende elementen zoals oude monumentale bomen kunnen echter zeer gevoelig zijn voor grondwateroverlast vanwege mogelijke verstikking van het wortelsysteem (vooral in groeiseizoen). Een te hoge grondwaterstand kan bovendien leiden tot ondiepe beworteling en onstabielheid van bomen.

*Box 6.1 Voorbeelden: Eindhoven en Castricum*

In Eindhoven ervaart men in ongeveer twintig wijken sinds 1995 grondwateroverlast. Hoewel de omgeving van Eindhoven uit een relatief hooggelegen zandgebied bestaat, ligt een groot deel van de stad zelf in het beekdal van de Dommel. Grondwaterstanden zijn daar ondiep en voldoende ontwatering is gewenst. Eindhoven heeft een sterke naoorlogse groei gekend, gekoppeld aan de industrialisering. De bebouwing is grotendeels van voor 1990 en zelfs van voor 1960, en kent gevoelige kruipruimtes. Bij het bouwrijp maken zijn de leemlagen die in de ondergrond voorkomen niet altijd goed weggegraven. Dit leidt lokaal tot ophoping van grondwater. Rioleringslijnen zijn ondertussen sinds het ontstaan van wijken vervangen. Grondwateronttrekkingen in de stad zijn gereduceerd, gestopt of verplaatst naar andere gebieden waardoor de grondwaterstijghoogten in het diepere pakket zijn gestegen. Al deze factoren maken delen van de stad kwetsbaar voor grondwateroverlast (Waterschap de Dommel, 2011).

Ook Castricum ervoer in de jaren '90 grondwateroverlast. Dit werd door verschillende factoren veroorzaakt. Wijken waren op een traditionele manier bouwrijp gemaakt. De huizen hebben geen waterdichte vloeren en wel kruipruimtes. De grondwateronttrekkingen in het aangrenzende duingebied zijn sinds de jaren '80/'90 gereduceerd, waardoor de grondwaterstand steeg. De jaren '90 waren bovendien nog eens relatief nat en afwateringssloten functioneerden onvoldoende (SBR/TUD 2007).

## 6.6 Kwetsbaarheid voor grondwateroverlast

Volgens het onderzoek van KPMG en Grontmij (2001) kampten omstreeks 2000 in Nederland ongeveer 260.000 woningen met grondwateroverlast. Vanwege het veelvoud aan factoren die grondwaterlast kunnen veroorzaken is er geen duidelijk ruimtelijk patroon aan te geven dat de bestaande grondwateroverlast verklaart. Uit deze inventarisatie is een algemene gebiedstypering gemaakt op provinciale schaal (zie Tabel 6.1). Gemiddeld 3% van de woningen op provinciale schaal in Laag Nederland kampte in 2001 met grondwateroverlast tegen 1% in Hoog Nederland. Woningen gebouwd op kleigrond kampen vaker met grondwateroverlast dan woningen op zandgronden.

Dezelfde inventarisatie laat op een gemeentelijke schaal hogere percentages zien. Op gemeentelijk niveau kan grondwateroverlast bij 5-10% van het woningenbestand voorkomen en op wijkniveau zelfs 50-95%. Grondwateroverlast is dus vooral een lokaal probleem:

sommige gemeenten kampen relatief vaak met het probleem en binnen die gemeenten ligt het zwaartepunt van de problemen in bepaalde wijken.

Tabel 6.1 Gemiddeld percentage woningen met grondwateroverlast in 2001 op provinciale schaal afhankelijk van gebiedstype en situering in Nederland, uit KPMG/Grontmij 2001.

	gemiddeld	Kleigrond	veengrond	zandgrond
Hoog Nederland	1	2	-	1
Laag Nederland*	3	4	2	2

\*Dit is inclusief de Zuidwestelijke Delta, het rivieren gebied, de Waddeneilanden en de buitendijkse gebieden.

Een bijkomend kwetsbaarheidprobleem voor bebouwing is dat voorheen onvoldoende bepaald was wie bestuurlijk verantwoordelijk is voor het handhaven van de ontwateringsdiepte in het stedelijk gebied. Op grond van de wet op de Waterhuishouding, de Waterschapswet, de Woningwet, het Bouwbesluit en de Wet Milieubeheer kon geen ontwateringstaak worden toegekend aan noch de provincie, de waterschappen of gemeentes (SBR/TUD, 2007). Ook de ontwerpuitgangspunten voor lokaal gewenste ontwateringsdiepten zijn niet in de wet en regelgeving verankerd. Het bouwbesluit schrijft wel voor aan perceeleigenaren dat kelders, kruipruimten en vloeren waterdicht moeten worden uitgevoerd wanneer er een duidelijke woon- en leef functie is toegekend aan die ruimte.

Met de nieuwe Waterwet en de wet Gemeentelijke Watertaken zijn zaken nu duidelijker geregeld. Hierin is de zogenaamde grondwaterzorgplicht voor gemeenten opgenomen. Daarnaast wordt via de Watertoets bij het bestemmen van gronden veel meer rekening gehouden met de waterhuishoudkundige situatie waartoe ook de grondwaterhuishouding behoort (zie Box 6.2).

*Box 6.2: De relatie tussen de gemeentelijke grondwaterzorgplicht en de watertoets.*

De voorgestelde gemeentelijke grondwaterzorgplicht, zo blijkt uit het voorgestelde art. 9b, eerste lid Wwh, ziet toe op het in het openbaar gemeentelijke gebied treffen van maatregelen teneinde structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand voor de aan de grond gegeven bestemming zo veel mogelijk te voorkomen of te beperken, voor zover het treffen van die maatregelen doelmatig is en niet tot de zorg van het waterschap of de provincie behoort....

Gelet op de eigen verantwoordelijkheid van particulieren, strekt de zorgplicht niet zover dat gemeenten ook gehouden zijn maatregelen te nemen op percelen die in particulier eigendom zijn. Eigenaren moeten zelf zorgen voor een goede staat van de bij hen in eigendom zijnde percelen en gebouwen. Zij dienen in dat kader zelf waterhuishoudkundige en/of bouwkundige maatregelen te treffen. De eigenaar moet er zelf voor zorgen dat een teveel aan grondwater naar het aansluitpunt van het gemeentelijke ontwateringsstelsel wordt geleid.....

Overlast in geval van ondergrondse bouwwerken vraagt vooral om bouwkundige oplossingen; het realiseren van een voor dergelijke constructies geschikte ontwateringsdiepte is feitelijk geen optie, nu dat zou betekenen dat in dergelijke gevallen een ontwateringsdiepte van enkele meters gerealiseerd zou moeten worden.....

Cruciaal voor de ontwateringsproblematiek is dat gemeenten al bij het bestemmen van gronden rekening dienen te houden met de gevolgen van voorgenomen ruimtelijke besluiten (zoals bestemmingsplanwijzigingen, voorbereidings- en vrijstellingsbesluiten) voor de waterhuishoudkundige situatie, waartoe ook de grondwaterhuishouding moet worden gerekend. Bij een verantwoorde afweging van de betrokken belangen kunnen latere problemen met grondwater in de beheerfase langs deze weg al in de bestemmingsfase zoveel mogelijk worden voorkomen. Deze verantwoordelijkheid heeft in 2003 ook wettelijk gestalte gekregen via de zogenoemde watertoets, verankerd in artikel 10 Besluit op de ruimtelijke ordening (Bro).

(bron: SBR/TUD, 2007)

In Nederland is op dit moment onbekend wat de maatschappelijke kosten zijn van de nu al bestaande grondwateroverlast.

De kosten voor het treffen van maatregelen tegen grondwateroverlast zijn per woning geschat op ongeveer € 3.400 (Grontmij/KPMG, 2001). Luijendijk (2006) schat deze kosten lager op circa € 500 tot € 2.000 per woning. CIW (2004) heeft berekend dat 550 miljoen tot 1,2 miljard Euro nodig is om met maatregelen de oorzaken en gevolgen van de huidige grondwateroverlast weg te nemen. Luijendijk (2006) schat de totale kosten op circa 2,8 miljard euro wanneer de kosten op zowel particulier als openbaar terrein worden meegerekend. Daarbij komt nog een waardedrukkend effect op de vastgoedwaarde van circa 6 miljard euro (dit is voor zowel grondwateroverlast als grondwateronderlast samen).

## 6.7 Effecten van de Deltascenario's in 2050

### 6.7.1 Effecten van klimaatverandering

Het effect van klimaatverandering op de freatische grondwaterstand, met uitzondering van de stuwwallen, is gering (Van der Gaast et al. (2009). Voor de klimaatscenario's G en W is een toename in de GHG<sup>12</sup> berekend voor alle landschapregio's<sup>13</sup> met een maximale toename van 3-6 en 10-20 centimeter voor respectievelijk duingebieden en stuwwallen. Voor de klimaatscenario's G+ en W+ is in juist die gebieden een afname van de GHG van circa 2 en 30 centimeter geconstateerd. In alle andere gebieden neemt in alle klimaatscenario's de GHG toe met enkele centimeters.

Circa 50.000 ha van het huidige stedelijke gebied (dat is circa 16% van het totale huidige stedelijke gebied) ligt in gebied met een HG3<sup>14</sup> ondieper dan 70 centimeter<sup>15</sup> beneden maaiveld. Dit betekent dat er lokaal mogelijk problemen zijn om voldoende ontwateringsdiepte te creëren. De schatting van dit areaal moet voorzichtig worden geïnterpreteerd omdat in het NHI model de complexiteit van het stedelijk waterbeheer en de heterogeniteit van de stedelijke ondergrond niet in detail is geschematiseerd.

### 6.7.2 Veranderingen in blootstelling

Het areaal stedelijk gebied waarin de berekende HG3 ondieper is dan 70 centimeter beneden maaiveld neemt onder invloed van klimaatverandering enigszins toe, met circa 6% onder het W+ scenario en met 10% onder het G scenario (zie Tabel 6.2, tweede kolom). Of deze verandering ook tot toename van de grondwateroverlast leidt is afhankelijk van de kwetsbaarheid van de objecten in die gebieden.

---

12. Gemiddeld hoogste grondwaterstand: voor 8 achtereenvolgende jaren worden de 3 hoogste gemeten grondwaterstanden per jaar gemiddeld, deze wordt als een maat gezien voor het ontstaan van grondwateroverlast

<sup>13</sup> de studie onderscheidt verschillende landschaps-regio's op basis van fysische ondergrondkenmerken.

<sup>14</sup> het gemiddelde van de 3 hoogste grondwaterstanden gedurende een meteorologisch jaar

15. Deze diepte wordt vaak gebruikt als grens tussen een acceptabele en een te hoge grondwaterstand

Tabel 6.2 Procentuele toename van het stedelijke gebied waarin de berekende HG3 ondieper is dan 70 centimeter beneden maaiveld, onder de verschillende klimaatscenario's (W+ en G) en socio-economische scenario's (RC en GE) ten opzichte van het huidige klimaat en de huidige stedelijke begrenzing.

Klimaatscenario	Binnen de begrenzingen van het huidig stedelijk gebied	Binnen de begrenzingen van het stedelijke gebied zoals geprojecteerd voor het RC scenario	Binnen de begrenzingen van het stedelijke gebied zoals geprojecteerd voor het GE scenario
W+	6%	29%	88%
G	10%	33%	89%

De twee rechterkolommen in Tabel 6.2 geven de procentuele toename van het stedelijke gebied (onder het RC en GE-scenario) waarin de berekende HG3 ondieper is dan 70 centimeter beneden maaiveld. De procentuele toename is ten opzichte van het huidige stedelijke gebied waarin die norm wordt overschreden. Wanneer het areaal stedelijke gebied uit het RC scenario wordt beschouwd, neemt dit gebied met 29% en 33% toe in respectievelijk het W+ en de G klimaatsscenario. Bij het in het GE scenario geprojecteerde stedelijke gebied neemt dit zelfs met 88 a 89% toe.

Oorzaak van de procentuele toename is dat verdere nieuwbouw in toenemende mate ook de minder voor bebouwing geschikte gebieden worden aangesproken. Een actueel voorbeeld hiervan is de nieuwe wijk Westergouwe in Gouda. Dit laaggelegen gebied heeft gemiddeld een zeer ondiepe grondwaterstand. Om bewoning mogelijk te maken wordt door middel van ophoging en drainage voldoende ontwateringsdiepte gerealiseerd. Het is dus een kwestie van het treffen van de juiste maatregelen om in nieuwbouwingebieden met een hoge blootstelling, grondwateroverlast te vermijden. Via het Bouwbesluit zijn waterdichte vloeren en kelders bij bebouwing sinds de jaren '90 de norm. De gevoeligheid van nieuwe bebouwing voor grondwateroverlast is daarmee sterk gereduceerd. Door andere processen, met name bodemdaling, zettingen van de ondergrond en veroudering van bouwmaterialen, kunnen scheuren ontstaan in de waterdichte vloeren en kelders die de gevoeligheid juist weer verhogen. Bij de bouw en het bouwrijp maken dienen dus meerdere processen in het oog te worden gehouden. Een ander voorbeeld daarvan is afkoppeling van hemelwaterafvoer. In toenemende mate wordt in stedelijk gebied hemelwater afgekoppeld van het rioolsysteem. Hemelwater wordt dan zoveel mogelijk lokaal geborgen en vervolgens geïnfiltreerd in de ondergrond. Echter, afkoppelen verhoogt de grondwateraanvulling in het stedelijke gebied. Daardoor zullen grondwaterstanden lokaal stijgen. Voorzorg is daarom geboden met afkoppeling in gebieden waar nu al grondwateroverlast voorkomt of waar in de toekomst grondwateroverlast wordt verwacht.

De toename in stedelijk areaal vindt vooral plaats in de Corop-gebieden<sup>16</sup>: Friesland, Kop van Noord-Holland, Alkmaar en omstreken, IJmond, Zaanstreek, agglomeratie Haarlem, Groot-Amsterdam, Flevoland, agglomeratie Leiden en Bollenstreek, Zuid-Holland, Zuidoost Zuid-Holland Groot, agglomeratie s' Gravenhage Oost, Rijnmond, Delft en Westland Gooi en Vechtstreek en Utrecht.

16. De indeling in COROP-gebieden is een regionaal niveau tussen provincies en gemeenten in. Het CBS gebruikt de indeling voor regionaal onderzoek. De naam COROP is een afkorting van COördinatiecommissie Regionaal OnderzoeksProgramma.

## 6.8 Doorkijk naar 2100

De voor 2050 beschreven effecten en aandachtspunten zijn ook geldig voor de periode tot 2100. Een additioneel aandachtspunt voor de kustzone is de voortschrijdende zeespiegelstijging. Hierdoor nemen de stijghoogten in het kustgebied en de Zuidwestelijke Delta in het eerste watervoerende pakket toe. Aangenomen mag worden dat de toename van de stijghoogte lokaal tot verhoogde freatische grondwaterstanden en daarmee tot grondwateroverlast kan leiden. Echter, dit effect is beperkt tot een zone van maximaal 10 km vanaf de kust en rivieren. Op circa 5 km van de kust is nog slechts 40% van het effect waarneembaar (Oude Essink et al. 2010).

## 6.9 Conclusie

Grondwateroverlast is meestal een plaatselijk probleem waarmee in 2000 circa 260.000 woningen te maken hadden. De oorzaken zijn lokaal en divers: stoppen van grondwateronttrekkingen; dempen of slecht onderhoud van afwateringen; fouten bij bouwrijp maken.

Volgens eerste modelberekeningen door het deelprogramma Zoetwater is de gemiddelde stijging van de grondwaterstand als gevolg van klimaatverandering op landelijke schaal circa 10 centimeter. Daardoor krijgt 6 tot 10% van het huidige stedelijke gebied te maken met een grondwaterstand die ondieper is dan 70 centimeter onder maaiveld. Vanaf dit peil vormt grondwateroverlast een bedreiging. De invloed van klimaatverandering is met name merkbaar nabij de kust, langs de grote rivieren en aan de randen van hoger gelegen zandgronden (stuwwalen en duinen). In gebieden waar nu reeds grondwateroverlast optreedt moet rekening worden gehouden met een toename van de problematiek. Of de toename van het areaal dat wordt blootgesteld aan hogere grondwaterstanden ook tot meer overlast leidt, is afhankelijk van de kwetsbaarheid van de bebouwing en de effectiviteit van lokale maatregelen.

Vermoedelijk zullen in de toekomst stadsuitbreidingen plaatsvinden in gebieden met een verhoogde blootstelling aan grondwateroverlast. Dit is onvermijdelijk doordat de meer geschikte gronden reeds zijn bebouwd. Hiervan is ook nu reeds sprake en de beelden van de RC en GE Deltascenario's tonen dat deze ontwikkeling zich doorzet.

Door middel van de Watertoets kunnen de wederzijdse consequenties van RO en waterhuishouding worden meegenomen in planvorming en uitvoering. Hierdoor zal in principe in nieuwbouwingebieden grondwateroverlast worden voorkomen. Ook de nieuwe Gemeentelijke grondwaterzorgplicht helpt daarbij. Aangenomen dat bij de autonome vernieuwing van bebouwing maatregelen worden getroffen om grondwateroverlast te voorkomen, zal dit fenomeen in 2100 slechts geringe knelpunten opleveren. Deze verwachting valt of staat met het geven van aandacht aan het verhinderen en oplossen van grondwateroverlast bij nieuwbouw, renovatie en herstructurering.



## 7 Grondwateronderlast

### 7.1 Wat is grondwateronderlast

Grondwateronderlast is een samenvattende term voor alle schadelijke gevolgen van een te lage grondwaterstand. Grondwateronderlast uit zich in verschillende gedaantes, zoals:

- Schade aan gebouwen, wegen en ondergrondse infrastructuur zoals scheurvorming in muren, zakking en scheefstand door verschilzettingen wanneer niet op palen is gefundeerd in gebieden met klei- en veengronden.
- Negatieve kleeft (het naar beneden trekken) van funderingspalen die tot in het zand zijn geslagen door zetting van veen- en kleilagen als gevolg waarvan schade aan gebouwen kan ontstaan.
- Paalrot: wanneer houten paalfunderingen niet permanent onder water staan kan zuurstof bij de palen komen. Hierdoor kunnen schimmels groeien die het hout afbreken en de stabiliteit van de funderingspalen en daarmee van het bovenliggende gebouw verminderen.
- Hinder bij levering elektriciteit. Bij ondergronds elektriciteitstransport komt warmte vrij. Wanneer hoge voltage kabels boven de grondwaterspiegel komen te liggen, kan onvoldoende warmte worden afgegeven en wordt soms om oververhitting te voorkomen het transport beperkt. Dit kan leiden tot stroomtekort in gebieden tijdens lage grondwaterstanden.
- Uitdroging en daarmee vermindering van de stabiliteit van veendijken.

In dit hoofdstuk richten we ons vooral op de negatieve gevolgen voor funderingen door paalrot en zetting. Het begrip 'zetting' is gereserveerd voor aan bouwwerken gerelateerde bodemdaling die veroorzaakt wordt door het samendrukken van de bodem onder de massa van het bouwwerk en/of een afname van draagkracht en volume van de bodem door een verlaging van de grondwaterstand en de daardoor veroorzaakte afname van de waterspanning in de bodem. Zetting is feitelijk een vorm van bodemdaling. Ook in hoofdstuk 9 (Bodemdaling) komt zetting daarom aan bod.

Naast een invloed op constructies heeft grondwateronderlast consequenties voor de hoeveelheid water in de onverzadigde zone en daarmee voor de watervoorziening van stedelijk groen. Effecten op vegetatie worden echter normaliter gekoppeld aan het fenomeen 'droogte' en niet aan het thema grondwateronderlast. Effecten op stedelijk groen worden behandeld in hoofdstuk 11.

Grondwateronderlast speelt onder de droge klimaatscenario's W+ en G+. Er is in de analyse daarom op deze scenario's gefocust.

### 7.2 Gegevensbronnen

Voor dit thema is gebruik gemaakt van modelresultaten die door Deltares in het kader van de knelpuntenanalyse voor het deelprogramma Zoetwater zijn gegenereerd. Daarnaast is gebruik gemaakt van verschillende literatuurbronnen die de oorzaken, kenmerken en schaderamingen van grondwateronderlast beschrijven:

Deltares, 2011. Zoetwatervoorziening in Nederland. Landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw.

Luijendijk E., 2006. Als een paal boven water..., Een onderzoek naar de technische en economische gevolgen van wisselende grondwaterstanden voor het oud stedelijk gebied.

Van de Ven, F., E. van Nieuwkerk, Stone, K., Zevenbergen, C., Veerbeek, W., Rijke, J., and S. van Herk, 2010. Building the Netherlands Climate Proof: Urban Areas.

### 7.3 De dreiging van grondwateronderlast

Grondwateronderlast kan ontstaan wanneer in een gebied de grondwaterspiegel daalt ten opzicht van een uitgangssituatie omdat er een vergroot neerslagtekort is, meer grondwater wordt onttrokken, oppervlaktepeilen worden verlaagd of er meer ontwatering plaatsvindt.

Veel grondwateronttrekkingen zijn vergunningplichtig binnen de Grondwaterwet en kunnen niet zomaar worden verhoogd. Ook zijn tijdelijke grondwateronttrekkingen voor het 'in den droge' ontgraven van bouwputten en bodemsleuven aan regels onderhevig. Via een bemalingadvies wordt onderzocht of uit de tijdelijke bemaling mogelijke negatieve consequenties ontstaan en of er daarom mitigerende maatregelen zoals damwanden nodig zijn. In de praktijk blijkt het soms lastig om de effectiviteit van dit soort technische maatregelen te garanderen en daalt de grondwaterstand onbedoeld toch.

De grondwaterstand in de randzone van een stedelijk gebied kan ook dalen omdat in aangrenzend landbouwgebied een relatief grote ontwateringsdiepte gewenst is. Dit type randeffecten treedt ook op tussen hoge en lage polders.

Ook het aanleggen of opnieuw inrichten van oude gedempte stedelijke watergangen (zoals momenteel in Utrecht) heeft een ontwaterend effect wat mogelijk lokaal tot grondwateronderlast leidt. Voor dit soort ingrepen is de Watertoetsprocedure verplicht, waarmee negatieve consequenties zoveel mogelijk worden voorkomen.

Te veel ontwatering kan ook plaatsvinden doordat riolering is verouderd, lekt en daardoor drainerend werkt of wanneer infiltrerende hoogwatersloten worden gedempt.

### 7.4 Blootstelling aan grondwateronderlast

De mate waarin blootstelling aan zetting plaatsvindt, is sterk gerelateerd aan het bodemtype. Veen en kleibodems zijn bijvoorbeeld zettingsgevoeliger dan zandige bodems. Zettingsgevoelige bodems komen vooral voor in Laag Nederland, de Zuidwestelijke delta, het Rivierengebied en de buitendijkse gebieden. Echter ook in het hoger gelegen deel van Nederland met meer zandige bodems komen lokaal zettingsgevoelige bodemtypes voor, bijvoorbeeld in beekdalen. Zetting is feitelijk een component van bodemdaling. De veen- en kleigebieden waarin blootstelling aan bodemdaling plaatsvindt (zie kaarten in hoofdstuk 9) zijn daarom overwegend ook de gebieden waarin blootstelling aan zetting optreedt

In stedelijke gebieden met een hoge bouwdynamiek komt grondwateronderlast relatief vaak voor. Dit is een gevolg van de constructie(werkzaamheden). Met name bij ondergronds bouwen kan de blootstelling groot zijn (denk aan de gevolgen van de aanleg van de Noord-Zuidlijn in Amsterdam).

Onderlast als gevolg van lekkende (en drainerende) rioleringen zal afnemen onder invloed van rioolvernieuwingen en –renovaties. Verder heeft hydrologisch neutraal bouwen en afkoppelen van hemelwater een gunstig effect op het verhinderen van grondwateronderlast.

## 7.5 Gevoeligheid voor grondwateronderlast

De gevoeligheid voor aan bodemzetting gerelateerde gebouwschade is onder andere afhankelijk van de funderingstechniek. Op palen gefundeerde constructies, waarbij de palen goed zijn verankerd in een stevige zandlaag onder de zettingsgevoelige ondiepe bodemlaag, zijn ongevoelig voor zetting. Op zandige gronden wordt vaak niet op palen gefundeerd.

De gevoeligheid voor zetting uit zich momenteel in hoge onderhoudskosten voor wegen, leidingen, rioleringen, buitenruimte en groenvoorzieningen in het westen van Nederland. De slappe ondergrond (veen en slappe kleilagen) is daar in veel gevallen de oorzaak van. Naarmate er meer sprake is van (vooral) veen en van klei zullen de kosten hoger zijn. De extra kosten vloeien niet alleen voort uit reparatie en de vervroegde vervanging, maar uit ook uit bijkomende maatregelen, zoals het ophogen van straatverlichting, straatmeubilair en dergelijke. Bouwwerken kunnen overigens goed onderhoudsarm worden aangelegd, maar dat vraagt een hogere investering in de aanlegfase.

Houten palen werden tot in de jaren '50 van de vorige eeuw gebruikt als fundering. Daarna is men overgegaan op betonnen palen. Ook veel van de monumentale gebouwen in het westen van het land zijn op houten palen gefundeerd. In een aantal gevallen zijn de bovenste delen van de houten palen ondertussen vervangen door betonnen delen. Er resteert echter nog een grote hoeveelheid gebouwen waaronder paalrot kan ontstaan. Schattingen van het aantal woningen met grondwateronderlast lopen uiteen van 70.000 tot meer dan 250.000 woningen<sup>17</sup> in de huidige situatie. Potentieel kunnen circa 1,7 tot 3 miljoen woningen<sup>18</sup> gevoelig zijn voor grondwateronderlast.

Er bestaat een landelijke grondwateronderlast-ricocartaart waarin bodemopbouw en bouwperiode zijn gecombineerd (Van de Ven et al., 2010). In deze kaart blijken vooral steden in Friesland, Noord-Holland en Zuid-Holland kwetsbaar voor grondwateronderlast. Er zijn echter kanttekeningen te plaatsen bij dit kaartbeeld: het areaal aan risicogebieden lijkt te worden onderschat. De kaart zou ten aanzien van paalrot kunnen worden verrijkt door de

---

<sup>17</sup> KPMG/Grontmij (2001) baseren zich op een grondwateronderlast inventarisatie in Amsterdam en in de Provincie Zuid-Holland. Ze komen na middeling op een aantal van 10.000-20.000 woningen met grondwateronderlast per provincie in laag-NL. Hun extrapolatie leidt dan tot een schatting van 70.000-140.000 woningen (in KPMG/Grontmij (2001) ook aangeduid als minimaal 100.000 woningen). Luijendijk 2006 gaat uit van 830.000 woningen die voor 1945 zijn gebouwd (en volgens hem dan extra kwetsbaar zijn voor grondwateronderlast én / of overlast) maar niet in de hogergelegen stadskernen en dorpskernen. Echter, Luijendijk zegt dat dan alleen die woningen die dan in laag-NL liggen (circa 25% van NL-oppervlak) ook werkelijk met grondwateronderlast én / of overlast te maken kunnen krijgen: Hij komt hiermee op een schatting van 200.000 woningen met grondwateronderlast én / of overlast. In een interview in Binnenlands Bestuur (BB, 2011) geeft de voorzitter van de Stichting Platform Fundering Nederland een schatting van 250.000 koopwoningen met funderingsschade. Daarbij komen dan nog een vergelijkbaar aantal huurwoningen en bedrijfspanden.

<sup>18</sup> Het toekomstig of potentieel aantal woningen met grondwateronderlast wordt door KPMG/Grontmij geschat op 2-3 miljoen woningen. Luijendijk schat het aantal woningen met potentieel grondwateroverlast en/of grondwateronderlast op 1,7 miljoen woningen.

diepte tot het pleistocene zand mee te nemen. Hoe geringer deze diepte, hoe korter de palen, en daarmee ook hoe dunner en ook hoe kwetsbaarder; er is een kortere aantastingsperiode nodig om een dunne paal tot het punt van bezwijken te brengen.

## 7.6 Kwetsbaarheid voor grondwateronderlast

Terwijl men aanzienlijke schades door grondwateroverlast meestal wel van te voren aan kan zien komen, is dit bij onderlast niet het geval: het probleem wordt pas zichtbaar in de vorm van schade die doorgaans onomkeerbaar en zeer groot is.

De herstelkosten van schade door grondwateronderlast bedragen gemiddeld €10.000 euro per woning. Daarmee komen de herstelkosten voor de schade in 2000 reeds op circa 1 miljard euro. Luijendijk (2006) schat deze kosten op €10.000 tot €200.000 per woning. Wanneer de kosten voor herstel op zowel particulier als ook openbaar terrein worden meegenomen resulteert dit in een schadebedrag van 7,5 miljard euro. De Stichting Platform Fundering Nederland raamt de totale economische schade van de funderingsproblematiek ten gevolge van fluctuerende grondwaterstanden op 20 tot 30 miljard euro (bron: Kenniscentrum Funderingsproblematiek). Deze raming omvat overigens niet alleen paalrot, hoewel dit wel een voorname component vormt.

De ramingen van de mogelijke schade lopen dus uiteen, mede door gebruik van verschillende uitgangspunten in de berekeningen. Het handelt evenwel altijd om zeer hoge bedragen.

Over de schade aan infrastructuur en onroerend goed ten gevolge van alleen (verschil)zettingen is nauwelijks informatie beschikbaar. Mulder (2003) schat de schade aan onroerend goed en infrastructuur grofweg in op circa 1,65 miljard euro per jaar.

Toch is de schade te voorkómen, met de juiste inzet van kennis over grondwatersysteem en funderingswijze in de aanlegfase. Dit gaat aanvankelijk gemoeid met tijd, geld, en het omzetten van een 'mentale knop' bij de betrokken partijen, maar betaalt zich op langere termijn terug.

## 7.7 Effecten van de Deltascenario's in 2050

### *Effect van klimaatverandering*

Grondwateronderlast is sterk gekoppeld aan perioden van meteorologische droogte. Het optreden van een droog jaar zoals in 2003 vindt nu gemiddeld eens per 10 jaar plaats (zie ook Tabel 2.2). In het G en W+ scenario komen zulke droge jaren rond 2050 respectievelijk eens per 8 en 2 jaar voor. Een extreem droog jaar zoals 1976 vindt nu gemiddeld eens per 89 jaar plaats. In het G en W+ scenario komen zulke droge jaren respectievelijk eens per 62 en 22 jaar voor.

Als gevolg van klimaatverandering (W+ scenario) komt de GLG<sup>19</sup> meer dan 10 centimeter lager te liggen (Gaast et al., 2009). Voor de klimaatscenario's G+ en W+ is een daling van de GLG berekend voor alle landschapregio's<sup>20</sup>. In duingebieden en op de stuwwallen bedraagt

---

<sup>19</sup> gemiddeld laagste grondwaterstand: voor 8 achtereenvolgende jaren worden de 3 hoogste in een jaar gemeten grondwaterstanden geselecteerd en gemiddeld.

<sup>20</sup> De studie onderscheidt verschillende landschapsregio's op basis van fysische ondergrondkenmerken.

deze daling 18 tot 50 centimeter. Voor de klimaatscenario's G en W is in die gebieden juist een stijging van de GLG geconstateerd van circa 1,5 en 10 centimeter. In alle andere landschapsregio's daalt de GLG enkele centimeters onder de G en W scenario's.

Voor het W+/RC scenario wordt met het NHI instrumentarium voor de meeste gebieden een daling van de LG3<sup>21</sup> (verdroging) voorspeld van enkele decimeters. In de Kop van Noord-Holland, Alkmaar en omstreken, IJmond, Zaanstreek, agglomeratie Haarlem, Groot-Amsterdam, agglomeratie Leiden en Bollenstreek, Zuid-Holland, agglomeratie s' Gravenhage Oost, Delft en Westland is juist een stijging van de LG3 (vernatting) voorspeld. Over het algemeen vindt (de voor het tegengaan van grondwateronderlast gunstige) vernatting plaats in gebieden met een zettingsgevoelige ondergrond, waar in het verleden op houten palen is gefundeerd.

#### *Effect van verstedelijking*

Door toename van verhard oppervlak kan er minder hemelwater naar het grondwater stromen. Dit zou tot een grondwaterstandsverlaging in de stad kunnen leiden (CIW, 2004). De modelberekeningen met NHI voor het scenario W+/RC bevestigen dit. In het gebied tussen Nijmegen en Arnhem, waar een sterke verstedelijking plaatsvindt, voorspelt het model een grondwaterspiegeldaling. Het afkoppelen van de afvoer van hemelwater van het rioolsysteem, kan het effect van de toename van het verhard oppervlak enigszins beperken. In de toekomst zullen gemeenten vanuit het principe van hydrologisch neutraal bouwen deze compenserende werking steeds meer benutten.

Op dit moment worden bij herstructurering houten paalfunderingen vaak (maar niet altijd) vervangen door betonnen versies. Bij nieuwbouw worden alleen nog maar betonnen paalfunderingen gebruikt. De gevoeligheid voor paalrot neemt door deze ontwikkeling af. Verwacht wordt dat (ondergrondse) bouwmethoden en bemalings- en ontgravingstechnieken in de toekomst nog zullen verbeteren zodat ook zij minder negatieve effecten hebben.

## **7.8 Doorkijk naar 2100**

Er is geen additionele informatie beschikbaar die het mogelijk maakt om een goede doorkijk richting 2100 te geven voor het thema grondwateronderlast, anders dan het doortrekken van de ontwikkelingen die tot 2050 zijn voorzien.

## **7.9 Conclusie**

Onder 'grondwateronderlast' wordt verstaan: het optreden van dusdanig lage grondwaterstanden dat er (risico op) schade aan constructies ontstaat.

Grondwateronderlast is een lokaal optredend fenomeen. Knelpunten doen zich vooral voor in Laag Nederland vanwege de daar aanwezige slappe bodems (veen, klei) en de gevoeligheid van deze bodems voor veranderingen in het grondwaterpeil. Dit zijn overwegend ook de gebieden waarin grootschalige bodemdaling kan plaatsvinden.

Schattingen van het aantal woningen met grondwateronderlast lopen uiteen van 70.000 tot meer dan 250.000 woningen in de huidige situatie. Potentieel kunnen circa 1,7 tot 3 miljoen

---

21. Het gemiddelde van de 3 laagste grondwaterstanden gedurende een meteorologisch jaar.

woningen kwetsbaar zijn voor grondwateronderlast. Ook de ramingen van de mogelijke economische schade lopen uiteen. De Stichting Platform Fundering Nederland raamt de totale economische schade van de funderingsproblematiek ten gevolge van fluctuerende grondwaterstanden op 20 tot 30 miljard euro. Mulder (2003) schat de schade aan onroerend goed en infrastructuur door zettingen grofweg in op circa 1,65 miljard euro per jaar.

Onder het droge W+ scenario daalt de laagste grondwaterstand in de steden in Laag-Nederland gemiddeld met meer dan een decimeter. Lokaal zijn grotere dalingen mogelijk. Onder invloed van klimaatverandering is daarom een toename van schade te verwachten, maar deze toename ten gevolge van klimaatverandering is gering in vergelijking met de ernst en de omvang van de problemen die momenteel al spelen. Op zandgronden kunnen grotere dalingen van de laagste grondwaterstand optreden, maar deze leiden tot minder schade. Het lagere bodemvochtgehalte hier vormt wel een knelpunt voor stedelijk groen.

Er is nog geen nauwkeurig kaartbeeld beschikbaar waarop is aangegeven welke gebieden meer of minder kwetsbaar zijn voor (toekomstige) grondwateronderlast. Daarvoor is meer informatie over de aard en toestand van constructies noodzakelijk.

Schade door grondwateroverlast is in principe te voorkómen, met de juiste inzet van kennis over grondwatersysteem en funderingswijze. Dit gaat aanvankelijk gemoeid met tijd, geld, en het omzetten van een 'mentale knop' bij de betrokken partijen, maar betaalt zich op langere termijn terug.

Meestal is de gemeente de directe belanghebbende bij grondwateronderlast. De winst bij het voorkómen of oplossen van (grond)waterproblemen ligt in het vervullen van het - soms zelf vastgestelde - beleid, afname van klachten, revitalisering van wijken, een duurzamer watersysteem, soepele uitvoering van projecten, soms ook financiële voordelen zoals meer uitgeefbaar terrein of lagere afschrijving van infrastructuur. De provincie is momenteel betrokken als vergunningverlener maar kan ook op wellicht onverwachte wijze als belanghebbende acteren. Bij grondwateronderlast is de rol van het waterschap nu nog vaak minder prominent, niet zelden omdat de afwezigheid van oppervlaktewater juist een (mede) oorzaak is van het probleem.

## 8 Bodemdaling

### 8.1 Wat verstaan we onder bodemdaling

In deltagebieden zijn de voornaamste oorzaken van bodemdaling de compactie van jonge sedimenten en het oxideren van oppervlakkige en organische lagen door drainage. Hiernaast leidt het winnen van delfstoffen tot bodemdaling en is er nog tektonische bodemdaling als gevolg van het noordwestwaarts kantelen van het continentaal plat. De omvang van deze laatste is een fractie van de bodemdaling door ontwatering. Bodemdaling kan nadelige gevolgen hebben voor bebouwing en infrastructuur. Door het ongelijk dalen van gebouwen, infrastructuur en hun omgeving ontstaan verzakkingen en kunnen scheuren in bouwwerken optreden. Er ontstaan extra kosten door de noodzaak de openbare ruimte en tuinen regelmatig op te hogen, en schades aan vervormde kabels en leidingen te herstellen. Naast deze directe effecten op constructies zijn er verschillende indirecte effecten, zoals de toename van kwel (w.o. interne verzilting) en grondwateroverlast, en de toename van de overstromingsdiepte.

### 8.2 Gegevensbronnen

Bodemdaling is landelijk in beeld gebracht (TNO/Deltares, 2010), en door Alterra is ingezoomd op het westelijke veenweidegebied in het kader van het project "Waarheen met het Veen". Voor deze karteringen geldt dat ze niet voor het stedelijk gebied zijn gedaan. Dat komt omdat de berekeningen veelal plaats vinden aan de hand van bodemkaarten en grondwatermodellen. In stedelijk gebied is de bodem meestal veranderd door ophoging, afgraving en grondwater wordt sterk beïnvloed. Voor het globale landelijke beeld is de kaart van TNO geschikt, voor een gedetailleerder beeld van de effecten op het veenweidegebied zijn de kaarten van Alterra geschikt.

De bodemdaling in Nederland is in kaart gebracht door van de verschillende optredende oorzaken het aandeel in de totale bodemdaling in te schatten op een tijdstip in de toekomst, bijvoorbeeld in het jaar 2050. In de kartering is bodemdaling uitgesplitst naar de volgende processen: (1) klink of consolidatie; (2) krimp en (3) biologische afbraak / oxidatie. Klink treedt vooral op als het veenpakket voor het eerst wordt ontwaterd en diepe slootpeilen worden aangehouden. De maaiveld dalingen kunnen dan groot zijn. Krimp wordt veroorzaakt door uitdroging en vindt boven de grondwaterstand plaats. Uitdroging door plantenwortels is hierbij de belangrijkste component. Een zeer groot deel van de krimp van vers veen is irreversibel en leidt dan tot een grote maaiveld daling. Reversibele krimp van het veraarde of halfveraarde veen kan ook nog diepe en brede krimpscheuren veroorzaken en (reversibele) maaiveld dalingen van vele centimeters. Zoals verwacht vindt de grootste maaiveld daling, meer dan 10 centimeter, plaats in de veenweidegebieden. In kleigebieden is de maaiveld daling beperkt tot maximaal 10 centimeter. Zandgebieden vertonen praktisch geen maaiveld daling.

In het kader van dit project is een combinatie gemaakt van beide karteringen. Het veengebied uit de TNO kaart is vervangen door de kartering van Alterra. Deze samengestelde kaart is vervolgens gecombineerd met de deltasceario's voor global economy en regional communities. Op deze wijze wordt in beeld gebracht welk deel van de potentiële verstedelijking in de toekomst blootgesteld zou kunnen worden aan bodemdaling.

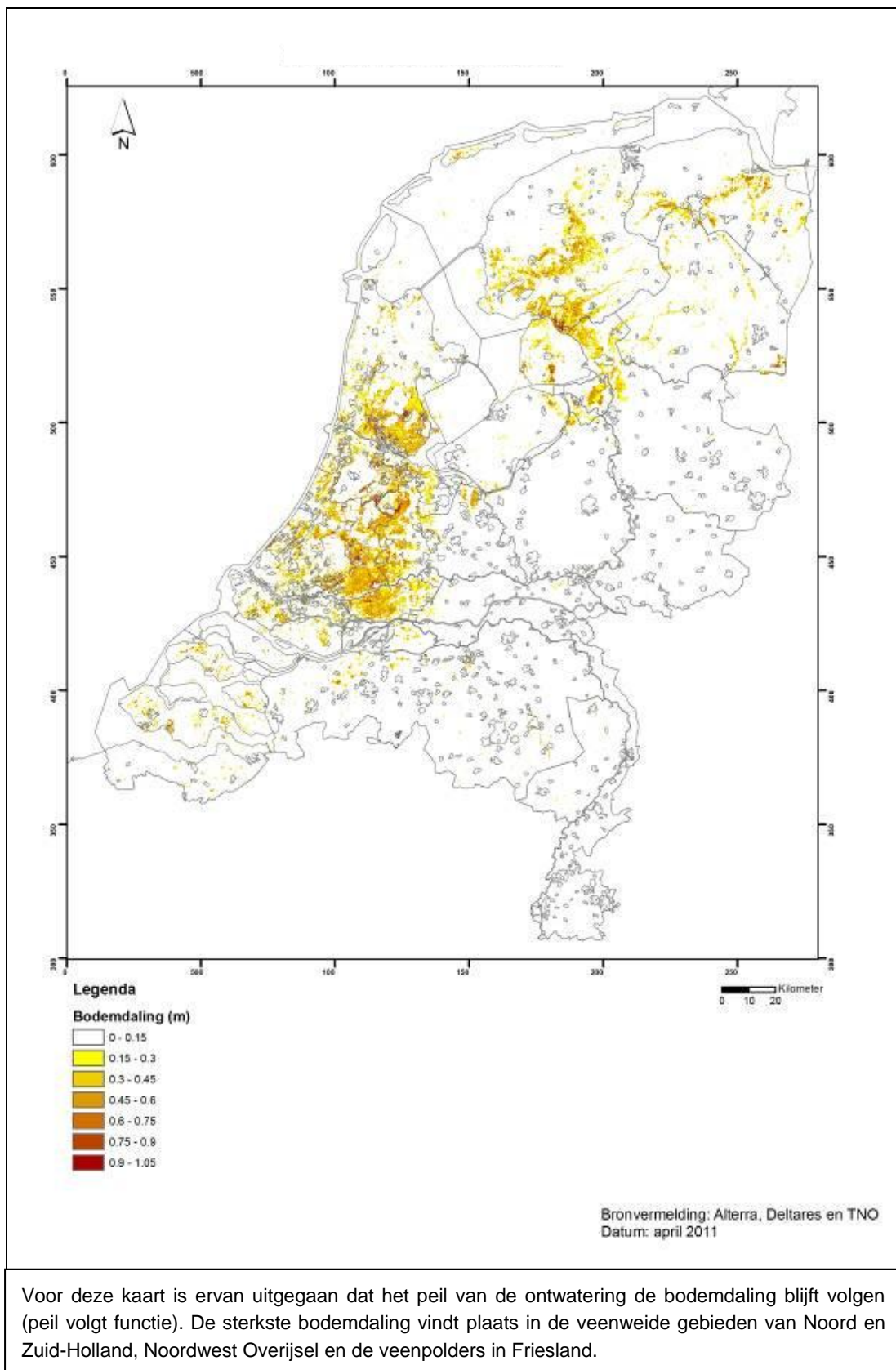
### 8.3 De gevoeligheid voor bodemdaling

#### 8.3.1 Het huidige tempo van bodemdaling

Peilbeheer heeft een grote invloed op de bodemdaling. Doordat de polder- en slootpeilen in het veenweidegebied voortdurend worden aangepast aan de maaiveldddaling zakt niet alleen het maaiveld maar in gelijke mate het watersysteem inclusief de grondwaterstand. De aanpassingen van het polderpeil aan de maaiveldddalingen gebeuren stapsgewijs. Nadat het maaiveld circa 10 centimeter is gezakt wordt een peilbesluit genomen door het waterschap, waarna het polderpeil in bijvoorbeeld 2 jaar met stappen van 5 cm 10 centimeter lager wordt ingesteld. Op deze wijze zakt al sinds eeuwen het maaiveld en het watersysteem in de veenweidegebieden met gemiddeld enkele millimeters per jaar. Sinds de jaren 60 wordt het westelijk veenweidegebied op vele plaatsen dieper ontwaterd door een slootpeil van 60 centimeter beneden maaiveld in te stellen. Daardoor is de maaiveldddaling meer dan verdubbeld. Het aantal peilgebieden is sterk toegenomen en het waterbeheer wordt moeilijker en duurder, natuurgebieden draineren naar de steeds dieper wordende landbouwgebieden en verdrogen, nutriëntenrijke kwel neemt toe.

Bij een polderpeilverlaging van 10 centimeter zakt de grondwaterstand en komt “vers veen” boven water en zal gaan ontwateren. Dit veroorzaakt ongeveer de helft van de maaiveldddaling. Zowel klink als irreversibele krimp zijn processen die in principe eindig zijn en deze nemen in de tijd sterk af. Dit is niet het geval met de biologische afbraak van het organische materiaal waaruit het veen bestaat. De alsmaar doorgaande maaiveldddaling wordt daarom voornamelijk veroorzaakt door de biologische afbraak (oxidatie) van het veen. In de zomer zakt het grondwater in de westelijke veenweidegebieden tot onder het slootpeil van 60 cm-mv. De diepste grondwaterstanden treden eind augustus - begin september op. Zuurstof dringt dan diep in de grond. Bovendien is gedurende de zomer de grond opgewarmd en is de grondtemperatuur op zijn hoogst, met als gevolg veel afbraak van veen. De maaiveldddaling van veengebieden hangt daardoor zeer sterk af van de diepst optredende grondwaterstanden in de zomerperiode. ( zie Figuur 8.1)



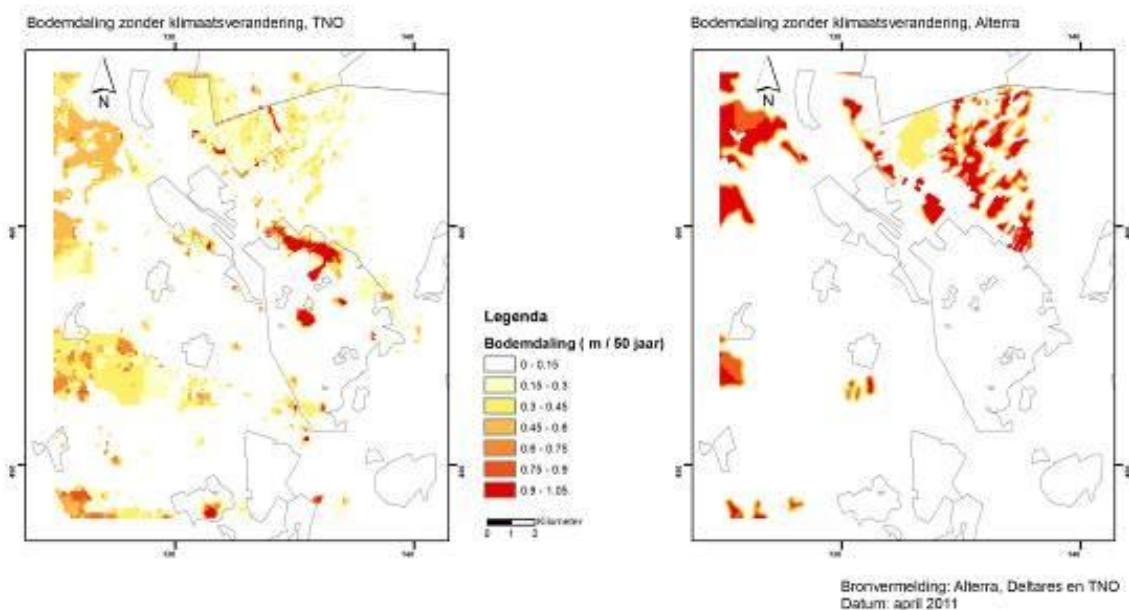


Figuur 8.1 Potentiële bodemdaling in de periode 2000 – 2050 uitgaande van het huidig klimaat.

In de verschillende studies is stedelijk gebied niet aangegeven. Hier zal in het algemeen de maaiveldddaling worden geremd, doordat er minder oxidatie plaatsvindt. Een deel van het veen zal door ophoging permanent onder water staan en dus niet oxideren, echter lagere grondwaterstanden (door meer droogte door klimaatverandering en onttrekking door bomen) in het ophoogmateriaal leiden tot toename van de korrelspanning in het veen en veroorzaken grote bodemdalingen. Vervolgens worden de maaiveldddalingen gecompenseerd door ophoging, waardoor de maaiveldddaling nog groter wordt. In steden met wijken op veen komen bodemdalingen van meer dan 1 centimeter per jaar veel voor en zijn een grote kostenpost. Ook in de stad is nog veel veen dat nog boven de grondwaterstand ligt. Denk aan tuinen en parken. Daar oxideert nog veel veen.

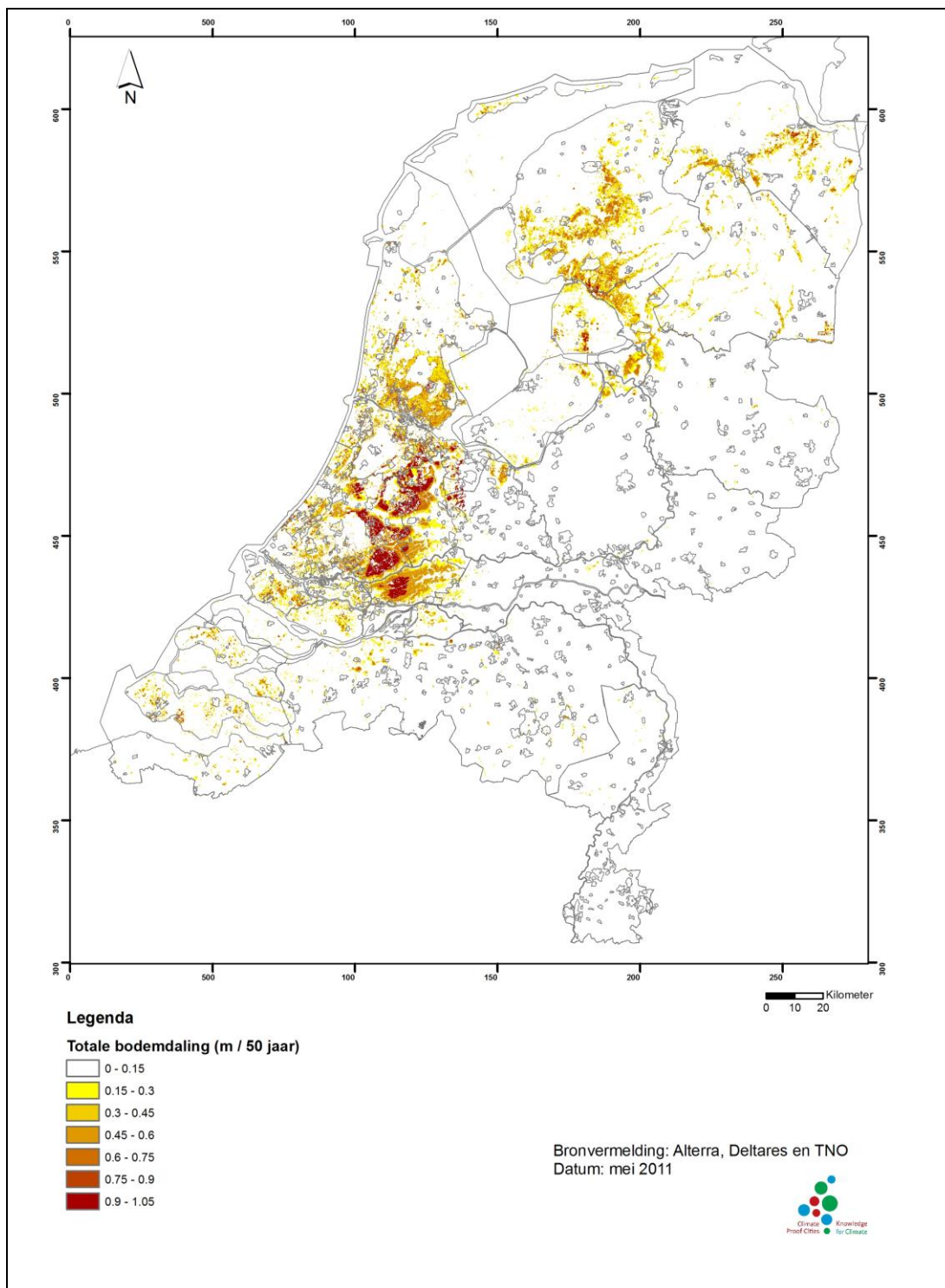
### 8.3.2 Het tempo van bodemdaling in een veranderend klimaat

Door TNO/Deltares is het effect van het W+ klimaatscenario landelijk gemodelleerd. Daarbij is voor de bepaling van het klimaateffect uitgegaan van een verhogingsfactor van 1,1 behorend bij de gemiddelde opwarming van 1,4 graden. Deze factor wordt genoemd in het kader van WB21 en komt overeen met een referentie uit de internationale literatuur (Stephens et al, 1984). De gebieden met de grootste maaiveldddalingen liggen in het westelijke veenweidegebied. Voor dit gebied heeft Alterra meer gedetailleerd in kaart gebracht hoe het tempo van bodemdaling zal gaan veranderen. De westelijke veenweiden kennen in het huidige klimaat een maaiveldddaling van 3 tot 11 mm per jaar. Door klimaatverandering neemt de maaiveldddaling in dit gebied met ca 3 mm per jaar toe bij het W 2050 scenario en met ca 7 mm per jaar bij het W+ 2050 scenario, volgens berekeningen van Alterra (Jansen et al, 2010). Vooral in het W+ scenario worden de maaiveldddalingen plaatselijk erg groot, wel tot 18 mm per jaar. De landelijke kartering en die voor het veenweidegebied laten wel wat verschillen zien. Ter vergelijking wordt in Figuur 8.2 ingezoomd op een deel van het westelijk veenweidegebied in de omgeving van Utrecht.



Figuur 8.2 Detail van de bodemdalingskaart voor de omgeving Utrecht. Links de landelijke modelstudie en rechts de gedetailleerde kartering.

Binnen het veengebied zijn de lokale verschillen dus groot. Daarom is in figuur 9.3 een combinatie gemaakt van de landelijke modelstudie en de detailstudie voor het westelijke veenweidegebied. Dit is gedaan door het veengebied uit de landelijke modelstudie te vervangen door de Alterra kaart. Voordeel is dat deze kaart een verfijning biedt voor de veenweidegebieden in de Randstad, maar mogelijk wordt het beeld voor de overige veenweidegebieden daardoor wat onderschat. Bodemdaling onder klimaatverandering in het meest extreme scenario (W+) op kan oplopen tot wel 1 meter per 50 jaar. Onderstaand figuur geeft een beeld van de potentiële bodemdaling bij continuering van de huidige drooglegging (peil volgt de functie), waarbij de ontwatering de bodemdaling blijft volgen. Daarbij is rekening gehouden met het voor bodemdaling meest ongunstige klimaatscenario (W+). Deze kaart geeft dus de worst-case indruk van bodemdaling (Figuur 8.3).



Voor deze kaart zijn resultaten van een landelijke studie (TNO/Deltares, 2010) gecombineerd met de verfijning voor de westelijke veenweiden (Alterra, Jansen et al., 2010). Onder een droog W+scenario neemt het gebied met forse bodemdaling (60 cm+ in 50 jaar) vooral in West Nederland toe.

Figuur 8.3 De verwachte bodemdaling onder klimaatverandering (W+) in 2050 ten opzichte van de huidige situatie.

## 8.4 Kwetsbaarheid voor bodemdaling

Bouwen in bodemdalingsgevoelig gebied is op zich mogelijk. Maar vanwege de bodemdalingsgevoeligheid worden vaak grote volumes zand gebruikt voor het bouwrijp maken van het gebied. Uiteindelijk is er altijd nog het risico van restzakkingen. In het algemeen wordt een dikke laag zand opgebracht zodat het veen als het ware onder het grondwaterpeil wordt geduwd. Een netto ophoging van een halve meter vraagt al gauw om drie meter zand op te brengen. Deze laag zand moet vervolgens inzakken en dat kost tijd. Daarmee is het veen blijvend verzadigd en spelen krimp en oxidatie geen rol meer in de maaiveldaling. De klink en consolidatie spelen dan wel nog steeds een grote rol. Meestal zal voordat de bouw begint enige tijd worden gewacht, zodat de veen- en eventuele kleipakketten onder de ophoging kunnen consolideren. Het grootste deel van de maaiveldalingen zijn dan voor de bouw opgetreden. In de praktijk treden echter ook na de consolidatieperiode soms nog dusdanig grote restzettingen op, dat al na enkele jaren nieuwe ophogingen moeten worden gepleegd en reparaties aan verzakte kabels en leidingen nodig zijn. Al met al brengt het bouwen op slappe grond maatschappelijke kosten met zich mee. Kosten bij de aanleg, maar ook kosten in de toekomst vanwege het herstel van verzakkingen aan woningen en infrastructuur. Hoe hoog deze kosten zijn is onbekend.

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

Het opzetten van een hoger peil in het buitengebied om bodemdaling tegen te gaan, betekent vaak dat ook aanpassingen nodig zijn en meerkosten gemaakt moeten worden voor de nieuwbouw in de betreffende polder, en vaak ook extra inspanning om piekbergingen te realiseren.

Toepassing van de Watertoets kan bodemdaling 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 dit 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, echter kan dit aspect op dit moment niet goed gekwantificeerd worden<sup>22</sup>. In bestaand stedelijk gebied bestaan de negatieve effecten van bodemdaling in het feit dat (1) openbaar gebied en tuinen voortdurend moeten worden opgehoogd om de maaiveldpeilen bij te houden, (2) kabels en leidingen vervormen en breken, en tegen hoge kosten moeten worden gerepareerd, (3) de koppen van houten funderingspalen droog komen te staan en gaan rotten (zie hoofdstuk 8), en (4) meer kans op grondwateroverlast ontstaat bij bebouwing op stroken die dicht bij de grondwaterspiegel komt te liggen (zie hoofdstuk 7). De gevoeligheid in stedelijk gebieden

---

<sup>22</sup> De paleogeografische kaart van Nederland zou hier uitkomst kunnen bieden; met deze kaarten kan worden bepaald in welk type geologisch milieu het latere stedelijke gebied zich bevond in opeenvolgende perioden. Voor het stedenbouwkundige aspect is de informatie vooralsnog beperkt tot landelijke bestanden van het PBL, waar de bouwperiode per pand is vastgelegd. Met betrekking tot funderingswijze en –toestand zijn op landelijk niveau geen gegevens aanwezig.

wordt ten eerste bepaald door de heterogeniteit van de bodem, omdat niet de absolute bodemdaling maar verschillen in bodemdaling maatgevend zijn voor de schade. Een leiding die eerst een zandige geul doorkruist en vervolgens een venige komklei, loopt een verhoogd risico op vervorming door verschillen in de mate van bodemdaling. Ten tweede is de bouwwijze van belang. Bebouwing op stroken (staal) is niet op het diepere zand gefundeerd maar direct op klei of veen, en is daardoor gevoeliger voor verschilzettingen<sup>23</sup>. Daarnaast is bebouwing waar stroken- en paalfunderingen door elkaar heen staan gevoelig. Peilverlagingen om de gevolgen van bodemdaling tegen te gaan, leiden niet alleen tot nieuwe bodemdaling maar ook tot droogstand van houten paalfunderingen (die immers niet meezakken).

In steden in Laag-Nederland zijn de vooroorlogse, laat 19<sup>e</sup> eeuwse en vroeg 20<sup>e</sup> eeuwse uitbreidingswijken het meest kwetsbaar voor bodemdaling; de historische binnensteden zijn veelal op gunstiger locaties gebouwd (rivierduinen, zandige oeverwallen), en na-oorlogse 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.

## 8.5 Effecten van de Deltascenario's in 2050

In beide verstedelijkingsscenario's (GE en RC) kan naar schatting zo'n 4-5% van het oppervlak nieuwbouw in de hoogste categorie, d.w.z. gebieden met 60-100 centimeter daling in de komende 50 jaar, terecht komen. Dat betekent dat grofweg 27.000 tot 75.000 woningen in zeer bodemdalingsgevoelig gebied zullen worden toegevoegd, uitgaande van een gemiddelde bebouwingsdichtheid van 35 woningen per hectare (Tabel 8.1)

Tabel 8.1 *het aandeel nieuwe verstedelijking volgens het Global Economy en het Regional Communities scenario in drie categorieën bodemdalingsgevoelig gebied.*

<b>Global Economy</b>	<b>Hectare nieuwe verstedelijking</b>	<b>% van totaal</b>
0-30 centimeter	53018	90
30-60 centimeter	3679	6
60-100 centimeter	2120	4
<b>Regional Communities</b>	<b>Hectare nieuwe verstedelijking</b>	<b>% van totaal</b>
0-30 centimeter	15045	89
30-60 centimeter	1084	6
60-100 centimeter	759	5

23. Het begrip 'zetting' is gereserveerd voor aan bouwwerken gerelateerde bodemdaling die veroorzaakt wordt door het samendrukken van de bodem onder de massa van het bouwwerk en/of een afname van draagkracht en volume van de bodem door een verlaging van de grondwaterstand (zie hoofdstuk 8 Grondwateronderlast).

## 8.6 Doorkijk naar 2100

Afhankelijk van de dikte van het veenpakket en zolang peilverlagingen de maaiveldaling blijven volgen, zal de bodemdaling zich voortzetten. In de gebruikte modellen is deze daling lineair, en daarmee wordt in 2100 een verdubbeling voorspeld ten opzichte van 2050. Met andere woorden, in de gebieden met de dikste veenpakketten en de grootste ontwatering kan de bodemdaling oplopen tot wel 2 meter per eeuw.

## 8.7 Conclusie

Bodemdaling in Laag-Nederland is voornamelijk het gevolg van zetting en krimp van klei- en veenlagen, of veenoxidatie. Bodemdaling leidt tot hoge kosten voor aanleg, beheer en onderhoud van bebouwing, infrastructuur en het watersysteem (w.o. de bedijking). Daarnaast zijn er indirecte effecten, zoals de toename van kwel, en daarmee grondwateroverlast, en de toename van de overstromingsdiepte. Bodemdaling in peilbeheerste gebieden kan worden geremd door hogere grondwaterstanden te handhaven.

Bij continuering van de huidige drooglegging (peil volgt de functie), waarbij de ontwatering de bodemdaling blijft volgen, treden in een groot deel van het veenweidegebied bodemdalingen op van meer dan 30 centimeter in 50 jaar. De gemiddelde daling in het veenweidegebied is 3 tot 11 millimeter per jaar. Daarbij is nog geen rekening gehouden met het effect van klimaatverandering. Onder het W+ klimaatscenario neemt de maaiveldaling in dit gebied in 2050 toe met zo'n 7 millimeter per jaar. Dat leidt tot potentiële dalingen van 50 tot plaatselijk 90 centimeter in 50 jaar.

Voor bestaande stedelijke gebieden is het door een gebrek aan gegevens over de bodem in het stedelijk gebied, niet mogelijk een indruk te geven van de toekomstige opgave voor bodemdaling.

Voor nieuwbouw geldt dat in 2050, mogelijk 4-5% van het oppervlak valt in zeer bodemdalingsgevoelig gebied (60-100 centimeter bodemdaling in 50 jaar). Dit komt overeen met tussen de 27.000 en 75.000 woningen. Nieuwbouw in deze gebieden betekent veelal ophoging voor het bouwrijp maken en aangepast bouwen, en indien restzettingen optreden later nog eens, met eventueel reparaties aan kabels en leidingen. Zowel het handhaven van een hoger peil om bodemdaling tegen te gaan, als ophogingen brengen private en maatschappelijke kosten met zich mee. Door alternatieve bouwwijzen zouden de beheerskosten verminderd kunnen worden.

Er is onvoldoende kennis over de reële kosten van bouwen in bodemdalingsgevoelig gebied (wat zijn mogelijke toekomstige schades als gevolg van restzetting, wat zijn de meerkosten voor bouwrijp maken en waterbeheer in bodemdalingsgevoelig gebied). Daarnaast is nog weinig bekend over de gevolgen van klimaatverandering op bodemdaling in bestaand stedelijk gebied.

## 9 Waterkwaliteit

### 9.1 Belang van waterkwaliteit voor de bebouwde omgeving

In het stedelijk gebied is oppervlaktewater onder meer bepalend voor het aanzicht van stad of wijk en van grote invloed op het woongenot en de welzijnsbeleving van de bewoners. Er bestaan overwegend positieve kwalificaties voor de aanwezigheid van water in het stedelijk gebied. Toch is dit niet vanzelfsprekend. Het wordt anders wanneer het water een slechte kwaliteit heeft of stinkt, als de sloot achter je huis verandert in een groene algensoep of er dode vissen in rondrijven. Het is dan onplezierig om in de buurt van water te wonen en het vormt dan zelfs een serieuze bedreiging voor de volksgezondheid. Negatieve effecten op de waterkwaliteit worden vooral verwacht onder de droge, warmere klimaatscenario's (vnl. W+).

### 9.2 Gegevensbronnen

De processen waardoor de waterkwaliteit wordt bepaald zijn zeer complex. Er is sprake van ketens van verschillende oorzaken, gevolgen en feedbackmechanismen. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de resultaten van eerdere inventariserende literatuuronderzoeken naar de invloed van klimaatverandering op waterkwaliteit en literatuur over waterkwaliteit bepalende processen onder de huidige omstandigheden. Er is nog nauwelijks kwantitatieve informatie over de invloed van klimaatverandering op de waterkwaliteit.

Belangrijke informatiebronnen zijn:

Deltares en Royal Haskoning, oktober 2009. Knikpunten in het waterbeheer in het Maasstroomgebied, onderdeel waterkwaliteit.

Future Water, augustus 2006. Klimaatverandering en waterkwaliteit.

Hoogvliet, M.C. et al., maart 2011. Brede, gebiedsspecifieke verkenning van effecten van klimaatverandering, in samenhang met toekomstscenario's en trendmatige ontwikkelingen.

KWR, 3 december 2004. Quick scan effecten droogte op waterkwaliteit.

### 9.3 Effect van klimaatverandering op waterkwaliteit

De waterkwaliteit wordt gekenmerkt door zowel fysieke als chemische en biologische parameters. Peil, peilfluctuaties, doorstroming, golfslag, troebel- of helderheid en temperatuur zijn fysieke parameters; zuurstofgehalte, zoutgehalte, nutriënten, en verontreinigingen zoals bestrijdingsmiddelen of olie zijn chemische parameters; biomassa, soortendiversiteit, en de afwezigheid van ziekteverwekkende organismen bepalen de biologische kwaliteit van het oppervlaktewater.

Klimaatveranderingen zullen zonder twijfel leiden tot veranderingen in de waterkwaliteitsparameters. Hogere luchttemperaturen en instraling leiden tot hogere watertemperaturen; verminderde afvoer kan leiden tot stilstaand water, waarin ziekteverwekkende organismen zoals algen kunnen bloeien bij de beschikbaarheid van nutriënten. Naast de fysieke vermindering van het opgeloste zuurstofgehalte bij hogere temperaturen, kan ook hogere biologische afbraak voor grotere zuurstofconsumptie en lagere zuurstofgehalten zorgen. Deze factoren of combinaties daarvan kunnen leiden tot een slechte waterkwaliteit.



De gevoeligheid voor klimaatveranderingen varieert per watertype. Kleine zoete en geïsoleerde waterlichamen ondervinden meer last van klimaatveranderingen dan grote rivieren. Effecten van klimaatverandering zijn voor de verschillende watertypen ook anders van aard: voor vennen zijn de problemen gerelateerd aan verdroging, diepere plassen en grote wateren worden bedreigd door eutrofiëring en rivieren kampen met exoten, koelwaterlozing en lage waterpeilen. In de regionale wateren van de kustregio's wordt o.a. het effect van zoutindringing (interne verzilting, zie hoofdstuk 6) relevanter bij toename van de verdamping en verminderde doorspoelmogelijkheden.

### **Temperatuurstijging en droogte**

Het klimaat wordt extremer. Het wordt warmer en extreem natte en droge periodes zijn geen uitzondering. Klimaatdeskundigen voorspellen dat een warme, droge zomer zoals die van 2003 rond 2050 onder het W+ scenario eens in de 2 jaar zal voorkomen.

Bij te hoge temperaturen van het (in de zomer stilstaande) oppervlaktewater ontstaan zuurstoftekorten. Botulisme kan het gevolg zijn. Klimaatverandering vergroot de kans op zuurstoftekorten en botulisme. Tekorten in wateraanvoer beperken nog eens de bestrijding ervan wanneer daardoor ook de doorspoelmogelijkheden worden beperkt. Het zogenaamde 'hitte-eiland-effect' maakt juist de bebouwde omgeving extra kwetsbaar voor zuurstoftekorten en botulisme, doordat de stad meer opwarmt dan het landelijk gebied.

Algenbloei, drijfslagen en/of een kroosdek hangen samen met voedselrijkheid van het water, (gebrek aan) waterbeweging en waterverversing. Klimaatverandering heeft een versterkend negatief effect op deze drie factoren. Watertekorten (in de zomer) leiden vaker tot langdurig stilstaand water in de wijken. Het 'overall' eutrofiërende effect van klimaatverandering zal algenbloei en het voorkomen van drijfslagen netto versterken.

### **Zwemwater**

In alle klimaatscenario's neemt de temperatuur toe. Door het warmere weer zullen zwemplassen vaker en intensiever bezocht worden. Ook wordt het zwemseizoen langer. Dit heeft een toename van het aantal ziektekiemen in het water tot gevolg. Door de toename van de watertemperatuur zijn de omstandigheden voor blauwalgen beter. Er zal naar verwachting vaker, eerder en langduriger een zwemverbod ingesteld moeten worden vanwege een slechte waterkwaliteit.

### **Piekbuien en riooloverstort**

De meest voorkomende oorzaak van vissterfte in woonwijken is de zuurstofdip die volgt op de lozing van ongezuiverd afvalwater via overstort. In de huidige situatie leiden extreme neerslaggebeurtenissen in gemengde rioolstelsels tot water op straat en overstortingen. Deze overstorten bevinden zich met name in de oudere wijken

Klimaatverandering leidt tot een toename van het aantal piekbuien en de intensiteit daarvan. Hierdoor zal het volume overstortwater toenemen. Dit leidt tot een grotere belasting van het oppervlaktewater met zuurstofconsumerende stoffen. In warmer water lost bovendien minder zuurstof op. Dit leidt ertoe dat de zuurstofconcentratie in het oppervlaktewater vaker, sneller en sterker afneemt als gevolg van riooloverstortingen. Lage zuurstofconcentraties en zuurstofloosheid leiden o.a. tot verminderde afbraak, vissterfte, stankoverlast en toename van blauwalg.

### **Circulatie en waterversing**

Stedelijke oppervlaktewatersystemen (in Laag Nederland) zijn dikwijls circulatiesystemen. Extern water wordt ingelaten als er een watertekort is of als de waterkwaliteit in het stedelijke watersysteem in het geding is. Zolang de kwaliteit van het externe water voldoende is, is het inlaten van of doorspoelen met extern water geen probleem. Problemen ontstaan pas als de kwaliteit het in te laten water onvoldoende is. In perioden van extreme droogte zal dit steeds meer het geval zijn.

De beschikbaarheid van inlaatwater van voldoende kwaliteit hangt af van de eigen stedelijke seizoensberging, de regionale buffers en de inlaatmogelijkheden vanuit het hoofdwatersysteem. Een watertekort in het stedelijke gebied zal doorgaans samenvallen met een watertekort daarbuiten. Ook daar wordt als gevolg van de droogte de waterkwaliteit slechter. In de lager gelegen delen van Nederland is daarnaast de verzilting van het oppervlaktewater een probleem voor de aquatische ecologie, constructies en groenvoorzieningen.

In algemene zin zijn er twee sporen waarlangs de effecten van klimaatverandering op de stedelijke waterkwaliteit bestreden kunnen worden. Het eerste spoor is het preventieve spoor, het 'bergen' van een goede basis waterkwaliteit. Primair door ervoor te zorgen dat de waterkwaliteit in het stedelijke watersysteem minder gevoelig is voor verstoring. Secundair door te zorgen voor inlaatwater van voldoende kwaliteit. Kort gezegd betekent dit het bereiken van de KRW doelstellingen voor een goede chemische en ecologische toestand - met nutriënten in een sleutelpositie.

Het tweede spoor is het curatieve spoor, het spoor van 'bergen', door ervoor te zorgen dat er voldoende buffers zijn met water van voldoende kwaliteit. Dit kunnen statische buffers zijn binnen en buiten het stedelijke gebied. Het kunnen ook dynamische buffers zijn zoals bijvoorbeeld grote ontziltings- of zuiveringscapaciteit voor extern aangevoerd inlaatwater. Voorwaarde is dat binnenstedelijke buffercapaciteit beschikbaar blijft om extreme neerslag op te vangen.

### **9.4 Conclusie**

Klimaatverandering heeft naar verwachting een negatief effect op de oppervlaktewaterkwaliteit, terwijl de behoefte aan schoon water voor recreatie en verkoeling juist zal toenemen. De effecten zijn het grootst onder het W+ scenario, vanwege de toename van de temperatuur en het neerslagtekort in het zomerhalfjaar, maar ook vanwege de toename van het aantal en de intensiteit van piekbuien, wat kan leiden tot riooloverstort. Vooral kleinschalige, geïsoleerde waterpartijen, die niet kunnen worden verversd of doorgespoeld, zijn kwetsbaar.

De processen waardoor de waterkwaliteit wordt bepaald zijn zeer complex. Er is sprake van ketens van verschillende oorzaken, gevolgen en feedbackmechanismen. De aard en oorzaak van waterkwaliteitsproblemen kunnen tussen waterlichamen daarom sterk verschillen. Prominente knelpunten die op dit moment worden verwacht, worden in dit hoofdstuk in kwalitatieve zin beschreven. Er is echter nog nauwelijks kwantitatieve informatie over de invloed van klimaatverandering op waterkwaliteit. Voordat uitspraken kunnen worden gedaan over de exacte ernst van de knelpunten zal deze kennisinhoud moeten worden ingevuld. Desalniettemin kan worden gesteld dat hoogstwaarschijnlijk extra inspanningen zijn vereist om de oppervlaktewaterkwaliteit onder een veranderend klimaat op peil te brengen en houden.

## 10 Stedelijk groen

### 10.1 Functies en areaal stedelijk groen

Stedelijk groen heeft meerdere functies:

- Beïnvloedt het welzijn van mensen en de leefbaarheid van de stad positief door het verhogen van de kwaliteit van stedelijk landschap.
- Biedt schaduw en verkoeling.
- Biedt ruimte voor recreatie.
- Vormt een ecotoop voor planten en dieren.
- Heeft een filterende werking voor fijnstof en geluid.
- Biedt bergingsruimte voor neerslag en filtering van afstromend regenwater.
- Draagt bij aan een gezond bodemsysteem.

Het bieden van schaduw en verkoeling verdient hierbij speciale aandacht, omdat groen als belangrijke adaptatiemaatregel wordt gezien om het stedelijk hitte eiland effect en te verwachte temperatuurstijging te beperken.

Stedelijk groen zorgt voor een aantrekkelijk vestigingsklimaat. In steden is en wordt daarom veel geïnvesteerd in groen. Niet alleen in de openbare ruimte (parken, wegbermen en straatbomen) maar ook door particulieren. Desalniettemin was er in de afgelopen jaren nauwelijks een toename, en vaak zelfs een afname, van de hoeveelheid stedelijk groen per woning. Over de periode 2003-2006 was in de vier grote steden de hoeveelheid groen per woning minder dan de richtlijn van 75 m<sup>2</sup>. In Utrecht, Rotterdam en Den Haag blijft de hoeveelheid constant op respectievelijk 36, 53 en 56 m<sup>2</sup>. In Amsterdam is de hoeveelheid groen per woning iets toegenomen tot 38 m<sup>2</sup><sup>24</sup>. Dit zijn echter gemiddelde arealen, waarin tuinen en parken zijn verdisconteerd. De werkelijke hoeveelheid groen in de directe nabijheid van woningen varieert sterk per wijk. Essentieel is echter dat globaal genomen die hoeveelheid nu reeds laag is.

### 10.2 Gegevensbronnen

Over de effecten van klimaatverandering op stedelijk groen is nauwelijks literatuur beschikbaar. De inhoud van dit hoofdstuk is daarom grotendeels gebaseerd op een extrapolatie van kennis over effecten in de huidige situatie, naar een veranderd klimaat.

### 10.3 Effecten van de Deltascenario's in 2050 en 2100

#### Effect van nattere winters

In alle klimaatscenario's neemt de hoeveelheid winterneerslag toe. Hogere grondwaterstanden in de winter zullen in goed gedraineerd gebied beperkt blijven, waardoor dit nauwelijks gevolgen heeft voor de vegetatie. Als dit niet het geval is kunnen hogere grondwaterstanden leiden tot wortelsterfte en ondieper wortelen, wat in extreme situaties kan

---

<sup>24</sup> Bron: [www.groenendestad.nl](http://www.groenendestad.nl)

leiden tot het omvallen van bomen. De grootste toename van de hoeveelheid winterneerslag wordt verwacht in het W+ scenario.

### **Effecten van droogte en temperatuurstijging**

Problemen voor stedelijk groen hangen vrijwel uitsluitend samen met neerslagtekorten en temperatuurstijging, en doen zich daarom voor onder de droge klimaatscenario's G+ en W+. Onder de G en W scenario's worden geen structurele knelpunten verwacht, voornamelijk omdat de neerslaghoeveelheid in deze scenario's gedurende de zomerperiode licht stijgt en dit de toename van de potentiële verdamping kan compenseren.

Stijging van temperatuur en afname van neerslag in de zomer leiden tot een toename van droogtestress bij vegetatie door een toename in de potentiële verdamping en lagere waterbeschikbaarheid. Deze droogtestress leidt tot gereduceerde groei van vegetatie, verdorring en in extreme situaties tot sterfte. Ook al behoort het niet tot het stedelijk groen, verdroging en de toenemende frequentie van bos- en natuurbranden in het omringende gebied als het klimaat verandert, wordt genoemd als een bron van zorg voor gemeenten op de Veluwe.

De irrigatiebehoefte van het groen in tuinen, parken, groenstroken en van singuliere bomen neemt toe, en daarmee de kosten voor groenvoorziening. Toename van de irrigatiebehoefte vergroot de waterbehoefte van de stad.

Door een hogere potentiële verdamping en afname van de neerslaghoeveelheid zullen grondwaterstanden 's zomers verder uitzakken. Wortelstelsels zullen zich niet altijd kunnen aanpassen aan de lager wordende grondwaterstanden.

De afname van bladoppervlak en het verdorren van vegetatie kunnen leiden tot een verminderde afvang van fijnstof. Ook zal de interceptie van regenwater afnemen waardoor de runoff in de stad bij extreme buien toeneemt, en daarmee de kans op wateroverlast. Als gevolg van een afname van verdamping door vegetatie zal een extra stijging van de temperatuur in de stad optreden. Ook de kans op brand in stadsparken neemt toe.

### **Verzilting**

In hoofdstuk 6 is het proces van verzilting van grond- en oppervlaktewater beschreven. Daarbij lag de nadruk op de mogelijke gevolgen voor bebouwing. Verzilting heeft echter ook effecten op vegetatie. Hoewel landbouwgewassen kritischer zijn t.a.v. chlorideconcentraties in het water dan stedelijke vegetatie (bomen, struiken, gras), kunnen lokaal knelpunten worden verwacht met stedelijk groen in de kuststrook van Friesland-Groningen, Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden, kustnabije gebieden en in de droogmakerijen van Zuid- en Noord-Holland. Deze gebieden zijn allen in meer of mindere mate blootgesteld aan verzilting.

### **Ziekte en plagen**

Door veranderde klimaatsomstandigheden kunnen nieuwe ziekteverwekkers en plaaginsecten zich vestigen en kunnen bestaande ziekten en plagen zich uitbreiden. Hierdoor heeft klimaatverandering niet alleen direct maar ook indirect invloed op de conditie van stadsbomen (Hiemstra en van der Sluis, 2009).

### **Beheer**

Vanwege de voorziene effecten wordt het bij het planten van bomen in de stad nog belangrijker om te zorgen voor voldoende ondergrondse groeiruimte, watervoorziening en een goede drainage om te voorkomen dat de bomen verdrinken in natte perioden. Ook wordt

risicospreiding door de aanplant van verschillende soorten en van potentieel beter geschikte soorten van belang (Hiemstra en van der Sluis, 2009).

Watertekorten leiden tot een beperking van de groei van het stedelijk groen. Dit leidt wellicht tot iets minder beheerkosten, maar wanneer de droogteschade veroorzaakt aan het groen wordt meegenomen, wordt de balans al snel negatief.

### **Waar speelt het?**

Het effect van klimaatverandering op de vegetatie zal naar verwachting het grootst zijn in gebieden met diepe grondwaterstanden en op zandgronden. Hier kunnen grondwaterstanden uitzakken tot onder het bereik van de wortels. In de lagere peilbeheerste delen van Nederland ondervindt vegetatie minder effecten indien de grondwaterstanden niet te ver uitzakken. Echter, het grondwaterpeilbeheer komt onder druk te staan in de droge G+ en W+ scenario's (zie hoofdstuk Grondwateronderlast). Daardoor kunnen ook in de peilbeheerste gebieden negatieve effecten op het stedelijk groen worden verwacht.

### **Stedelijke en maatschappelijke ontwikkeling**

Zowel op gemeentelijk als Rijksniveau wordt geïnvesteerd in meer groen in de stad. Zo is er geïnvesteerd in Groene Krachtwijken, zijn er subsidieregelingen voor groene daken (in o.a. Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht) en groene gevels en is er het programma Groen en de Stad. Tegelijkertijd wordt vastgehouden aan het verdichten van de steden om het groene omliggende gebied als dusdanig te handhaven. Dit gaat mogelijk deels ten koste van huidige groenvoorziening in de stad.

Tegelijkertijd zal temperatuurstijging in de stad resulteren in een alsmaar toenemende behoefte aan verkoelend groen en stadsparken.

## **10.4 Conclusie**

Voldoende vegetatie in de stedelijke omgeving is van groot belang voor veel stedelijke functies en vooral voor het leefklimaat. Het huidige areaal groen in de grote steden blijft momenteel nog achter bij de ambities. Een deel van de adaptatiemaatregelen aan een warmer klimaat bestaat uit het toevoegen van stedelijk groen.

Het effect van klimaatverandering op groen in stedelijk gebied is in kwantitatieve zin nog onvoldoende onderzocht en vormt een belangrijke kennishiaat. Conclusies zijn daarom gebaseerd op generieke kennis en ervaring in de huidige situatie.

Het klimaat verandert dusdanig langzaam, dat bestaand groen zich veelal zal kunnen aanpassen aan de nieuwe omstandigheden. De kans op sterfte is klein. Onder de klimaatscenario's G+ en W+ zal droogtestress bij vegetatie wel toenemen, waardoor verdorring en/of bladval in droge perioden vaker voorkomen en de verdamping afneemt. Er zal vaker en langer een beroep worden gedaan op additionele zoetwatervoorziening van stedelijk groen (berekening) en er is een noodzaak om nieuw groen op een robuuste wijze aan te leggen.

Door vroegtijdige adaptatie kunnen de effecten op vegetatie en daarmee de beheerkosten in de toekomst worden beperkt. Onderdelen hierin zijn: vasthouden van water voor droge perioden; gebruik van droogteresistente soorten bij nieuwe aanplant; goede drainage voor

nattere perioden, rekening houden met verzilting en reserveren van voldoende ondergrondse ruimte voor wortels en vocht.

Op dit moment is de groenvoorziening een zaak van de gemeente. Potentiële gevolgen van klimaatverandering voor stedelijk groen zijn nauw verweven met de gevolgen voor het watersysteem. Met name in peilbeheerste gebieden is stedelijk groen daarom ook een aandachtspunt voor het Waterschap.

## 11 Watervraag en watervoorziening

### 11.1 Huidige watervraag van het stedelijk gebied

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat de watervoorziening van het stedelijk gebied van belang is voor een groot aantal stedelijke functies. Het is echter bijzonder moeilijk de watervraag van stedelijk gebied te kwantificeren. Voor verdamping alleen is naar schatting 1,5 km<sup>3</sup> in een gemiddeld meteorologisch jaar nodig<sup>25</sup>. Deze hoeveelheid kan grofweg representatief worden gesteld voor de watervraag van peilbeheer in de stad. De watervraag van doorspoeling is niet bekend, met als consequentie dat ook de totale watervraag van stedelijk gebied onbekend is. Ook bij gemeenten en waterschappen ontbreekt inzicht in de daadwerkelijke watervraag van het stedelijk gebied.

### 11.2 Gegevensbronnen

Voor dit thema is gebruik gemaakt van de uitkomsten van de knelpuntenanalyse voor het deelprogramma Zoetwater. In die analyse lag de focus op effecten die zich onder de droogste klimaatscenario's kunnen voordoen. In dit hoofdstuk worden daarom hoofdzakelijk effecten beschreven die gelden voor het W+ scenario.

### 11.3 Effecten van de Deltascenario's in 2050 en 2100

#### 11.3.1 Klimaatverandering

Klimaatscenario W+ leidt tot grote verschillen met het huidige klimaat: het wordt veel droger gedurende het zomerhalfjaar (in 2050 gemiddeld 19% minder neerslag en 15% meer potentiële verdamping). Dat uit zich in meer specifieke hydrologische veranderingen en knelpunten voor veel regio's en sectoren. Het neerslagtekort in de zomer neemt in W+ fors toe: van gemiddeld 144 mm nu, naar 220 mm in 2050. Die trend kan zich na 2050 doorzetten. In scenario G blijft het neerslagtekort nagenoeg gelijk aan dat in het huidige klimaat. Ten behoeve van de beeldvorming is in Tabel 2.2 voor verschillende karakteristieke jaren aangegeven van welke neerslagtekorten sprake is in het huidige en toekomstige klimaat.

Uit de eerste modellering in het deelprogramma Zoetwater volgt dat de grondwaterstanden in bestaand stedelijk gebied in 2050 onder scenario W+ in het zomerhalfjaar gemiddeld enkele decimeters kunnen dalen ten opzichte van de huidige situatie. Dat 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 zandgronden, zoals in Twente, de Nijmeegse stuwwal, de Utrechtse Heuvelrug en in Brabant. Doordat het fysieke systeem van de steden op zand minder afhankelijk is van peilbeheer en doorspoeling, zullen de schadelijke effecten hier echter

---

<sup>25</sup> De verdamping in steden blijkt uit metingen circa 320 mm te bedragen in een gemiddeld meteorologisch jaar. Op basis van het oppervlak aan stedelijk gebied in Nederland (16%), waarvan naar schatting 45% bestaat uit water en groenvoorziening, kan geschat worden hoeveel water nodig is. Daarbij is aangenomen dat de potentiële verdamping van vegetatie gelijk is aan die van landelijk gebied. In werkelijkheid is de potentiële verdamping van stedelijk groen meestal hoger door hogere temperatuur en lagere luchtvochtigheid van de omgeving.

beperkt zijn. In Laag-Nederland dalen de grondwaterstanden meer dan een decimeter, bijvoorbeeld in Rotterdam, Dordrecht, Delft, Leiden, Amsterdam, Gouda, Woerden, Hoorn, Leeuwarden en Groningen. Hier kunnen wel schadelijke effecten worden verwacht. De drogere omstandigheden onder W+ uit zich mogelijk verder in additionele grondwaterstanddalingen door vergrote grondwateronttrekkingen.

Andere uitkomsten van het modelonderzoek<sup>26</sup> naar de effecten van het W+ scenario zijn:

- Watertekort voor oppervlaktewaterpeilbeheer treedt in het huidige klimaat alleen op grote schaal op in het Zuidwestelijk estuariumgebied (Zeeland, Zuid-Hollandse eilanden). Zelfs in een droog jaar kan elders het peil in het oppervlaktewater nog vrijwel overal (bijna) worden gehandhaafd. Hierbij moet worden bedacht dat hoewel het oppervlaktewaterpeil in stand kan worden gehouden, de grondwaterstanden desondanks dalen. Er is sprake van zgn. holle waterspiegels.
- Ook de bodemvochtgehalten in de onverzadigde zone nemen af t.g.v. de verminderde neerslag en toegenomen potentiële verdamping (er is een aanzienlijk 'neerslagtekort'). Dit heeft vooral negatieve effecten op het stedelijk groen. Overal in Nederland is sprake van een afname, ook in kwelgebieden.
- In Deltascenario G/GE nemen de tekorten voor watervoorziening van regio's die nu al tekorten kennen in 2050 in een droog jaar (herhalingstijd 1/10 jaar) iets toe, vooral door een toegenomen vraag. In W+/RC ontstaan in de meeste regio's tekorten, behalve in Noord-Holland, Friesland en Groningen.
- In 2100 ontstaan bij W+/RC in een droog jaar in alle regio's aanzienlijke tekorten, ook voor oppervlaktewaterpeilbeheer. Op dat laatste zijn de IJsselmeerpolders (kwel), het rivierengebied (veel water voorhanden) en de Gelderse Vallei (kwel) uitzonderingen.
- Er is een grote doorspoelingsvraag langs de kust van Friesland- Groningen, in de diepe droogmakerijen van Midden-West Nederland, in het Westland en op de Zuid-Hollandse eilanden. Een structureel doorspoeltekort doet zich in de modelruns echter in een droog jaar nauwelijks voor, behalve zeer plaatselijk in West-Brabant en op Goeree, noch in het huidige klimaat noch in 2050 bij scenario W+/ RC. Daarbij moet worden aangemerkt dat in de modellering geen rekening is gehouden met een vergrote doorspoelingsvraag ten gevolge van toename van de druk op de waterkwaliteit en verzilting.

### 11.3.2 Demografische en sociaal-economische ontwikkelingen

Demografische en sociaal-economische ontwikkelingen zullen naar verwachting grote invloed hebben op hoe wij wonen en werken. De bevolkingsomvang neemt mogelijk nog toe (door immigratie), stabiliseert of kent lichte krimp. De groei van het aantal kleinere huishoudens blijft doorgaan en bij verdere economische groei en doorzetten van vergrijzing ontstaat een toenemende behoefte aan ruimer wonen en recreatiemogelijkheden. Verstedelijking en druk op ruimte en water nemen hierdoor in ieder geval verder toe, vooral in de Randstad. Bijlage A bevat de kaarten van de ruimtelijke ontwikkelingen in de Deltascenario's. Het effect van de ruimtelijke component in deze scenario's op de watervraag is als volgt:

#### **Global Economy**

In sociaal-economisch scenario GE is er een significante toename van de bevolkingsomvang, een flinke economische groei en een toename van stedelijk gebied ten koste van landbouwgrond.

---

26. Het betreft de uitkomsten van de eerste modelronde in het deelprogramma Zoetwater. Hieraan kleven nog verschillende haken en ogen, waardoor de uitkomsten nog geen definitieve status hebben.



Die groei zet na 2050 nog door. Dat leidt tot:

- een toename van de vraag naar drinkwater
- een grotere industriële watervraag
- een grotere koelwatervraag.

In combinatie met hogere temperaturen betekent dit een toename van de watervraag door de stad, niet alleen door de bevolkingsgroei, maar ook door een groter watergebruik per persoon. Er is in de analyse van het deelprogramma Zoetwater uitgegaan van een vraagtoename voor drink- en industriewater van 30% in 2050.

Omdat het landbouwareaal – de grootste zoetwatervrager – afneemt, neemt op landelijke schaal de vraag naar zoetwater af. Maar lokaal is dat moeilijker aan te geven en kan het ook voorkomen dat de opgave juist groter en door de ruimtelijke verstrengeling van functies, complexer wordt (Deltares, december 2010).

De invloed van deze factoren op de stedelijke watervraag tot 2100 is niet veel anders dan die in de periode tot 2050.

### **Regional Communities**

In dit scenario neemt het landbouwareaal af, maar in veel minder mate dan in het Global Economy scenario. Het areaal natuur neemt sterk toe. Op landelijk niveau is in dit scenario de vraag naar zoetwater het grootst. Tegelijkertijd laat dit scenario ook een beeld zien van meer clustering van ruimtelijke functies, dat wil zeggen dat over het algemeen sprake is van grote aangesloten gebieden met eenzelfde functie, zoals stedelijk wonen en werken, landbouw of natuur. Wanneer de verschillende functies minder verstrengeld zijn, wordt het peilbeheer makkelijker en de opgave voor zoetwatervoorziening kleiner.

De toename van de bevolking is beperkt, om later zelfs te dalen. Ook de economische groei is beperkt. In de analyse van het deelprogramma Zoetwater is uitgegaan van een vraagtoename voor drink- en industriewater van 15% in 2050.

## **11.4 Conclusie**

In de bebouwde omgeving zijn vele functies en factoren afhankelijk van voldoende water van voldoende kwaliteit. Een gebrek aan water zal daarom leiden tot knelpunten en schadeposten. Met name de steden in Laag-Nederland zijn kwetsbaar voor de verhoogde watervraag en watertekorten die behoren bij de droge G+ en W+ klimaatscenario's. Echter, omdat niet goed bekend is wat de exacte watervraag van de stad is (in de modellen is hiervoor een aanname gedaan) en deze tussen en binnen steden sterk kan variëren, kunnen momenteel slechts kwalitatieve uitspraken worden gedaan over aard en omvang van voorziene knelpunten en schades.

Uitgaande van de eerste voorlopige resultaten van de modellering door deelprogramma Zoetwater, zijn op een landelijke schaal in een droog jaar (herhalingstijd 1/10 jaar) geen grote tekorten te verwachten voor het peilbeheer van oppervlaktewater en de doorspoeling van watergangen. Echter, plaatselijk, en in extreem droge jaren, zullen zeker tekorten optreden. Daarbij moet tevens worden aangemerkt dat in de modellering nog geen rekening is gehouden met een toename van de doorspoelvraag ten gevolge van toename van de druk op de waterkwaliteit en verzilting. Er is nog geen informatie beschikbaar om die toename van de watervraag goed te verdisconteren in de modellering.

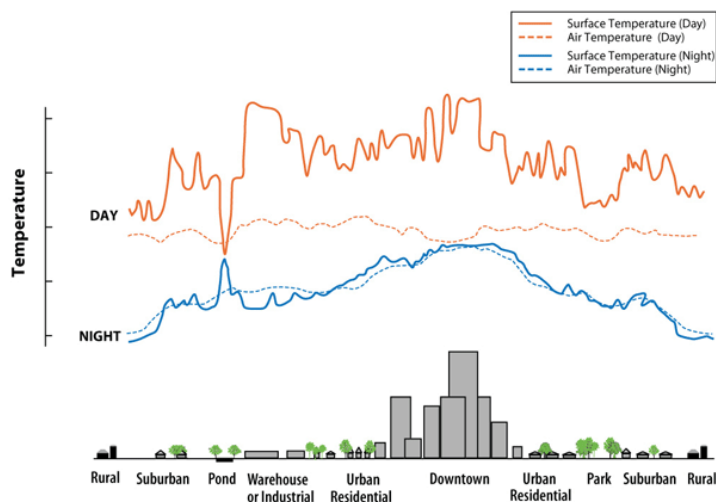
## Deel III. Gezondheid

### 12 Hitte in de stad

#### 12.1 Het stedelijk warmte eiland effect

Stedelijke gebieden hebben specifieke kenmerken die ervoor zorgen dat de temperatuur daar vaak hoger is dan in het buitengebied (Figuur 9.1). Het temperatuurverschil tussen stad en buitengebied wordt aangeduid als het stedelijk warmte-eiland effect. Dit fenomeen wordt ervaren zowel in buitenlandse steden als in Nederlandse. De mate van verharding is één van de belangrijkste oorzaken van het stedelijk warmte-eiland effect. Het ontbreken van groen (en daarmee verkoelende verdamping) en het opnemen van warmte door gebouwen en bestrating spelen eveneens een rol. Oke (1973) heeft het verband gelegd tussen de omvang van het stedelijk gebied (uitgedrukt in inwonersaantallen) en het optreden van temperatuurverschillen tussen stad en land. Voor Europese steden is dit verband gedefinieerd als  $\Delta T_{max} = 2,01 \times \lg P - 4,06$ . Dit verklaart waarom het warmte-eiland effect ook in kleinere plaatsen wordt waargenomen. Een verschil van 4<sup>o</sup> Celsius kan al optreden in plaatsen met 10.000 inwoners.

Het stedelijk warmte-eiland effect manifesteert zich zowel in de zomer als in de winter. Het winterse warmte-eiland effect heeft een positief effect op de gezondheid van mensen. Het zorgt ervoor dat winters in steden minder streng zijn. In de zomer heeft het stedelijk warmte-eiland een sterk negatief effect op de gezondheid van mensen. Met name tijdens hittegolven is het stedelijk warmte-eiland effect verantwoordelijk geweest voor het vroegtijdig overlijden van grote aantallen mensen. De hittegolf die in 2003 Europa teisterde wordt bijvoorbeeld verantwoordelijk geacht voor 80.000 doden in heel Europa (Cheung et al. 2007).



Figuur 12.1: Het stedelijk warmte-eiland effect: verschil in lucht- en oppervlaktetemperatuur tussen stad en buitengebied overdag en 's nachts (Bron: EPA 2008).

Omdat er weinig langdurige temperatuurmetingen in Nederlandse steden bestaan, zijn recentelijk metingen van weeramateurs geanalyseerd om het stadseffect in Nederland te schatten (Steenefeld et al. 2010, Wolters&Bessembinder 2011). Maximum temperatuurverschillen tussen de stad en de dichtstbijzijnde KNMI metingen in het buitengebied bleken te variëren van 1 tot 8 °C, en treden op tijdens zomerdagen met helder

weer en weinig wind. Het stedelijk warmte-eiland effect is het grootst bij windstille en onbewolkte meteorologische omstandigheden. Dit is consistent met de formule van Oke die voor de grootstedelijke agglomeraties van Amsterdam en Rotterdam een maximaal warmte-eiland effect van 8° Celsius voorspelt.

Recente (mobiele) metingen in Rotterdam en Arnhem (Van Hove *et al.* 2010) geven aan dat het warmte-eiland effect 's nachts kan oplopen tot meer dan 7 °C, wederom voornamelijk op heldere en windstille dagen. Overdag zijn de gemeten temperatuurverschillen lager, met waarden tot 2 °C. Groene wijken laten het geringste temperatuurverschil zien met het buitengebied. En parken kunnen in sommige situaties zelfs koeler zijn dan het buitengebied. Het effect van waterpartijen op de omgevingstemperatuur is vooralsnog niet eenduidig (Heusinkveld *et al.* 2011, Verhoeven *et al.* 2009).

Uit modelsimulaties, waarbij onder andere een hittegolfperiode is doorgerekend voor Rotterdam, blijkt dat het stadseffect reikt tot buiten de stad. Tot op ongeveer 10 km buiten de stad zijn verhoogde temperaturen waarneembaar. Met modellen kan ook het effect van antropogene warmte op de temperatuur in de stad worden geschat. Voor Rotterdam blijkt dat de huidige warmte die ontstaat door antropogene activiteiten weinig bijdraagt (~ 0,5 °C) aan het stedelijke warmte-eiland effect. Lokaal zou het temperatuureffect groter kunnen zijn.

## 12.2 Gegevensbronnen

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op de literatuur. Het biedt een samenvatting van enkele hoofdstukken uit de recent verschenen “Kennismontage Hitte en Klimaat in de Stad” (CPC, 2011), die eveneens door het consortium Climate Proof Cities is samengesteld. Daarnaast bevat dit hoofdstuk de eerste resultaten van onderzoek door de TU-Delft naar een wijken-typologie voor warmte in de stad.

## 12.3 Kwetsbaarheid: de effecten van warmte

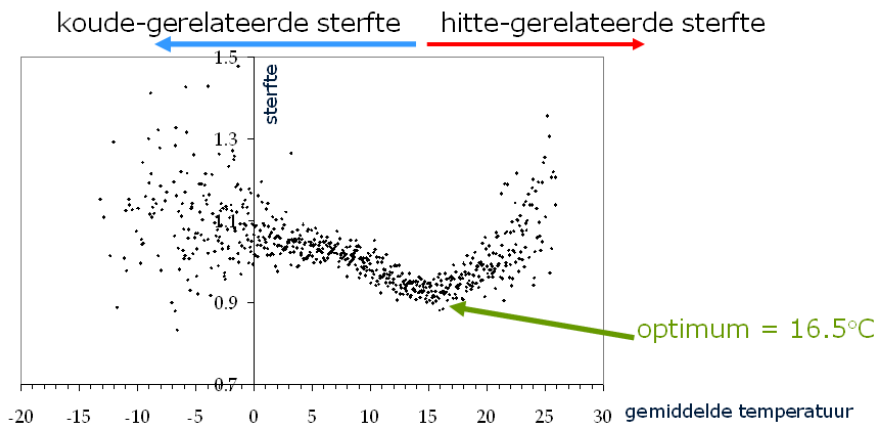
### *Sterfte*

Het effect van temperatuur op sterfte wordt beschreven door een V-vormige relatie (Figuur 12.2): sterfte is het laagst bij een bepaalde optimale temperatuur, en loopt op bij hogere en lagere temperaturen (Huynen *et al.* 2001). De temperatuur die gepaard gaat met de laagste sterfte verschilt per land (Keatinge *et al.* 2000). Dit betekent dat de mens zich kan aanpassen aan het lokale klimaat. Hoewel sterfte in de winter over het algemeen hoger is dan in de zomer, sterven in de zomer meer mensen naarmate de temperatuur toeneemt. Uit onderzoek naar sterfte tijdens hittegolfperioden in Nederland is gebleken dat de sterfte tijdens een hittegolf met 12% toeneemt (overeenkomend met 40 doden per dag). Vooral ouderen boven de 75 blijken kwetsbaar (Kovats&Hajat 2008). Als de buitentemperatuur waarden bereikt tussen 25 en 30°C zijn er in Nederlandse bejaarden huizen 10 extra sterfgevallen vergeleken met buitentemperaturen tussen 15 en 20°C (Mackenbach *et al.* 1997). Thermo-fysiologisch gezien licht een belasting van het cardiovasculaire systeem als oorzaak voor de hand (Hess *et al.* 2009); epidemiologische gegevens suggereren echter een relatie met ademhalingsproblemen (Stafoggia *et al.* 2006, Kovats&Hajat 2008).

### *Gezondheid*

De gevolgen van hitte op gezondheid en ziekte wordt teruggezien in de statistieken van ziekenhuisopnames. In Nederland zijn deze nog niet vanuit dit perspectief niet geanalyseerd, maar wel bijvoorbeeld in het Verenigd Koninkrijk (Johnson *et al.* 2005, Kovats *et al.* 2004), Spanje (Villamil Cajoto *et al.* 2005) en vooral in Frankrijk, waar men de toevloed van opnames tijdens de hittegolf van 2003 niet meer aankon (Vanhems *et al.* 2003, Grémy *et al.*

2004, Lecomte&De Penanster 2004). Die ziekenhuisopnames betreffen vooral nier- en ademhalingsziekten, en vooral ouderen. De toename in ziekenhuisopnames tijdens een hittegolf is echter minder uitgesproken is dan de toename in sterftegevallen. Dit kan te wijten zijn aan het feit dat mensen die tijdens hittegolven sterven, plots overlijden en niet op tijd aan medische hulp geraken.



Figuur 12.2: Relatie tussen gemiddelde dagtemperatuur (°C) en oversterfte in Nederland (Bron: Huynen et al. 2001)

### Slaap

Relatief hoge nachttemperaturen hebben invloed op de nachtrust. Dit uit zich in vaker ontwaken, langere waakperiodes en meer bewegen tijdens de slaap. Het effect van de omgevingstemperatuur op de slaapkwaliteit van oudere bewoners in Rotterdam is recent onderzocht op grond van objectieve metingen van aspecten van de slaap. Dit onderzoek bevestigde dat de gemiddelde buitentemperatuur van het voorafgaande etmaal een negatieve invloed had op de totale slaapduur, de inslaaptijd en de motorische onrust tijdens de slaap. Hoewel de gevonden nadelige effecten van hoge omgevingstemperaturen op de slaapkwaliteit niet groot zijn, blijkt hieruit wel dat ouderen belemmerd worden in hun slaap (Jansen et al., 2010).

Dit bleek ook uit onderzoek gedaan in het afgelopen jaar naar de warmtebeleving bij ouderen in Tilburg. Uit dit onderzoek gebaseerd op vragenlijsten bij 300 ouderen en metingen bij 14 ouderen thuis bleek dat 19% van de ouderen ernstig gehinderd is door de warmte en 17% ernstig verstoord in de slaap. De meest voorkomende gezondheidsklachten waren vermoeidheid, slecht slapen en benauwdheid. De hinder bleek samen te hangen met de ligging van de slaapkamer op de zonnkant en de mogelijkheid tot ventilatie, maar ook met fysieke en psychosociale factoren (Van Daalen&Van Riet 2010).

### Thermisch comfort

Hoge temperaturen zijn niet alleen bepalend voor de gevolgen van hitte op de mens en gezondheid. Ook andere aspecten, zoals zonnestraling, warmtestraling van gebouwen, schaduw, wind, en luchtvochtigheid bepalen de mate waarin warmte, en ook koude, door de mens als belastend of comfortabel ervaren wordt. Dit wordt het thermisch comfort genoemd. Een indicator die informatie geeft over het thermisch comfort is de gevoelstemperatuur. Metingen voor Rotterdam laten zien dat het verschil in de gevoelstemperatuur tussen stad en buitengebied op een zomerse dag kan oplopen tot meer dan 15 °C. Op schaduwloze en windluwe plekken in de stad is de gevoelstemperatuur het hoogst, en in wijken met veel laagbouw en groen het laagst (Heusinkveld et al., 2011). Wanneer het thermisch comfort boven een bepaalde drempelwaarde uitkomt (afhankelijk van de gekozen indicator), kan men van hittestress spreken. Op grond van meetanalyses van weeramateurgegevens, is

geschat dat in ongeveer 50% van de stedelijke gebieden in Nederland hittestress kan optreden gedurende 7 dagen per jaar. In dichtbebouwde wijken komt hittestress vaker voor dan in ruimer opgezette wijken (Daanen et al., 2010).

#### *Arbeidsproductiviteit*

Hitteduur en -intensiteit bepalen het menselijk functioneren en daarmee ook de arbeidsproductiviteit. De Gezondheidsraad (2008) beschrijft recente inzichten over de nadelige effecten van hitte op de werkplek en veiligheidkundige grenswaarden. Blootstelling aan hitte ten gevolge van hoge buitentemperaturen komt voor bij werkers in de bouw, wegenbouw, landbouw, in het leger en bij bestuurders van voertuigen zonder airconditioning en werkers in gebouwen met slechte klimaatregeling. De hittebeelden die tot dusver gegenereerd zijn laten zien dat overdag de hoogste oppervlakte temperaturen ontstaan op de grote bedrijfsterreinen. Wanneer op deze terreinen als gevolg van industriële processen in de gebouwen nog eens extra warmte ontstaat dan kan dat leiden tot zeer slechte arbeidsomstandigheden.

#### *Sociale overlast en irritaties*

In de zomerperiode wordt meer overlast ondervonden. Men heeft doorgaans meer vrije tijd beschikbaar en het leven verplaatst zich meer naar de buitenruimte. Meer mensen moeten van dezelfde ruimte gebruik maken, waardoor meer op elkaar en de omgevingskwaliteit wordt gelet. Geluidsoverlast is een bekend verschijnsel. Bewoners doen bij warm weer eerder de ramen open en daarmee valt een belangrijk deel van de geluidwerende functie van de gevel weg. Ook bestaat er een directe relatie tussen verhoogde temperaturen en agressief gedrag, onder andere door de combinatie van een verhoogd irritatie- en een verlaagd tolerantieniveau (Anderson, 1989). Ook een hoger alcoholgebruik speelt hierbij een rol (Cohn, 1990). Andere overlastbronnen zijn zwerfvuil dat door het buitenverblijf op kan lopen en stank van huisvuil, doordat verrotting sneller optreedt. Beiden hebben consequenties voor de wijze en frequentie van afvalwerking.

## **12.4 Blootstelling: wat beïnvloedt het stedelijk warmte-eiland effect?**

Over het algemeen kan worden gesteld dat de volgende lokale condities het stedelijk warmte-eiland effect bevorderen:

- Ligging in (groot)stedelijk gebied;
- Hoge verhardingsgraad, zowel als gevolg door bebouwing, als ook door bestrating;
- Hoge bebouwingsdichtheid (hoge warmteabsorptie en geringe sky view factor);
- Afwezigheid van beplanting (weinig omzetting van warmte in verdamping);
- Lage albedowaarde van bestrating, gevels en daken (weinig weerkaatsing zonlicht);
- 'Ruwheid' van het stedelijk gebied (minder wind);
- Ongunstige oriëntatie verkaveling ten opzichte van zon en overheersende windrichting;
- Antropogene warmte veroorzaakt door energiegebruik in huishoudens en bedrijven.

Veel van deze aspecten treden op in samenhang. Ligging in grootstedelijk gebied, hoge verhardingsgraad en hoge bebouwingsdichtheid gaan goed samen. Daarmee wordt het mogelijk om gebiedsgerichte uitspraken tot doen over grotere eenheden die vergelijkbare karakteristieken kennen. Beleid ten aanzien van de gebouwde omgeving maakt regelmatig gebruik zulke stedelijke typologieën. Er zijn echter tal van verschillende van die typologieën in omloop. In klimaatonderzoek komen we dan ook verschillende van deze benaderingen tegen. TNO (Klok *et al.* 2010) maakt gebruik van de gebiedstypen zoals deze beschreven zijn in de Koepelnota Welstand Rotterdam. De provincie Zuid-Holland maakt gebruik van de

gemeenschappelijke taal voor de woonmilieus in de regio Rotterdam (Rosetta) van de Maaskoepel, Federatie van Woningcorporaties. Het Planbureau voor de Leefomgeving hanteert een eigen indeling van stedelijke milieus, ingedeeld naar vier hoofdcategorieën: centrummilieus, woonmilieus, werk milieus en overige milieus. Deze laatste indeling maakt het mogelijk landsdekkende uitspraken te doen. Alle milieus of gebiedstypen kennen echter de beperking dat ze met oog op geheel andere (beleids)doeleinden ontwikkeld zijn, en dus tot stand gekomen zijn op basis van andere parameters dan bovenstaand weergegeven. Problemen met stedelijke warmte kunnen vooral optreden bij de zogenaamde centrummilieus hoogstedelijk, stedelijk en perifeer, de woonmilieus, hoogstedelijk, en stedelijk, en bij alle werkmilieus. Deze milieus worden gekenmerkt door een hoge mate van verharding, dichtheid, en gebrek aan groen. Zaken als slaapverstoring of gezondheidsklachten bij ouderen treden echter niet op in de werkmilieus of in de perifere centrummilieus. Bewoners ontbreken hier immers.

Figuur 12.3 illustreert enkele voorbeelden van deze typologieën aan de hand van Rotterdamse wijken die zijn gecategoriseerd naar het PBL-model. Binnen elke typologie is er sprake van een zekere bandbreedte. Op basis van Oke (2006) zijn enkele parameters die van invloed kunnen zijn op stedelijke warmte in kaart gebracht en gekoppeld aan de oppervlaktetemperatuurkaart van Rotterdam (Klok *et al.* 2010). Om de verbanden tussen parameters te kunnen illustreren zijn koppels van wijken gekozen die typologisch verwant zijn en/of in elkaars nabijheid liggen.

De parameters (aangegeven in het linkerboven blok van Figuur 12.3) zijn:

- De gemiddelde hoogte-breedteverhouding van de straten (profiel H/W), als indicator van het warmtevasthoudend vermogen.
- het percentage verhard oppervlak, als som van het bebouwd oppervlak, verhard publiek oppervlak en een ingeschat percentage verhard privé-oppervlak, als indicator van het warmte-absorberend vermogen en de verdampingsmogelijkheid<sup>27</sup>.
- Het percentage openbare ruimte dat bestaat uit natuurlijk, doorlatend materiaal, als indicator van koel, doorlatend oppervlak waar verdamping kan optreden.
- De stedelijke dichtheid, uitgedrukt in FSI (Floor Space Index, GSI (Ground Space Index) en OSR (Open Space Ratio) (Berghauser Pont&Haupt 2002)), als indicator van het warmte-absorberend vermogen en de druk op de open ruimte.
- De gemiddelde bouwhoogte, die een indicatie geeft van de grens van de atmosfeer op leefniveau (urban canopy layer).

Het oppervlakte hoogstedelijk woonmilieu in Nederland, dat bijzonder hittegevoelig is en waar mensen wonen en slapen, bedraagt 43.500 ha (Tabel 12.1). Daarnaast is een deel van het centrum hoogstedelijk milieu ook woongebied.

<sup>27</sup> De verdampingsmogelijkheid van onverhard oppervlak wordt daarnaast beïnvloedt door de beschikbaarheid van bodemwater, welke uiteraard groter is in de veen en kleigebieden van laag-Nederland dan in zandgebieden.

Tabel 12.1 Indicatie hittegevoelige stedelijke milieus.

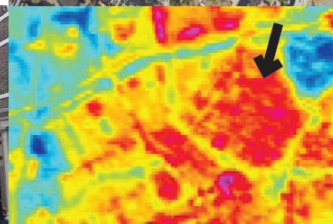
	km2 (Ritsema Van Eck <i>et al.</i> 2009)	verhard	OR natuurlijk	FSI	H/W	Gem bouwhoogte
Centrum hoogstedelijk	16,4	> 95%	< 5%	>2	0,5-1,3	10-20
Centrum stedelijk	96,1	> 95%	< 5%	1,5-2	0,5-1,3	10-15
Detailhandel perifeer	37,5	> 95%	< 5%	>2	0,3-0,5	10-15
Wonen hoogstedelijk	43,5	75-85%	<10%	1-2,5	0,4 - 0,6	10-20
Wonen stedelijk	332,1	> 60%	10-15%	0,5-1	0,2- 0,4	6-10
Kantoren hoogstedelijk	4,2	> 95%	< 5%	>2,5	0,6-1	>20
Kantoren perifeer	14,8	75-85%	5-10%	1-1,5	0,4-0,6	10-15
Bedrijfsterrein gewoon	805,6	> 95%	< 5%	0,4-0,6	0,2-0,4	6-10
Bedrijfsterrein klein en rand	627,2	> 95%	< 5%	<0,5	0,2-0,4	<6

Figuur 12.3 Voorbeelden van stedelijke typologieën (ziet tekst voor verklaring karakteristieken).

### Hoogstedelijk woonmilieu

compact stenig, vooroorlogs

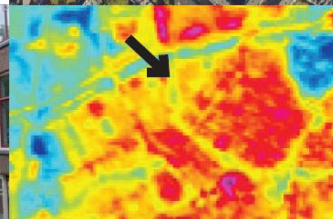
profiel (H/W)	0,45
verhard	84%
OR natuurlijk	0%
FSI/GSI/OSR	1,3/0,4/0,5
gem.bouwhoogte	12m



### Hoogstedelijk woonmilieu

compact stenig, vooroorlogs

profiel (H/W)	0,57
verhard	76%
OR natuurlijk	9%
FSI/GSI/OSR	1,2/0,3/0,6
gem.bouwhoogte	13m



### Liskwartier-Oude Noorden

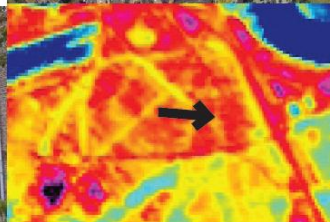
Het Liskwartier en het Oude Noorden zijn beide compacte, stenige, vooroorlogse wijken in de categorie hoogstedelijk woonmilieu, maar het Liskwartier heeft een lagere oppervlaktetemperatuur. Gezien de vergelijkbare dichtheden, kan dit verklaard worden door de verschillen in verhard oppervlak en het openbare natuurlijke oppervlak. Aan de hand van straatbeeld en luchtfoto's is duidelijk ook een groot verschil in aantallen en grootte van bomen te zien.



## Hoogstedelijk woonmilieu

compact stenig, vooroorlogs

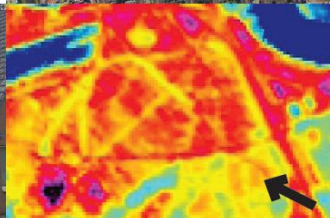
profiel (H/W)	0,55
verhard	81%
OR natuurlijk	2%
FSI/GSI/OSR	1,0/0,3/0,7
gem. bouwhoogte	9m



## Stedelijk woonmilieu

Tuindorp, vooroorlogs

profiel (H/W)	0,23
verhard	61%
OR natuurlijk	8%
FSI/GSI/OSR	0,4/0,2/1,7
gem. bouwhoogte	6m



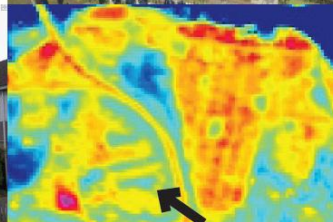
### Hillesluis-Vreewijk

Hillesluis is opvallend warmer dan het naastgelegen Vreewijk. Het verschil in dichtheid en verharde ruimte is aanzienlijk. Ook zijn in Hillesluis overwegend platte, donkere daken die de hele dag blootgesteld worden aan zonnestraling, waar de schuine daken van Vreewijk dit niet worden. De hogere hoogte-breedteverhouding in Hillesluis indiceert verder het langer vasthouden van de ontvangen en gegenereerde warmte.

## Laagstedelijk woonmilieu

groen-kleinstedelijk

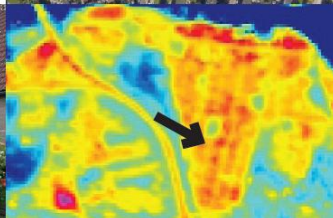
profiel (H/W)	0,24
verhard	50%
OR natuurlijk	20%
FSI/GSI/OSR	0,4/0,2/2,2
gem.bouwhoogte	8m



## Stedelijk woonmilieu

groen-stedelijk

profiel (H/W)	0,36
verhard	59%
OR natuurlijk	14%
FSI/GSI/OSR	0,6/0,2/1,4
gem.bouwhoogte	8m



### Groenenhagen-Beverwaard

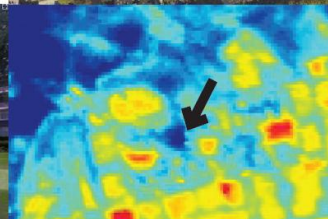
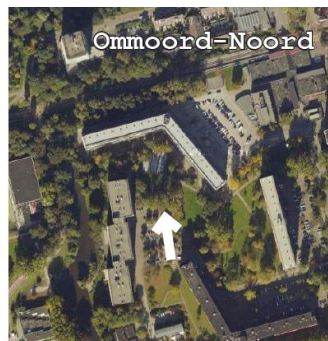
Twee suburbane woonwijken, waarbij Groenenhagen opvallend 'koel' is. De verklaring ligt hier in het verschil in dichtheid en het aandeel natuurlijk oppervlak in de openbare ruimte. Ook zijn er in Beverwaard delen met meer platte, donkere daken. De bomen in Beverwaard zijn over het algemeen ook jonger en minder in staat de opwarming van stenige materialen tegen te gaan.



### Woonmilieu bij stedelijk groen

groen-stedelijk, 'tuinstad hoog'

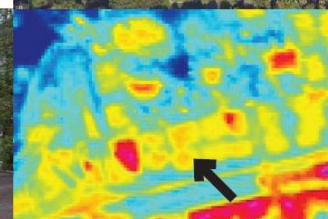
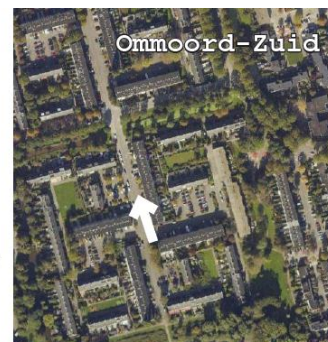
profiel (H/W)	0,42
verhard	50%
OR natuurlijk	50%
FSI/GSI/OSR	1,2/0,1/0,7
gem.bouwhoogte	35m



### Laagstedelijk woonmilieu

groen-stedelijk, 'tuinstad laag'

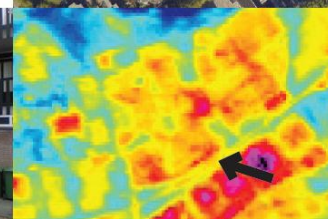
profiel (H/W)	0,27
verhard	50%
OR natuurlijk	17%
FSI/GSI/OSR	0,5/0,2/1,7
gem.bouwhoogte	8m



### Stedelijk woonmilieu

groen-stedelijk, 'bloemkoolwijk'

profiel (H/W)	0,25
verhard	60%
OR natuurlijk	9%
FSI/GSI/OSR	0,6/0,2/1,3
gem.bouwhoogte	8m



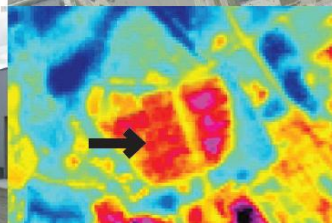
## Ommoord- Zevenkamp

Ook in groenstedelijke suburbane wijken zijn verschillen te zien. De hoogbouwwijk Ommoord-Noord is opvallend koel, vanwege het grote aandeel natuurlijk oppervlak, de vele volgroeide bomen en de grote ruimte tussen de gebouwen, waardoor warmte gemakkelijk kan ontsnappen. Ommoord-Zuid is laagstedelijk, compacter, heeft opvallend minder openbaar natuurlijk oppervlak en veel platte daken en is hierdoor ook duidelijk warmer. 'Bloemkoolwijk' Zevenkamp is nog wat warmer. De wijk is compacter, meer verhard en hierdoor stedelijk te noemen. Er is opvallend weinig natuurlijk oppervlak in de openbare ruimte.

### Bedrijfsterreinmilieu 'gewoon'

Stenig extensief

profiel (H/W)	0,23
verhard	95%
OR natuurlijk	5%
FSI/GSI/OSR	0,6/0,4/1,1
gem.bouwhoogte	6m



### Bedrijventerrein Noord-west

Bedrijvenpark Noord-West geeft een goede afspiegeling van een bedrijfsterrein-werkmilieu. Het extensieve ruimtegebruik met een extreem hoog verhardingspercentage, grote platte en donkere daken en weinig groen resulteert in een hoge oppervlaktetemperatuur. De warmte zal 's avond wel snel weg kunnen door de gunstige straatprofielverhouding en de laagwaardige isolatie en warmte-absorberend vermogen van de bedrijfshallen.

## 12.5 Effecten van de Deltascenario's in 2050

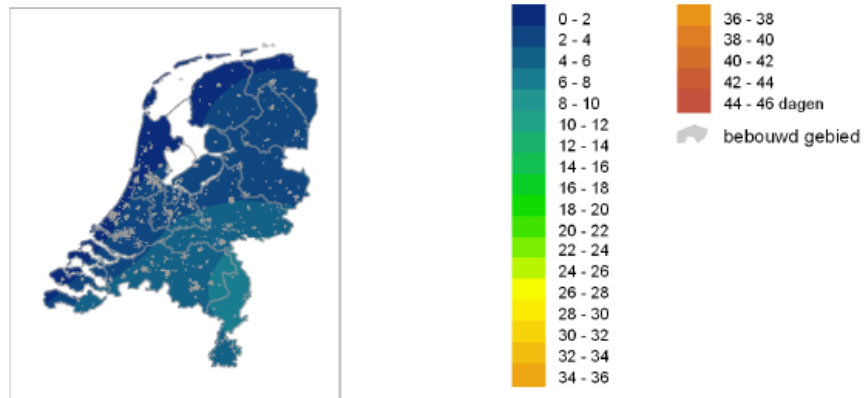
### 12.5.1 Gevolgen van klimaatverandering

In een warmer wordend klimaat zullen ook in Nederland warmere zomers en zachtere winters vaker voorkomen. De KNMI'06 scenario's geven aan dat de gemiddelde zomertemperatuur in Nederland rond 2050 met 0,9 tot 2,8 °C zal zijn gestegen ten opzichte van het huidige klimaat (1990). De temperatuur op de warmste zomerdag zou verhoogd worden met 1,0 (G-scenario) tot 3,8 °C (W+scenario).

Klimaatonderzoekers verwachten dat het aantal hittegolven in de komende eeuw ook stijgt, maar over de exacte toename in frequentie en duur van hittegolven kan het KNMI op dit moment nog geen betrouwbare uitspraken doen. Wel is berekend dat er meer tropische dagen zullen zijn in de toekomst: gemiddeld 7 tot 15 tropische dagen per jaar ten opzichte van gemiddeld 4 in het huidige klimaat. Tropische dagen zijn dagen waarop de maximumtemperatuur hoger is dan 30 °C. Er is een relatief grotere toename in het zuidoosten van het land (Figuur 12.4).

Deze schattingen gelden voor De Bilt. In de kustgebieden zullen de gemiddelde zomertemperatuur en het aantal hete en tropische dagen iets lager liggen dan meer landinwaarts. In steden met name in de grootstedelijke agglomeraties zal dit aanzienlijk hoger liggen. Het is hier immers tot 8° Celsius warmer dan in het buitengebied van De Bilt.

*Figuur 12.4 Aantal tropische dagen per jaar.*  
1976 - 2005



2050 W



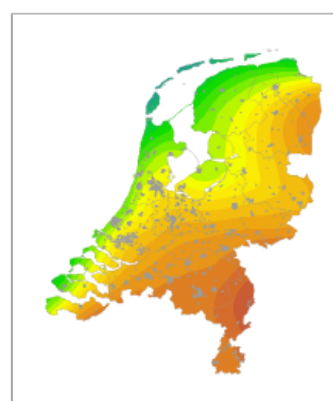
2100 W+



2050 W+



2100 W+



*NB: gebaseerd op automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. Lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations. Bron: KNMI.*

Voor zover nu bekend, heeft klimaatverandering geen invloed op de temperatuurverschillen stad en land. Dat wil zeggen dat de opwarming door klimaatverandering direct bovenop de hogere temperaturen in de stad geteld mag worden. Een voortschrijdende verstedelijking heeft daarentegen wel invloed op het stedelijk warmte-eiland. Dat warmte-eiland is immers afhankelijk van de omvang van het stedelijk gebied (zie paragraaf 12.3).

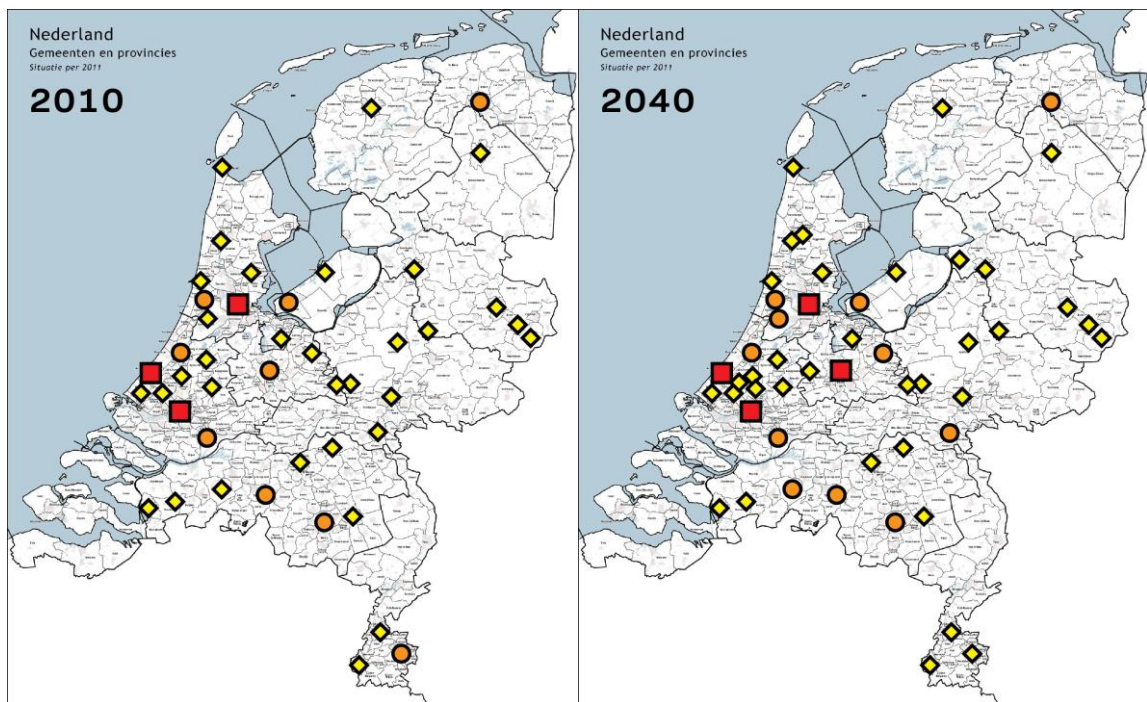
Een bijna verdubbeling tot verveelvoudiging van het aantal tropische dagen betekent het vaker voorkomen en intenser worden van de effecten van hitte in de stad:

- Zowel morbiditeit als mortaliteit nemen toe in hitteperiodes (Janssen *et al.* 2010).
- Hitte vermindert het thermisch comfort in de stad tijdens de zomer: op dat moment is het minder aangenaam om er te werken, wonen of recreëren.
- Hitte in de buitenomgeving wordt in zekere mate vertaald naar hitte in de binnenomgeving. Tenzij gebruik gemaakt wordt van airconditioning, zal het thermisch comfort in de binnenomgeving van gebouwen afnemen.
- Hitte is nadelig voor de luchtkwaliteit en zorgt voor meer kans op smogvorming in de stad (zie hoofdstuk 13).
- Hitteduur en -intensiteit bepalen het menselijk functioneren en daarmee ook de arbeidsproductiviteit en sociale overlast.

#### 12.5.2 Gevolgen van verstedelijking

In de meeste stedelijke gebieden in Nederland zal het aantal inwoners toenemen of tenminste gelijk blijven tot aan 2040. In Figuur 12.5 zijn de steden met het sterkste warmte-eiland effect weergegeven voor het jaar 2010. In Figuur 12.6 is rekening gehouden met de huidige prognoses ten aanzien van de bevolkingsontwikkeling tot aan 2040. Het warmte-eiland effect neemt duidelijk toe als gevolg van de bevolkingsontwikkeling. Alleen in Zuid Limburg is die trend omgekeerd. In Zuid Holland zien we bovendien dat het warmte-eiland effect tussen de grootstedelijke agglomeraties Rotterdam en Den Haag nog eens toeneemt. De vraag is of we beide agglomeraties in 2040 nog wel los van elkaar kunnen beschouwen. Wanneer dat niet het geval is dan hebben we te maken met een agglomeratie van meer dan 2,3 miljoen inwoners en een bijbehorend warmte-eiland van bijna 9° Celsius.





Figuur 12.5 en Figuur 12.6 Het stedelijk warmte-eiland effect in resp. 2010 en 2040.

Legenda: wiebertjes:  $5,5^{\circ}\text{C} \leq \text{UHI} < 6,5^{\circ}\text{C}$  / rondjes:  $= 6,5^{\circ}\text{C} \leq \text{UHI} < 7,5^{\circ}\text{C}$  / vierkantjes:  $7,5^{\circ}\text{C} \leq \text{UHI} < 8,5^{\circ}\text{C}$

Verstedelijking draagt ertoe dat vooral in de Randstad stedelijke kernen in omvang toenemen en aan elkaar groeien (agglomereren). Op basis van toename/afname van de bevolking zien we verschuivingen in de range van  $0,4^{\circ}$  tot  $-0,4^{\circ}$  Celsius. Agglomeratie-effecten gaan in de richting van  $0,75^{\circ}$  Celsius. Ook neemt het aantal mensen dat gehuisvest is in een stedelijk warmte-eiland toe.

Klimaatverandering leidt al tot een meer dan verdubbeling van het aantal tropische dagen in Nederland in 2050, verstedelijking leidt ertoe dat in stedelijke gebieden dit aantal nog verder vergroot wordt. Zonder adaptatie leidt tot een flinke groei van de extra sterfte onder ouderen. Een verstedelijkingsscenario zoals GE betekent, zeker samen met een warm klimaatscenario, een grote opgave voor de stedenbouw. De maximum temperaturen binnen het stedelijk warmte eiland treden echter lokaal op. Specifieke typologieën zijn aantoonbaar kwetsbaarder dan anderen, ook binnen grootstedelijke agglomeraties.

In het RC scenario, daarentegen, neemt het verstedelijkt areaal af. Stadsranden groeien nog wel, maar waarschijnlijk met meer ruimte voor groen. De hitte problematiek is een stuk minder dan in GE.

## 12.6 Doorkijk naar 2100

In 2100 neemt de gemiddelde landelijke temperatuur in de zomer toe met  $1,7$  (G-scenario) tot  $5,6$  °C (W+scenario). De temperatuur op de warmste zomerdag zou verhoogd zijn met  $2,1$  (G-scenario) tot  $7,6$  °C (W+scenario). Het dichtgroeien van de Randstad in het "hoog/sociaaleconomische groei" scenario vormt tezamen met de stijgende zomertemperaturen een forse opgave om hitte in de stad te beperken. De afzonderlijke

warmte-eilanden groeien samen en een groot deel van de bevolking krijgt te maken met het stedelijk warmte-eiland effect bovenop de wereldwijde temperatuurstijging. Beide effecten vergroten de lengte en intensiteit van hittegolven, en daarmee de extra sterfte onder ouderen, wanneer geen aanpassingsmaatregelen getroffen worden.

In het "laag/sociaaleconomische krimp" scenario blijft hitte in de stad een issue in de nog steeds dichtbevolkte stadskernen. De opgave in deze situatie bestaat eruit om met instandhouding van het stedelijk karakter toch zoveel mogelijk verkoelende elementen in en tussen de bestaande bebouwing te realiseren.

## 12.7 Conclusie

De stad veroorzaakt een bijzonder lokaal klimaat waarbij temperaturen significant hoger liggen dan in het omliggende landelijk gebied. Dit zogenaamde warmte-eiland effect treedt reeds op in middelgrote plaatsen maar treedt sterker op in grootstedelijke agglomeraties.

Klimaatverandering zorgt ervoor dat hittegolven vaker zullen optreden. Door de combinatie klimaatverandering en verstedelijking krijgen stedelijke gebieden (en steeds meer inwoners daarvan) in 2050 met regelmaat te maken met temperaturen die hun weerslag hebben op sterft onder ouderen, gezondheid, comfort, sociale verhoudingen en een hoger gebruik van water/energie.

De specifieke kenmerken van het stedelijk gebied die het warmte-eiland veroorzaken zijn bekend. Hiermee is een indicatie te geven van het type stedelijk gebied dat sterker geconfronteerd wordt door het warmte eiland effect dan andere gebieden. Dit hoofdstuk heeft hiertoe een aanzet gegeven; verdere uitwerking is nog nodig.



## 13 Luchtkwaliteit

### 13.1 Hitte en luchtverontreiniging

Zowel de emissie van luchtverontreinigende stoffen, als de verspreiding en de verwijdering door depositie worden beïnvloed door klimaatverandering, vaak met zowel positieve als negatieve aspecten op de luchtkwaliteit. Het netto effect is niet direct duidelijk (Van Dijk et al., 2010).

Volgens grootschalige modelstudies neemt de concentratie van troposferisch ozon en  $\text{NO}_2$  in de zomer voornamelijk in het Noordelijke deel van Europa toe ten gevolge van klimaatveranderingen (Vautard en Hauglustaine, 2007; Giorgi en Meleux, 2007). Dit wordt veroorzaakt door een toename van de straling, van de temperatuur en van meer stabiele weersomstandigheden. De voorspelde toename van hittegolven leidt tot meer en langere perioden van zomersmog. Dit is een typisch grootschalig fenomeen op Europese schaal, gekenmerkt door hoge ozon concentraties.

Het is te verwachten dat ook de concentratie van fijn stof zal toenemen met het vaker voorkomen van stabiele, warme en droge weersomstandigheden. Het gaat vooral om  $\text{PM}_{10}$ ; de fijnere deeltjes ( $\text{PM}_{2,5}$ ) ontstaan door verbranding. Dit is vooral een lokaal verschijnsel. Ook nu al komen overschrijdingen van de jaargemiddelde  $\text{PM}_{10}$  norm op warme dagen vaker voor, waarbij de frequentie van voorkomen van overschrijdingen in steden dan weer groter is dan daarbuiten.

Hoe langer een hittegolf duurt, hoe meer kans op normoverschrijdingen van  $\text{PM}_{10}$  en ozon. Omdat ozon door net uitgestoten  $\text{NO}$  wordt afgebroken, is in steden, met veel verkeer en uitstoot van  $\text{NO}$ , de blootstelling aan hoge ozon concentraties relatief lager dan op het omringende platteland.

Door klimaatverandering zouden in de winterperiode daarentegen, de concentraties verontreinigende stoffen lager kunnen worden door toename van de gemiddelde windsnelheid en een verhoging van de menglaaghoogte vanwege hogere temperaturen (Timmermans en Builtjes, 2008).

Zowel ozon als fijn stof leiden bij de mens bij langdurige blootstelling aan verhoogde concentraties tot verminderde longfunctie en verhoogde gevoeligheid voor luchtweginfecties. Tijdens warme periodes sterven meer mensen aan respiratoire aandoeningen (Huynen et al., 2001). Mogelijke verklaringen hiervoor zijn het vaker voorkomen van concentraties van luchtverontreinigende stoffen boven drempelwaarden en mogelijk een versterkend effect van hoge temperaturen (hittestress).

### 13.2 Gegevensbronnen

Er bestaat nog geen systematische verkenning van de effecten klimaatverandering en toekomstige verstedelijking op de (stedelijke luchtkwaliteit) in Nederland. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de internationale en nationale literatuur op dit gebied. Van deze studies wordt een overzicht gegeven in Van Dijk et al.(2010).

### 13.3 Effecten van de Deltascenario's in 2050

Onder invloed van Europees en nationaal luchtverontreinigingsbeleid zullen de concentraties van ozon en  $\text{PM}_{10}$  over het algemeen een dalende lijn vertonen (Velders et al., 2010). Onder

de Deltascenario's 'stoom' en 'warm' (met snelle klimaatverandering) zal een groter aantal inwoners zijn blootgesteld aan hoge concentraties luchtverontreinigende stoffen dan onder scenario's met minder klimaatverandering. Concentratie van bewoning in de steden leidt tot meer blootstelling aan hoge fijn stof concentraties, voor blootstelling aan ozon maakt de verstedelijkingsvorm weinig verschil uit.

Zolang het effect van klimaatverandering op de concentraties niet gekwantificeerd is<sup>28</sup>, zijn meer gedetailleerde uitspraken over het effect van hitte ten opzichte van het effect van emissievermindering in de toekomst, niet mogelijk.

Verdichting in steden kan leiden tot minder doorstroming en daarmee een verslechterde luchtkwaliteit en andersom kan het openhouden van windcorridors bijdragen tot een verbeterde luchtkwaliteit. Hoe groot deze effecten zijn in situaties met zomersmog, die net als hittegolven juist gekenmerkt worden door het ontbreken van wind, is onderdeel van verder onderzoek in Climate Proof Cities. De stedelijke vorm kan echter mede bepalend zijn voor de effecten van de klimaat en verstedelijkingsscenario's.

Het optreden van hoge concentraties ozon op leefniveau en in mindere mate geldt dit ook voor fijn stof, is een milieuprobleem dat wordt veroorzaakt door luchtverontreinigende emissies op het gehele noordelijke halfrond. Het verminderen van emissies is dan ook de belangrijkste manier om stedelijke luchtkwaliteit te verbeteren. Klimaatverandering met enerzijds een verwachte toename van ozon op leefniveau en anderzijds een uitnodiging om meer naar buiten te gaan levert hierbij een extra argument voor emissiebeleid.

Omdat de concentratie van ozon in Nederland overal nagenoeg hetzelfde is, is hier volstaan met het illustreren van de verspreiding van PM<sub>10</sub> in 2010. Het stedelijk gebied en grote wegen dragen bij tot de achtergrondconcentratie van fijn stof (Figuur.13.1).

#### **13.4 Doorkijk naar 2100**

De mate waarin er overlast door luchtverontreiniging blijft voorkomen is voornamelijk afhankelijk van Europees en nationaal luchtverontreinigingsbeleid. Verder blijven de relaties die in 13.2 vermeld zijn ook na 2050 gelden.

#### **13.5 Conclusie**

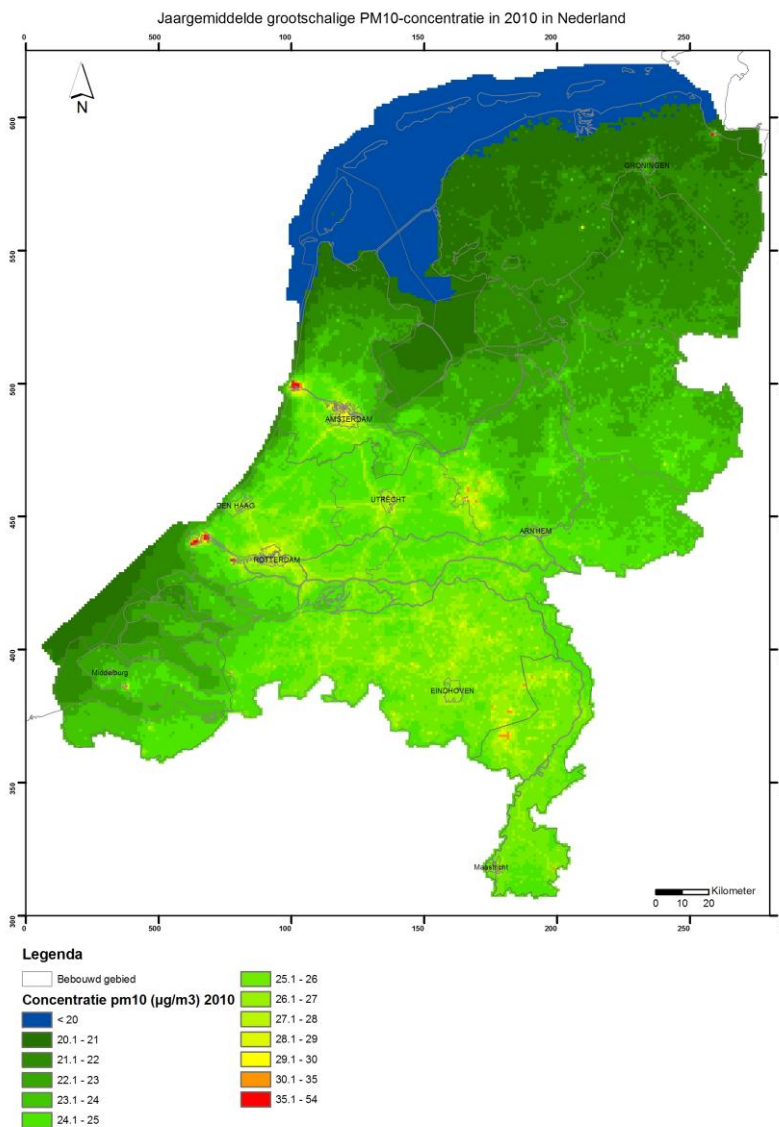
Door beleid gericht op vermindering van luchtverontreinigende emissies zijn de concentraties van ozon en fijn stof in de jaren 90 sterk gedaald. Voor fijn stof worden alleen lokaal gezondheidsnormen overschreden. Bij voortgezet beleid mag worden aangenomen dat deze daling doorgaat en lange termijn normen voor de volksgezondheid worden gehaald. Klimaatverandering en met name het effect van temperatuurstijging en droge zomers, kunnen weer tot een verhoging van de concentraties van fijn stof en ozon leiden. Zolang het effect van klimaatverandering op de concentraties niet gekwantificeerd is, zijn meer gedetailleerde uitspraken niet mogelijk.

---

<sup>28</sup> Op dit moment worden simulaties van luchtkwaliteit onder een klimaatscenario voor 2050 uitgevoerd, waarbij het de bedoeling is het effect van opwarming zichtbaar te maken. TNO en KNMI voorzien in de tweede helft van 2011 resultaten te hebben.

Verstedelijking kan leiden tot een frequenter voorkomen van lokaal verhoogde fijn stof concentraties. Daarentegen is de stedelijke vorm ook mede bepalend voor het optreden van windcorridors en het voorkomen van hoge concentraties.

Figuur 13.1 Jaargemiddelde grootschalige PM<sub>10</sub>-concentratie (µg/m<sup>3</sup>) in 2010.



NB: jaargemiddelde van 24-uurswaarden. De kaart laat de achtergrondconcentraties zien, lokaal kunnen verhoogde concentraties optreden.

Bron: RIVM, Grootschalige Concentratie- en Depositiekaarten Nederland (GCN en GDN)

## Literatuur

- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks & R.J. Wolleswinkel, 2007. Artikel 5510: Maaiveldddaling, afbraak en CO2 emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, afl. 83, Sdu, Den Haag, 32 p. Alterra-rapport 1791, ISSN 1566-7197, in opdracht van LNV
- Anderson, C. A. ,1989. Temperature and Aggression: Ubiquitous Effects of Heat on Occurrence of Human Violence. Psychological Bulletin, 106 (1), pp. 74-96.
- Arcadis, 2009. Inventarisatie knelpunten waterveiligheid buitendijks. Rapportnr. C03031.000154.
- Arcadis, 2011. Buitendijks in beeld Deel I: definitiestudie en Deel II kaartenstudie. Arcadis, Rotterdam. . In opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Asselman, N. en H. van der Most, 2010. Second opinion "Risicomethode buitendijks", Deltares.
- BB, 2011. Fundering leidt onder droogte. Artikel in Binnenlands Bestuur, 17-06-2011. <<http://www.binnenlandsbestuur.nl/vakgebieden/ruimte-milieu/fundering-lijdt-onder-droogte.1245501.lynkx>>
- BCC & WL | Delft Hydraulics, 2004. Toetsing kruinhoogten boezemkaden binnen dijkkring 14 en 44, deelrapporten waterschappen Schieland, Rijnland, Delfland, Amstel, Gooi en Vecht en de Stichtse Rijnlanden. WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands
- Berghauser Pont, M. Y. & Haupt, P. A., 2002. Spacemate. FSI-GSI-OSR als instrumentarium voor verdichting en verdunning. Amsterdam: PERMETA architecten.
- Beter Bouw- en Woonrijp Maken/SBR, 2009. Bouwen, de kracht van kwetsbaarheid in een duurzaam ontwerp, SBR artikelnummer: 604.08, ISBN 978 90 5367 496 3
- Brouwer, M. en J. Post, juni 2009. Hemelwater op het maaiveld. Hogeschool van Amsterdam en Waternet.
- Bruggeman, Willem, Marjolijn Haasnoot, Saskia Hommes, Aline ter Linde, Rutger van der Brugge, Bart Rijken, Ed Dammers, Gert Jan van den Born, 2010. Deltascenarios. Omgevingsscenario's voor probleemanalyse en scenarioverkenning in het Deltaprogramma 2011-2012. Deltares/PBL. CONCEPT4.
- Bruijn, K.M. de (2011). Eerste generatie oplossingen voor de lange termijn waterveiligheid in de Rijn-Maasmonding. Deelrapport overstromingsrisico's binnendijks. Deltares, Delft.
- Bruin, de K, R van Buren en K. Roscoe, 2008. Mapping casualty risks in the Netherlands, Locational and Group risks, Deltares.
- Bruin, de K, R van Buren en K. Roscoe, 2009. Mapping casualty risks in the Netherlands, Mortality probability, individual risk and societal risk, Deltares.

- Bruijn, K.M. de & Klijn, F. (2009). Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods. *J Flood Risk Management* 2 (2009) 58–67
- Bruijn, K.M. de & Van der Doef (2011). Gevolgen van overstromingen. Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid in de 21ste eeuw. Projectnummer 1204144 Deltares, Delft.
- .Buishand, T.A., R. Jilderda, J.B. Wijngaard, 2009: Regionale verschillen in extreme neerslag. KNMI, Wetenschappelijk rapport WR 2009-1.
- Cheung, S.L., Herrmann, F.R., Le Roy, S., Robine, J.M., Oyen, H. van., 2007. Report on excess mortality in Europe during summer 2003, EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114 (ec.europa.eu/health/).
- Cohn, E. G., 1990. Weather and Crime. *British Journal of Criminology*, 30 (1), pp. 51-64. EPA zie: U.S. Environmental Protection Agency.
- Commissie Integraal Waterbeheer (CIW), 2001. Impulsen voor water, Kansen in verband met de waterketen, betere benutting vraagt om een sterke impuls!, Werkgroep 3, Water in de Stad
- Commissie Integraal Waterbeheer (CIW), 2004. Samen leven met grondwater, Visie op het voorkomen en oplossen van stedelijke grondwaterproblemen, Werkgroep 3, Water in de Stad
- CPC, 2011. Kennismontage Hitte en Klimaat in de Stad. Climate Proof Cities Consortium.. S. Döpp [ed]. TNO rapport 060-UT-2011-01053.
- Daanen, H., Simons, A. en Janssen, S., 2010. De invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam. TNO publicatie, TNO-DV 2010 D248, 25 blz.
- Deltares, 2010. Deltascenario's: Scenario's voor robuustheidsanalyse van maatregelen voor zoetwatervoorziening en waterveiligheid. Kenmerk 1202134-008-ZWS-0006. Versie december 2010.
- Deltares, 2011. Zoetwatervoorziening in Nederland. Landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw. Rapportnr. 1204358-002.
- Fünfgeld, Hartmut and Darryn McEvoy. Framing Climate Change Adaptation in Policy and Practice. Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research, RMIT University, working paper 1.
- Füssel, H.M. and R.J.T. Klein, 2006. Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking, *Climatic Change* 75(3), pp301-329, 2006.
- Gaast, J.W.J., Massop, H.T.L., and H.R.J. Vroon, 2009. Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte. Analyse van de waterbeschikbaarheid rekeninghoudend met de freatische grondwaterstand en bodem. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1791, ISSN 1566-7197, in opdracht van LNV

- Gezondheidsraad, 2008. Hittestress op de werkplek. publicatienummer 2008/24. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Giorgi, F en F.Meleux, 2007. Modelling the regional effects of climate change on air quality, *Geoscience* 339, 721-733.
- Grémy, I., Lefranc, A. & Pépin, P., 2004. Conséquences sanitaires de la canicule d'août 2003 en Ile-de-France. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 52 (1), pp. 93-98.
- Groot Zwaaftink, M.E., en M. Dijkman, 2007. HIS-Schade en Slachtoffers Module versie 2.4, Gebruikershandleiding, Royal Haskoning/Geodan,
- Hiemstra, J en B. van der Sluis, 2009. Klimaatverandering en het Nederlandse Laanbomensortiment, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Boomkwekerij PPO nr. 32 360 910 00
- HKV Lijn in Water, Deltares, UNESCO – IHE, Royal Haskoning, Havenbedrijf Rotterdam, 2010. Flood risk in unembanked areas KvK rapportnummer KvK 022A/2010, ISBN 978-94-90070-22-9.
- Hoogvliet, M.C. et al., 2011. Brede, gebiedsspecifieke verkenning van effecten van klimaatverandering, in samenhang met toekomstscenario's en trendmatige ontwikkelingen. KvK rapportnummer KvK/030A/2010.
- Hess, K. L., Wilson, T. E., Sauder, C. L., Gao, Z., Ray, C. A. & Monahan, K. D., 2009. Aging affects the cardiovascular responses to cold stress in humans. *Journal of Applied Physiology*, 107 (4), pp. 1076-1082.
- Heusinkveld, B. G., van Hove, L. W. A. & Jacobs, C., 2011. Ruimtelijke analyse van het stadsklimaat in Rotterdam. Wageningen: Wageningen UR.
- Huizinga, 2011. Kentallen KBA Deltaprogramma Rijnmond en Drechtsteden. HKV Lijn in Water, Lelystad.
- Huizinga J., A.Nederpel, K. de Groot, M. Batterink, 2009. Risicomethode buitendijks, Methodiek ter bepaling van risico's als gevolg van hoogwater, HKV lijn in water/Arcadis.
- Huynen M., P. Martens, D. Schram, M.P. Weijenberg en A.E. Kunst, 2001. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates of the Dutch population. *Environmental Health Perspectives* 109:463-470.
- Immerzeel, W. et al, 2010. Klimaatatlas: ontwikkeling wateroverlastkaarten. H2O. Future Water en Alterra.
- Interprovinciaal Overleg (IPO) (1999). IPO-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden. IPO, Den Haag, The Netherlands.
- Jansen, P.C., R.F.A. Hendriks en C. Kwakernaak, 2010. Behoud van veenbodems door ander peilbeheer; Maatregelen voor een robuuste inrichting van het westelijk veenweidegebied. Wageningen, Alterra, rapport 2009. 103 blz

- Janssen, S., Vos, H., De Kluizenaar, Y., Van den Berg, J. F., Hofman, A. & Tiemeijer, H. (2010). De relatie tussen omgevingstemperatuur en slaapkwaliteit van ouderen. TNO-rapport, concept. TNO.
- Johnson, H., Kovats, R. S., McGregor, G., Stedman, J., Gibbs, M., Walton, H., Cook, L. & Black, E. (2005). The impact of the 2003 heat wave on mortality and hospital admissions in England. . Health Statistics Quarterly, 25 (Spring 2005), pp. 6-11.
- Jonkman, S. N., 2007. Loss of life estimation in flood risk assessment. Theory and applications. PhD Thesis. Delft University of Technology, Delft.
- Keatinge, W. R., Donaldson, G. C., Cordioli, E., Martinelli, M., Kunst, A. E., Mackenbach, J. P., Nayha, S. & Vuori, I., 2000. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. BMJ, 321 (7262), pp. 670-673.
- Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), 2009. Klimaatverandering in Nederland. Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, De Bilt.
- Klijn, F, P. Baan, K. de Bruijn, J. Kwadijk en R. van Buren, 2007, Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat. Verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later, WL Delft Hydraulics.
- Klijn, F., Kwadijk, J. , De Bruijn, K.M., en Hunink, J., 2010. Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat. Verkenning van wegen naar een klimaatveranderingsbestendig Nederland. Projectnummer 1002565. Deltares, Delft.
- Klok, L., Ten Broeke, H., Van Harmelen, T., Verhagen, H., Kok, H. & Zwart, S., 2010. Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect. TNO-034-UT-2010-01229\_RPT-ML. Utrecht: TNO Bouw en Ondergrond.
- Kovats, R. S. & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: A critical review. Annual Review of Public Health, 29 pp. 41-55.
- Kovats, R. S., Hajat, S. & Wilkinson, P. (2004). Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. Occupational and Environmental Medicine, 61 (11), pp. 893-898.
- 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, Een onderzoek in opdracht van het Ministerie van Verkeer & Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)
- Lange, G. de, Oosthoek, J. Gunnink, J., 2011. Maaiveldalingsprognose voor 2050, onderdeel van de scenarios van het Deltamodel. Concept-rapportage TNO/Deltares.
- Lecomte, D. & de Penanster, D., 2004. People living in Paris, dead during the August 2003 heatwave, and examined in Medikolegal Institute. Bulletin De L Academie Nationale De Medecine, 188 (3), pp. 459-469.

- Luijendijk E., 2006. Als een paal boven water..., Een onderzoek naar de technische en economische gevolgen van wisselende grondwaterstanden voor het oud stedelijk gebied, onderzoeksrapport van RuG, Grontmij Sterk Consulting
- Maaskant, B., Jonkman, S.N. en Kok, M., 2009, Analyse slachtofferaantallen VNK-2 en voorstellen voor aanpassingen van slachtofferfuncties, Rapport PR1669.10, HKV Lijn in water.
- Mackenbach, J. P., Borst, V. & Schols, J. M. G. A., 1997. Heat-related mortality among nursing-home patients. *The Lancet*, 349 (9061), pp. 1297-1298.
- Min. V&W, 25 januari 2010. Overstromingsrisico's op de kaart. Spoorboekje voor te maken kaarten in het kader van de nationale implementatie van de EU-richtlijn Overstromingsrisico's. Versie 1.3.
- Min. V&W, 22 december 2009, Nationaal waterplan 2009-2015.
- Mulder, E.F.J. de et al., 2003. De ondergrond van Nederland, *Geologie van Nederland* dl. 7, Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO.
- Oke, T. R., 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7 (8), pp. 769-779.
- Oke, T. R. 2006. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. Instruments and Observing Methods Report No.81 WMO/TD-NO. 1250. Geneva: World Meteorological Organization.
- Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S., and P.G.B. de Louw, 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands, *Water Resources Research*, Vol. 46
- Pas, S. P. J. M. van de. K Slager, F. Klijn en N. Pieterse, 2011. Naar een methode voor Overstromingsrisicozonering, Deltares/PBL, CONCEPT.
- Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2009. Overstromingsrisicozonering in Nederland.
- PBL 2009a. Wegen naar een klimaatbestendig Nederland. Planbureau voor de Leefomgeving. Bilthoven. PBL-publicatienummer 500078001.
- Rijkswaterstaat Waterdienst, 2010. Voorverkenning korte termijn peilbesluit IJsselmeergebied, september 2009 - maart 2010, Verslag
- Ritsema van Eck , J., Van Amsterdam, H. & Van der Schuit, J., 2009. Ruimtelijke ontwikkelingen in het stedelijk gebied. *Dynamiek stedelijke milieus 2000-2006*. Den Haag/Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Roemer, Michiel, Lisette Klok en Sabine Janssen, 2011. Gaat hitte gepaard met slechtere luchtkwaliteit? *Milieu*, 2011-1.
- Royal Haskoning, 25 juni 2008. Overstromingsrisicozonering. Naar een groter risicobewustzijn in ruimtelijke afwegingen.



- RPB, 2007. Overstromingsrisico als ruimtelijke opgave.
- SBR/TUD, 2007. Publicatie 'Ontwatering in stedelijk gebied, Project, Beter Bouw- en Woonrijp Maken (BBWM), GD112-7/WEET/04
- Smit, B., Pilifosova, O., Burton, I., Challenger, B., Huq, S., and RJT Klein, 2001. Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J. et al. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Stafoggia, M., Forastiere, F., Agostini, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Caranci, N., De'Donato, F., De Lisio, S., De Maria, M., Michelozzi, P., Miglio, R., Pandolfi, P., Picciotto, S., Rognoni, M., Russo, A., Scarnato, C. & Perucci, C. A., 2006. Vulnerability to heat-related mortality: A multicity, population-based, case-crossover analysis. *Epidemiology*, 17 (3), pp. 315-323.
- Steenefeld, G. J., Koopmans, S., van Hove, L. W. A. & Holtslag, A. A. M., 2010. Urban Heat Island Effects and Human Comfort in a Mild Cfb Climate: Exploring Long Term Observations by Hobby Meteorologists in The Netherlands. In: 9th Symposium on the urban environment, 2-6 August 2010, Keystone, Colorado. American Meteorological Society, paper 1.3, 1-5.
- Stephens, J.C., Allen, L.H. and Chew, E. 1984. Organic soil subsidence. *American Geological Society Reviews in Engineering Geology* VI:107-122.
- Stichting RIONED, november 2006. Stedelijke Wateropgave. Vergelijking normen voor water op straat en inundatie.
- Stichting RIONED, maart 2008. Regenwateroverlast in de bebouwde omgeving. Inventariserend onderzoek ondergemeenten.
- Stuurman, R., Baggelaar, P., Berendrecht, W., Buma, J., Louw, P. de en G., Oude Essink, 2008. Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering,
- Ten Veldhuis, J.A.E., 2010. Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland areas. Proefschrift TU-Delft.
- Timmermans, Renske en Peter Bultjes, 2008. Luchtkwaliteit en klimaatverandering, Een samenhangend probleem voor Rotterdamse haven. *Milieu*, 2008-7.
- TNO-rapport, 2008-U-R0074/B, uitgevoerd door TNO Bouw en Ondergrond in opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DG Water
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2008. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Washington D.C.: EPA.

- Urlings, M.G., en L.C.E. van de Winckel, 2006, Boven Water komen, definitiestudie naar grondwateroverlast in stedelijk gebied, uitgevoerd door Tauw BV in opdracht van Leven met Water
- Van Daalen, E. & Van Riet, N. (2010). Onderzoek naar warmtebeleving bij ouderen. Zomer 2010. Tilburg: Bureau Gezondheid, Milieu & Veiligheid GGD'en Brabant/Zeeland.
- Van de Ven, F., E. van Nieuwkerk, Stone, K., Zevenbergen, C., Veerbeek, W., Rijke, J., and S. van Herk, 2010. Building the Netherlands Climate Proof: Urban Areas, 1201082-000-VEB-0003, Deltares and UNESCO-IHE, Delft/Utrecht
- Van Dijk, J., Koenders, M., Rebel, K., Schaap, M., Wassen, M., 2010. State of the art of the impact of climate change on environmental quality in the Netherlands. A framework for adaptation. KfC report no. Kf006/09
- Vanhems, P., Gambotti, L. & Fabry, J., 2003. Excess Rate of In-Hospital Death in Lyons, France, during the August 2003 Heat Wave. *New England Journal of Medicine*, 349 (21), pp. 2077-2078.
- Vautard, R en D. Hauglustaine, 2007. Impact of global climate change on regional air quality: Introduction to the thematic issue, *Geoscience* 339, 703-708.
- Projectbureau VNK2, 2011. Veiligheid Nederland in kaart (VНК), De methode van VНК2 nader verklaard.
- Velders G.J.M.; Aben J.M.M.; Diederik H.S.M.A.; Drissen E.; Geilenkirchen G.P.; Jimmink B.A.; Koekoek A.F.; Koelemeijer R.B.A.; Matthijsen J.; Peek C.J.; Rijn F.J.A.; Vries W.J. de, 2010, Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2010. PBL Rapportnr.500088006
- Verhoeven, G., Brolsma, R. & Rutten, M., 2009. Meetexperiment invloed open water op omgevingstemperatuur. conceptrapport 1200473-000-ZWS-0007. Deltares.
- Villamil Cajoto, I., Díaz Peromingo, J. A., Villacian Vicedo, G., Sánchez Leira, J., García Suárez, F., Saborido Froján, J. & Iglesias Gallego, M., 2005. Impacto de la ola de calor de 2003 en el Hospital de Riveira (A Coruña). *Anales de Medicina Interna*, 22 pp. 15-20.
- Waterschap de Dommel, 2001. Grondwateroverlast Eindhoven, [http://www.dommel.nl/projecten/projecten\\_in\\_0/item\\_79795](http://www.dommel.nl/projecten/projecten_in_0/item_79795)
- Wolters, D. & Bessembinder, J., 2011. Inventarisatie stadsklimaat in de regio's Rotterdam en Haaglanden, met waarnemingen door weeramateurs. Concept. De Bilt: KNMI.

## Bijlage A: Verstedelijking in de Deltascenario's

### Opzet scenario's

De verstedelijkingsscenario's tot 2050 zijn gebaseerd op de Welvaart en Leefomgevingsscenario's (WLO) van het Planbureau voor de Leefomgeving (Janssen, Okker et al. 2006). Deze scenario's geven een beeld van hoe de fysieke omgeving waarin de Nederlandse bevolking woont en werkt verandert tot 2040.

Tabel 0.1 Kerngegevens Global Economy en Regional Communities

	2000	2040 Global economy	2040 Regional communities
Inwoners (mln)	16	19,7	15,8
Gem. aant. inwoners per huishouden	2,4	1,9	2,6
Economische groei (2002=100)	100	221	133
BBP (Gem. jaarlijkse verandering in %)	2,8	2,6	0,75
Werkgelegenheid (Gem. jaarlijkse verandering in %)	2,1	0,45	-0,5
toename CO2 emissie		65%	-10%
Opp. stedelijk areaal	16%	20,5%	17%
extra woningclaim (kha)		94	11
werken (kha)		43%	-3%
toename recreatieruimte (kha)		36	45
Opp. natuur (kha)	19%	20,5%	22%
Opp. landbouw (kha)	65%	59%	61%
Groei glastuinbouw (kha)		60%	-45%
grasland (kha)	999,8	-1,3%	-8,8%
akkerbouw (kha)	824,1	-35,9%	-10,2%
snijmais&luzerne (kha)	220,4	1,6%	-8,4%
granen (kha)	203,8	-44,5%	-1,5%
Aardappelen (kha)	77,2	-51,6%	-0,8%
suikerbieten (kha)	108,9	-69,6%	-8,8%
tuinbouw kha)	115,7	-21,2%	-9,9%
glasgroente (kha)	4,3	11,6%	-46,5%
glassierteelt (kha)	5,8	106,9%	-41,4%
vollegrondstuinbouw (kha)	105,2	-29,2%	-6,4%

Bron: Janssen, Okker et al. 2006. Welvaart en leefomgeving: een scenario studie voor Nederland in 2040. Centraal Planbureau.

### Ontwikkeling doorkijken na 2050

De doorkijken na 2050 volgen zoals reeds eerder vermeld een andere logica dan de scenario's tot 2050, waar de WLO-scenario's Global Economy en Regional Communities de sociaaleconomische bandbreedte vormden. De logica die voor de doorkijken na 2050 wordt gehanteerd is om de bandbreedte bewust op te rekken (binnen plausibele

ontwikkelingslijnen) om daarmee de vier hoekpunten van het speelveld te verkennen. Deze vier hoekpunten zijn:

- een beeld met een grote opgave voor de waterveiligheid
- een beeld met een kleine opgave voor de waterveiligheid
- een beeld met een grote opgave voor de zoetwatervoorziening
- een beeld met een kleine opgave voor de zoetwatervoorziening.

Om de hoekpunten in beeld te krijgen werden de volgende twee vragen gesteld:

1. Op welke manier wordt de opgave vergroot?
2. Welke ontwikkeling hoort daarbij, die het plausibel maakt?

Vervolgens zijn deze vier beelden geïntegreerd tot twee sociaaleconomische doorkijken die leiden tot:

- een grote water opgave = grootste opgave de waterveiligheid + grootste opgave de zoetwatervoorziening
- een kleine water opgave = kleinste opgave voor de waterveiligheid + kleinste opgave voor de zoetwatervoorziening.

De vraagstelling die in de eerste sociaaleconomische doorkijk ten grondslag ligt is: *Hoe kunnen we ons een rijke dichtbevolkte Delta voorstellen waarin een zeer grote waterveiligheidsopgave gepaard gaat met een zeer grote behoefte (opgave) aan zoetwater?*

De vraag die ten grondslag ligt aan de tweede sociaaleconomische doorkijk is: *Is het voorstelbaar dat de wateropgaven zowel voor veiligheid als zoetwater sterk verminderen, bijvoorbeeld bij een ander, minder intensief ruimtegebruik?*

### **Verstedelijking in scenario's**

Verstedelijking is van groot belang voor de wateropgave. Onder verstedelijking verstaan we wonen, werken en infrastructuur, maar ook valt daaronder de glastuinbouw. Stedelijk gebied is allereerst van belang vanwege vereiste beschermingsniveau. De veiligheidsnormen in Nederland zijn afhankelijk van het aantal mensen dat in een gebied woont en werkt en het economische potentieel. In Nederland gelden op dit moment (2010) vier verschillende normen voor de primaire waterkeringen. De Randstad heeft het hoogste beschermingsniveau (overschrijdingskans max 1/10.000 jaar), terwijl langs de bovenrivieren een norm van 1/1250 jaar geldt. In de regel heeft stedelijk gebied een hoger beschermingsniveau dan landelijk gebied of natuurrijke omgevingen. We kunnen dus stellen dat verstedelijking de belangrijkste determinant is voor de opgave van waterveiligheid. Ten tweede is verstedelijking ook van belang vanwege de vraag naar stedelijk oppervlaktewater ter voorkoming van hittestress en ten derde vanwege de drinkwatervraag.

De scenario's GE en RC verschillen in de mate van verstedelijking en ook in de mate van het spreidingspatroon. In het GE scenario neemt als gevolg van de bevolkingsgroei de verstedelijking sterk toe en woont men relatief verspreid. In het RC-scenario is de verstedelijking minder aan de gang en is er sprake van een bundelingspatroon. Mensen vestigen zich vooral binnen de grenzen van de stad. Met betrekking tot de veiligheid vormt het spreidingspatroon een grotere opgave voor de water overlast dan het bundelingspatroon.

### *Verstedelijking GE*

Het totaal verstedelijkt oppervlak in het Global Economy scenario neemt toe tot zo'n, 20,5% tegenover ca 16% in 2004. De verstedelijking is het gevolg van de bevolkingstoename, die stijgt naar bijna 20 miljoen en een toenemende ruimtevrage van bedrijventerreinen, kantoren en zeehaventerreinen tot zo'n 45.000ha. Ook leidt dit tot een instroom van arbeidsmigranten, die tamelijk gelijkmatig over het land. De individualisering neemt in dit scenario toe en resulteert een daling in het gemiddelde aantal personen per huishouden naar 1,9 per huishouden. Het aantal woningen neemt daardoor toe. In 2002 waren dat er nog 7 miljoen, in 2050 10,1 miljoen. In totaal komen er 217 nieuwbouwwoning bij, waarvan ruim 110.000 huizen in de Randstad. Daarentegen worden er in totaal 33.000 huizen gesloopt. Het zwaartepunt van de binnenlandse migratie blijft zich richten op de overgangszone tussen stad en platteland, de zogenaamde urban sprawl.

### *Verstedelijking RC*

In het RC scenario krimpt de bevolking en het aantal huishoudens en de ruimteclaim van bedrijven terreinen, zeehavens en kantoren. De krimp in de Randstad komt vooral doordat veel minder buitenlandse migranten dan voorheen zich vestigen in de Randstad. De bevolking in overig Nederland krimpt vooral als gevolg van de sterke vergrijzing. Alleen de overgangszone tussen stad en platteland groeit. Het aantal huishoudens in eerste instantie tot 2020 toe en daarna af als gevolg van de vergrijzing. Het aantal personen per huishouden neemt toe tot gemiddeld 2,6. In totaal worden er 45.000 nieuwbouw woningen gebouwd, waarvan 21.000 in de randstad. Er worden daarnaast 15.000 huizen gesloopt. De ruimteclaim voor werken (bedrijventerreinen, kantoren en zeehavens neemt af met 16000 hectare.

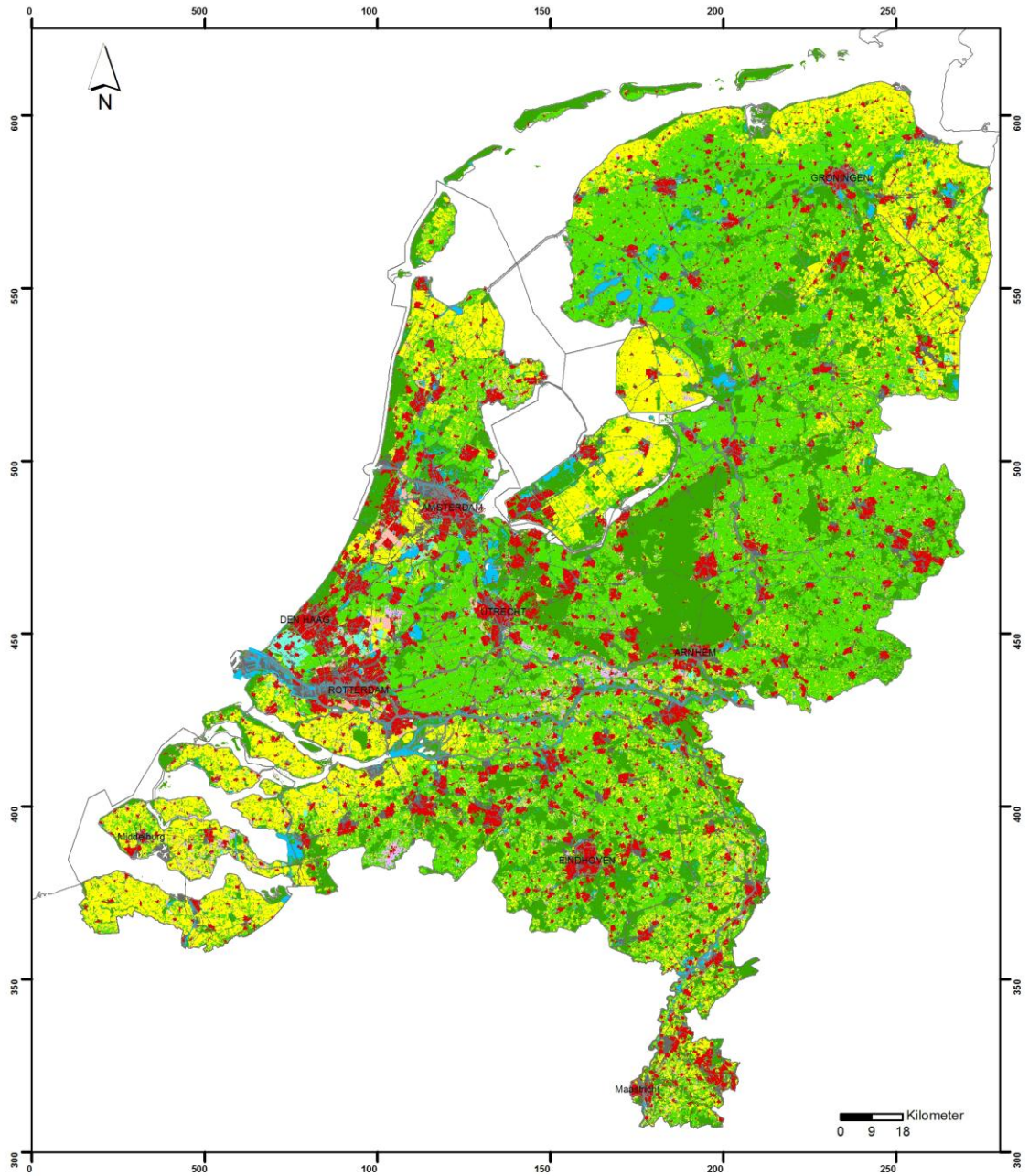
### *Verstedelijking na 2050, doorkijk naar 2100*

In het stedelijke gebied zie je drie ontwikkelingen na 2050. Ten eerste intensificeert het bestaande stedelijke gebied. Steden zoals Den Haag, Rotterdam, Amsterdam en Utrecht groeien, breiden uit en raken zeer dichtbevolkt. Deze steden slokken nabij gelegen randgemeenten op. De bevolking en economische investeringen binnen de dijkringen neemt drastisch toe. Ten tweede, de urban sprawl neemt sterk toe tussen de intensieve stedelijke gebieden. Daarbij geldt enerzijds het "wonen volgt werken". De urban sprawl neemt daarom extra toe langs bestaande infrastructuur, dus langs de belangrijkste verbindingswegen in de randstad (snelwegen zoals de A2, A4, A9, A10, A12, A13, A15, A16). Ook in het Groene hart neemt het aantal woningen toe. In Noord-Holland vindt hetzelfde plaats. Amsterdam, Haarlem en Alkmaar groeien. Om deze steden heen is een band met minder dichtbevolkte gebied. De regio tussen Amsterdam en Almere groeit dicht als gevolg van relatief lagere huizenprijzen. Een deel van Almere ligt buitendijks.

Anderzijds geldt de behoefte aan "wonen langs aantrekkelijk nat en groen". Ruimtelijk resulteert dit in een duidelijke urban sprawl in het rivierengebied bij Arnhem, Nijmegen en Wageningen, ook langs de IJssel richting het Noorden en langs de Waal bij Den Bosch tot Dordrecht en Rotterdam en langs de kust van Noordzee en IJsselmeer. Ten derde ontstaan er nieuwe stedelijke kernen bij nieuwe economische kernen. Langs de A15 in ontstaat in Noord-Brabant een logistieke as, als verlengstuk van de Rotterdamse Haven-Industrie complex. Langs deze as is veel bedrijvigheid trekt veel wonen aan. In het Noorden groeit de stad Groningen als gevolg van de bedrijvigheid in de Eemshaven en het grootschalig verbouwen van bio-brandstoffen. Een belangrijke voorwaarde voor het dichtgroeien van de Randstad en de uitlopers is de infrastructuur. Deze wordt goed onderhouden. Er worden veel tunnels aangelegd, ook met in het kustgebied. De kustgebieden in het Westen krijgen daardoor extra impuls. Ook dit trekt veel wonen aan.

De toenemende spreiding is ook een gevolg van de toename in tweede woningen. Deze tweede woningen moeten vooral rust bieden in een mooie omgeving, dicht bij water. Langs zowel grote als kleine rivieren is erg populair. Zeeland blijft zeer aantrekkelijk voor tweede woningen vanwege de gunstige ligging ten opzichte van de randstad. Ook langs de grote rivieren worden veel tweede woningen gebouwd, langs de IJssel en het IJsselmeer, langs de Maas en de Waal. Ook is er een toename van het aantal woningen in de beekdalen en overgangszones tussen de hoge en lage gronden. Tot slot is ook het lage gelegen gebied in Friesland, langs de Waddenzee en langs de meren erg in trek. Er vindt een grootschalige herstructurering plaats in het kassengebied in het Westland en bij Gouda, waardoor de tuinbouwsector groeit. Alhoewel het gebied niet dicht bevolkt is, moet het wel beschermd worden tegen wateroverlast.

De situatie in 2050 (eigenlijk 2040) bepaald met ruimtescanner (PBL) onder Regional Communities scenario (RC)



**Legenda**

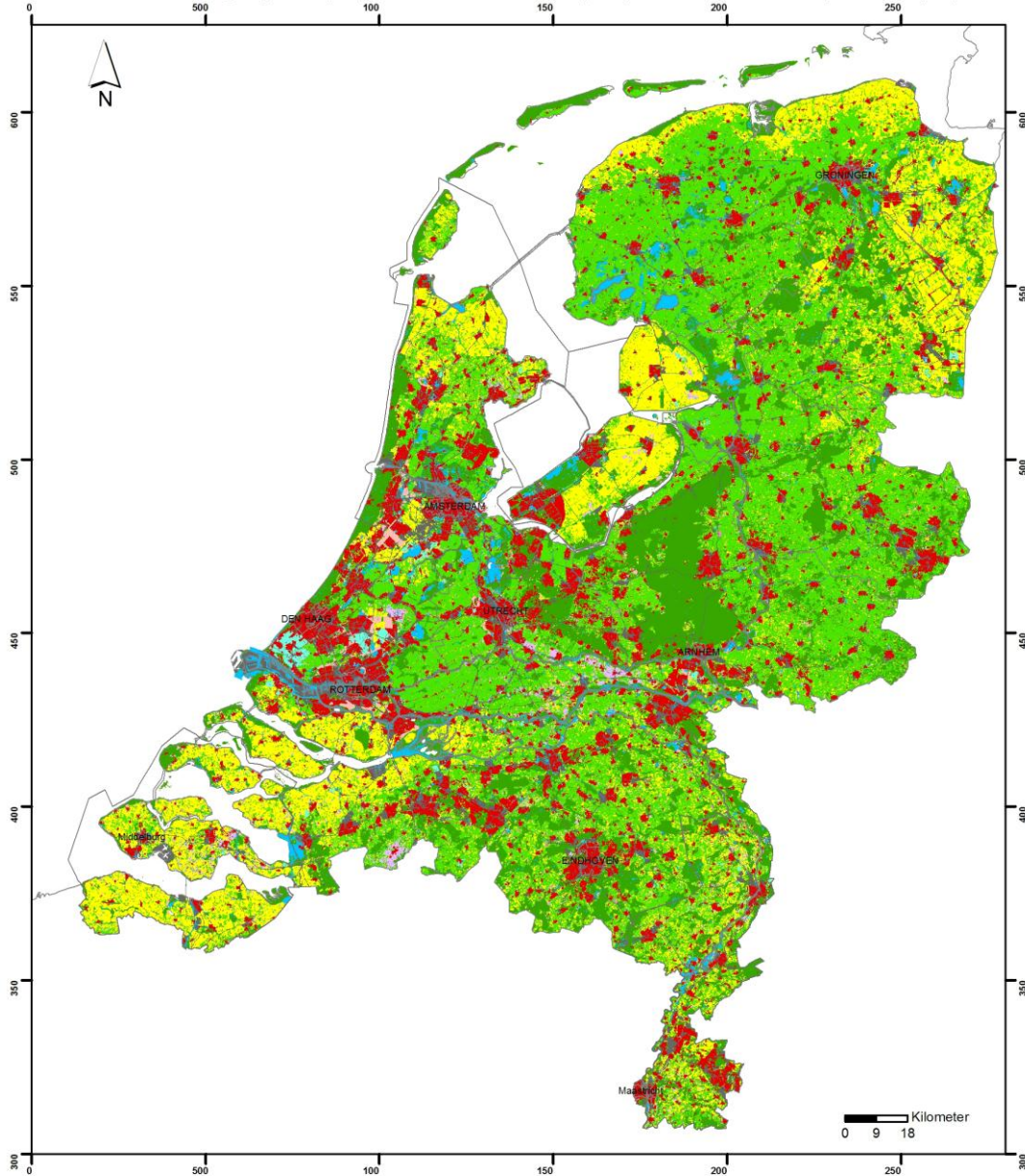
Waar nemen bepaalde klassen toe tussen 2006 en 2050

- Wonen
- Recreatie
- Werken
- natuur'
- akkerbouw'
- grondgebonden veeteelt'
- Glasuinbouw'
- Intensieve veeteelt'
- boomteelt, laanbomen en pitfruit'
- kwekerijen'
- infrastructuur
- 19; 20; 23
- Water

Bronvermelding: Deltares  
Datum: april 2011



De situatie in 2050 (eigenlijk 2040) bepaald met ruimtescanner (PBL) onder Global Economy scenario (GE)



**Legenda**

**Situatie 2006-2050**

- Wonen
- Recreatie
- Werken
- natuur
- akkerbouw
- grondgebonden veeteelt
- Glastuinbouw
- Intensieve veeteelt
- boomteelt, laanbomen en pitfruit
- kwekerijen
- infrastructuur
- 19; 20; 23
- Water

Bronvermelding: Deltares  
Datum: april 2011



## Bijlage B: Deelnemers workshops

Tijdens het maken van deze analyse zijn twee workshops georganiseerd. De eerste workshop werd vooral bijgewoond door experts van kennisinstututen; de tweede workshop daarnaast ook door vertegenwoordigers van overheden en waterschappen.

Ronald	Albers	TNO
Michiel	Anten	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Patrizia	Bernardini	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Adrienne	Boekhold	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Ronald	Bos	Gemeente Arnhem
Peter	Bosch	TNO
Leendert van	Bree	PBL
Pauline van den	Broeke	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Kees	Broks	STOWA
Jelle	Buma	Deltares
Ed	Dammers	PBL
Leyre Echevarria	Icaza	TUD
Albert	Elshof	Unie van Waterschappen
Alice	Fermont	Amsterdam
Han	Frankfort	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Hasse	Goosen	Alterra
Jasper	Groos	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Michelle	Hendriks	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Bert	Heusinkveld	WUR
Hans ten	Hoeve	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Frank van der	Hoeven	TUD
Marco	Hoogvliet	Deltares
Ad	Jeuken	Deltares
Lisette	Klok	TNO
Inge	Koolen	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Marije	Koopman	provincie Brabant
Frans van	Kruiningen	Hoogheemraadschap Delfland
Piet	Lagas	PBL
Toin	Lambrechts	Waterschap Reest en Wieden
Peter	Louwerse	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Carel	Nobbe	Waterschap Aa en Maas
Bas van de	Pas	Deltares
Nico	Pieterse	PBL
Ger	Renkens	Gemeente Eindhoven
Paul	Stein	Provincie Gelderland
Maarten	Tjon Sie Fat	TUD
Claudia	Veltrop	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Emiel van	Velzen	Deltares
Britta	Verboom	Provincie Gelderland
Cees	Vermeent	Gemeente Woerden
Kees	Vlak	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Tjaart	Vos	Ministerie Infrastructuur en Milieu
Harold van	Waveren	RWS
Frank van	Weert	Deltares