

Onderzoek naar droogte en waterschaarste in Antwerpen

Beschrijvende Nota WP2 Impactanalyse

Stad Antwerpen
Stadsontwikkeling

RAPPORT 21 november 2019 - versie 2.0



Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Van Immerseelstraat 66, 2018 Antwerpen, België

: + 32 3 270 92 95

: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identificatie

Project	Onderzoek naar droogte en waterschaarste in Antwerpen
Titel rapport	Beschrijvende Nota WP2 Impactanalyse
Opdrachtgever	Stad Antwerpen - Stadsontwikkeling
Contactpersoon	Ronny Van Looveren, Tel: +32 (0)3 338 36 58, Ronny.VanLooveren@antwerpen.be
Datum	25/07/2019
Projectref.	11556 - Droogte en waterschaarste in Antwerpen
Rapportref.	I/RA/11556/19.056/JWA
Besteknummer	GAC_2018_00239
Trefwoorden	

Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
Jasper Claus Anton Deryck Jan Walravens	Roeland Adams Product Manager	Jan Walravens Senior engineer

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	25/04/2019	Concept	JWA	RAD	JWA
2.0	25/07/2019	Revisie 1	JWA	RAD	JWA
3.0	18/11/2019	Revisie 2	JWA	RAD	JWA

Inhoudsopgave

1	Inleiding	9
1.1	De opdracht	9
1.2	Doel van werkpakket WP 2	9
2	Grondwatermodellering	10
2.1	Opbouw conceptueel model	10
2.2	Modelgebied	10
2.2.1	Hydraulische parameters	15
2.2.2	Grondwatervoeding	17
2.2.3	Bodemtextuur	18
2.2.4	Rivieren & drainage	27
2.2.5	Ondoorlatende structuren	30
2.2.6	Grondwaterwinningen	33
2.3	Kalibratie	35
2.3.1	Kalibratiegegevens	35
2.3.2	Resultaten	35
2.3.3	Gevoeligheidsanalyse	41
3	WP 2.1 Impact gewijzigde grondwaterstroming	42
3.1	Potentiële impact gewijzigde grondwatervoeding	43
3.1.1	Impact grondwaterstanden	43
3.1.2	Verziltingsgraad	43
3.1.3	Waterbeschikbaarheid stadsvijvers en natuurgebieden	44
3.2	Stabiliteit van gebouwen en onroerend erfgoed	46
3.2.1	Stabiliteit van funderingen	46
3.2.2	Jaargemiddelde grondwaterstandswijzigingen	47
3.2.3	Bespreking per wijk	48
3.2.4	Potentiële impact	53
3.3	Impact natuurgebieden en stadsgroen	55
3.3.1	Stedelijk groen	56
3.3.2	Natuurgebieden	63
3.4	Impact Waterbeschikbaarheid	66
4	WP 2.2 Benchmarkstudie	68
4.1	Literatuurstudie Droogtemaatregelen	69
4.2	Vraagzijde	70
4.2.1	Structureel	70
4.2.2	Attitude	71
4.2.3	Technologie	75
4.3	Aanbodzijde	78
4.3.1	Optimaliseren huidig systeem	78

4.3.2	Alternatieve watercreatie	79
4.4	Geïntegreerd Water Beheer	84
4.4.1	PERTH	84
4.4.2	Rain City Project – Suwon Korea	84
4.4.3	LONDEN - Tweesporenprogramma om watervraag en aanbod in balans te houden (Londen City, UK).	85
4.5	Synthese	86
5	Referenties	91

Bijlagen

Bijlage A	Hydrogeologie	93
A.1	Topografie	94
A.2	HCOV HOOFDEENHEDEN	95
A.3	HCOV SUBEENHEDEN	97
A.3.1	Quartaire Aquifersystemen (HCOV0100)	97
A.3.2	Kempens Aquifersysteem (HCOV0200)	101
Bijlage B	Grondwatervoeding: modelvergelijkingen	103
Bijlage C	Resultaten grondwaterstromingsmodel referentiesituatie	106
Bijlage D	Achtergrondinformatie Benchmarkstudie	121
D.1	PERTH	122
D.2	ELWOOD	126
D.3	GUELPH	128
D.4	MELBOURNE – City West Water	134
D.4.1	WATER SCARCE CITIES	140
D.5	ROTTERDAM	143
D.6	GERMANY	147
D.7	MaRIUS	149
D.8	Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought – EEA report (2009)	150
D.8.1	ZARAGOZA	151
D.8.2	SYDNEY	153
D.8.3	QUEENSLAND, Australia	157

Lijst van Tabellen

Tabel 2-1: Hydraulische parameters van de HCOV-lagen die de freatische zone opbouwen. (K_h = horizontale doorlatendheid , S_o = berging nabij de watertafel)	15
Tabel 2-2: gemiddelde neerslagtotalen huidig klimaat en laag klimaatscenario	21
Tabel 2-3: maandgemiddelde grondwatervoeding [mm] periode 2007-2017 en referentieperiodes	26
Tabel 2-4: Overzicht ingevoerde rivieren en drainage	28
Tabel 2-5: Overzicht van de bijkomend ingevoerde drainerende elementen	28
Tabel 2-6: Kenmerken ingevoerde ondoorlatende structuren	31
Tabel 2-7: Verhouding vergunde en werkelijk onttrokken debieten volgens de inventarisatie van het VGM – CVS Noord (Uitdewilligen et al., 2005)	33
Tabel 2-8 : gemiddelde afwijking modelresultaten	36
Tabel 3-1: Relatie tussen grondwaterstandswijziging, bodemsoort en zettingsgevoeligheid	46
Tabel 3-2: criteria klassindeling droogtetolerantie (Niinemets and Valladares, 2006)	57
Tabel 3-3: Droogteresistente boomsoorten	60

Lijst van Figuren

Figuur 2-1: Overzicht van het modelgebied en de ligging van het studiegebied stad Antwerpen. In de zoom wordt de graad van detail van het modelgrid weergegeven.	13
Figuur 2-2: Ligging van de voorgestelde dwarsdoorsnedes	13
Figuur 2-3: Dwarssecties doorheen de hydrogeologie van het modelgebied. Ligging van de dwarsdoorsnedes is voorgesteld op Figuur 2-2	14
Figuur 2-4: Gemiddelde horizontale doorlatendheid van het Quartair dek (modellaag 1).	16
Figuur 2-5: Totale hydraulische weerstand van het Quartair dek (bovenste modellaag)	17
Figuur 2-6: Vereenvoudigde bodemtexturen binnen het modelgebied. Combinatie van de Bodemkaart Vlaanderen (Van Ranst and Sys, 2000) en de bodemkartering binnen het stad door ABO (ABO, 2015).	18
Figuur 2-7: Vereenvoudigd landgebruik binnen het modelgebied (op basis van de CORINE kaart (Copernicus, 2018))	19
Figuur 2-8: Waterondoorlatendheid (= verharding) binnen het modelgebied. (Van der Linden et al., 2016)	20
Figuur 2-9: Jaartotalen neerslag huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)	22
Figuur 2-10: Maandgemiddelde neerslag tijdens de wintermaanden huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)	22
Figuur 2-11: Maandgemiddelde neerslag tijdens de zomermaanden huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)	22
Figuur 2-12: Gemiddelde maandtotalen neerslag huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)	23
Figuur 2-13: verhouding maandtotalen neerslag huidig klimaat / laag klimaat scenario voor gemiddelde, mediaan en 20 / 80 percentielwaarde.	23
Figuur 2-14: Berekende gemiddelde grondwatervoeding (m/d) volgens het bodemvochtmodel.	24
Figuur 2-15: Overzicht van de jaarlijkse variatie in de grondwatervoeding voor zomer- en winterperiode binnen het modelgebied	24
Figuur 2-16: Overzicht van de gemiddelde maandelijks grondwatervoeding binnen het modelgebied over de periode 2008-2017	25

Figuur 2-17: Maandelijks grondwatervoeding gesommeerd over het volledige modeldomein voor referentieperiode (1/1982-12/1991) voor huidig en Laag Klimaatscenario	25
Figuur 2-18: Maandgemiddelde grondwatervoeding gesommeerd over het volledige modeldomein voor referentieperiode (1/1982-12/1991) voor huidig en Laag Klimaatscenario en 2008-2017 (kalibratie).	26
Figuur 2-19: weergave ligging rivier- en drainagestelsel waterlopen in het MODFLOW model	29
Figuur 2-20: rioleringsnetwerk binnen modelgebied (op basis van (AGIV & VMM, 2014))	30
Figuur 2-21 : Ondergrondse structuren in stad Antwerpen	32
Figuur 2-22 : Ondergrondse structuren in stad Antwerpen, focus op binnenstad.	32
Figuur 2-23: Vergunde grondwaterwinning uit de VMM databank vergunningen (op 6/12/2018).	34
Figuur 2-24: Algemene modelfit (geobserveerde vs. gesimuleerde gemiddelde stijghoogtes).	37
Figuur 2-25: Ruimtelijke spreiding van de afwijkingen op de geobserveerde stijghoogtes in de kalibratieset. Achtergrond is de freatische grondwaterstand (mTAW). Kalibratievlaggen stellen afwijkingen t.o.v. gemiddelde observatie weer (groen <0.5 m afwijking, rood >1m afwijking).	37
Figuur 2-26: Gemiddelde grondwaterdynamiek 2008-2018, modelresultaten en analyse beschikbare grondwaterstandregistraties	38
Figuur 2-27: geregistreerde pompdebieten 2006 Pompstation 2 Ring R1 t.h.v. verkeerswisselaar met E313	38
Figuur 2-28: jaargemiddelde grondwaterflux naar drainagezone Pompstation 2 ring R1	39
Figuur 2-29 : locatie dwarsprofielen modeluitvoer stationaire toestand.	39
Figuur 2-30 : Berekende grondwaterstanden t.h.v. 4 transecten en weergaven van maaiveld en waargenomen grondwaterstanden langs het transect.	40
Figuur 3-1: Chlorideconcentratie Schelde-, kanaal, en Schijnwater (VMM immissiemeetnet - geoloket.vmm.be)	44
Figuur 3-2: Chlorideconcentratie Schelde-, kanaal, en Schijnwater (logaritmische schaal) en verziltingsgrens grondwater (CIW, 2016)	44
Figuur 3-3: Grondwaterstands daling winterperiode GHG laag klimaatscenario t.o.v. huidig klimaat	45
Figuur 3-4: Grondwaterstands daling zomerperiode GLG laag klimaatscenario t.o.v. huidig klimaat	45
Figuur 3-5 Culturele, historische en/of esthetische CHE-gebied van de stad Antwerpen	47
Figuur 3-6 Vastgestelde inventaris bouwkundig erfgoed rond fort 8	48
Figuur 3-7 Vinkevelen (voor de renovatie)	49
Figuur 3-8 Beschermd bouwkundig erfgoed rond Fort 8	49
Figuur 3-9 Vastgestelde inventaris bouwkundig erfgoed omgeving Nachtegalenpark	50
Figuur 3-10 3 villa's in de Berkenlaan (parkwijk Den Brandt) allen gebouwd tijdens het interbellum	51
Figuur 3-11 Beschermd erfgoed in de omgeving van het Nachtegalenpark	51
Figuur 3-12 Theologisch en pastoraal centrum (Groenenborgerlaan)	52
Figuur 3-13 Kasteel Middelheim	52
Figuur 3-14 'Kaart van gebieden waar geen archeologisch erfgoed te verwachten valt' voor de Antwerpse binnenstad	55
Figuur 3-15 Bomenbestand Antwerpen: verdeling aandeel boomsoorten voor de verschillende tolerantieklassen	57
Figuur 3-16: Droogtetolerantie boom- en struiksoorten	61
Figuur 3-17: Droogtetolerantie boom- en struiksoorten (inkleuring van klassen 2 – rood en en 3 – Oranje wegens niet optimale hydrometrische condities ingevolge het klimaatscenario)	62
Figuur 3-18 : Ecotoopkwetsbaarheid studiegebied voor verdroging	64
Figuur 3-19 : Ecotoopkwetsbaarheid voor verdroging: stijghoogteverschil bij grondwaterstands daling als gevolg van het klimaatscenario	65



Figuur 3-20: Termen waterbeschikbaarheid en waterverbruik exclusief havendistricten ingevolge laag klimaatscenario (ter vergelijking worden de termen bij huidig klimaatscenario weergegeven in stippellijn)

67

1 Inleiding

In 2014 ondertekende de stad Antwerpen de “Covenant of Mayors Adapt” en nam daarbij het engagement om een stedelijke klimaatadaptatiestrategie op te stellen en ondersteund door kennisontwikkeling de noodzakelijke klimaatadaptatiemaatregelen te nemen in de lopende stadsplannen en –projecten.

In eerdere studieopdrachten werd reeds onderzoek verricht rond het stedelijk hitte-eiland effect, de ruimtelijke verdeling van en het effect van klimaatwijziging op de neerslag in Antwerpen en de impact van de wijzigende neerslagpatronen op de lokale waterlopen. In deze studie wordt gefocust op het aspect droogte zowel m.b.t. grondwater als m.b.t. de waterbeschikbaarheid (van water met verschillende kwaliteit: hemelwater, drinkwater, ...) in het algemeen.

1.1 De opdracht

Doel van de opdracht “Onderzoek naar droogte en waterschaarste in Antwerpen” is om voor de stad Antwerpen de kans op watertekorten en belangrijke wijzigingen in het grondwaterpeil te kwantificeren ten gevolge van het wijzigende klimaat en watervraag. De verdere doorvertaling van de wijzigingen in waterbeschikbaarheid wordt zo goed mogelijk ingeschat en maatregelen/strategieën worden voorgesteld om deze effecten tegen te gaan of te mitigeren. Daarbij wordt zowel gekeken naar wijziging van de grondwatertafel als naar de algemene waterbeschikbaarheid (op langere termijn van drinkwater, proceswater, grijswater, hemelwater).

De opdracht bestaat uit vier werkpakketten:

- WP1: Analyse van de gegevens;
- WP2: Impactanalyse;
- WP3: Analyse van scenario's en strategieën;
- WP4: Beleidsaanbevelingen.

Dit rapport omvat de rapportering van de taken uit werkpakket 2.

1.2 Doel van werkpakket WP2

Het doel van dit werkpakket is het analyseren van de mogelijke impact van een eventuele verdroging en grondwaterstandsaling op nevenfuncties.

Hiervoor werd een grondwatermodel opgebouwd en de grondwatervoeding berekend onder invloed van het huidige klimaat en een klimaatscenario met gereduceerde grondwateraanvulling. Met het grondwatermodel wordt de potentiële grondwaterstandsaling en impact op de grondwaterstroming berekend (WP2.1). De resultaten worden aangewend in een beoordeling van de potentiële impact op de waterbeschikbaarheid, natuurpotenties en bouwtechnische stabiliteit.

Bij dit werkpakket hoort tevens een benchmarkstudie waarin gekeken wordt naar ervaringen in binnen- en buitenland om de ‘best-practices’ te detecteren van maatregelen tegen de effecten van klimaatverandering (WP2.2).

2 Grondwatermodellering

Voor de opbouw van het grondwatermodel wordt een modelconcept voorgesteld (sectie 2.1) waarin alle relevante gegevens m.b.t. grondwaterstromingen worden verzameld en opgeslagen in het hoogste detail: topografie, hydrogeologie, hydrografie, bemalingen, ondergrondse structuren etc.

Op basis van dit conceptuele model wordt een eerste regionaal grondwaterstromingsmodel aangemaakt met een resolutie van modelrooster van 100 bij 100 meter. Het model met deze ruimtelijke resolutie wordt zowel steady state als tijdsafhankelijk gekalibreerd doorgerekend en wordt aan een gevoeligheidsanalyse onderworpen (sectie 2.3).

Dit model is de meest aangewezen tool om de impact van klimaatscenario's op grondwatervoeding en -stroming te begroten. Op basis van dit model kunnen vervolgens, nog verfijndere lokale modellen opgebouwd worden voor het doorrekenen van de strategieën (WP3).

2.1 Opbouw conceptueel model

Het conceptuele grondwatermodel bevat alle relevante gegevens m.b.t. de opbouw van het grondwaterstromingsmodel. Het omvat dus een beschrijving van de gegevens die specifiek zijn toegespitst op grondwaterstroming: hydraulische karakteristieken van de bodem, structuren met invloed op de stroming, beschikbare observaties voor kalibratie van het model, etc.

2.2 Modelgebied

Er wordt een modelgebied geselecteerd dat ruimer is dan de grenzen van de stad Antwerpen (Figuur 2-1). Dit wordt gedaan om een mogelijke invloed van de gekozen randvoorwaarden op de gesimuleerde stijghoogtes binnen het studiegebied tot een minimum te beperken. Ter hoogte van de modelgrenzen wordt een niet-doorlaatbare rand opgelegd (no-flux boundary). De keuze van de randvoorwaarden en ligging van de modelgrenzen wordt als volgt verantwoord:

- Op de noordelijke grens met Nederland worden de grondwaterstanden sterk bepaald door de hydrografie (kanaaldokken, Schelde).
- Langs de noordelijke en noordoostelijke zijde wordt de waterscheiding tussen Schelde- en Maasbekken gevolgd (stroomgebiedsgrens van de waterlopen van 1^e categorie Schijn en Aa). De topografische grens van de Brabantse Wal tussen de stroomgebieden van Maas en Schelde is niet noodzakelijk een grondwaterscheiding. Voor de modelaccuraatheid binnen de grenzen van de stad Antwerpen volstaat echter deze keuze. Tussen de modelgrens en het studiegebied van de stad Antwerpen bevindt zich het dicht drainagenetwerk van de bovenlopen van de Schijns. Eventuele afwijkingen worden hier gecorrigeerd door de hydrografie.
- Zuidelijke-oostelijke zijde: de waterscheiding tussen de Beneden-Schelde en de Rupel, wat overeenstemt met de cuesta gevormd door de Boomse klei.
- Westelijk zijde: de modelrand wordt in het midden van de Schelde gelegd. Ter hoogte van Antwerpen linkeroever wordt ook een gedeelte van de linkeroever opgenomen in het model.

Voor de berekening van de regionale grondwaterstroming wordt gewerkt met een rekenrooster met celgrootte van 100 bij 100 m. De linkerbenedenhoek van het modelgebied heeft als coördinaten $x = 138\,500,0$ m Lambert72 en $y = 200\,000,0$ m Lambert72. Het model heeft een grootte van 34,5 bij 31,0 km. In het modelgrid komen zo 55 706 actieve cellen per modellaag voor.

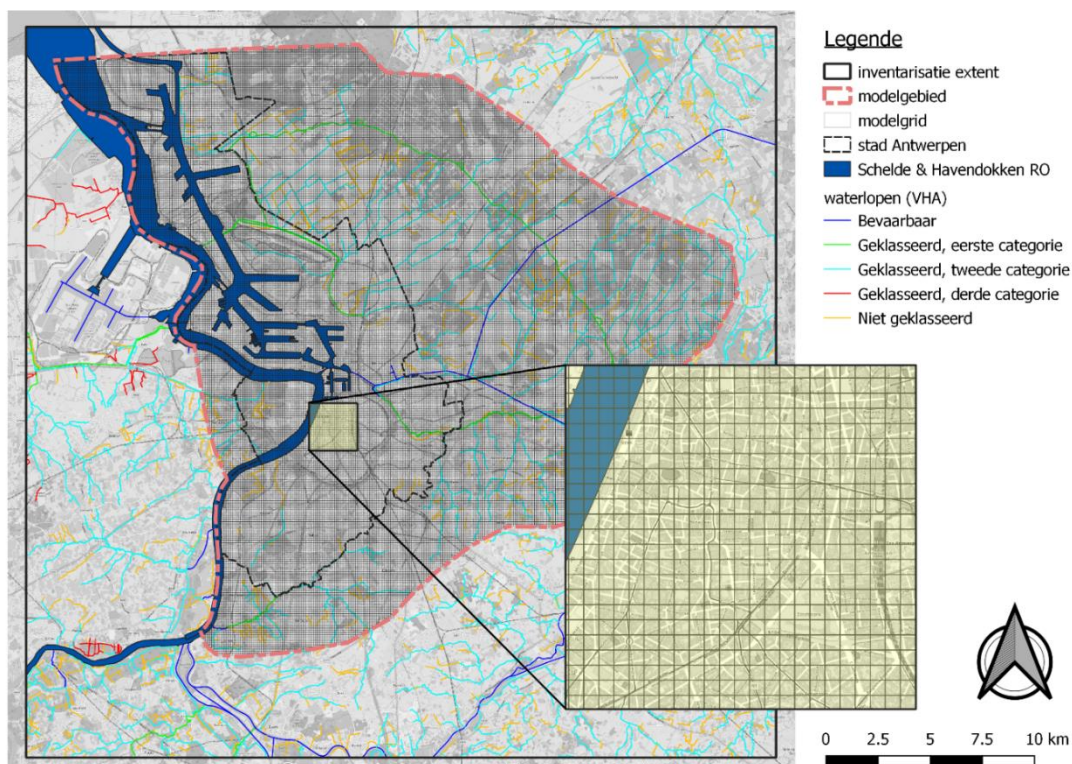
Voor de afbakening van de watervoerende lagen wordt de hydrogeologische opbouw van het Vlaams Grondwatermodel VGM gevolgd. (Meyus *et al.*, 2004). Het gekozen modelgebied maakt deel uit van het Centraal Kempens Systeem (CKS), aan de onderzijde begrensd door de Boom Aquitard (HCOV0300). Voor de berekening van de grondwaterstanden binnen de modelgrenzen onder invloed van gewijzigde grondwatervoeding kan men zich beperken tot de freatische grondwaterlichamen boven de Formatie van Boom:

- Quartaire Aquifersystemen (HCOV0100):
De dikte van het quartair binnen het modelgebied is variabel. Voornamelijk dikker in het noorden, nabij de grens met Nederland (dikte tot 25 m) en langsheen de Schelde (10 tot 20 m). Voor de overige delen van het modelgebied ligt de dikte van het Quartair eerder in de orde van 5 m of minder. Van de zeven subeenheden die dit systeem omvat, komen er zes voor binnen het modelgebied:
 - Ophogingen (HCOV0110): Niet natuurlijke ophogingen, door de mens aangebracht. Komen geconcentreerd voor in het havengebied. Kunnen verder voornamelijk teruggevonden worden als lijnelementen langs weginfrastructuur. Voor de invoer van deze laag werd gebruik gemaakt van de recent beschikbare gegevens uit het Hydrogeologisch 3D-model (H3D). Dit zal op termijn de HCOV kartering opgesteld in het kader van het VGM vervangen, maar is op het moment van deze studie nog niet volledig beschikbaar. Het voordeel van deze wel reeds te gebruiken voor de ophogingen, is dat deze de recente wijzigingen in het havengebied omvat. Een overzicht van het verschil in dikte is weergegeven op Figuur Bijlage A-7. Grootste wijzigingen zijn merkbaar in het havengebied en rondom de grootste verkeersassen.
 - Duinen (HCOV0120): Komt voor onder de vorm van landduinen in de regio Kapellen-Brasschaat. Meestal gesorteerde, goed doorlatende fijnzandige afzettingen.
 - Polderafzettingen (HCOV0130): Recente kleiige en venige polderafzettingen. Voorkomen geconcentreerd rondom het havengebied.
 - Alluviale deklagen (HCOV0140): Venige, lemige en kleiige alluviale afzettingen in beek- en riviervalleien. Meestal slecht doorlatend. Voorkomen voornamelijk langsheen de Schelde en de grotere waterlopen (Groot Schijn, Rupel, Nete). Ter hoogte van de polder van Hoboken worden de minder doorlatende afzettingen volgens HCOV beschouwd als Alluviale deklagen. Lokaal wordt de hydraulische doorlatendheid verlaagd zodanig dat deze in overeenstemming is met de polderafzettingen.
 - Deklagen (HCOV0150): Alle niet-alluviale deklagen, doorgaans van eolische oorsprong. Binnen het modelgebied betreft het voornamelijk de goed doorlatende zandige deklagen die gebiedsdekkend (uitgezonderd riviervalleien) voorkomen.
 - Pleistocene afzettingen (HCOV0160): Voornamelijk zandige en lemige afzettingen. Voorkomen geconcentreerd rondom havengebied en riviervalleien.

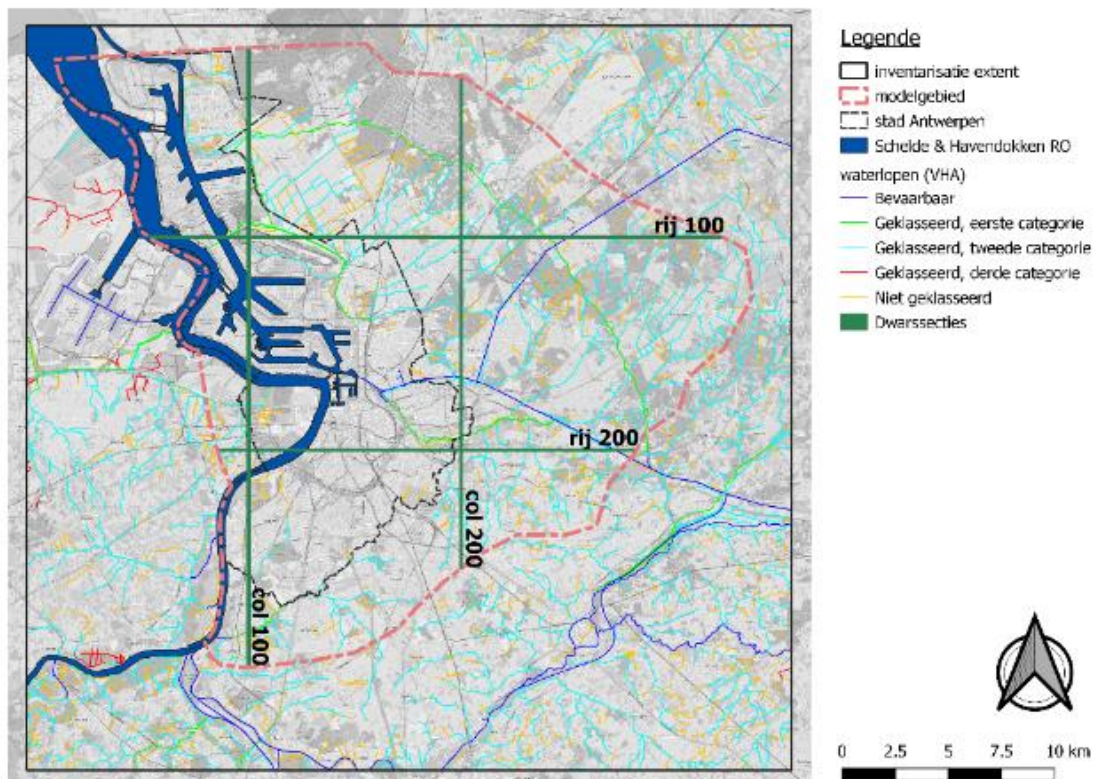
- Kempens Aquifersysteem (HCOV0200): Deze bestaat uit een opeenvolging van diverse zanden van Miocene, Pliocene en Pleistocene ouderdom, afgewisseld met lokale kleilagen. Dikte neemt toe van niet voorkomen aan de zuidwestelijke modelgrens tot een dikte van ongeveer 100 m aan de noordoostelijke modelgrens. Deze aquifer wordt binnen het beschouwde gebied opgebouwd uit vier subeenheden:
 - Klei-zand-complex van de Kempen (HCOV0220): een afwisseling van zand- en kleilagen. Beperkt voorkomen aan noordoostelijke grens van het modelgebied.
 - Pleistoceen en Pliocene Aquifer (HCOV0230): zandige aquifer. Voorkomen voornamelijk aan noordelijke zijde van het model. Dikte eerder beperkt (<10 m), uitgezonderd aan de noordoostelijke modelgrens waar deze tot 25 m dikte reikt.
 - Pliocene kleiige laag (HCOV0240): een heterogeen, eerder discontinue afsluitende laag tussen de Pleistoceen en Pliocene Aquifer (HCOV0230) en het Mioceen Aquifersysteem (HCOV0250). Komt voor als een band in noordwestelijke - zuidoostelijke richting. Dikte beperkt (ca 5 m) met ter hoogte van Kapellen een verdikking tot 15 m.
 - Mioceen Aquifersysteem (HCOV0250): opgebouwd uit voornamelijk zandige formaties. Bouwt het grootste deel van het Kempens Aquifersysteem op. Dikte neemt toe van niet voorkomen aan zuidwestelijke modelgrens tot een dikte van 60 à 70 m aan de noordoostelijke modelgrens. In het modelgebied bestaat dit systeem voornamelijk uit het zand van Diest (HCOV0252) en de zanden van Berchem en/of Voort (HCOV0254).
- Boom Aquitard (HCOV0300): Komt gebiedsdekkend onder het modelgebied voor. Grootste dikte aan noordelijke zijde van het model (tot 80 m). In zuidwestelijke richting heeft deze een beperktere dikte (20 tot 30m). Door de dikte en het slecht doorlatend karakter van dit kleipakket, is stroming doorheen dit pakket beperkt. Deze vormt zo de ondergrens van het model.

Bovenstaande beschrijvingen van de HCOV eenheden zijn gebaseerd op de begeleidende nota's van de achtereenvolgende grondwatersystemen: 'het Centraal Vlaams Systeem' (VMM, 2008a), 'Het Centraal Kempisch Systeem' (VMM, 2008b) en 'het Kust- en Poldersysteem' (VMM, 2008c). Een overzicht van de voorkomingsgrenzen en dikte van de HCOV hoofdeenheden werd opgenomen in Bijlage A.2 en voor de HCOV subeenheden in Bijlage A.3.

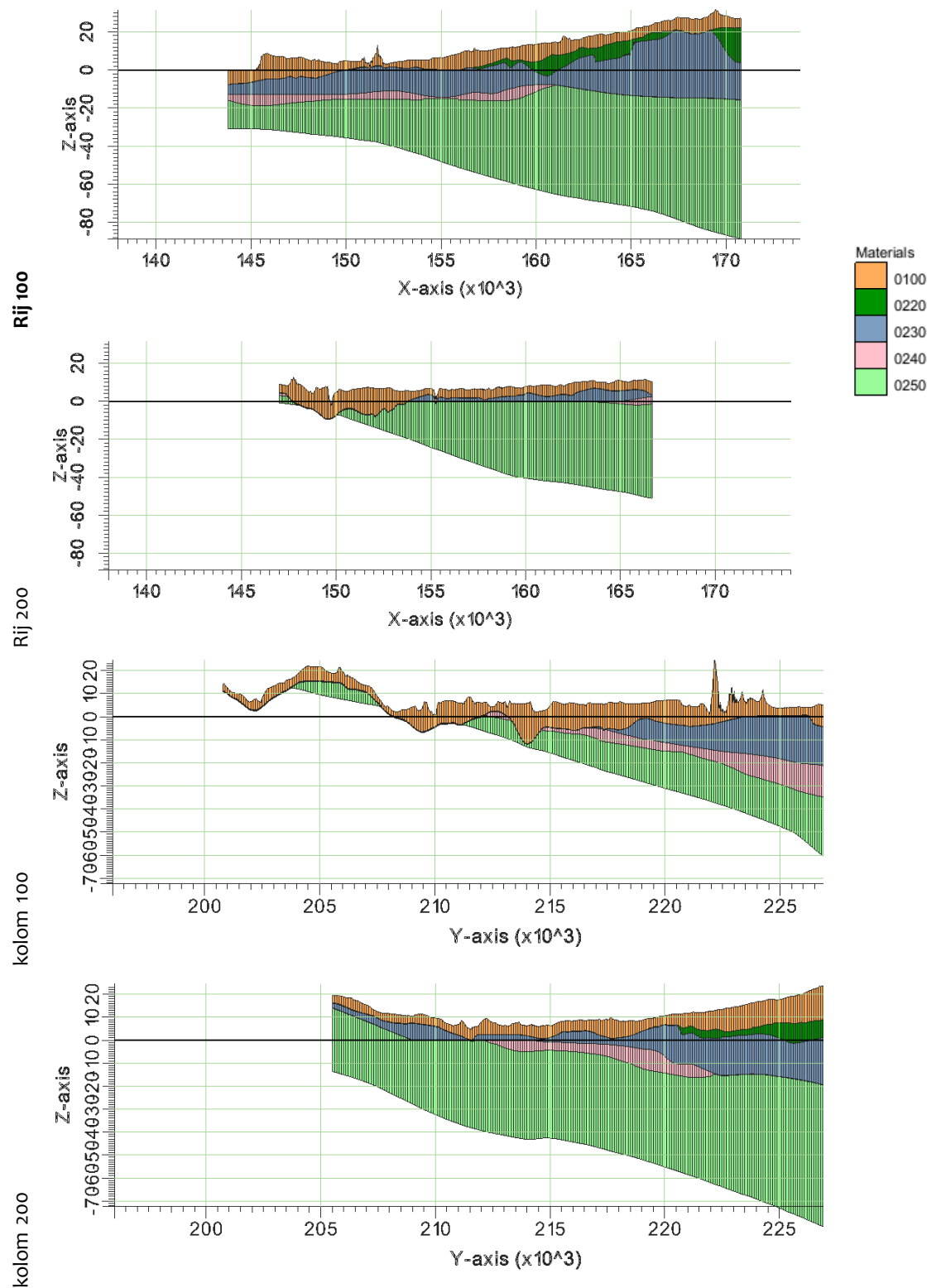
In het verticale vlak wordt het modelgebied opgedeeld in vijf modellagen (Figuur 2-2). De Quartaire Aquifersystemen (HCOV0100) worden in de bovenste modellaag ondergebracht. Alle subeenheden worden hier samen in één laag ondergebracht. De modellagen 2 tot en met 5 worden opgebouwd uit de subeenheden van het Kempens Aquifersysteem (HCOV0200). Iedere subeenheid wordt hierbij in een afzonderlijke laag ondergebracht. De top van de Boom Aquitard (HCOV0300) wordt beschouwd als ondoorlatende basis van het grondwatermodel.



Figuur 2-1: Overzicht van het modelgebied en de ligging van het studiegebied stad Antwerpen. In de zoom wordt de graad van detail van het modelgrid weergegeven.



Figuur 2-2: Ligging van de voorgestelde dwarsdoorsneden



Figuur 2-3: Dwarssecties doorheen de hydrogeologie van het modelgebied. Ligging van de dwarsdoorsneden is voorgesteld op Figuur 2-2

2.2.1 Hydraulische parameters

Richtwaarden voor de hydraulische parameters (zie Tabel 2-1) worden gevonden in Lebbe et al. (2004) in combinatie met de referentiewaarden opgenomen in de beschrijvende documenten van de grondwatersystemen 'het Centraal Vlaams Systeem' (VMM, 2008a), 'het Centraal Kempisch Systeem' (VMM, 2008b) en 'het Kust- en Poldersysteem' (VMM, 2008c). Waar nodig worden deze verder aangepast tijdens de kalibratie. Voor de verticale doorlatendheid werd een uniforme anisotropie van 3 aangenomen ten opzichte van de horizontale doorlatendheid. De specifieke elastische berging werd voor alle eenheden ingesteld op een waarde van 10^{-4} m^{-1} .

Tabel 2-1: Hydraulische parameters van de HCOV-lagen die de freatische zone opbouwen. (K_h =

HCOV			Kh [m/d]			So [-]
Hoofdeenheid	Sub-eenheid	Model laag	Lebbe et al. (2004)	VMM (VMM, 2008c) (VMM, 2008b) (VMM, 2008a)	keuze	Lebbe et al. (2004)
0100 Quartair Aquifersysteem	0110	1	6*	Goed tot ondoorlatend	10	0,05
	0120	1		26	26	
	0130	1		Slecht doorlatend	0,001	
	0140	1		0,1 tot 0,3	0,2**	
	0150	1		0,1 tot 10	5	
	0160	1		0,01 tot 30	5	
0200 Mioceen Aquifersysteem	220	2	0,233	5 tot 15	5	0,015
	230	3	17,2	0,5 tot 46	5	0,1
	240	4	0,02	0,02 tot 0,17	0,02	0,05
	250 (252) (254)	5	6,9 - -	0,03 tot 35 12 6	14	0,09 - -

* in Lebbe et al. (2004) wordt geen onderscheid gemaakt tussen de doorlatendheden van de verschillende subeenheden.

** ter hoogte van de polder van Hoboken werd de doorlatendheid van de minder doorlatende alluviale afzettingen (HCOV0140) lokaal verlaagd tot de doorlatendheid van de polderafzettingen (HCOV0130) omwille van het kleiige karakter.

De bovenste modellaag (het Quartaire Aquifersysteem) is opgebouwd uit een reeks van HCOV sub-eenheden die elk hun eigen kenmerkende doorlatendheid hebben.

Volgende formule wordt gehanteerd om tot een inschatting van de horizontale doorlatendheid te komen (herrekening op basis van de transmissiviteit):

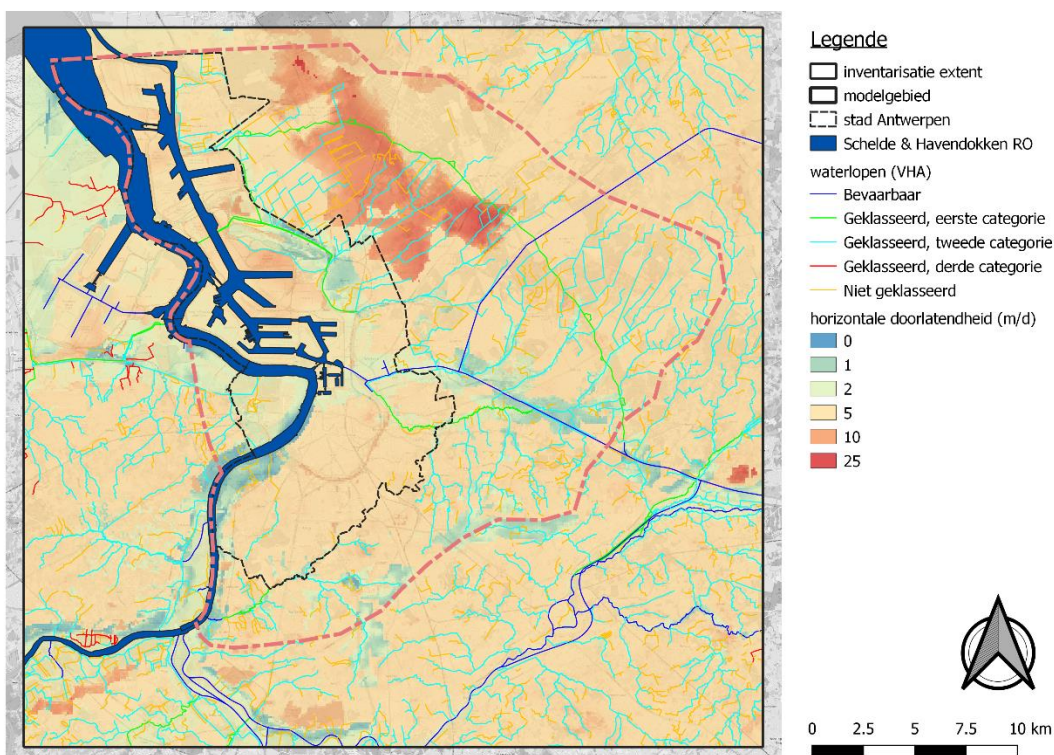
$$K_h = \frac{\sum K_{hi} * D_i}{\sum D_i}$$

Met D gelijk aan de dikte van de respectievelijke eenheden.

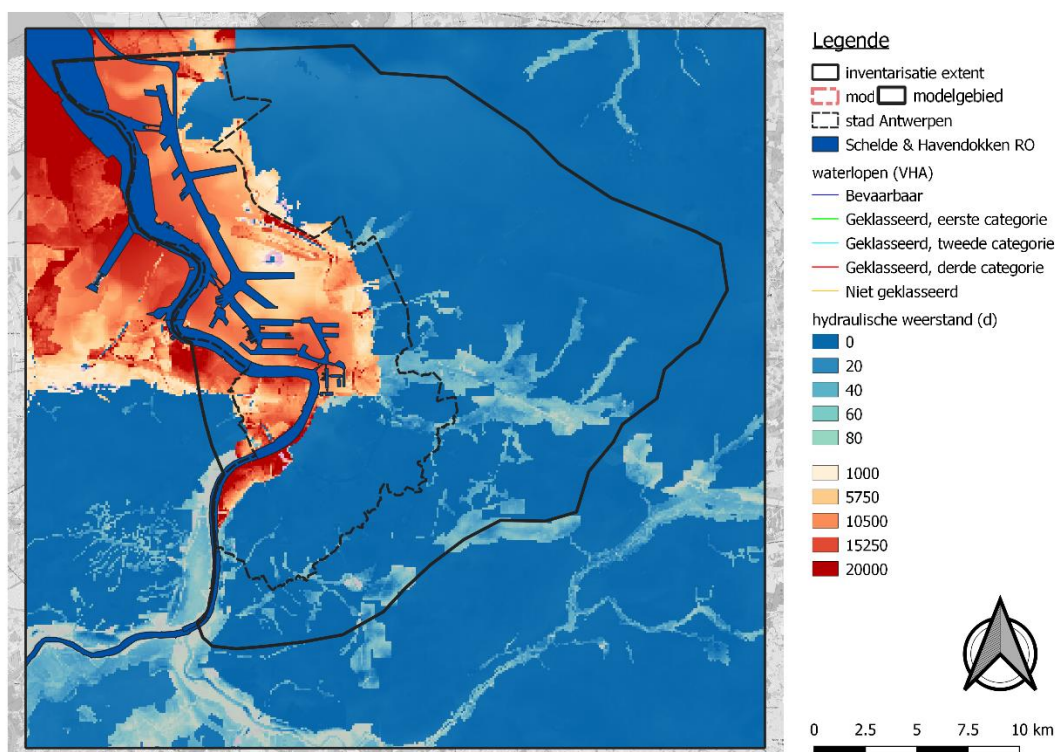
Voor de bepaling van de verticale doorlatendheid (K_v) wordt volgende formule gehanteerd (herrekening op basis van de weerstand):

$$K_v = \frac{\sum D_i}{\sum \frac{D_i}{K_{vi}}}$$

Bij de horizontale doorlatendheid zullen zo vooral de goed doorlatende lagen de gemiddelde doorlatendheid bepalen. De gemiddelde verticale doorlatendheid (de weerstand) daarentegen zal vooral door de slecht doorlatende lagen bepaald worden. De ruimtelijke spreiding van de horizontale doorlatendheid en de totale weerstand voor deze bovenste quartaire modellaag wordt weergegeven op respectievelijk Figuur 2-4 en Figuur 2-5.



Figuur 2-4: Gemiddelde horizontale doorlatendheid van het Quartair dek (modellaag 1).



Figuur 2-5: Totale hydraulische weerstand van het Quartair dek (bovenste modell laag)

2.2.2 Grondwatervoeding

De grondwatervoeding wordt berekend met behulp van een ruimtelijk verdeeld bodemvocht model. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een model ontwikkeld op basis van de expertise van de Universit  catholique de Louvain (UCL) in het kader van het Next-generation tools project van de VMM (IMDC, 2015). Voor een beschrijving van de balansen termen en wiskundige formuleringen wordt verwezen naar (IMDC, 2015) en Bijlage B

Het model berekent voor iedere locatie in het modelgebied de bodemvochtbalans. De vochtbalans wordt bepaald uit de inkomende (neerslag) en uitgaande (evapotranspiratie, drainage) termen. Er werd in de voorliggende berekening geen rekening gehouden met de freatische grondwaterstanden.

Onderstaand worden eerst de gebruikte invoerreksen besproken (sectie 2.2.2.1) en vervolgens worden de resultaten ervan geanalyseerd (sectie 2.2.3.2).

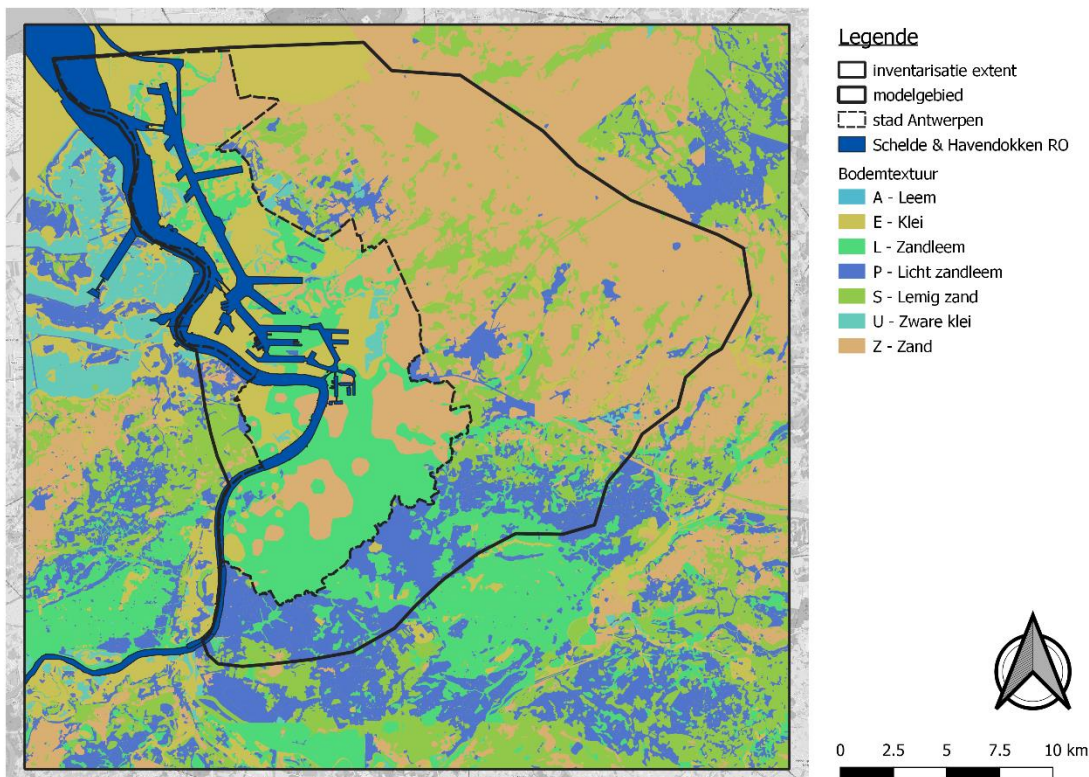
2.2.2.1 Invoerlagen

De bovenvermelde vochtbalansen werden voor het studiegebied berekend op dagbasis met een ruimtelijke resolutie van 50 bij 50 meter. De vochtbalans wordt tijdsafhankelijke doorgerekend waarbij de berekeningen telkens 1 jaar eerder worden gestart dan de gewenste tijdreeks. Deze "opwarmperiode" dient om de invloed van eventueel fout gekozen startcondities uit te middelen bij de start van de gewenste tijdreeks van grondwatervoeding.

2.2.3 Bodemtextuur

Voor de bodemclassificatie wordt een vereenvoudiging uitgevoerd van de bodemkaart van Vlaanderen (Van Ranst and Sys, 2000) volgens de zeven meest voorkomende texturen: zand, lemig zand, zandleem, lichte zandleem, leem, klei en zware klei.

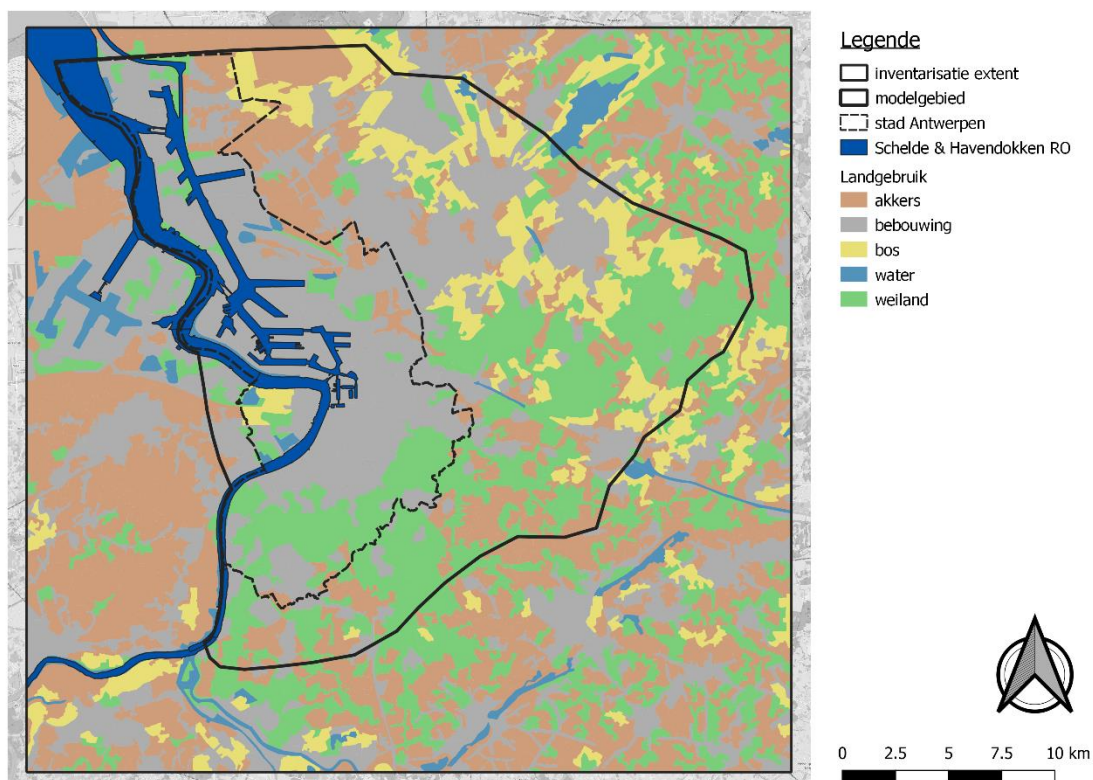
De bodemkaart Vlaanderen bevat echter geen gegevens in verstedelijkte gebieden. Hiertoe werd voor de stad Antwerpen de bodemkaart opgevuld op basis van de kartering die plaatvond in functie van de infiltratie studie door ABO (ABO, 2015). Voor de gedeelten buiten stad Antwerpen werd een manuele opvulling gemaakt op basis van vermoedelijke textuur.



Figuur 2-6: Vereenvoudigde bodemtexturen binnen het modelgebied. Combinatie van de Bodemkaart Vlaanderen (Van Ranst and Sys, 2000) en de bodemkartering binnen het stad door ABO (ABO, 2015).

2.2.3.1.1 Landgebruik

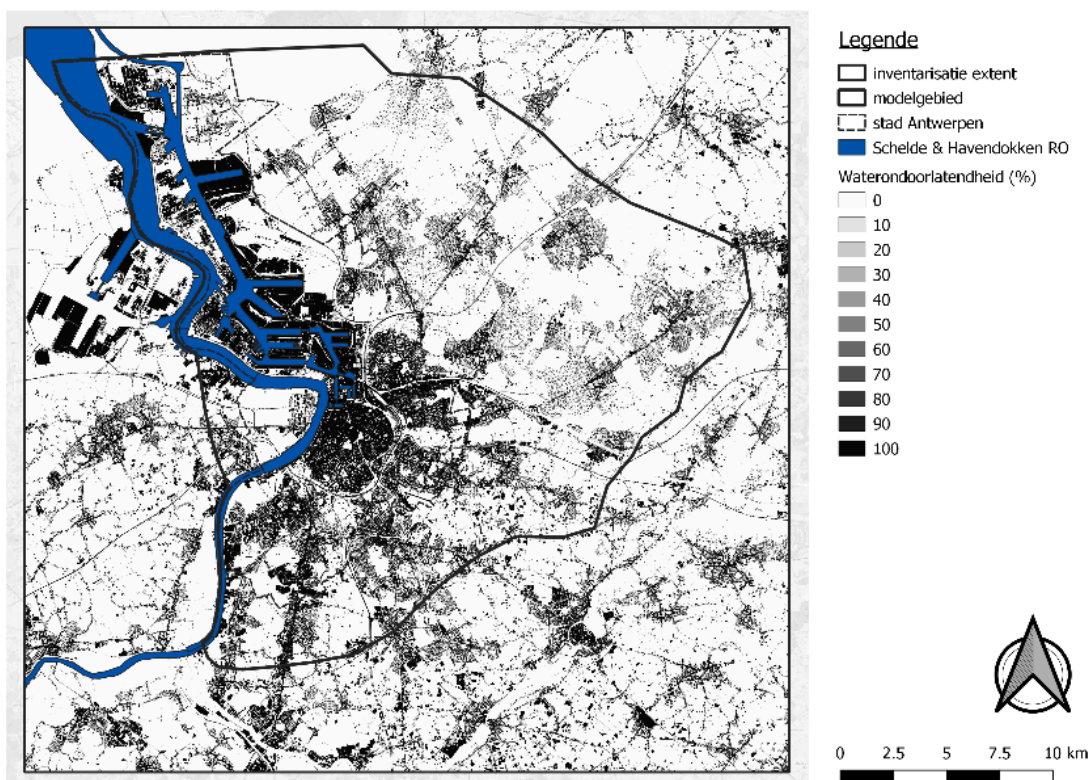
Voor landgebruik werd gesteund op de laatst beschikbare CORINE kaart (Copernicus, 2018). Dit is een naadloze polygonenkaart waarbij landgebruik in 32 klassen uit de legende van CORINE Land Cover die in België voorkomen wordt onderverdeeld. De kleinste in kaart gebrachte eenheid bedroeg hierbij 25 ha. Deze kaart werd vereenvoudigd naar 5 landgebruiken: akker, weiland, water, bos en bebouwing.



Figuur 2-7: Vereenvoudigd landgebruik binnen het modelgebied (op basis van de CORINE kaart (Copernicus, 2018))

2.2.3.1.2 Verharding

Voor de verharding wordt gesteund op de waterondoorlaatbaarheidskaart (WOK) (Van der Linden *et al.*, 2016), waterondoorlatendheid wordt hier gedefinieerd als de oppervlakte waar het bodemoppervlak zijn infiltreerbaarheid voor water is verloren omwille van het aanbrengen van een artificieel waterondoorlatend oppervlak en dus waar water afstroomt via dit oppervlak. Dit betreft een opname uit 2012 met resolutie 5x5 m.



Figuur 2-8: Waterondoorlatendheid (= verharding) binnen het modelgebied. (Van der Linden et al., 2016)

2.2.3.2 Beschouwde neerslagreeksen & referentieperiodes

Voor toepassing in de opdracht werden drie verschillende tijdreeksen met grondwatervoeding berekend.

Voor afijking van het grondwatermodel wordt een recente periode van 11 jaar met het grondwatervoedingsmodel doorgerekend tussen 1/1/2008 en 1/1/2019 (kalibratieperiode 2008-heden), waarvan de periode 1/4/2008 – 1/4/2018 wordt ingevoerd in het grondwatermodel. Voor de neerslag werden de gegevens van het neerslagstation te Wilrijk gebruikt. Voor de evapotranspiratie wordt de tijdreeks van Herentals gebruikt. Deze is berekend op basis van de Penman Montheith methode (Monteith, 1965).

Voor de impactberekening van klimaatverandering wordt beroep gedaan op de neerslag- en potentiële evapotranspiratietijdreeksen waarvoor een klimaatprojectie beschikbaar werd gesteld in het kader van een hydrometrische studie in opdracht van de stad Antwerpen (Willems P. et al., 2015). Voor de periode 1900-2005 zijn tijdreeksen beschikbaar voor zowel huidig als geprojecteerd klimaat. Uit de verschillende klimaatscenario's werd de projectie weerhouden met de meest negatieve potentiële impact op de grondwatervoeding, zijnde het "laag klimaatscenario", waarvoor een sterke daling van de neerslag tijdens de zomermaanden wordt berekend. Verwacht wordt dat de uiteindelijke klimaatwijziging tussen het huidige klimaat en dit laag klimaatscenario ligt.

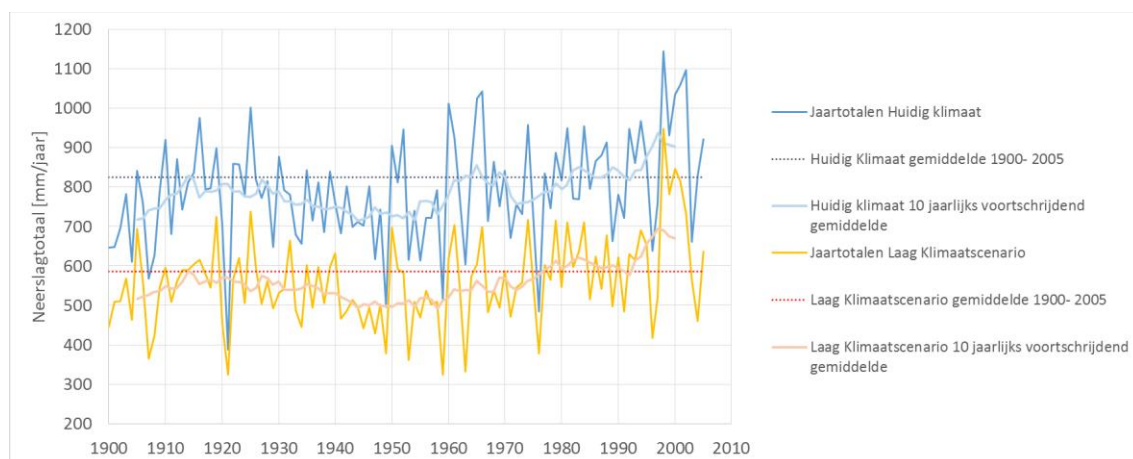
In het Laag Klimaatscenario wordt geen gewijzigde evapotranspiratie berekend.

Als klimaatscenario werden in het kader van deze studie het klimaatscenario “low” met de laagste neerslaghoeveelheid tijdens de zomermaanden gecombineerd met het scenario “low” voor de potentiële evapotranspiratie. De combinatie van de 2 tijdreeksen heeft de sterkste impact op droogte tijdens de zomermaanden en kan derhalve worden beschouwd als een ondergrens (met 95 % kans) van de beschikbare neerslag tijdens de zomermaanden. Er bestaat dus 95 % dat het toekomstig klimaat tussen het huidige klimaat en het gekozen klimaatscenario ligt.

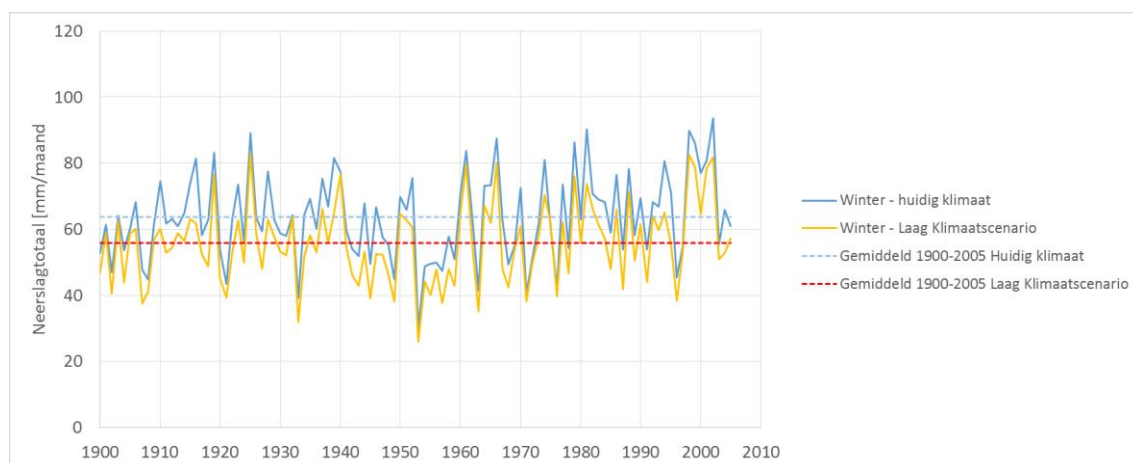
Een vergelijking van de maand- en jaarsommen van de neerslag voor huidige toestand en scenario wordt weergegeven in Figuur 2-9 tot Figuur 2-14. De daling voor jaartotalen, winterse en zomers maandgemiddelden worden opgesomd in Tabel 2-2. Er wordt een totale reductie van de neerslag berekend met 229 mm/jaar of van 30 % (Figuur 2-9), met een beperkte afname tijdens de wintermaanden oktober - maart van 8 mm/maand of 12 % (Figuur 2-10) en een significante afname tijdens de zomermaanden april – september met 35 mm/maand of 50 % (Figuur 2-11). De daling tijdens de zomermaanden wordt in hoofdzaak gerealiseerd tijdens de maanden juni – augustus met een totale daling van de neerslag met 164 mm (Figuur 2-12) of een reductie van meer dan 75 % (Figuur 2-13).

Tabel 2-2: gemiddelde neerslagtotalen huidig klimaat en laag klimaatscenario

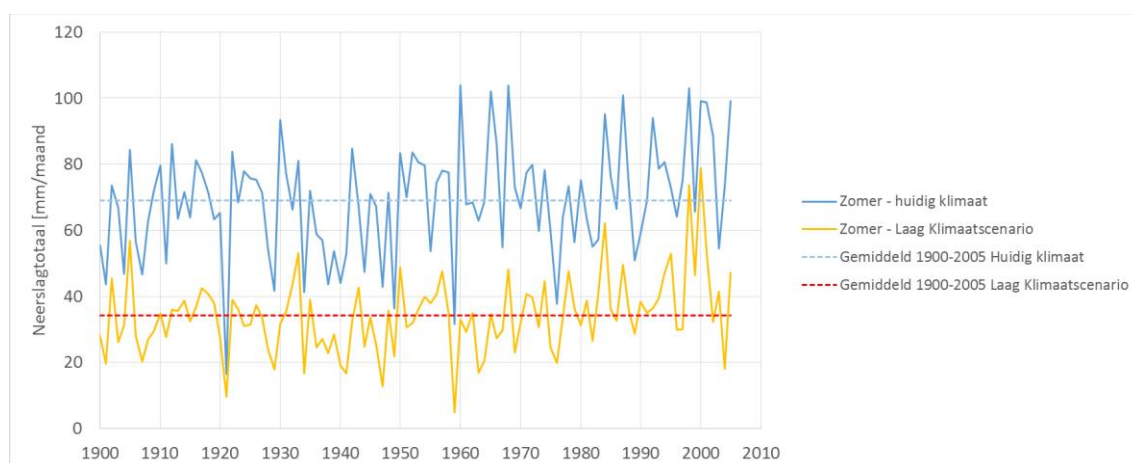
	Huidig klimaat (1900 - 2005)	Laag Klimaatscenario (1900 - 2005)	Vershil [mm]	reductie
jaartotaal [mm/jaar]	791	562	229	-29%
Maandgemiddeld winter [mm/maand]	64	56	8	-12%
Maandgemiddeld zomer [mm/maand]	69	34	35	-50%
Maandgemiddelden [mm/maand]				
januari	66	46	19	-29%
februari	51	36	15	-30%
maart	55	56	-1	2%
april	54	61	-7	12%
mei	60	61	-1	2%
juni	67	26	41	-62%
juli	81	16	66	-81%
augustus	70	13	57	-81%
september	67	56	11	-16%
oktober	72	67	5	-7%
november	72	73	-1	1%
december	75	51	24	-32%



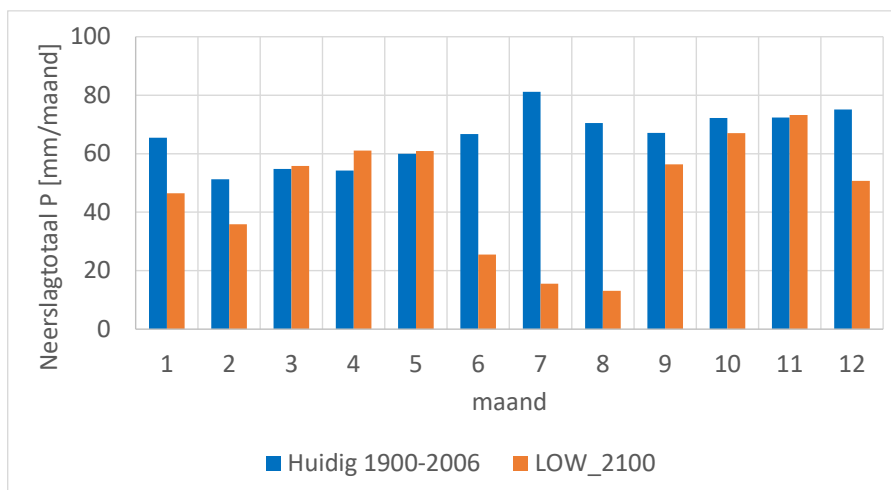
Figuur 2-9: Jaartotalen neerslag huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)



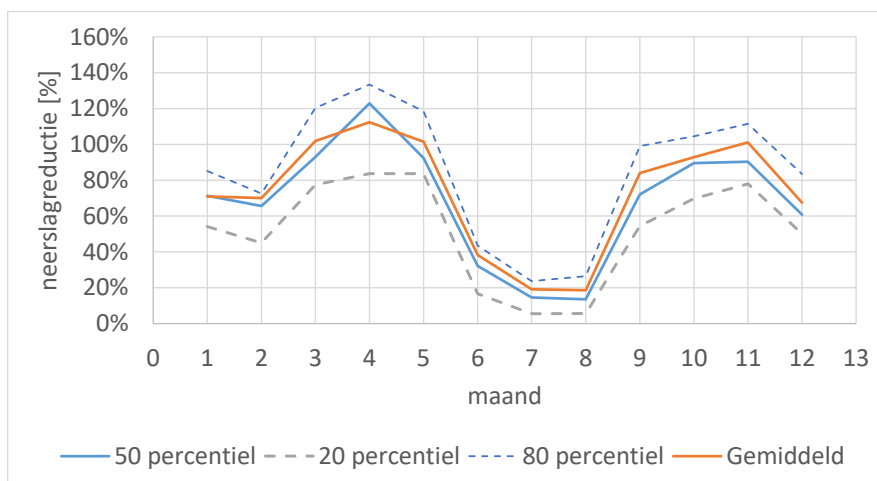
Figuur 2-10: Maandgemiddelde neerslag tijdens de wintermaanden huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)



Figuur 2-11: Maandgemiddelde neerslag tijdens de zomermaanden huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)



Figuur 2-12: Gemiddelde maandtotalen neerslag huidig klimaat en laag klimaat scenario tijdreeksen voor “station” Schijn Noord, Willems P. et al., 2015)



Figuur 2-13: verhouding maandtotalen neerslag huidig klimaat / laag klimaat scenario voor gemiddelde, mediaan en 20 / 80 percentielwaarde.

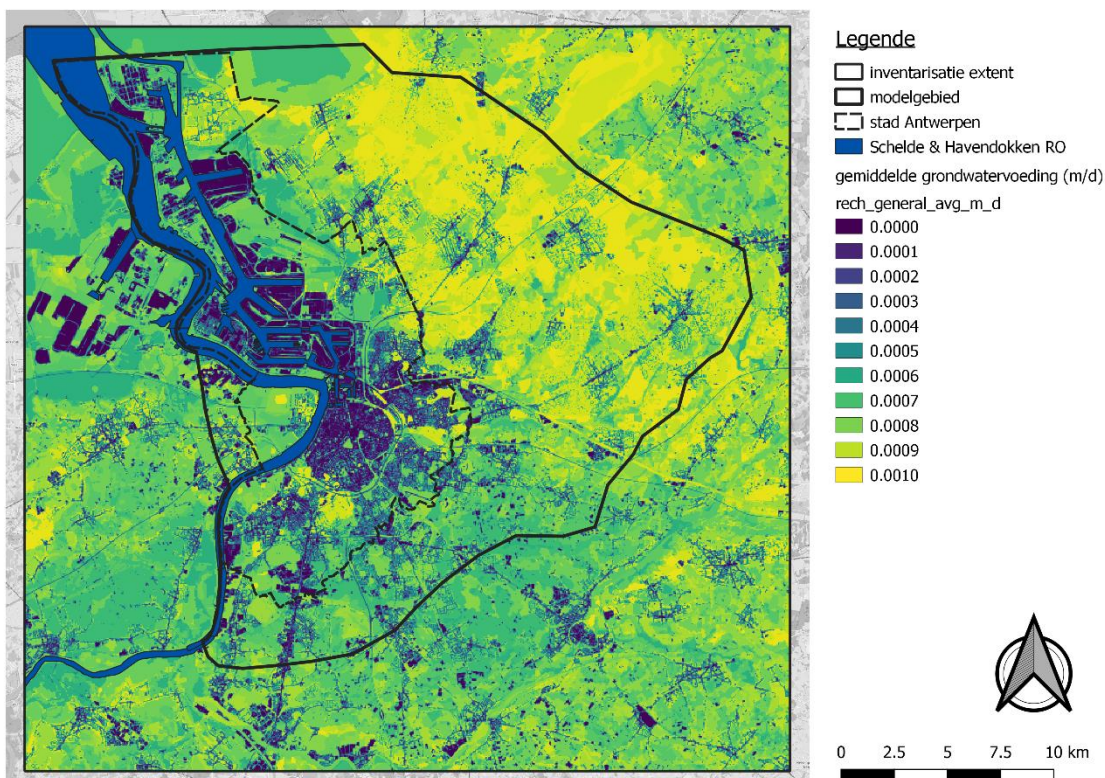
2.2.3.3 Berekenedgrondwatervoeding

2.2.3.3.1 Periode 2008 - heden

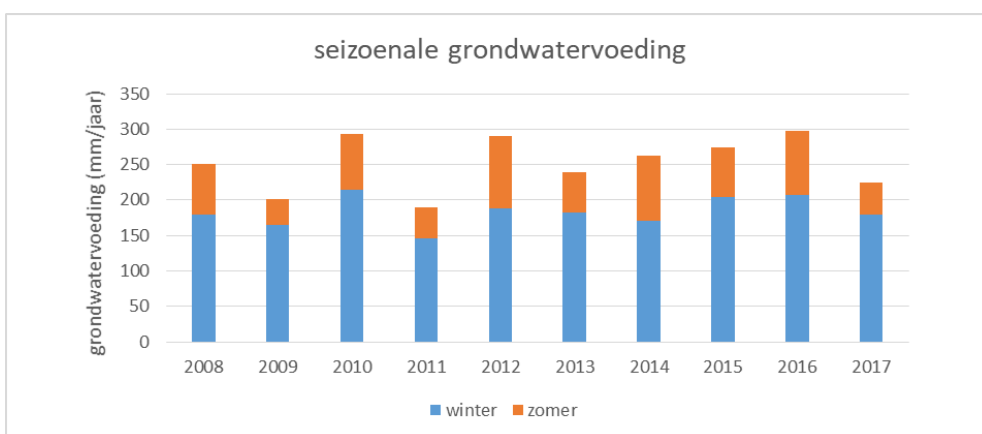
De ruimtelijke spreiding van de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in de periode 2008-2017 wordt weergegeven op Figuur 2-14. Hierin is heel sterk het patroon van de verharding terug te vinden, die de voeding in de stadskern en delen van het havengebied sterk doet afnemen. De grootste voeding komt voor in het noordoostelijk gedeelte van het modelgebied waar de meer zandige gronden voorkomen. Het jaartotaal van grondwatervoeding binnen het modelgebied bedraagt 285 mm of 0,78 mm/dag.

Een overzicht van de seizoenale evolutie van de grondwatervoeding in periode 2008-2017 is weergegeven op Figuur 2-15, de maandelijkse voeding gedurende een gemiddeld jaar in de periode 2008-2017 is weergegeven op Figuur 2-16.

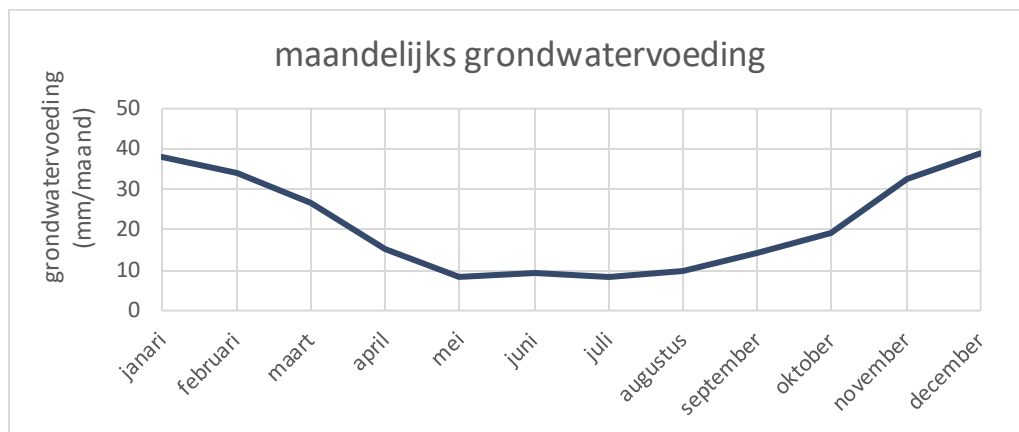
De berekende gemiddelden voor het studiegebied worden vergeleken met de langetermijn berekeningen volgens het WetSpa model (ter beschikking gesteld door VMM). De resultaten zijn vergelijkbaar, de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in de WetSpa analyse bedraagt 248 mm. In huidig model bedraagt ze 252 mm. Ook de gemiddelde zomer (april tot oktober) en winter (oktober tot april) grondwatervoeding zijn vergelijkbaar met de resultaten van WetSpa. Tijdens de zomer- en wintermaanden wordt een gemiddelde grondwatervoeding berekend van respectievelijk 56 mm (huidig model) t.o.v. 27,5 mm (Wetspa) en 195 mm (huidig model) t.o.v. 220 mm (Wetspa).



Figuur 2-14: Berekende gemiddelde grondwatervoeding (m/d) volgens het bodemvochtmodel.



Figuur 2-15: Overzicht van de jaarlijkse variatie in de grondwatervoeding voor zomer- en winterperiode binnen het modelgebied



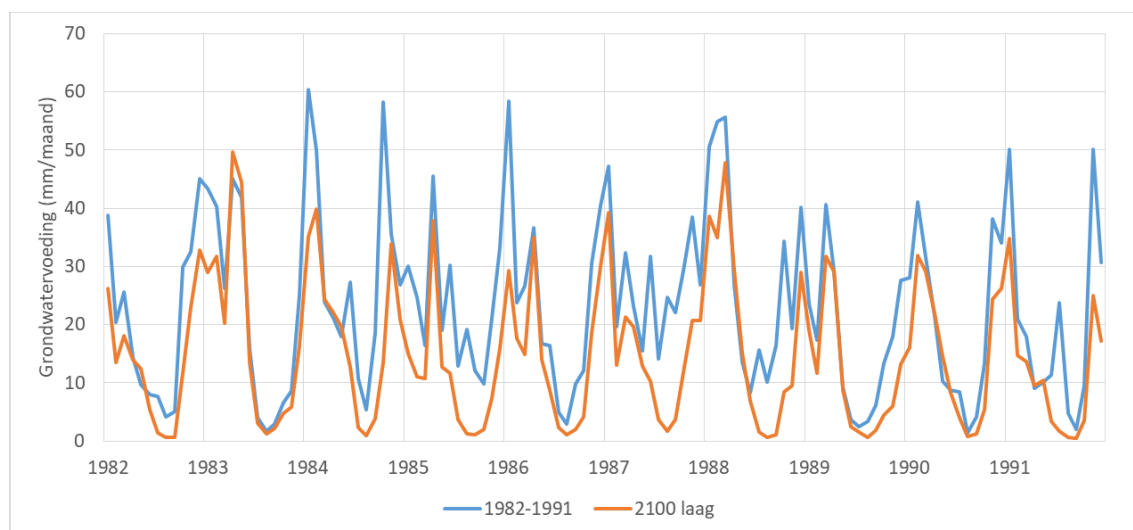
Figuur 2-16: Overzicht van de gemiddelde maandelijks grondwatervoeding binnen het modelgebied over de periode 2008-2017

2.2.3.3.2 Referentieperiode Huidige klimaat en Laag Klimaatscenario

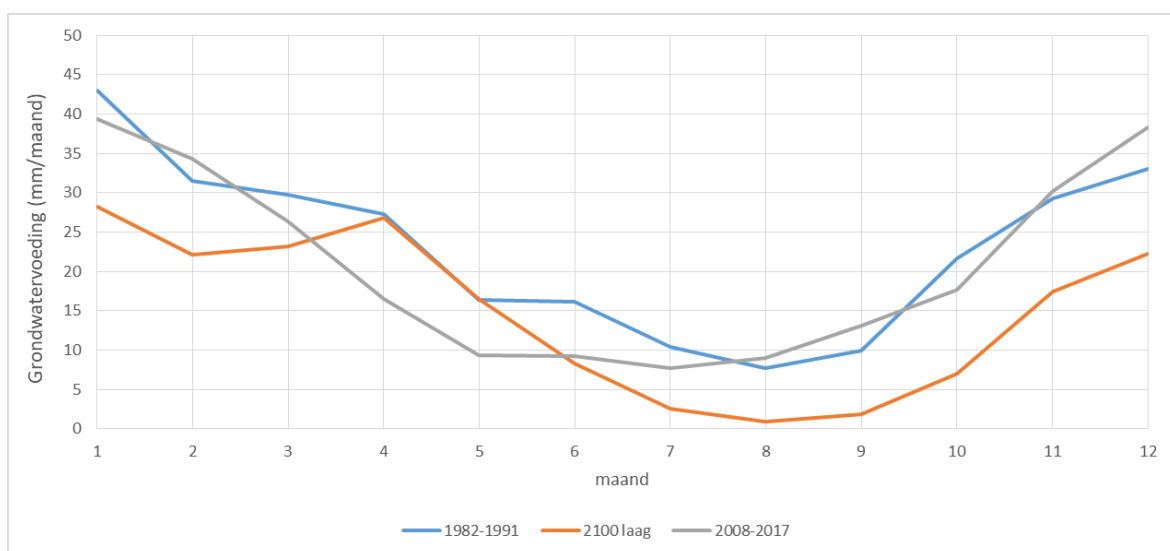
De neerslagtijdreeksen voor huidig klimaat en laag klimaatscenario werden doorgerekend, voor een periode van 10 jaar (+ 2 jaar opwarmperiode). Als referentieperiode is een periode met een jaargemiddelde en een gemiddeld maandgemiddelde neerslag gelijk aan deze van de periode 1900-2005 gekozen: 1/1982-12/1991.

In Figuur 2-17 worden de resultaten van de berekening weergegeven voor maandgemiddelde grondwatervoeding voor het volledige modeldomein. In Figuur 2-18 wordt hetzelfde resultaat weergegeven onder de vorm van gemiddelde maanden. Ter vergelijking wordt in de figuur eveneens het resultaat voor de periode januari-december 2018 uit sectie 2.2.3.1 weergegeven. Met uitzondering van het voorjaar 2018 worden voor de periode mei – september 2018 gelijke maandtotalen van de grondwatervoeding berekend als voor het laag klimaatscenario.

Over de referentieperiode 1982-1992 wordt voor het laag klimaatscenario jaargemiddeld 35 % minder grondwatervoeding berekend (Tabel 2-3). De afname van 35% is gelijk voor de zomerse en winterse jaarhelften. De afname tijdens de zomermaanden juli-september bedraagt echter 80 %.



Figuur 2-17: Maandelijks grondwatervoeding gesommeerd over het volledige modeldomein voor referentieperiode (1/1982-12/1991) voor huidig en Laag Klimaatscenario



Figuur 2-18: Maandgemiddelde grondwatervoeding gesommeerd over het volledige modeldomein voor referentieperiode (1/1982-12/1991) voor huidig en Laag Klimaatscenario en 2008-2017 (kalibratie).

Tabel 2-3: maandgemiddelde grondwatervoeding [mm] periode 2007-2017 en referentieperiodes

	periode 2007-2017	Referentieperiode 1982-1991		
Maand		Huidig klimaat	Laag klimaat scenario	Afname
Maandtotalen [mm]				
Januari	39	43	28	34%
Februari	34	31	22	30%
Maart	26	30	23	22%
April	17	27	27	2%
Mei	9	16	17	-1%
Juni	9	16	8	49%
Juli	8	10	3	76%
Augustus	9	8	1	88%
September	13	10	2	82%
Oktober	18	22	7	68%
November	30	29	17	40%
December	38	33	22	33%
Jaarhelft [mm]				
April – september	65	88	57	35%
Oktober – maart	186	188	120	36%
Jaartotaal [mm]				
Jaartotaal	251	276	177	36%

2.2.4 Rivieren&drainage

De waterlopen worden in het model ingevoerd aan de hand van het rivier- en drainagepakket. Het rivierpakket laat hierbij zowel de mogelijkheid van infiltratie als drainage toe, terwijl bij het drainagepakket enkel water uit het model kan weggetrokken worden. Enkel de waterlichamen waarvan gekend is dat er steeds voldoende water beschikbaar is, worden als rivier randvoorwaarde opgelegd.

Voor de ligging van de waterlopen wordt hierbij gesteund op de VHA en het GRB. Een samenvatting van de in het model opgenomen waterlopen is weergegeven in Tabel 2-4. Als weerstand of conductantie van de bedding tegen stroming worden waarden opgelegd conform de voorstellen van het Vlaams Grondwatermodel (Meyus et al., 2004)

Volgende waterlopen werden ingebouwd via het rivierpakket:

- Categorie 0 waterlopen: Vier waterlopen binnen het modelgebied vallen onder deze categorie.
 - Schelde: De contouren werden ingevoerd op basis van het GRB. Er werd een uniform gemiddeld waterpeil toegekend van 2,63 mTAW. Dit stemt overeen met het gemiddeld peil in de periode 1/1/2017 – 1/1/2018 op de volgende meetposten (www.waterinfo.be : Prosperpolder tij/Zeeschelde: 2,60 mTAW; Liefkenshoek tij/Zeeschelde: 2,63 mTAW; Kallosluis tij/Zeeschelde: 2,62 mTAW; Antwerpen tij/Zeeschelde: 2,64 mTAW);
 - Havendokken (rechterscheldeoever): De contouren werden ingevoerd op basis van het GRB. Er werd een uniform gemiddeld waterpeil toegekend van 4,18 mTAW (IMDC, 2010a);
 - Albertkanaal: De ligging (lijnvormig) werd ingevoerd op basis van de VHA. Het Albertkanaal is opgesplitst in twee panden: opwaarts sluis Wijnegem (uniform regelpeil 9,7 mTAW) en afwaarts sluis Wijnegem (uniform regelpeil 4,2 mTAW) (IMDC, 2010b);
 - Kanaal Dessel-Schoten: Ligging op basis van de VHA. Op het Kanaal Dessel Schoten komen 9 sluizen voor die het kanaal in 10 eenheden met elk hun regelpeil opdelen. Elk deelstuk werd zo zijn eigen regelpeil toegekend (op basis van Baetens et al., 2005);
 - Waterpeilen Antitankkanaal en de daaraan verbonden forten Stabroek, Ertbrand, Brasschaat, Schilde, Schans Smoutakker, Schans Schilde en Fort Oelegem werden opgelegd op basis van de beschikbare waterpeilen, berekend aan de hand van de hydrodynamische (Infoworks RS) modelresultaten. Deze werden ter beschikking gesteld door de VMM AOW.

Alle overige waterlopen werden ingebouwd via het drainagepakket, deze laten dus geen infiltratie toe. Drainagepeilen worden generiek toegekend als een vaste diepte t.o.v. het maaiveld, en dit per categorie waterloop.

- Categorie 1 en 2 waterlopen: Ligging werd ingevoerd op basis van de VHA. Waterpeilen werden berekend aan de hand van de beschikbare hydrodynamische (Infoworks RS) modellen: Groot Schijn en zijlopen, Benedenvliet en zijlopen.
- Categorie 2 waterlopen waarvoor geen modelresultaten beschikbaar zijn: Ligging op basis van de VHA, toegekend drainagepeil van 0.9 m onder maaiveld.
- Overige waterlopen en grachten (categorie 9): Ligging op basis van de VHA, toegekend drainagepeil van 0.75 m onder maaiveld.
- Drainage van oppervlaktewaterlichamen: Via het GRB werden de waterpartijen geselecteerd en als drain ingevoerd. Voor een aantal waterpartijen (stadsvijvers)

zijn oppervlaktewaterstanden beschikbaar voor de periode 2016 – 2018. Hier werd een drainagevlak met absoluut drainagepeil ingevoerd, voor de overige waterpartijen werd een drainagepeil relatief aan het maaiveld – 0,5m ingevoerd.

- Voor de afvoer van overtollig kwelwater werd ook een gebiedsdekkende drainage ingevoerd ter hoogte van het maaiveld.

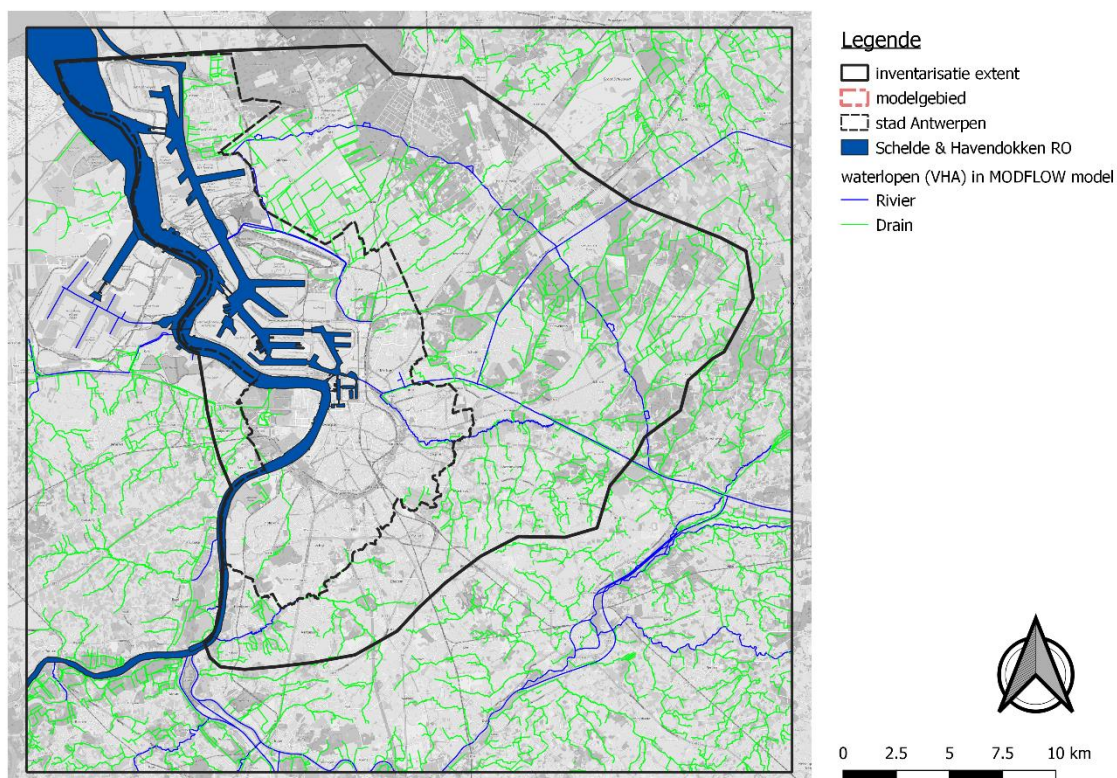
Tabel 2-4: Overzicht ingevoerde rivieren en drainage

Cat.	Deelstuk	Bron ligging	Ingevoerd als	vorm	waterpeil [mTAW]	bodempeil [mTAW]	Conductantie contour: [m²/d/m²] Lijn: [m²/d/m]
0	Schelde	GRB	RIV	Contour	2,63	-13	0,2
0	Havendokken	GRB	RIV	Contour	4,2	-10	1,0
0	Albertkanaal (afwaarts Wijnegem)	VHA	RIV	Lijn	4,2	-0,8	0,2
0	Albertkanaal (opwaarts Wijnegem)	VHA	RIV	Lijn	9,7	4,7	0,2
0	Kanaal Dessel Schoten (10 deelstukken)	VHA	RIV	Lijn	regelpeil per deelstuk	Peil - 3,5	0,2
1	Alle	VHA	RIV	Lijn	-IWRS model	IWRS model	0,2
2	Alle	VHA	RIV DRN	Lijn	IWRS model DHM 0,9	IWRS model -	0,2
3	Alle	VHA	komt niet voor				
9	Alle	VHA	DRN	Lijn	DHM 0,75	-	0,1

Tabel 2-5: Overzicht van de bijkomend ingevoerde drainerende elementen

Ringbemaling	Bron Ligging	Ingevoerd als	Drainagepeil [mTAW]	Conductantie [m²/d/m]
Rioleringsnetwerk stad Antwerpen	Rioleringsnetwerk aangeleverd door opdrachtgever	DRN	BOK rioolnetwerk	0,001
Rioleringsnetwerk buiten Stad Antwerpen	Rioleringsdatabank Vlaanderen	SEEP	DHM – 1,75	0,001
Ringbemaling	DHM + kaarten	DRN	BOK rioolnetwerk	1,0

Ringbemaling	Bron Ligging	Ingevoerd als	Drainagepeil [mTAW]	Conductantie [m ² /d/m]
Waterpartijen stad Antwerpen	aangeleverd door opdrachtgever	DRN	Beschikbare bodemhoogte of 1 m-mv	1.0



Figuur 2-19: weergave ligging rivier- en drainagestelsel waterlopen in het MODFLOW model

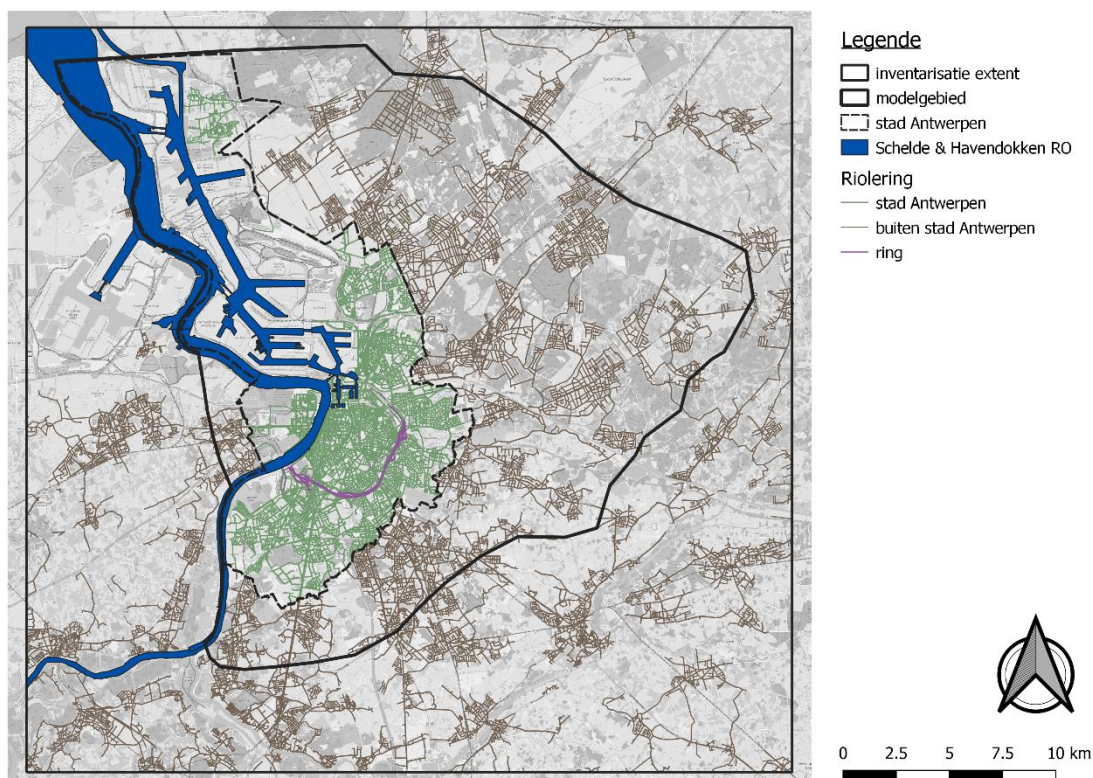
Naast de waterlopen komen nog andere drainerende elementen binnen het modelgebied voor:

- **Riolering:** Het modelgebied ligt in een sterk geurbaniseerd gebied met een dichts netwerk van rioleringen. Rioleringen kennen zeker geen perfecte afdichting en kunnen zo mede instaan voor de drainage van het grondwater. Het rioleringsnetwerk voor de stad Antwerpen werd door de opdrachtgever ter beschikking gesteld (versie 2012). Dit is een shapefile die mede de BOK (Binnenkant OnderKant buis) waarden voor de uiteinden van de rioolsegmenten bevat. De assen van de riolering werden ingevoerd als drainage in het model met als drainagediepte op de knopen de opgegeven BOK waarden. Op basis van gemiddelde geschatte lek op de rioolbuizen werd een conductantie van 0.001 m²/d/m ingevoerd.

Voor het overig gedeelte van het modelgebied werd het rioolnetwerk uit de rioleringsdatabank Vlaanderen opgevraagd (AGIV & VMM, 2014), update januari 2018). Deze bevat echter geen BOK waarden. Voor deze rioolbuizen werd een gemiddelde rioleringsdiepte van 1,75 m onder maaiveld ingeschat.

- **De ringbemaling:** Om de ring en de bedding van de parallelle spoorwegbedding droog te houden werd een drainagenetwerk aangelegd. Dit

bestaat uit parallelle drainagekoffers die zowel het oppervlakte- als het grondwater afvoeren naar twee pompstation, om zo het water uit deze lager gelegen zone te evacueren (Van Winghem and De Vocht, 1968). Dit netwerk van drainagestructuren is mede opgenomen in het aangeleverde rioleringsnetwerk van de stad Antwerpen. Ter hoogte van de ring werd de conductantie van het rioleringsnetwerk verhoogd tot een waarde van 1.0 m²/d/m.



Figuur 2-20: rioleringsnetwerk binnen modelgebied (op basis van (AGIV & VMM, 2014))

2.2.5 Ondoorlatende structuren

Ondoorlatende structuren worden in het model ingevoerd als Hydraulic Flow Boundaries (HFB). Dit door het invoeren van een verlaagde doorlatendheid over een bepaalde celgrens. Dit stemt overeen met het blokkeren of verhinderen van stroming in de horizontale richting. Volgende structuren werden opgenomen in het model:

- Noord-Zuidverbinding en Centraal Station (hoge snelheidstrein). De Noord-Zuidverbinding wordt in twee delen in het model ingebracht. Een eerste gedeelte is dit ter hoogte van het Centraal Station. Hier wordt over de volledige diepte van het model een HFB ingevoerd met sterk verlaagde doorlatendheid. In een tweede gedeelte (noordwaarts vanaf het Centraal Station) bestaat de verbinding uit een geboorde tunnel op een diepte van meer dan 20 onder maaiveld. De ondoorlatende structuur wordt hier enkel in de onderste, 5e modellaag (Mioceen Aquifersysteem) ingevoerd en dit met een beperkte afname van de doorlatendheid.
- Premetrotunnel: De ondoorlatende structuur wordt hier enkel over de onderste modellaag (Mioceen Aquifersysteem) ingevoerd en dit met een beperkte afname van de doorlatendheid.

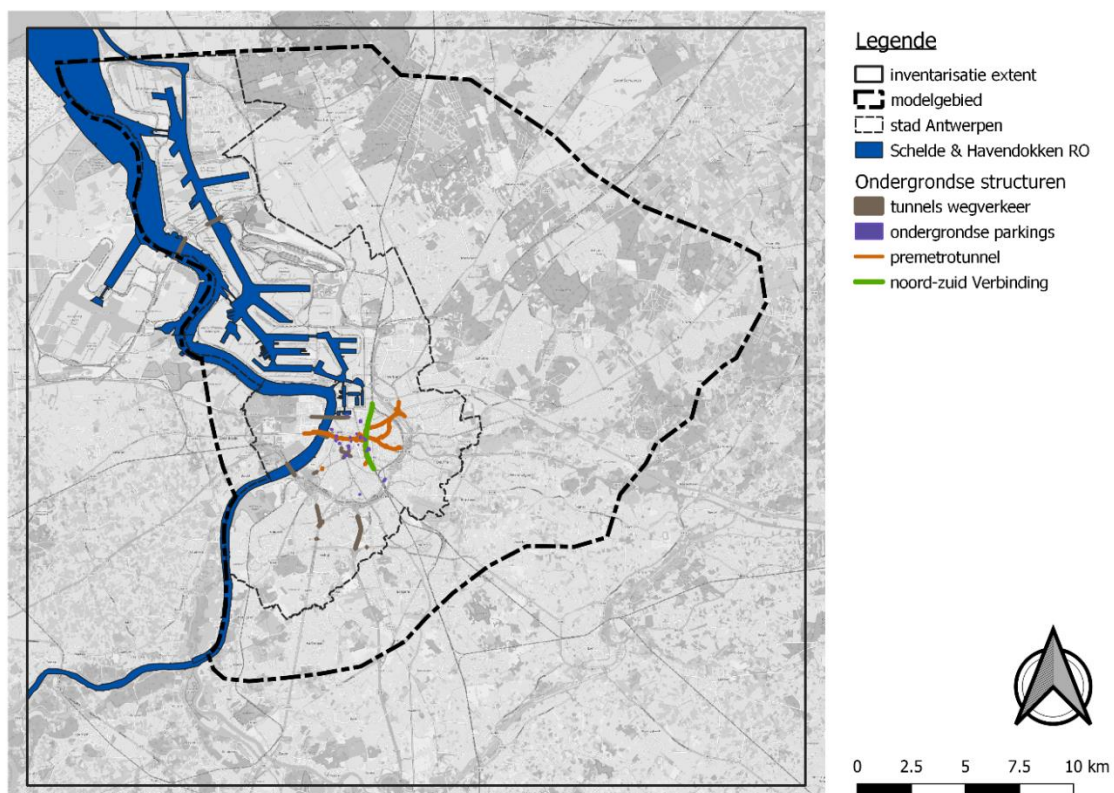
- Grotere Weginfrastructuur :
 - Scheldetunnels: Deze bevinden zich telkens dwars op de Schelde en positioneren zich zo parallel van de te verwachten stromingen. In die zin valt van deze tunnel een kleiner effect te verwachten. Deze tunnels moeten onder de Schelde door en reiken dus tot grotere diepte. Deze ondoorlatende structuren worden over alle modellagen ingevoerd, echter met een beperkte afname in doorlatendheid.
 - Craeybeckxtunnel: Deze tunnel is voornamelijk in het quartaire pakket gelegen en beperkt in de diepere lagen. Werd zo enkel ingevoerd in de bovenste modellaag met een sterker afgenomen doorlatendheid.
 - Overige kleinere tunnelementen: werden enkel in de bovenste quartaire modellaag ingevoerd met een beperkte afname in doorlatendheid.

Enkele gekende ondergrondse structuren werden niet opgenomen in het basismodel. Dit omwille van hun eerder kleine omvang ten opzichte van de celgrootte (slechts enkele cellen). Deze kunnen wel opgenomen worden in detailmodellen, mocht dit nodig blijken voor één van de door te rekenen strategieën. Het gaat om:

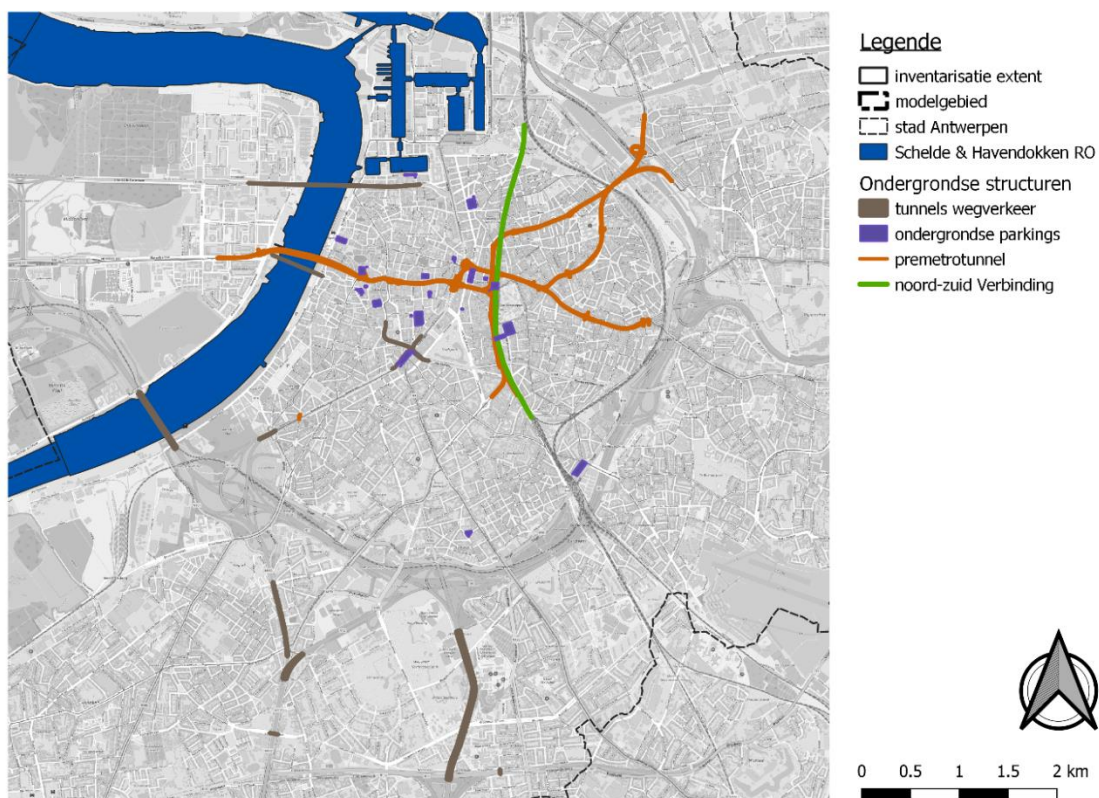
- Ondergrondse parkings ;
- Zuiderdokken.

Tabel 2-6: Kenmerken ingevoerde ondoorlatende structuren

Tunnel	Modellaag	Lengte (ca. km)
Noord-Zuid Verbinding en Centraal Station		
Centraal Station	Alle	1,2
Noord-Zuid Verbinding ten noorden van centraal Station	5	3,9
Premetrotunnel	5	11
Grotere Weginfrastructuur		
Scheldetunnels	Alle	4,9
Craeybeckxtunnel	1	0,67
Overige kleinere tunnelementen	1	1,8



Figuur 2-21: Ondergrondse structuren in stad Antwerpen



Figuur 2-22 : Ondergrondse structuren in stad Antwerpen, focus op binnenstad.

2.2.6 Grondwaterwinningen

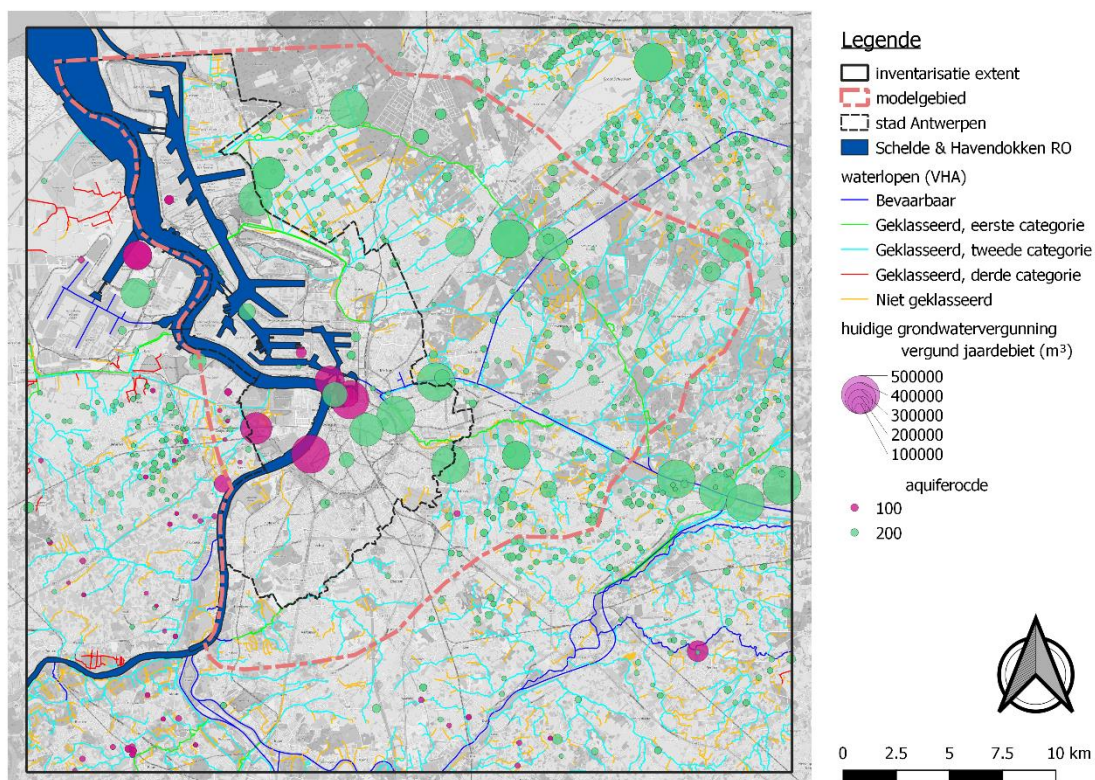
De actieve grondwaterwinningen in het modelgebied werden opgevraagd uit de VMM databank vergunningen, beschikbaar op DOV (op datum 6/12/2018). Deze bevatten de vergunde jaarlijkse debieten. Deze vergunde debieten zijn doorgaans een stuk hoger dan de werkelijk onttrokken debieten. Door de VMM werden, waar beschikbaar, ook de werkelijk onttrokken debieten aangeleverd. Indien beschikbaar werd dit werkelijk onttrokken debiet in het model toegekend. Waar niet beschikbaar werd een inschatting gemaakt op basis van een schalingsfactor afhankelijk van de grootte van het vergunde jaardebiet (zoals weergegeven op Tabel 2-7). Een overzicht van de ligging van de vergunde waterwinningen (met vergunde jaardebiet en de aquifer waaruit gewonnen wordt) is weergegeven in Figuur 2-23.

In het model werden enkel de permanente winningen opgenomen. Bemalingen voor bouwwerkzaamheden werden niet opgenomen in het model van de bestaande toestand.

In functie van gekozen door te rekenen strategieën, of bijkomende kalibratie, kunnen deze tijdelijke winningen (in combinatie met de bijkomende tijdelijke vergunningen vergund door de stad Antwerpen en aangeleverd door de opdrachtgever) mee in het model opgenomen worden.

Tabel 2-7: Verhouding vergunde en werkelijk onttrokken debieten volgens de inventarisatie van het VGM – CVS Noord (Uitdewilligen et al., 2005)

Vergund debiet (m ³ /j)	>= 500 000	500 000 – 30 000	30 000 – 3 560	< 3 560
Percentage werkelijk onttrokken debiet	51.85%	64.36%	58.32%	93.17%



Figuur 2-23: Vergunde grondwaterwinning uit de VMM databank vergunningen (op 6/12/2018).

2.3 Kalibratie

Het opzet van de kalibratie is het opbouwen van een grondwatermodel dat zo goed als mogelijk in staat is om de werkelijk waargenomen grondwaterstanden te berekenen. De focus gaat hier voornamelijk uit naar de kalibratie ter hoogte van het grondgebied stad Antwerpen. Maar ook daarbuiten wordt getracht de gemeten grondwaterstanden te benaderen, dit om ook ter hoogte van de randgebieden van de stad Antwerpen over een betrouwbare voorspelling te beschikken. Om tot deze kalibratie te komen, worden onderstaand als eerste de peilmetingen besproken (sectie 2.3.1) met een kort overzicht van de beschikbare datasets en de opbouw van de verschillende kalibratiesets.

2.3.1 Kalibratiegegevens

Uit de grondwaterstandsregistratie van de verschillende bronnen DOV, Stad Antwerpen, INBO, Pipda en Haven Antwerpen wordt een selectie gemaakt voor stationaire en tijdsafhankelijke kalibratie. Voor selectie van kalibratiegegevens voor de stationaire simulatie worden alle tijdreeksen weerhouden met registratie in de periode 2008-2017. Van de 982 weerhouden tijdreeksen bevinden zich 331 binnen de grenzen van het model. Voor deze selectie werden de gemiddelde grondwaterstanden berekend.

Voor de kalibratie van het tijdsafhankelijk model worden enkel de tijdreeksen weerhouden waarvoor er een ononderbroken tijdsperiode van 2 jaar beschikbaar is met een minimum van 6 metingen per jaar. Voor deze selectie worden de gemiddelde grondwaterstanden over de registratieperiode alsook de gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand berekend.

Aanvullend op waterstandsgegevens zijn, zij het beperkt tot het jaar 2006, debietsregistraties beschikbaar voor de bemaling van de Ring R1. Deze zijn bekomen door de pompcapaciteiten van de storm- en grondwatervijzels te vermenigvuldigen met de geregistreerde pompuren. In Figuur 2-27 worden de geregistreerde debieten weergegeven voor zowel de 3 kleine vijzels die quasi volcontinu werken en geacht worden voor het merendeel van de tijd grondwater te bemalen ("Debiet grondwater-Figuur 2-27), als voor de 3 grote vijzels die instaan bij hoge neerslagintensiteit om het oppervlaktewater af te voeren ("Debiet regenwater" - Figuur 2-27).

2.3.2 Resultaten

Voor de stationaire kalibratiestap worden de berekende stijghoogtes uitgezet t.o.v. waargenomen stijghoogtes in Figuur 2-24. De ruimtelijke spreiding van de afwijkingen op de geobserveerde stijghoogtes wordt weergegeven in Figuur 2-25. De grootte en kleur van de kalibratievlaggen geven de afwijkingen weer t.o.v. de waargenomen waarden (groen = absolute afwijking minder dan 0.5 m, 1.0 > geel > 0.5 m, rood > 1m). Voor de volledige dataset wordt een gemiddelde afwijking van 7 cm berekend, met een significante afwijking van de waarden voor de registraties van Pidpa in het noordoosten van het modeldomein. Met uitzondering van deze waarden wordt een gemiddelde afwijking berekend van 4 cm.

De resultaten van deze kalibratiestap worden weergegeven onder de vorm van dwarsprofielen (locatie dwarsprofielen - Figuur 2-29). Berekende grondwaterstanden worden vergeleken met de waargenomen grondwaterstanden in peilbuizen op een afstand van minder dan 200 meter loodrecht op het dwarsprofiel. De resultaten van dwarsprofielen 2 en 4 (Figuur 2-30) illustreren, naast een correcte berekening van stijghoogtes, de steile gradiënten in de grondwaterstanden naar de drainage van ring. Dwarsprofiel 9, van linkeroever tot Rivierenhof, toont een relatief vlak verloop van de

grondwaterstanden halverwege Schelde tot Ring om vervolgens vanaf de Noord-Zuid spoorwegverbinding af te buigen naar de drainage van de Ring R1. Tenslotte wordt in dwarsprofiel 10 het stijghoogteverloop weergegeven vanaf de Leien (Frankrijklei in casu) tot de Ring R1. Bij de beschouwde grondwatervoeding én in afwezigheid van tijdelijke bemalingen wordt een grondwaterstand berekend gelijk of hoger dan 2 mTAW, het opgelegde drainagepeil van de vijver.

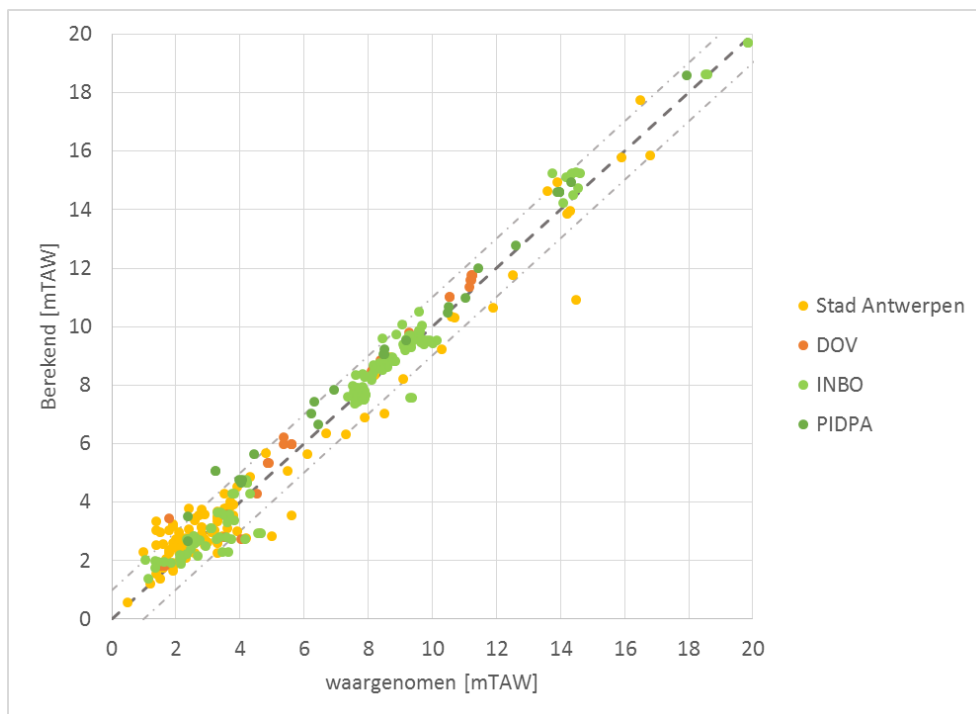
Voor de tijdsafhankelijk kalibratie wordt het model doorerekend voor de periode 1/4/2008 tot 1/4/2018. Uit de modelresultaten wordt de grondwaterdynamiek berekend, i.e. het verschil van de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand. Deze wordt in Figuur 2-26 vergeleken met de berekende grondwaterdynamiek van de grondwaterstandsregistraties.

Voor het berekenen van de grondwaterdynamiek uit de grondwaterstandsregistraties werden een 600-tal tijdreeksen geselecteerd waarvoor minstens 6 metingen beschikbaar waren in de periode 2008-2018, en vervolgens de grondwaterdynamiek GHG-GLG berekend. Er wordt een fysisch realistische grondwaterdynamiek berekend met grondwaterstandsverschillen van meer dan 1.5 m op de waterscheidingskammen, 1.0 tot 1.5 meter op de heuvelruggen en het cuestafront van de Boomse Klei t.h.v. Hoboken-Schoonselhof en 0 tot 0.5 m in lager gelegen kwelzones. Globaal wordt een realistisch resultaat bekomen.

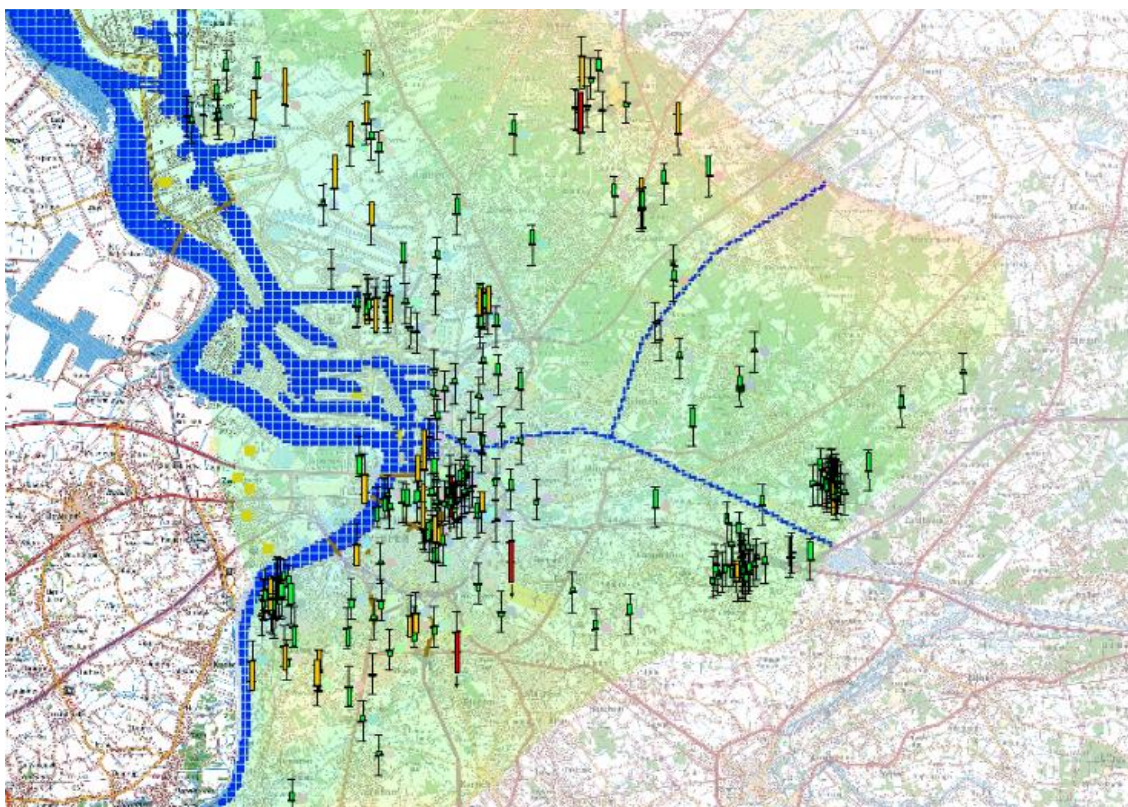
Lokale afwijkingen zijn het gevolg van de resolutie van het modelrooster waardoor lokale invloed van hydrografie en topografie wordt uitgemiddeld. De grondwaterstandsmetingen daarentegen worden doorgaans geplaatst waar de eigendomssituatie dit toelaat: ter hoogte van de oevers van waterlopen en vijvers, ter hoogte van wegtaluds, etc. De metingen geven lokale situaties weer waardoor er ondanks de globale overeenkomst binnen een beperkte oppervlakte grote verschillen in gemeten grondwaterdynamiek kunnen worden berekend.

Tabel 2-8 : gemiddelde afwijking modelresultaten

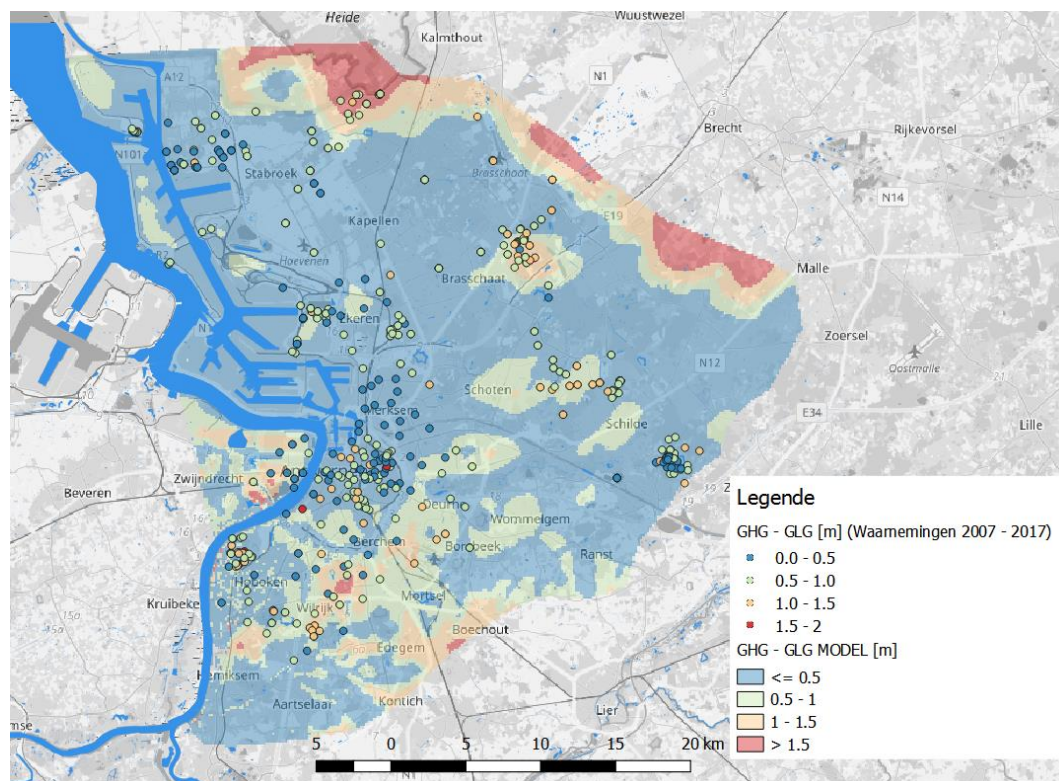
Set	gemiddelde afwijking [m]	gemiddelde absolute afwijking [m]	# waarden
VMM	-0.29	0.53	45
stad	0.18	0.66	108
inbo	-0.14	0.50	158
pidpa	-0.68	0.68	20
Totale dataset	-0.07	0.57	331
Totale dataset exclusief pidpa	-0.04	0.56	311



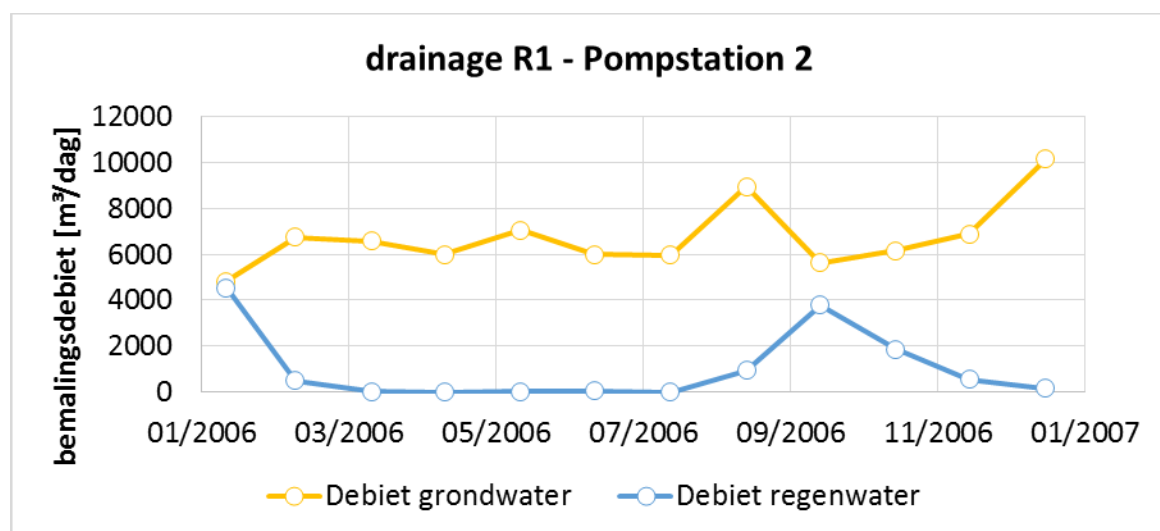
Figuur 2-24: Algemene modelfit (geobserveerde vs. gesimuleerde gemiddelde stijghoogtes).



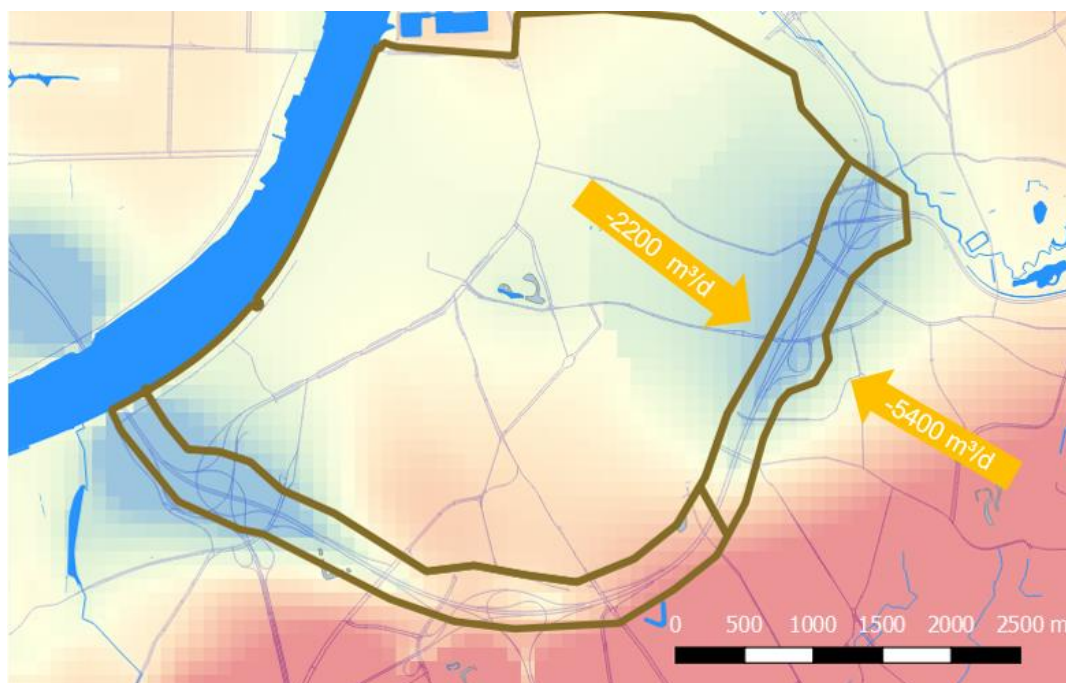
Figuur 2-25: Ruimtelijke spreiding van de afwijkingen op de geobserveerde stijghoogtes in de kalibratieset. Achtergrond is de freatische grondwaterstand (mTAW). Kalibratievlaggen stellen afwijkingen t.o.v. gemiddelde observatie weer (groen <0.5 m afwijking, rood >1m afwijking).



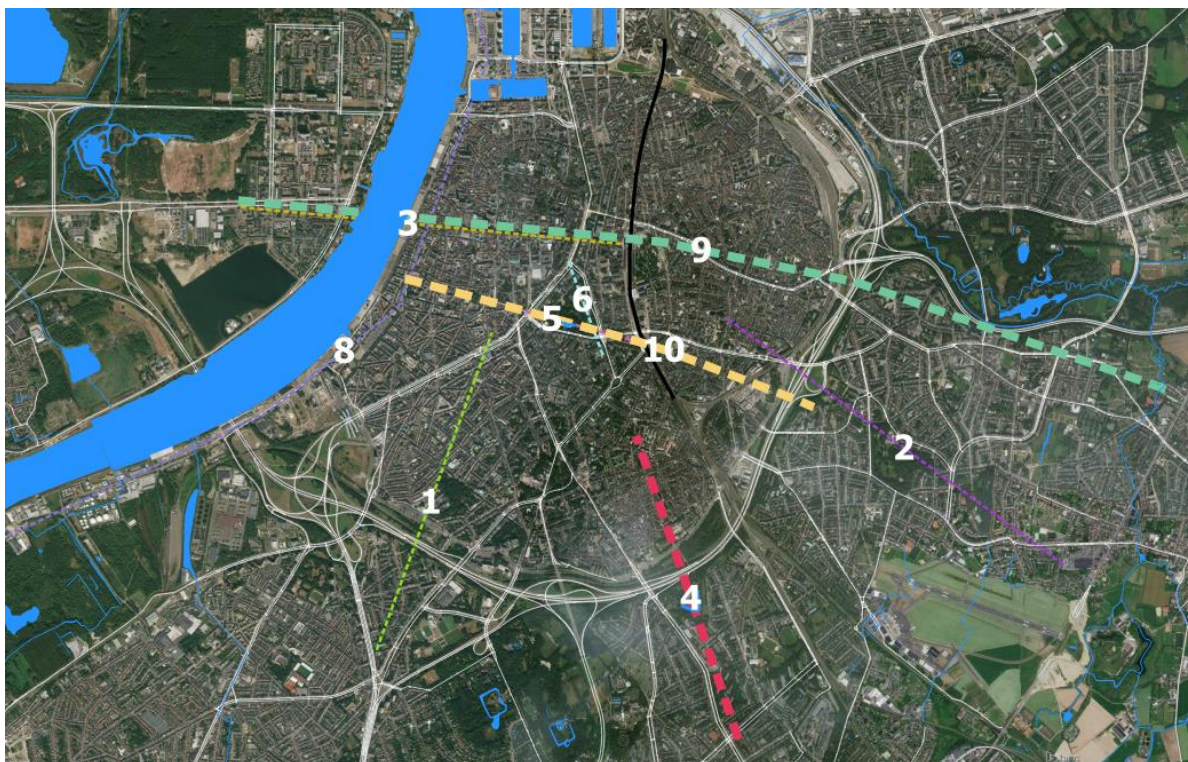
Figuur 2-26: Gemiddelde grondwaterdynamiek 2008-2018, modelresultaten en analyse beschikbare grondwaterstandregistraties



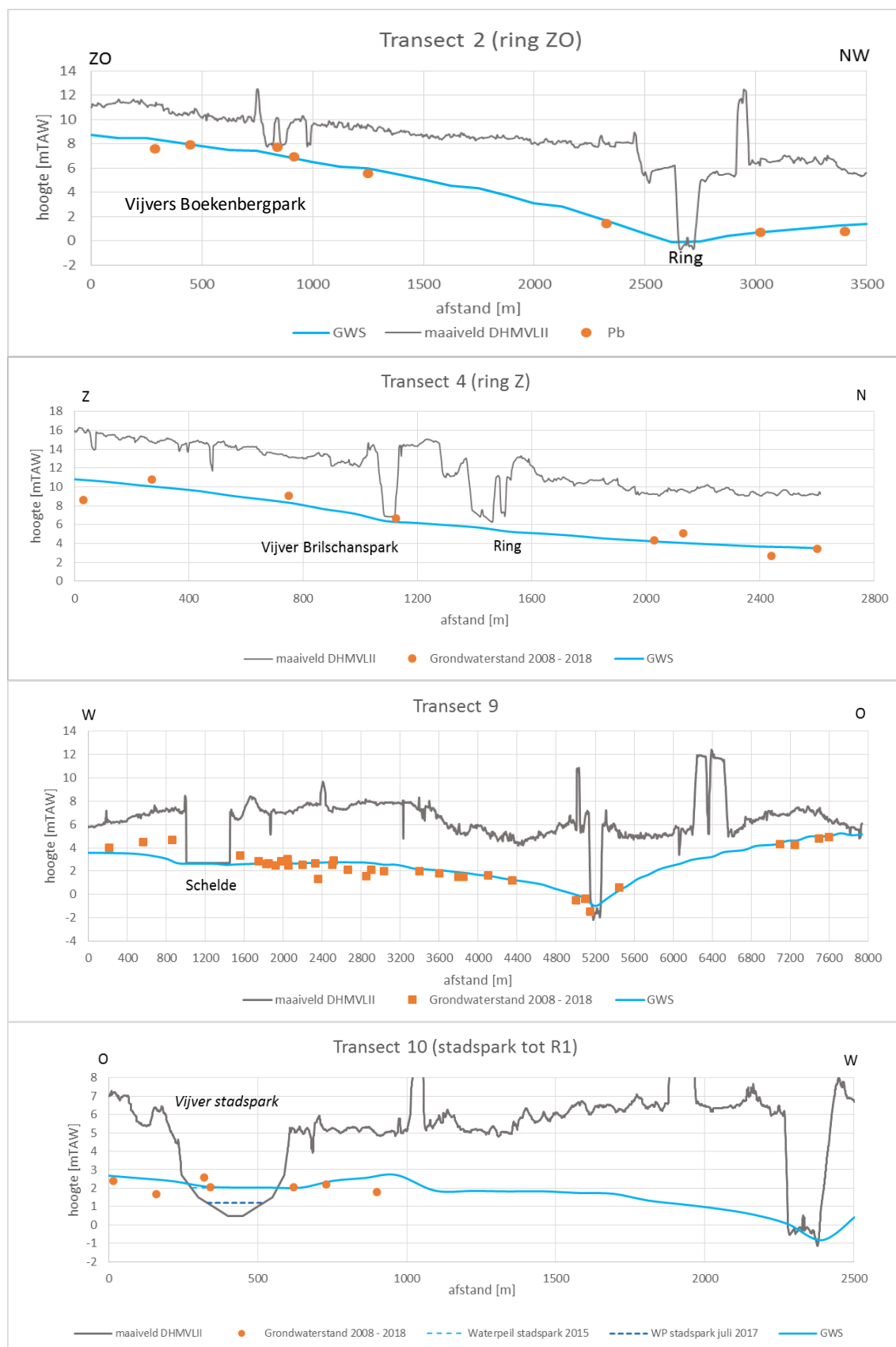
Figuur 2-27: geregistreerde pompdebieten 2006 Pompstation 2 Ring R1 t.h.v. verkeerswisselaar met E313



Figuur 2-28: jaargemiddelde grondwaterflux naar drainagezone Pompstation 2 ring R1



Figuur 2-29 : locatie dwarsprofielen modeluitvoer stationaire toestand.



Figuur 2-30 : Berekende grondwaterstanden t.h.v. 4 transecten en weergaven van maaiveld en waargenomen grondwaterstanden langs het transect.

2.3.3 Gevoeligheidsanalyse

Bij de opbouw van het model werden naast de keuze van de hydraulische conductiviteiten en drainageweerstanden een aantal keuzes gemaakt in het modelconcept met potentieel sterke impact op het modelresultaat. De impact van deze keuzes worden getest in een gevoeligheidsanalyse. Als meest significante modelkeuzes worden onderscheiden:

- De berekende grondwatervoeding. De gevoeligheidsanalyse illustreert dat de grondwatervoeding sterk gecorreleerd is aan de hydraulische conductiviteit. Een onderschatting van de grondwatervoeding wordt gecompenseerd door een verlaging van de hydraulische conductiviteiten en vice versa. In Figuur Bijlage C-3 en Figuur Bijlage C-4 wordt de impact van achtereenvolgens de horizontale doorlatendheid en de grondwatervoeding getest. Zones met een groter stijghoogteverschil stellen hier telkens een grote gevoeligheid aan de onderzochte parameter voor. De grootste impact wordt telkens geconstateerd in het zuidelijk gedeelte van Antwerpen. Dit stemt overeen met de zone met een hogere topografie ter hoogte van de cuesta van de Boomse Klei, en een dunner quartair dek. Het lagere gelegen gedeelte in het noorden van het modelgebied wordt veel meer geregeld door de drainage ten gevolge van het lekken van rioleringen en het voorkomen van de havendokken en de Schelde. In het zuiden is dit veel minder het geval en wordt de grondwaterstijghoogte meer geregeld door het evenwicht tussen de doorlatendheid en de grondwatervoeding.
- De impact van de bemaling van de ring op de grondwaterstanden wordt geïllustreerd door de berekening uit te voeren met een verhoging van de drainage van de ring met 2,5 m. In Figuur Bijlage C-5 worden de stijghoogteverschillen weergegeven van het verhogen van drainagehoogte. De invloedssfeer van de ring overlapt quasi de volledige binnenstad, in het zuiden tussen Kennedytunnel en aansluiting E19 reikt de invloed ca. 1 km ver. In het zuidoosten tussen aansluiting E19 en E313 reikt de invloed tot 2 km buiten de ring. Hier ligt de ring het diepste (ca. 0,0 mTAW), de huidige drainage heeft hier aanleiding tot de sterkste dalingen.

3 WP 2.1 Impact gewijzigde grondwaterstroming

Met het gekalibreerde model worden vervolgens de grondwaterstanden berekend voor de referentieperiode 1982 – 1992. De modelberekeningen worden uitgevoerd zowel in stationaire toestand als met het tijdsafhankelijk model.

De berekening met het model van de huidige toestand worden uitgevoerd voor het huidige klimaat en herhaald met de grondwatervoeding onder de klimaatprojectie met verminderde neerslag. Er dient vermeld te worden dat in de modelberekeningen enkel rekening wordt gehouden met een gewijzigde grondwatervoeding, niet met eventuele zeespiegelrijzing en de hiermee gepaard gaande opstuwing van Schelde en aangesloten drainage. In het kader van deze studie wordt enkel de impact berekend van de gewijzigde grondwaterstand en grondwaterstromingspatroon. Er wordt geen uitspraak gedaan over de rechtstreekse impact van een klimaatwijziging (verminderde neerslag, verhoogde temperaturen).

De modelresultaten worden in Bijlage B weergegeven op maat van de impactbeoordeling van de klimaatwijziging voor onderstaande aangehaalde thema's:

- Potentiële impact gewijzigde grondwatervoeding (sectie 3.1);
- Stabiliteit van gebouwen en onroerend erfgoed (sectie 3.2);
- Impact natuurgebieden en stadsgroen (sectie 3.3);
- Impact Waterbeschikbaarheid (sectie 3.4).

3.1 Potentiële impact gewijzigde grondwatervoeding

3.1.1 Impact grondwaterstanden

De rechtstreekse impact van de klimaatwijziging wordt weergegeven in Figuur Bijlage C-6. Binnen de grenzen van de stad worden de grootste grondwaterstandswijzigingen berekend t.h.v. de heuvelruggen en opgevlude zones. In de lager gelegen zones waar de grondwaterstroming wordt afgevangen door de drainage allerhande heeft de verminderde grondwatervoeding (ca. 30 % op jaarbasis) een beperktere impact op de grondwaterstand. Volgende zone worden met significant lagere grondwaterstanden gekarteerd:

- De cuesta van de Boomse klei vanaf de Sint-Bernardsesteenweg ten zuiden van Fort 7 (Wilrijk) - Fort 6 (Hoboken) - Park Steytelinck. De grondwaterstandsval bereikt een maximum ter hoogte van Park Den Brand/Middelheimpark;
- Hierbijaansluitend het cuestafront Mortsels-Hove;
- In de binnenstad wordt een significante verlaging gemodelleerd voor de hoger gelegen zone Berchem met een maximum tot 1 m daling ter hoogte van het Albertpark;
- Op linkeroever komen zones met significante grondwaterstandsval voor in achtereenvolgens de aanvulgronden in de Waaslandhaven en de uitloper van de cuesta van de Boomse klei te Kruibeke-Burcht.

3.1.2 Verziltingsgraad

Pro memorie

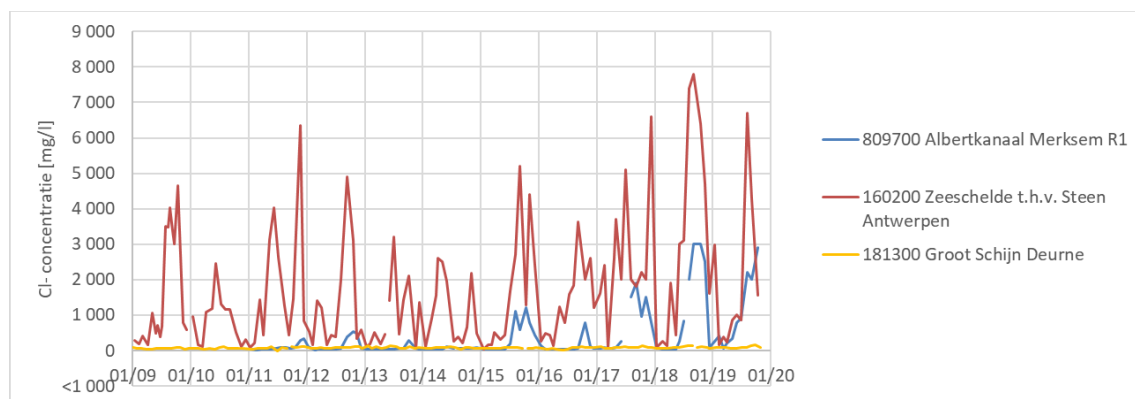
Er zijn geen registraties van chlorideconcentraties of geleidbaarheid in het grondwater beschikbaar om de huidige verzilting van het grondwater te bepalen. Het risico op verzilting van het grondwater in de laaggelegen zones van de stad is echter reëel.

Het Scheldewater en de Dokken te noorden van de Stadskern is brak tot zout. De zoutconcentraties van het Scheldewater en Albertkanaal variëren van lage waarden tijdens de wintermaanden als gevolg van verdunning met zoet water tot hogere concentraties tijdens de zomermaanden (Figuur 3-1). Tijdens de zomer wordt een gemiddelde concentratie in het Scheldewater gemeten van ca. 4000 mg/l, met maxima tot 7000 mg/l tijdens de droge zomers van 2017, 2018 en 2019. De water kwaliteit van de havendokken en Albertkanaal afwaarts van de sluis te Wijnegem is sterk afhankelijk van het evenwicht tussen aanvoer uit de Schelde en Albertkanaal. Waar de maximale chlorideconcentratie tussen 2009 en 2016 onder 1000 mg/l bleef, wordt deze tijdens de laatste 3 zomers ruim overschreden.

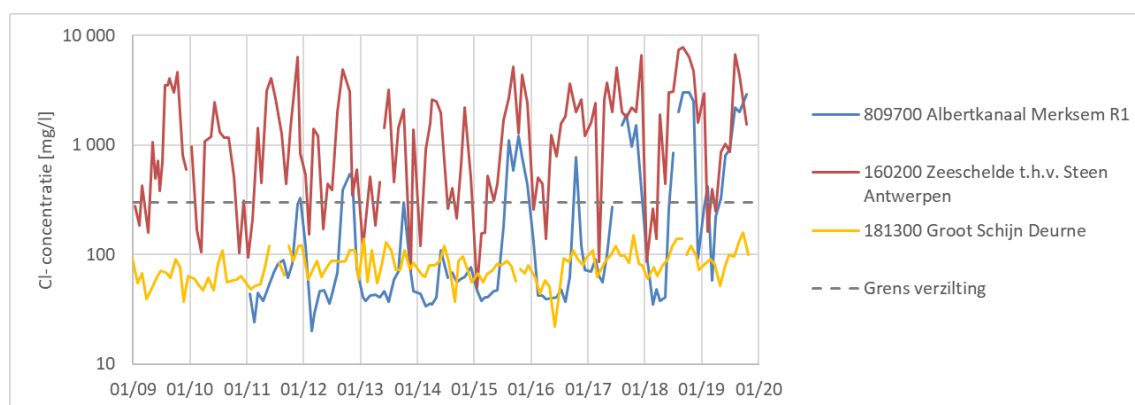
Bij de toestandsbeoordeling van de grondwaterlichamen wordt door de VMM een indeling gemaakt in zoet, brak en zout grondwater op basis van het chloridegehalte. De grens tussen zoet en brak water ligt op 300 mg/l chloride (CIW, 2016). Uit de oppervlaktewatermetingen van de VMM blijkt dat de waterlichamen rond de stad gedurende het ganse jaar (Schelde) en gedurende de laatste 3 zomers (Albertkanaal) een chlorideconcentratie hebben boven de gestelde grens van 300 mg/l.

In de bestaande toestand wordt een beperkte grondwater gradiënt berekend richting Schelde en noordelijk gelegen havendokken. De grondwaterstanden vertonen een lichte opbolling met een maximum grondwaterstand ter hoogte van de Leien. Westwaarts wordt een beperkte gradiënt met stijghoogteverschillen van 50 cm berekend naar de Schelde. Richting ring R1 wordt een beperkte gradiënt berekend tot

de omgeving van de ring R1 waar de grondwaterstanden sterk dalen als gevolg van de drainage van de ring



Figuur 3-1: Chlorideconcentratie Schelde-, kanaal, en Schijnwater (VMM immissiemeetnet - geoloket.vmm.be)



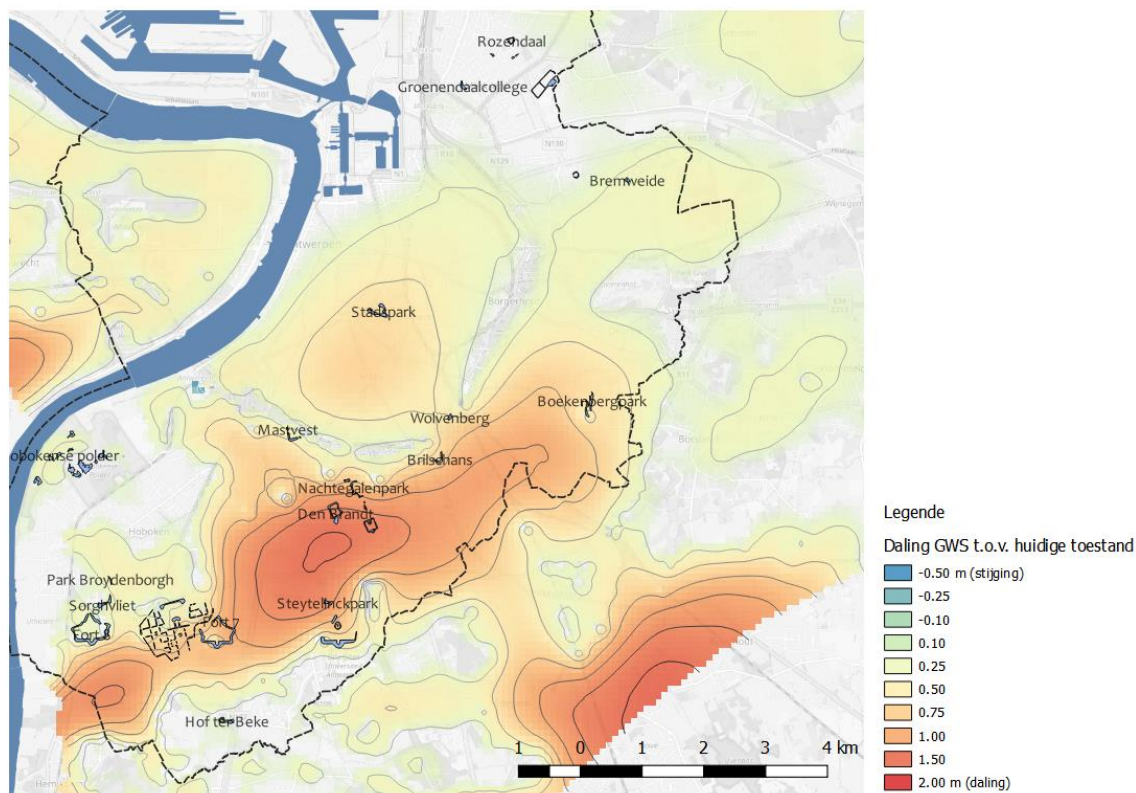
Figuur 3-2: Chlorideconcentratie Schelde-, kanaal, en Schijnwater (logaritmische schaal) en verziltingsgrens grondwater (CIW, 2016)

3.1.3 Waterbeschikbaarheid stadsvijvers en natuurgebieden

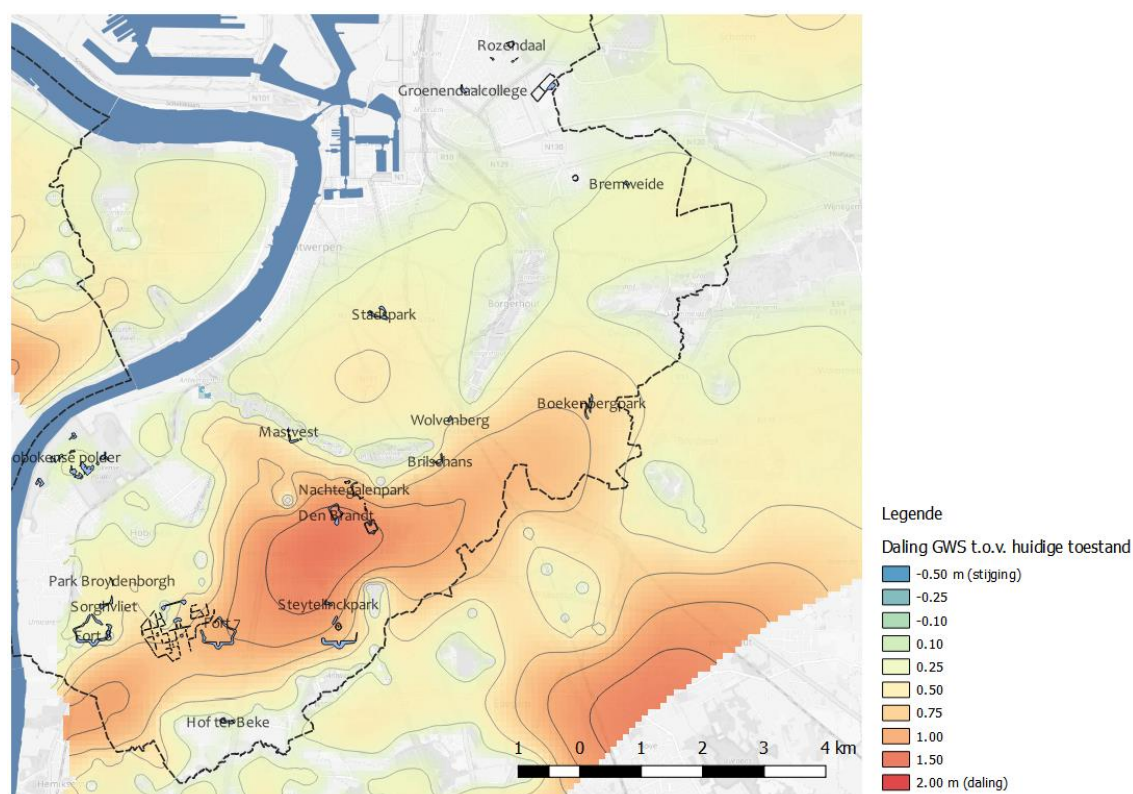
Als gevolg van de verminderde grondwatervoeding verlagen de grondwaterstanden zowel tijdens de winter (Figuur 3-3) als tijdens de zomerperiode (Figuur 3-4) en vermindert de kweldruk naar de waterpartijen. Voor een screening van de waterpartijen met verminderde waterbeschikbaarheid wordt de drainageflux berekend met de huidige jaargemiddelde grondwatervoeding en de grondwatervoeding ingevolge het laag klimaatscenario.

De resultaten van deze oefening worden voor de stadsvijvers en de natuurgebieden weergegeven in achtereenvolgens Tabel Bijlage C-1 en Tabel Bijlage C-2. Er moet bij vermeld dat de resultaten slechts een benadering zijn en relatief moeten worden geïnterpreteerd. De resolutie van het gebruikte modelgrid (100x100m – 10 000m²) is namelijk tot 10 maal groter dan de mediaan oppervlakte van de waterpartijen (900 m²).

Voor de stadsvijvers bedraagt de percentuele afname minimaal 25 % met een gemiddelde van 45 %. Voor de beschouwde natuurgebieden wordt gemiddeld een beperktere afname van de drainageflux berekend van 30 %.



Figuur 3-3: Grondwaterstandsding winterperiode GHG laag klimaatscenario t.o.v. huidig klimaat



Figuur 3-4: Grondwaterstandsding zomerperiode GLG laag klimaatscenario t.o.v. huidig klimaat

3.2 Stabiliteit van gebouwen en onroerend erfgoed

Grondwaterstandwijzigingen hebben een potentiële impact op de draagkracht van de geologische formaties. Bodemzetting in kleilagen en veeninklinking zijn potentiële rechtstreekse gevolgen van grondwaterstandsval. Als onrechtstreeks gevolg kan een wijziging van het bodemvochtregime en zuurstofbeschikbaarheid aanleiding geven tot rotting van houten fundering.

Onderstaand worden de gangbare funderingstypes in de stad geschetst met hun kwetsbaarheid voor grondwaterstandwijzigingen (§ 3.2.1). De criteria worden vervolgens getoetst aan de berekende grondwaterstanden als gevolg van klimaatwijziging, weergegeven in Bijlage C.

In een eerste screening worden potentieel kwetsbare zones gekarteerd op basis van de gemiddelde grondwaterstandsverandering (§ 3.2.2). Vervolgens worden een aantal wijken belicht.

3.2.1 Stabiliteit van funderingen

Wijzigingen in grondwaterstanden in kleihoudende en andere vervormbare bodems kunnen leiden tot zettingen, vooral bij (niet gewapende) funderingen op staal of bij gebouwen met niet homogene funderingen (bv. deels onderkelderde) woningen. Vooral differentiële zettingen, waarbij delen van gebouwen meer zinken dan andere, vormen een bedreiging voor de stabiliteit en de integriteit van bouwwerken.

Binnen het studiegebied komen gebouwen voor uit verschillende periodes met zeer uiteenlopende funderingstypes- en dieptes en op verschillende bodems. Onderstaande Tabel 3-1 geeft op hoofdlijnen de relatie aan tussen de bodems en de duur en hoogte van grondwaterstandwijzigingen. Er kan worden afgeleid dat in essentie twee factoren doorslaggevend zijn voor de zetting zelf: de bodem en het type fundering. Omdat het hier gaat om een grootschalige verkennende studie beperken we ons tot gebouwen die zeer gevoelig zijn aan zettingen. (rode zone)

Tabel 3-1: Relatie tussen grondwaterstandwijziging, bodemsoort en zettingsgevoeligheid

Bodem	Hoogte van de grondwaterstandwijziging	Duur van de grondwaterstandwijziging	Funderingstype			
			Palen	Funderingsplaat	Gewapende strookfundering	Fundering op staal
Opgehoogde gronden (zandig)	h < 1 m	t < 6 maand	N.A.			
		t > 6 maand				
	h > 1 m	t < 6 maand				
		t > 6 maand				
Veenhoudende klei / polderklei	h < 1 m	t < 6 maand				
		t > 6 maand				
	h > 1 m	t < 6 maand				
		t > 6 maand				
Compacte tot zeer compacte zanden	h < 1 m	t < 6 maand				
		t > 6 maand				
	h > 1 m	t < 6 maand				
		t > 6 maand				

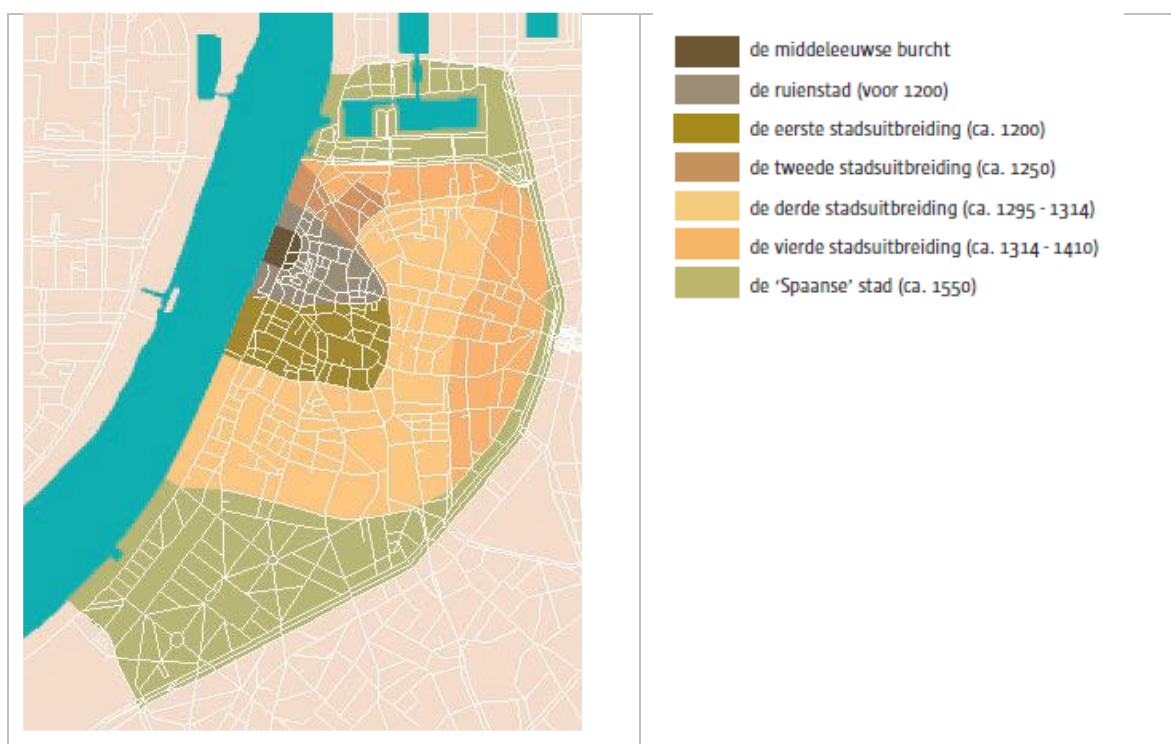
Legende		
Gebouwen zijn weinig gevoelig aan zettingen. Schade is weinig waarschijnlijk.	Gebouwen zijn mogelijk gevoelig aan zettingen. Enkel zettingsberekeningen kunnen uitsluitsel geven.	Gebouwen zijn zeer gevoelig aan zettingen. Maatregelen zijn noodzakelijk om schade te voorkomen.

3.2.2 Jaargemiddelde grondwaterstandswijzigingen

Toekomstige grondwaterstandverlagingen ten gevolge van klimaatverandering zijn in hoofdzaak te verwachten in de hoger gelegen cuesta van de Boomse klei en de verhoogde zone te Berchem (sectie 3.1.1, Figuur Bijlage C-6).

In het zuiden van de stadskern (zone Berchem) treden de grondwaterstands dalingen op waar de grondwaterstanden zich thans meer dan 3 meter onder maaiveld bevinden. Bovendien ligt de zone binnen de invloedssfeer van de bemaling van de Ring R1.

Uit bovenstaande analyse kunnen we opmaken dat er in het historische centrum van Antwerpen (binnen de Leien) geen invloed te verwachten is van klimaatwijziging op het daar aanwezige erfgoed. De wijzigingen die het gevolg zijn van het aanleggen van riolering en verstedelijking hebben reeds in het verleden hun volledige uitwerking gehad.



Figuur 3-5 Culturele, historische en/of esthetische CHE-gebied van de stad Antwerpen

De grondwaterstand wordt enkel in het gebied tussen de Leien en de Singel in het zuiden significant beïnvloed door de klimaatscenario's. Ook hier geldt dat het overgrote deel van het gebied binnen de invloedsfeer van de drainage van de R1 valt. De invloed van de verstedelijking (en meer bepaald de sloop van de Spaanse wallen in 1864) hebben hier reeds aanleiding gegeven tot een significante grondwaterstandwijziging.

Enkel in de wijken Markgrave en Harmonie (omgeving Hof Van Leysen / Harmoniepark) is nog een beperkte grondwaterstandwijziging te verwachten.

Buiten de R1 zien we wel een omvangrijk gebied waarin significante wijzigingen in de grondwatertafel te verwachten zijn.

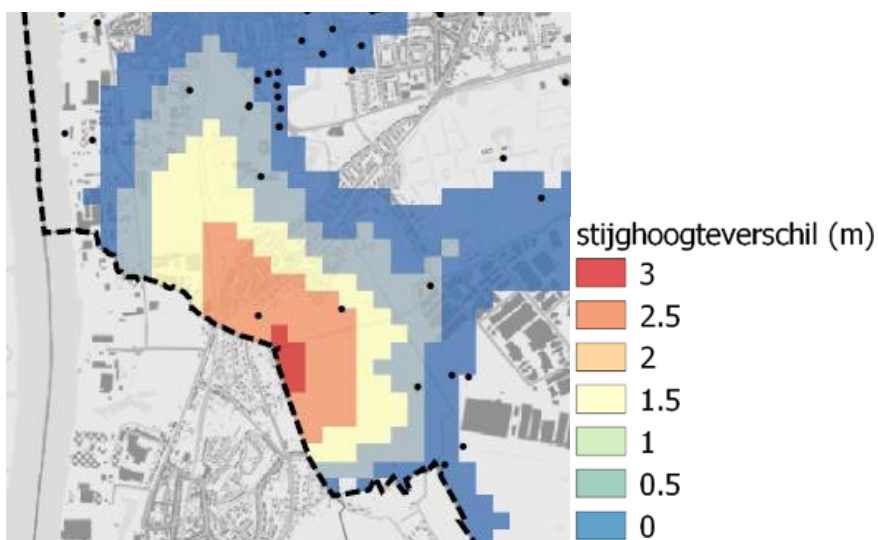
- Omgeving Fort 8 / Fort 7 en Nachtegalenpark (Hoboken);
- Omgeving Middelheimpark (Berchem);
- Tentoonstellingswijk;
- Veldekens (Berchem);
- Groenenhoek (Deurne).

De belangrijkste wijzigingen doen zich voor ter hoogte van Hoboken, waar grondwaterstands dalingen op jaarbasis tot meer dan 2.5 meter worden vastgesteld. Daarnaast worden ook in de omgeving van het Middelheimpark belangrijke grondwaterstandwijzigingen tot 2 meter vastgesteld.

3.2.3 Bespreking per wijk

3.2.3.1 Omgeving Fort 8 (Hoboken)

Fort 8 behoort tot de Brialmont omwalling die door Alexis Brialmont in de periode 1854-1859 werd aangelegd. Deze gordel neemt in de internationale vestingbouwkunde een vooraanstaande plaats in als prototype van een grootschalige verdediging van een stad. De aanleg van het geheel geeft een beeld van de wijze van oorlogsvoering in deze periode.



Figuur 3-6 Vastgestelde inventaris bouwkundig erfgoed rond fort 8

Binnen het getroffen gebied is slechts een beperkte hoeveelheid bouwkundig erfgoed aanwezig. De meeste bebouwing betreft moderne verkavelingen van rond de

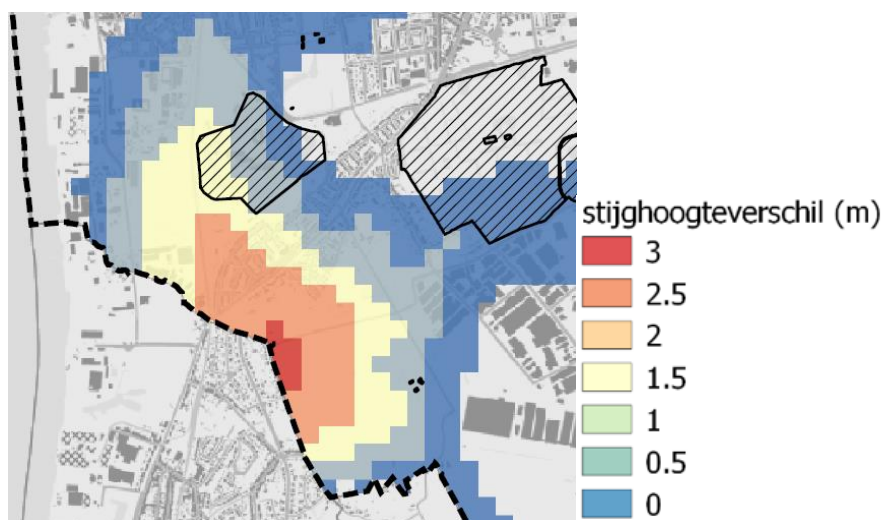
eeuwwisseling. Naast het fort zelf, waar enkele gebouwen worden aangeduid, en Schans XV en XVI, zien we in het noorden de brutalistische torens van de wijk Vinkevelen. Tussen 1961 en 1971 bouwde de sociale huisvestingsmaatschappij Beter Wonen een wijk van zes appartementsgebouwen (architecten Denkens, Appel en Weslau).



Figuur 3-7 Vinkevelen (voor de renovatie)

Ook het aantal beschermingen is beperkt. Naast het fort zelf verdient het kasteel Klaverblad (in het zuiden van het gebied) vermelding. Het gaat om een omgracht en te midden van een park gelegen kasteeltje in neo-Vlaamserenaissance-stijl van 1904 met neogotische kapel en 18de-eeuwse bijgebouwen.

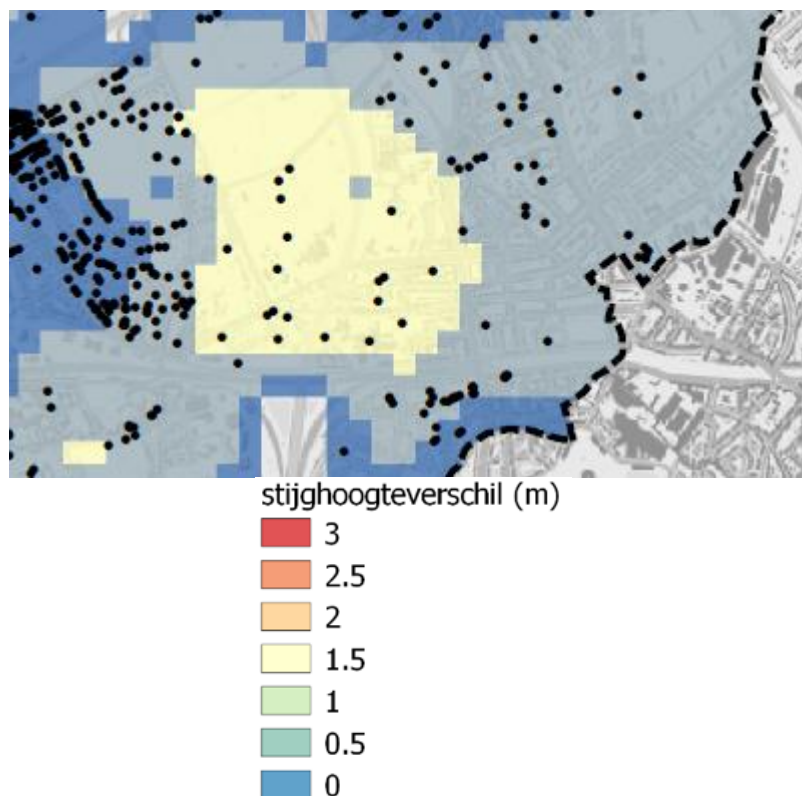
Net ten oosten van het meest getroffen gebied bevindt zich het Schoonselhof. Het kasteeldomein met hoeve waarvan de oorsprong opklimt tot de 14de- en 16de eeuw, werd in 1911 door de stad Antwerpen aangekocht en ingericht als stedelijke begraafpark in 1921.



Figuur 3-8 Beschermde bouwkundig erfgoed rond Fort 8

3.2.3.2 Omgeving Park Den Brandt / Middelheimpark (Berchem)

Het getroffen gebied omvat verschillende historische parken in het zuiden van Antwerpen. De drie domeinen Vogelzang, Middelheim en Den Brandt, die in oorsprong respectievelijk teruggaan tot de 13de en 14de eeuw, vormen samen het Nachtegalenpark. Dit park van circa 90 hectare is een goed bewaard voorbeeld van een parkaanleg uit de 19de eeuw en vormt een groen geheel binnen een verder sterk verstedelijkte omgeving.



Figuur 3-9 Vastgestelde inventaris bouwkundig erfgoed omgeving Nachtegalenpark

Het bouwkundig erfgoed in de meest beïnvloede zone behoort in hoofdzaak tot de kasteeldomeinen die samen het 'Nachtegalenpark' vormen.

De wijk ten Noordoosten van de parken (Nieuw kwartier west) gaat terug op verkavelingsprojecten die vanaf 1911 werden uitgevoerd. Waar de architectuur voor de eerste wereldoorlog eerder traditionalistisch was, werd in het interbellum geopteerd voor art deco. De erfgoedwaarden in deze wijk gaan in hoofdzaak terug op deze periode.

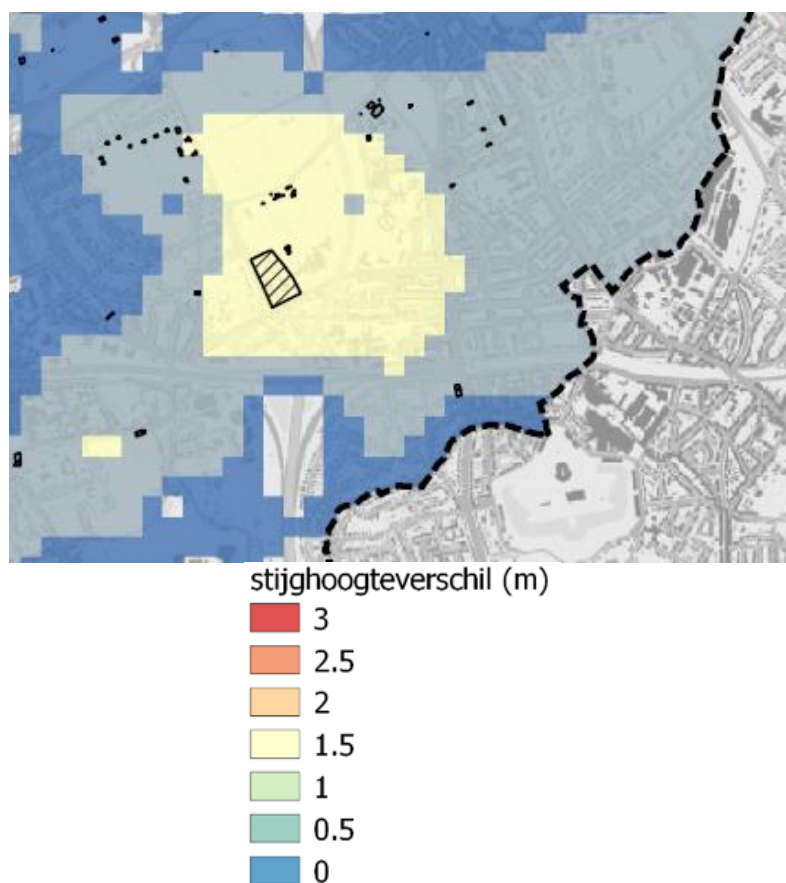
Ten westen van de parken ligt de prestigieuze parkwijk 'Den Brandt'. Voor het overgrote deel van de gronden van "Den Brandt", verkreeg de familie della Faille de Waerloos een verkavelingsvergunning. Voor de percelen gold een minimum oppervlakte van 1000 m² verminderd tot 600 m² voor bepaalde zones, en het aanwezige bomenbestand diende zoveel mogelijk te worden gevrijwaard. Het karakter dat voor de nieuw te bouwen landhuizen werd nagestreefd was dat van het 'parc habité', met een vrijstaande inplanting, een sierlijk omheinde voortuinstrook van 4 tot 6 m diep, een minimum afstand tussen de woningen van 8 m, en een opgelegde kroonlijsthoogte tussen 7 en 17 m. De noordwestelijke hoek van de wijk was voorbehouden voor aaneengesloten rijbebouwing 'de caractère architectural', met ruimte voor horeca. Hetzelfde gold voor het zuidwestelijke hoek van de wijk.

Net zoals in het nieuw kwartier dateert de meeste bebouwing uit het interbellum. Daarbij komen zowel modernistische, cottage als art-deco villa's voor. Een tweede bouw golf vond plaats in de jaren 1950-1960.



Figuur 3-10 3 villa's in de Berkenlaan (parkwijk Den Brandt) allen gebouwd tijdens het interbellum

Het getroffen gebied bevat ook een aantal beschermde erfgoedobjecten.



Figuur 3-11 Beschermd erfgoed in de omgeving van het Nachtegalenpark

Het meest in het oog springt het theologisch en pastoraal centrum van Paul Felix uit 1968-1970, dat als geheel is beschermd (gearceerde oppervlakte). Ten noorden hiervan zien we voornamelijk het kasteeldomein Middelheim met zijn verschillende onderdelen, dat in hoofdzaak dateert uit de tweede helft van de 18^{de} eeuw.



Figuur 3-12 Theologisch en pastoraal centrum (Groenenborgerlaan)



Figuur 3-13 Kasteel Middelheim

Daarnaast bevinden zich nog een reeks bunkers uit de tweede wereldoorlog, de koloniale hogeschool en enkele woningen op de lijst beschermd erfgoed.

3.2.4 Potentiële impact

3.2.4.1 Algemeen

In grote lijnen doet de impact zich in de toekomst voor in gebieden die tot op heden het minst verstedelijkt zijn en die qua bodemsamenstelling minder gevoelig zijn aan zettingen. Als eventueel zettingsgevoelige lagen worden alluviale deklagen (HCOV codering 0140) en Polderafzettingen (HCOV codering 0130) beschouwd. Een overlap met een verlagingcontour van 0,5 m wordt enkel berekend t.h.v. de Schelde ten zuiden van Hoboken en op linkeroever (Figuur Bijlage C-10).

Met uitzondering van enkele kasteeldomeinen en defensief erfgoed is de bebouwing in hoofdzaak 20^{ste} eeuwse en gelegen buiten de ring van Antwerpen. Voor zover als kon worden nagegaan hebben eerdere grondwaterstandsverlagingen (o.m. ten gevolge van de aanleg van de R1) geen negatieve gevolgen gehad op de stabiliteit van de gebouwen. De kans op ernstige schade aan de funderingen wordt in globo eerder laag ingeschat.

3.2.4.2 Bouwkundig erfgoed

De meest getroffen gebieden behoren tot de 20^{ste} eeuwse stadsuitbreiding van de stad Antwerpen. Een groot deel van dit erfgoed dateert van voor WOII. Dit betekent dat in hoofdzaak gewerkt werd met funderingen 'op staal', vaak in combinatie met (gedeeltelijke) onderkeldering. De keuze voor dergelijke fundering is mede ingegeven door de goede draagkracht van de grond.

Daarnaast komen ook enkele oudere kasteeldomeinen voor, waarvan de funderingen vaak ouder zijn dan de bovengrondse delen. De eventuele impact op dergelijke complexe structuren is moeilijk te voorspellen. Voor zover als wij konden nagaan hebben eerdere grondwaterstandsverlagingen (o.m. ten gevolge van de aanleg van de R1) geen negatieve gevolgen gehad op de stabiliteit van de gebouwen. Wel valt te vrezen dat de bestaande omwallingen droog komen te staan indien onvoldoende voeding (bv. door regen) aanwezig is.

Defensief erfgoed is prominent aanwezig in de getroffen zone. Ook hier wordt geen directe impact verwacht. De grachten - die integraal deel uitmaken van het defensief concept - dreigen droog te vallen indien te weinig voeding aanwezig is. Dit effect kan zeker optreden in fort 8, waar een grondwaterstandsverlaging tot meer dan 2 meter wordt verwacht.

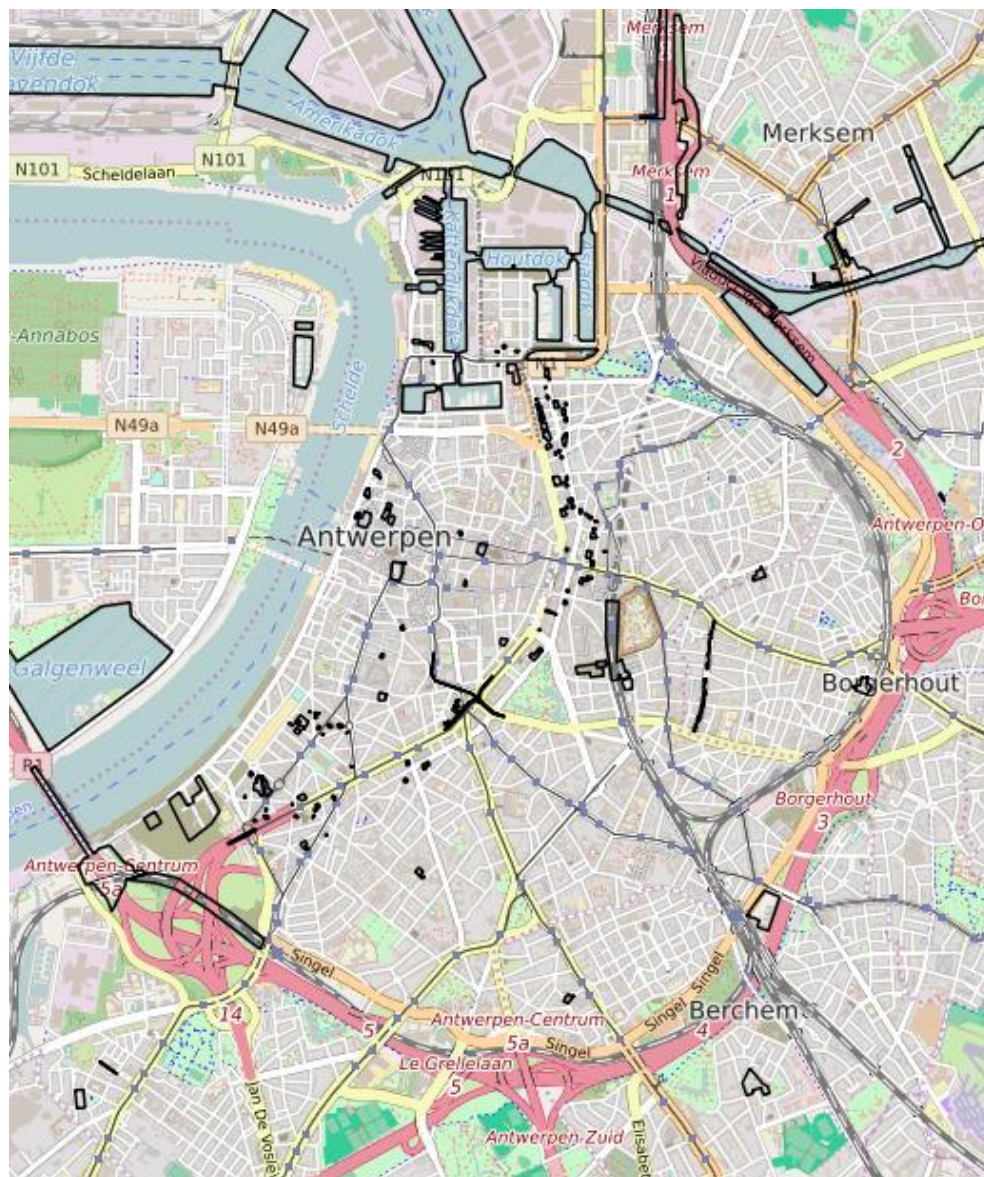
Het gebied bevat ook een aanzienlijke hoeveelheid modernistisch erfgoed. Bij de bouw van grootschalige modernistische wijken werd gebruik gemaakt van 'moderne' funderingstechnieken zoals palen, plaatfunderingen e.d.m.. Die zijn minder gevoelig aan (differentiële) zettingen ten gevolge van grondwaterstandsverlagingen.

3.2.4.3 Archeologie

Wijzigingen in de grondwatertafel, hoe gering ook, kunnen een belangrijke impact hebben op archeologisch erfgoed. Organisch archeologisch materiaal (houten en benen voorwerpen, textielresten e.d.) blijft in de meeste gevallen alleen bewaard wanneer deze resten zich onder de permanente grondwaterspiegel bevinden óf in verkoolde (verbrande) vorm verkeren of wanneer de zuurtegraad in de context voldoende laag is. In het geval niet-verbrande organische resten boven de grondwaterspiegel (komen te) liggen, zullen zij op termijn vergaan. Na daling van de grondwaterspiegel kan er zuurstof doordringen in de bodem, waarin dat voorheen nooit of slechts zelden gebeurde. Hierdoor kunnen allerlei bodemorganismen dieper in de bodem doordringen. Dergelijke bodemorganismen vreten zich een weg door de

bodem, waarbij ze de organische materialen doorgraven en verteren. Uiteindelijk zullen de activiteiten van schimmels en bacteriën tot de volledige afbraak van het resterende organische materiaal leiden. Over het algemeen kan gesteld worden dat archeologische organische resten die zich continu in het grondwater bevinden, goed (of in elk geval beter) geconserveerd zullen blijven. De mate van aantasting van de verschillende te onderscheiden artefactcategorieën (houten voorwerpen, benen voorwerpen etc.) is niet alleen van de grondwaterstand afhankelijk, maar ook van factoren als zuurtegraad van het bodemwater en de werking van enzymen. Daarnaast kan de fysieke impact van biologische activiteit (vergravingen als gevolg van gangenstelsels van dassen, vossen, konijnen,...) leiden tot aantasting. Het optreden van deze aantasting kan samenhangen met verlagingen van de grondwatertafel. Ten aanzien van anorganisch archeologisch materiaal, waarbij gedacht moet worden aan aardewerk, stenen voorwerpen, glas, metaal, metaallegeringen en slakken, kan opgemerkt worden dat deze artefactcategorieën relatief stabiel zijn te noemen. Ook deze stabiliteit hangt echter samen met een stabiele fysische en chemische bodemconditie, d.w.z. wijzigingen in de stand van het grondwater en de zuurtegraad van de omgeving hebben een negatief effect. In het perspectief van deze analyse volstaat te stellen dat alle artefactcategorieën het meeste gebaat zijn bij stabiele condities: geen wijziging van de grondwatertafel.

De mate waarin de archeologische resten aangetast worden, is niet of zeer moeilijk te kwantificeren. Ten eerste is de verhouding tussen anorganische en organische resten binnen archeologische sites niet bekend. Ten tweede is niet altijd precies bekend hoe snel het oxidatieproces plaatsvindt. Een grondwaterpeilverlaging van korte duur heeft niet dezelfde desastreuze effecten op de organische archeologische resten als een blijvende grondwaterpeilverlaging. De verschillen zijn echter (nog) niet te kwantificeren. Aangezien het hier gaat om grondwaterstandsverlagingen met een permanent karakter is de schade mogelijk aanzienlijk.



Figuur 3-14 'Kaart van gebieden waar geen archeologisch erfgoed te verwachten valt' voor de Antwerpse binnenstad

Het is zo goed als onmogelijk om na te gaan waar archeologische resten zich kunnen bevinden. Wel is kaartmateriaal beschikbaar dat zones aanduidt waarin geen archeologie voorkomt. De aangeduide zones zijn sterk vergraven (bv. dokken). Verder onderzoek, dat de diepte van archeologische lagen koppelt aan de daar verwachte grondwaterschommelingen, kan de mogelijke impact verder verfijnen.

3.3 Impact natuurgebieden en stadsgroen

Voor het bepalen van de impact van het klimaatscenario wordt een verschillende aanpak toegepast naar gelang het type ecosysteem: er wordt een onderscheid gemaakt tussen stedelijk groen (sectie 3.3.1) en natuurgebieden (sectie 3.3.2).

3.3.1 Stedelijk groen

Het belangrijk aantal openbare en private groene ruimten, bestaande uit parken, tuinen, braakliggende terreinen, begraafplaatsen, groendaken, gevelgroen en laanbomen vormt een netwerk dat garant staat voor het behoud van biodiversiteit (en tevens klimaatadaptieve baten biedt) in de stedelijke omgeving. Deze baten komen echter enkel tot hun recht indien voorzien kan worden in de juiste groeiomstandigheden voor het stedelijk groen. Droogte als gevolg van grondwaterstandsaling en beperktere (hemel)waterbeschikbaarheid vormt slechts één van de mogelijke milieudrukken (naast versnippering, verontreiniging, verstoring, invasieve exoten, bodemverdichting (tevens effect op het infiltratie- en vochtbindend vermogen van de bodem), beschadigde wortels, aantasting door organismen etc.) die een impact kunnen hebben op de standplaatsgeschiktheid voor stedelijk groen.

De analyse van de impact van het klimaatscenario op stedelijk groen gebeurt kwalitatief: de bomen die deel uitmaken van het stadsgroen en die werden geïnventariseerd¹ (Stad Antwerpen, 2013) worden getypeerd op basis van hun gevoeligheid voor droogte. Er wordt hiertoe gebruik gemaakt van onderzoek (Niinemets and Valladares, 2006), waarbij voor een 800-tal boom- en struiksoorten van de noordelijke hemisfeer hun tolerantie voor schaduw-, droogte- en natestress werd bepaald. De soorten krijgen hierbij een score tussen 0 (geen tolerantie, hoge gevoeligheid voor droogte) en 5 (maximale tolerantie, lage gevoeligheid voor droogte). Droogtetolerantie werd hierbij bepaald op basis van:

- Totale jaarlijkse neerslag;
- Ratio neerslag: evapotranspiratie;
- Variatie van neerslag tijdens het groeiseizoen (duur van droge periodes);
- Potentiaal van het bodemwater.

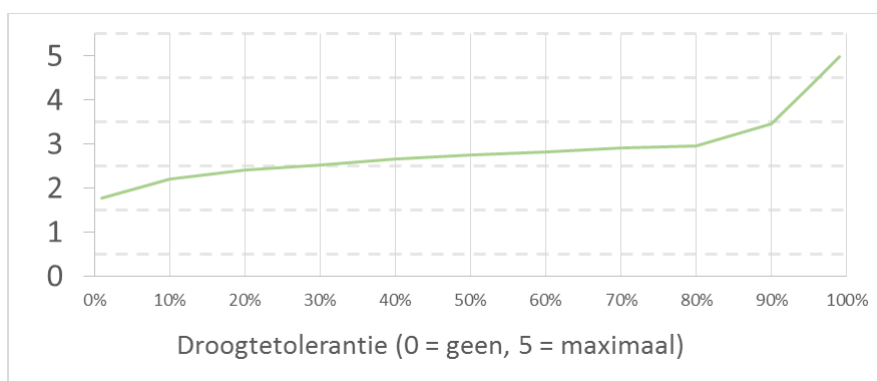
¹ Het betreft in totaal 99.867 groenelementen (bomen) waarvan er 10.382 niet op soortnaam gebracht werden.

Tabel 3-2: criteria klassindeling droogtetolerantie (Niinemets and Valladares, 2006)

klasse	Minimale jaarlijks neerslagtotaal [mm/jaar]	Variatie P tijdens groeiseizoen	min. P:PET ratio [-]	droogte
1	> 600	-	3	Enkele dagen
2	500	< 10 %	1.5	Enkele weken
3	400	15%	0.8	1 maand
4	300	20-25	0.5	2- 3 maanden
5	< 300	> 25 %	< 0.5	> 3 maanden

Figuur 3-16, Figuur 3-15 en Tabel 3-2 geven op basis van deze tolerantiescores, een indicatief ruimtelijk overzicht van de gevoeligheid van de aangeplante boom- en struiksoorten in de stad Antwerpen. Voor ongeveer 31 % kon geen waarde worden toegekend omdat hetzij de boomsoort niet op naam gebracht was, hetzij er geen droogtetolerantiescore gekend is.

Het grootste aandeel van het bomenbestand in de stad Antwerpen (dat voorkomt in de database) bevindt zich tussen klasse 2 en 3 (Figuur 3-15). De totale jaarlijkse neerslaghoeveelheid voor het ecologisch optimum van de soorten binnen deze klassen bedraagt minimum 500-600 mm (klasse 2) tot minimum 400-500 mm (klasse 3). De variatie van neerslag tijdens het groeiseizoen is slechts beperkt. Er komen nagenoeg geen niet-droogtetolerante soorten van klasse 1 voor (deze vereisen een jaarlijkse neerslag van minimum 600 mm).



Figuur 3-15 Bomenbestand Antwerpen: verdeling aandeel boomsoorten voor de verschillende tolerantieklassen

Aangezien de grondwaterstanden in de bebouwde deelgebieden in de huidige toestand al ver onder maaiveld zakken (de aanwezige boomsoorten wortelen gezien de diepte van de grondwaterstand grotendeels in het hangwaterprofiel), zal de toenemende droogte in het klimaatscenario voor het stedelijk groen voornamelijk het gevolg zijn van een verminderde neerslag:

- de totale jaarlijkse neerslag vermindert in het klimaatscenario van actueel 790 mm naar 560 mm in het beschouwde klimaatscenario. Op jaarbasis is er bijgevolg geen effect op de hemelwaterbeschikbaarheid: minimum 500 mm neerslag is nog steeds voldoende voor de aanwezige boomsoorten van klasse 2.

- De verminderde neerslag wijzigt ook de ratio neerslag : evapotranspiratie van ca. 1.5 in het huidige klimaat naar een verhouding van slechts 1.0 in het laag klimaatscenario.
- Tijdens het groeiseizoen (maanden april t.e.m. september wordt in beschouwing genomen) worden in het laag klimaatscenario langdurige periodes van droogte opgetekend. In het huidige klimaat zijn maanden met minder dan 10 mm neerslag eerder uitzondering, in het laag klimaatscenario wordt gemiddeld meer dan 1 maand/jaar berekend met minder dan 10 mm neerslag.
- De grotere variatie van neerslag tijdens het groeiseizoen leidt wel tot een verschuiving naar de optimale standplaatscondities voor de soorten met een tolerantiescore ≥ 3 .

Een zogenaamde 'klimaatadaptieve groeiplaats' wordt gekenmerkt door optimale groeiomstandigheden, waarvan de waterbalans een onderdeel is. Een strategie om duurzaam om te gaan met beschikbaar hemelwater in functie van het stedelijk groen is een wezenlijk onderdeel hieronderdeel van:

1. Er dienen algemene maatregelen te worden genomen om een (verdere) daling van het grondwaterpeil te voorkomen. Deze maatregelen kunnen bestaan uit ontharding en infiltratiebuffering en/of het gericht retourneren van bemalingswater. Deze maatregelen worden verder onderzocht in de strategieën.
2. Gezien het grootste aandeel van de stadsbomen gebruikt maakt van een hangwaterprofiel – (de grondwaterstand staat reeds te laag) is het minstens zo relevant in te zetten op (hemel)waterbeschikbaarheid indien droogtegevoelige soorten (al dan niet tijdelijk) behouden willen blijven.

Omdat droogte zich mogelijk sneller inzet dan de vervanging van boomsoorten en omdat het om andere redenen (stedenbouwkundig, landschappelijk, ...) nodig kan zijn om ook in de toekomst minder droogtetolerante bomen en struiken in de stad te behouden/ gebruiken, zal gekeken worden naar mogelijkheden om waterbeschikbaarheid te verhogen:

- Tijdelijke maatregel: actief bevoeien van niet droogteresistente soorten die behouden wensen te blijven (tot eventuele vervangen);
 - Structurele maatregel: op strategische plaatsen (bijvoorbeeld groenvoorzieningen met relevante oppervlakte, locaties waar nieuwe laanbomen worden aangeplant/ infrastructuurwerken voorzien worden) infiltratievoorzieningen/ waterbergende functie in de groeiplaats te integreren.
3. Aandacht voor voldoende droogteresistente soorten bij toekomstige aanplanten – in het bijzonder op plaatsen (lanen, geïsoleerde bomen,...) waar niet eenvoudig/ kostenefficiënt een waterbergende functie geïntegreerd kan worden in de groeiplaats – is essentieel en dient meegenomen te worden als onderdeel van een toekomstvisie voor de groenontwikkeling in Antwerpen.

Onderzoekers Roloff, Grundman en Korn haalden op de Baumpflege Tage in Augsburg een casus aan waarbij in het park van de Duitse stad Köthen talrijke oude bomen, in het bijzonder eiken, vanaf 2009 binnen drie jaar omvielen. Een verandering in grondwaterstand was de oorzaak. Met het oog op toekomstige klimaatverandering die een dergelijke daling van de grondwaterstand kan veroorzaken, onderzocht het onderzoeksteam welke bomen het meest droogtetolerant zijn. Onderstaande tabel geeft de lijst die op basis hiervan

gegenereerd werd (Roosien, 2014). De lijst is niet-limitatief en houdt geen rekening met andere standplaatsvereisten (bv. Noorse esdoorn is zeer droogteresistent maar verdraagt geen verharding).

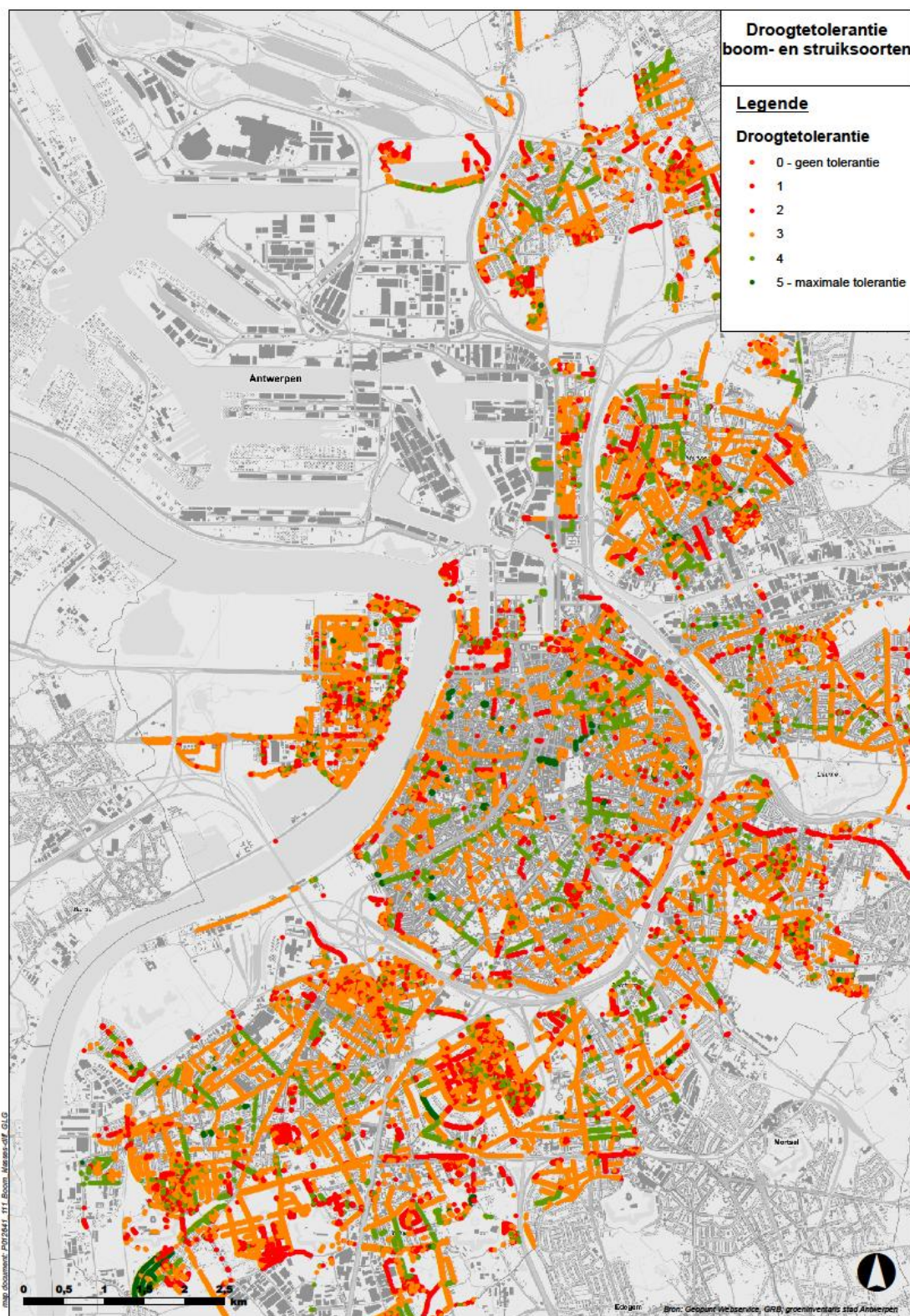


Tabel 3-3: Droogteresistente boomsoorten

Droogteresistente boomsoorten (* geeft de mate van droogtetolerantie aan)	
Acer buergerianum ***** drietandesdoorn	Phellodendron sachalinense ***** Japanse kurkboom
Acer campestre CV's ***** veldesdoorn	Platanus x hispanica ** Gewone plataan
Acer cappadocium ssp. lobelij *** kolchische esdoorn	Platanus occidentalis ** Westerse plataan
Acer negundo *** Vederesdoorn	Populus alba ** Witte abeel
Acer opalus **** Italiaanse esdoorn	Populus x berolinensis **** Siberische balsempopulier
Acer platanoides ***** Noorse esdoorn	Populus tremula ***** Ratelpopulier
Acer rubrum ***** rode esdoorn	Prunus avium *** Zoete kers
Acer x zoeschense *** Zoeschense esdoorn	Pyrus communis *** Gewone peer
Aesculus x carnea ** rode kastanje	Pyrus pyraeaster (niet in cultuur, JM) ***** Wilde peer
Ailanthus altissima *** Hemelboom	Quercus coccinea ** Scharlaken eik
Alnus cordata *** hartbladige els	Quercus frainetto *** Hongaarse eik
Alnus x spaethii ** Spaethse els	Quercus imbricaria *** Lauriereik
Alnus incana *** witte of grijze els	Quercus macranthera *** Perzische eik
Betula pendula *** ruwe berk	Quercus macrocarpa *** Grootvruchtige eik
Carya glabra *** Gladbladige bitternoot	Quercus Montana *** Berg eik
Carya ovate ** Witte bitternoot	Quercus muehlenbergii *** Muehlenbergse eik
Carya tomentosa *** harige bitternoot	Quercus palustris ** Moerasedik
Castanea sativa ** tamme kastanje	Quercus petraea **** Wintereik
Catalpa speciosa ** Westerse trompetboom	Quercus pubescens ***** Zachte eik
Celtis bungeana (niet in cultuur, JM) *** Bungeana zwepenboom	Quercus rubra *** Amerikaanse eik
Celtis caucasica (niet in cultuur, JM) ** Afghaanse zwepenboom	Robinia pseudoacacia **** Gewone/witte acacia
Celtis occidentalis ** westerse zwepenboom	Robinia viscosa **** Kleverige acacia
Cladrastis sinensis *** Chinese geelhout	Saphora japonica ***** Japanse Honingboom
Diospyros virginiana ** Amerikaans Ebbenhout	Sorbus aria *** Meelbes
Fraxinus angustifolia *** smalbladige es	Sorbus badensis (niet in cultuur, JM) **
Fraxinus excelsior *** gewone es	Sorbus domestica *** Huis lijsterbes
Fraxinus pallisiae (niet in cultuur, JM) ***** behaarde es	Sorbus intermedia ** Zweedse lijsterbes
Fraxinus pennsylvanica **** rode es	Sorbus latifolia ** Breedbladige meelbes
Fraxinus quadrangulata (niet in cultuur, JM) *** blauwe es	Sorbus x thuringiaca **** Bastaard meelbes
Ginkgo biloba *** Japanse notenboom	Sorbus torminalis **** Alpen lijsterbes
Gleditsia japonica (niet in cultuur, JM) ***** Japanse Valse Christusdoorn	Tilia cordata **** Winterlinde
Gleditsia triacanthos **** Valse Christusdoorn	Tilia x euchlora *** Krimlinde
Gymnocladus dioica *** Doodsbeenderenboom	Tilia x mandshurica ** Masoer linde
Maackia amurensis *** Amur Maackia	Tilia tomentosa ** Zilverlinde
Malus tschonoskii *** Sierappel	Ulmus parvifolia *** Chinese iep
Nyssa sylvatica *** zwarte tupelboom	Ulmus pumila **** Siberische iep
Ostrya carpinifolia ** Europese hopbeuk	Zelkova serrata ** Japanse zelkova
Phellodendron amurense ***** Amur kurkboom	



Figuur 3-16: Droogtetolerantie boom- en struiksoorten



Figuur 3-17: Droogtetolerantie boom- en struiksoorten (inkleuring van klassen 2 – rood en en 3 – Oranje wegens niet optimale hydrometrische condities ingevolge het klimaatscenario)

3.3.2 Natuurgebieden

Naast het stedelijk groen behoren een aantal natuur(lijkere) gebieden tot het grondgebied van de stad Antwerpen.

In deze gebieden staat de natuurdoelstelling voorop: er is momenteel al verdrogingsgevoelige vegetatie aanwezig of tot doel gesteld. Voor het bepalen van de impact van het klimaatscenario wordt een kwetsbaarheidsbenadering² gevolgd.

De gebiedsdekkende kwetsbaarheidskaart voor verdroging (Vriens and Peymen, 2016) is gebaseerd op de biologische waarderingskaart en toont kwetsbaarheid van ecotopen voor verdroging. Kwetsbaarheid wordt gezien als een combinatie van gevoeligheid van een ecotoop voor verdroging in combinatie met de biologische waarde. Zeer gevoelige ecotopen die ook een hoge biologische waarde hebben, krijgen daarom de hoogste kwetsbaarheidsscore. De gevoeligheid werd bepaald op basis van de abiotische standplaatsvereisten van de ecotopen.

Figuur 3-18 geeft de ecotoopkwetsbaarheid van het studiegebied voor verdroging weer. Het grootste gedeelte van het studiegebied is op basis van deze classificatie niet tot weinig kwetsbaar voor verdroging. De kwetsbare tot zeer kwetsbare gebieden bevinden zich in de natuurgebieden waar grondwaterafhankelijke vegetatie voorkomt (Figuur Bijlage C-13). Het zijn gebieden die een hoge beschermingsstatus kennen (Habitat- en/of Vogelrichtlijngebied, VEN-gebied, natuurreserveaat) en waarbij het klimaatscenario relevant zal zijn voor het behalen van eventuele toekomstige doelstellingen voor natte natuur.

Kwetsbare (en beschermde) gebieden die een belangrijke daling van de grondwaterstand (>0,5m) en een afname van kwel kennen in dit klimaatscenario zijn onder meer gebied 3 (Burchtse Weel, VEN gebied) en gebied 4 (Blokkeerdijk, VEN gebied en natuurreserveaat):

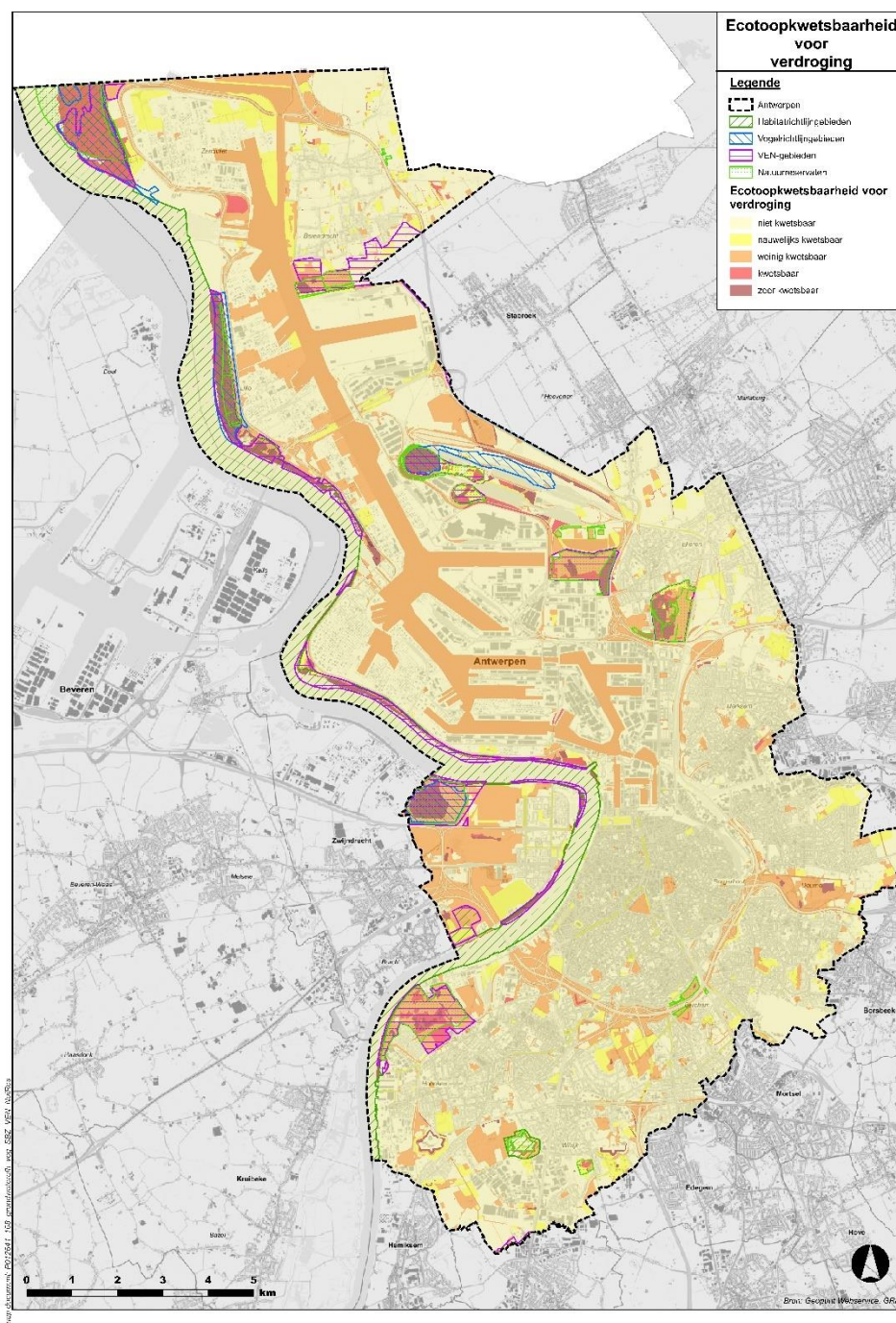
- 3: Burchtse Weel (VEN)
De Burchtse Weel werd ingericht als compensatie voor het verdwijnen van slik en schor voor de Oosterweeltunnel: het behouden/ ontwikkelen van de vooropgestelde vegetaties in een klimaatscenario zijn eerder afhankelijk van de ingrepen op de Schelde
- 4: Blokkeerdijk (Vogelrichtlijngebied, VEN en natuurreserveaat)
In het gebied wordt ingezet op natte, grondwaterafhankelijke natuur (open water, rietland, moerasbos) mede als biotoop voor avifauna. Door lange droogteperiodes en daling van de grondwaterstand – momenteel worden in de zomerperiodes al lage waterpeilen in de centrale plas en lage grondwaterstanden gemeten – zal het voorkomen van de natte vegetatietypes verder verminderen: verruiging treedt op, waardoor deze biotopen niet meer geschikt zijn voor de tot doel gestelde soorten.

De kwetsbaarheid van de vesten (Mastvest en Brilschanspark – deels natuurreserveaat) en de grachten rond de forten van Hoboken, Wilrijk (Schoonselhof) en Wilrijk (Campus drie eiken) die zich ook bevinden in de zone met de grootste grondwaterstandsverschillen in het klimaatscenario, dient hierbij ook te worden vermeld.

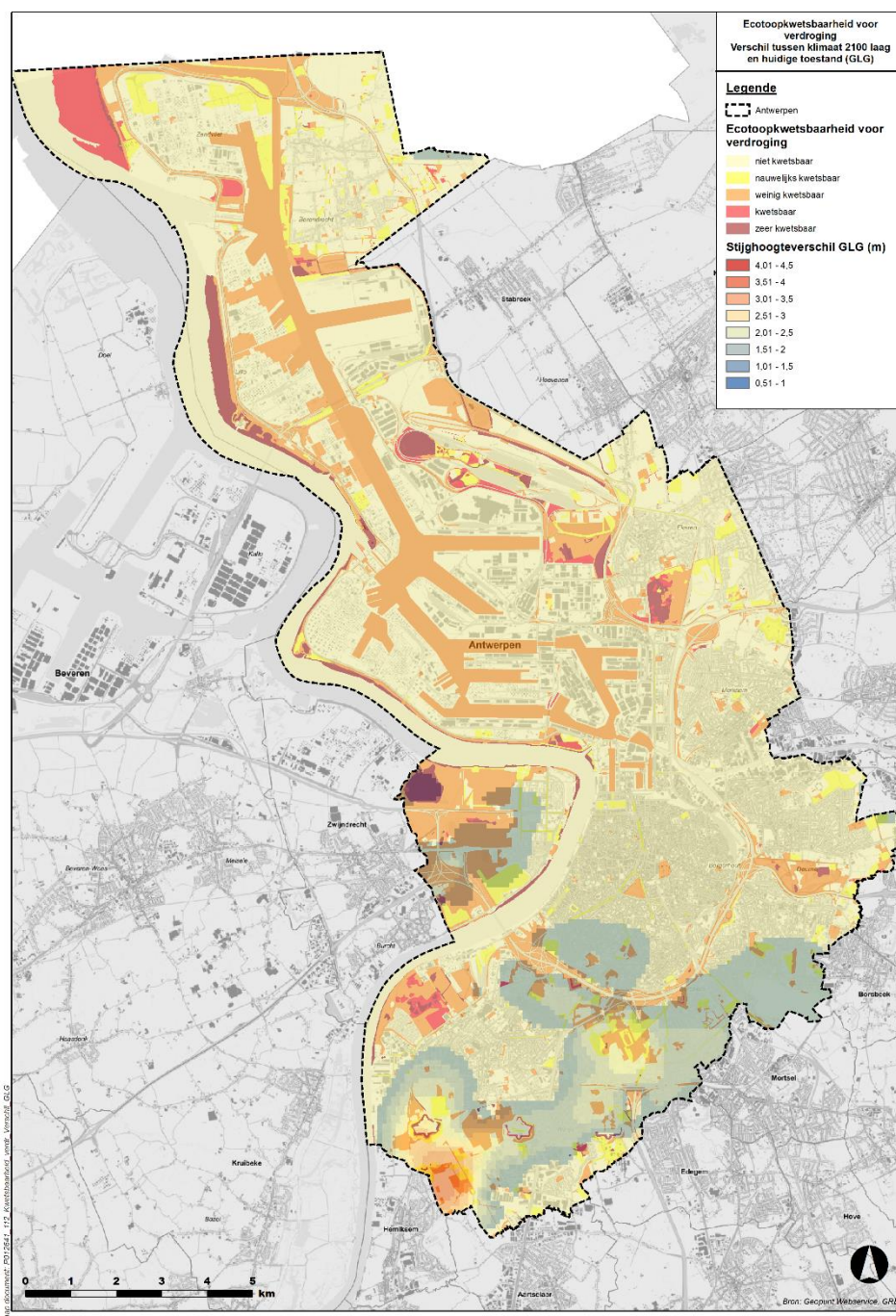
Er werd hierbij gefocust op natuurgebieden die een belangrijke grondwaterstands daling ondervinden, in de overige natuurgebieden zullen echter ook

² Een effectbenadering, waarbij de standplaatsgeschiktheid van de verschillende grondwaterafhankelijke vegetatietypes in de huidige toestand en in het klimaatscenario wordt nagegaan op basis van referentiewaarden (range GXG), vraagt detailonderzoek en valt buiten de scope van deze studie.

(beperkte) dalingen optreden. De impact hiervan op de actuele en tot doel gestelde grondwaterafhankelijke vegetatietypes moet echter onderwerp zijn van een detailstudie.



Figuur 3-18 : Ecotoopkwetsbaarheid studiegebied voor verdroging



Figuur 3-19 : Ecotoopkwetsbaarheid voor verdroging: stijghoogteverschil bij grondwaterstands daling als gevolg van het klimaatscenario

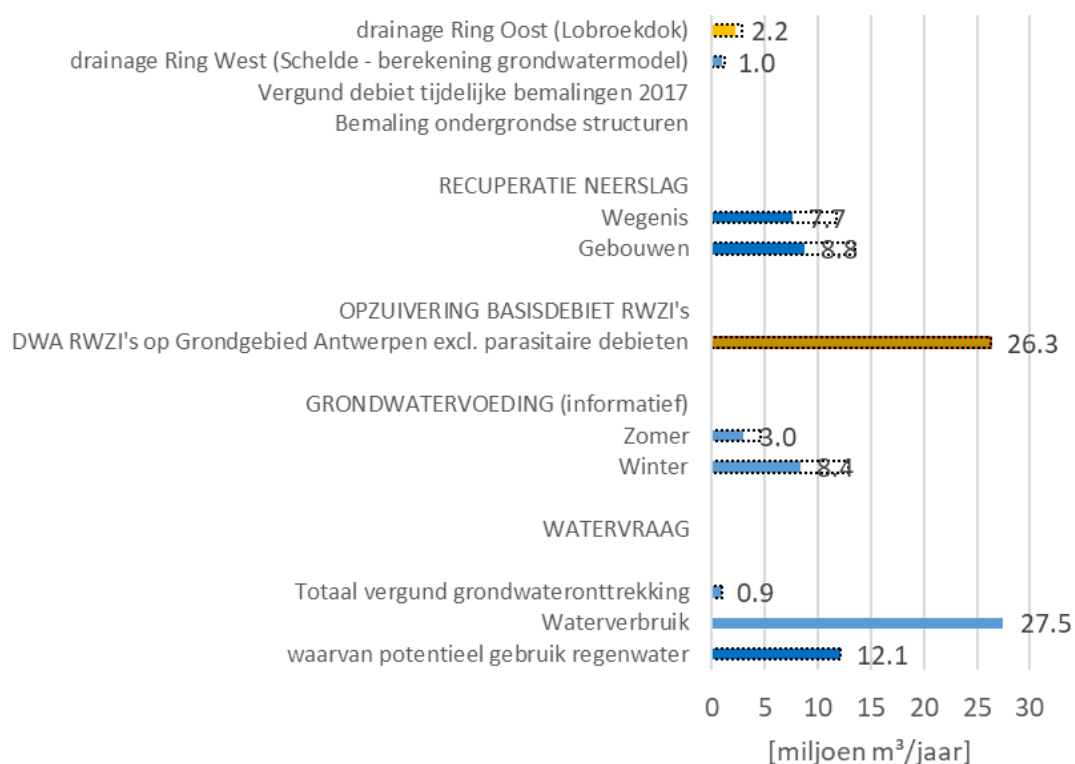
3.4 Impact Waterbeschikbaarheid

In WP1 werden de verschillende termen van de waterbalans afgewogen onder het huidige klimaat. De keuze van het klimaatscenario in sectie 2.2.3.2 wijst op een sterkere seizoensafhankelijkheid van de neerslag en grondwatervoeding. De resultaten met het grondwatermodel wijzen dan weer op een verandering van een aantal termen in de grondwaterbalans met mogelijke impact op de totale waterbalans zoals een afname van de drainage van de Ring en een potentiële afname van de voeding van vijvers en natuurgebieden via grondwater.

Aan aanbodzijde worden volgende termen beïnvloed:

- De potentiële neerslagrecuperatie moet worden herzien. De goede spreiding van de maandgemiddelde neerslag in het huidige klimaat wordt in het beschouwde laag klimaat scenario vervangen door een neerslagpatroon met een langdurige periode van droogte. Om gebruik te kunnen maken van de totale jaarneerslag zal een hogere opslagcapaciteit worden vereist. Indien abstractie wordt gemaakt van de opslagcapaciteit wordt een verminderde neerslaghoeveelheid van 65 % in rekening gebracht.
- Als gevolg van een verminderde grondwatervoeding en stijghoogtegradiënt neemt de drainage van de ring af met gemiddeld 20 %.
- Er wordt ook een afname verwacht van het door de riolering gedraineerde grondwater en parasitaire debieten van aangesloten grachten. Er wordt verwacht dat deze term evenredig afneemt met de grondwatervoeding.

Totaal Stad excl. haven (postcodes 2030 2040)



Figuur 3-20: Termen waterbeschikbaarheid en waterverbruik exclusief havendistricten ingevolge laag klimaatscenario (ter vergelijking worden de termen bij huidig klimaatscenario weergegeven in stippellijn)

4 WP 2.2 Benchmarkstudie

In de benchmarkstudie werd gekeken naar ervaringen in binnen- en buitenland om de 'best-practices' te detecteren van maatregelen tegen de effecten van klimaatverandering. Bij de selectie werd voorkeur gegeven aan steden met een vergelijkbare context als Antwerpen.

Voor ordening van de verschillende maatregelen werd getracht om per categorie een of meerdere voorbeeldmaatregelen aan te halen die geïdentificeerd werden. De focus lag hierbij op de relevante en meer concrete maatregelen uit de literatuur. Een korte beoordeling per maatregel werd toegevoegd. Maatregelen worden in dit deel echter losgekoppeld van de globale strategie van een bepaalde stad (en eventuele andere maatregelen) en de plaatselijke context waarin ze genomen zijn.

In Bijlage D worden de verschillende onderzochte steden en hun maatregelen meer in detail besproken. De context en samenhang van de maatregelen wordt geschetst.

Specifiek voor de Antwerpse context wordt de aandacht gevestigd op volgende geciteerde acties in het buitenland:

- Sensibilisering om waterverbruik te verminderen bij particulieren:
 - Zaragoza: demonstratieprojecten, ...
 - Guelph: onderwijsprogramma's, mobiele app, ...
- Financiële ondersteuning voor particulieren :
 - Guelph, Canada: gratis wateraudit voor residenten, kortingen op waterbesparende huishoudtoestellen, ...
- Minimalisatie waterverlies in waterdistributie-netwerk :
 - Guelph, Canada: jaarlijkse lekdetectie, monitoring met debietmeters, ...
- Geïntegreerde planning van het landgebruik en het watersysteem:
 - Rotterdam: plan op het niveau van de stad als geheel in relatie tot de topografie en het watersysteem, rekening houdend met de toekomstige risico's, kwetsbaarheden, ...
- Rechtstreeks hergebruik afvalwater vanuit rioleringsnetwerk van gebouwen:
 - Sydney, Australië: hergebruik afvalwater met toepassing van geavanceerde zuiveringstechnieken
- Productie drinkwater uit afvalwater :
 - Queensland, Australië: geavanceerde afvalwaterzuiveringsinstallatie in Bumdamba (hergebruik door energiecentrales en landbouw)
- Grootschalige regenwateropvang :
 - Melbourne, Australië: zuivering via bio-filtratie en ondergrondse opslag als grijs water
- Regenwateropvang stadskwartier :
 - Sydney, Australië: zuivering en desinfectie voor niet-drinkbare doeleinden
 - Suwon, Korea: wettelijke basis promotie opslag regenwater, subsidie regenwaterreservoirs
 - Fukuoka, Japan: promoten van lokale regenwaterinzameling in dicht bebouwde stedelijke milieus
- Watervraag en aanbod in balans houden:

- Londen: combinatie van een aantal van de reeds genoemde maatregelen

4.1 Literatuurstudie Droogtemaatregelen

Via een literatuuronderzoek werd nagegaan welke maatregelen voor droogtebestrijding in andere steden worden voorbereid en worden genomen. De focus ligt op het analyseren van de manier van procesvoering, de beleidsontwikkeling en de implementatie van droogtebestrijdingsmaatregelen in een stedelijke context.

De geanalyseerde case studies en “best practices” werden opgedeeld volgens:

- Beïnvloeden van de vraagzijde naar water d.w.z. waterbesparing op continue basis of in het bijzonder gedurende droogte-events;
- Beïnvloeden van de aanbodzijde van water d.w.z. reduceren van verliezen, hergebruik, enz. ...;
- Ingezette middelen d.w.z. financiële stimuli, attitudeverandering, technologie, enz...

De analyse wordt uitgevoerd op basis van literatuuronderzoek van beleidsaanbevelingen, rapportages van vergelijkbare droogtestudies, analyse van gevalstudies, enz...

4.2 Vraagzijde

4.2.1 Structureel

4.2.1.1 Aangepast beheer

4.2.1.1.1 Nederland - Verdringingsreeks bij watertekort

Initiatiefnemer: Rijkswaterstaat Nederland

Beschrijving: De verdringingsreeks geeft de rangorde van maatschappelijke behoeften aan, die bij de verdeling van het beschikbare water in acht wordt genomen. De verdringingsreeks is wettelijk vastgelegd en afdwingbaar gemaakt via de Waterwet ([artikel 2.9 van de Waterwet](#) en [artikel 2.1 van het Waterbesluit](#)). Bij ernstige watertekorten hanteren waterbeheerders de verdringingsreeks voor de verdeling van het beschikbare zoetwater. Van watertekort is sprake als de vraag naar water vanuit de verschillende maatschappelijke en ecologische behoeften groter is dan het aanbod van water met een voor de diverse behoeften geschikte kwaliteit.

Bij ernstige watertekorten hanteren waterbeheerders de verdringingsreeks voor de verdeling van het beschikbare zoetwater.

De verdringingsreeks bestaat uit vier categorieën. De rangorde van belangen binnen de categorieën 1 en 2 is op nationaal niveau vastgelegd. Binnen de categorieën 3 en 4 is op nationaal niveau geen rangorde vastgelegd. Binnen (maar niet tussen!) die categorieën kan bij provinciale verordening een verdere rangschikking plaatsvinden.



Beoordeling: Gericht op het beperken van overlast/schade naar aanleiding van uitzonderlijke droogtesituaties, maar te weinig gericht op preventieve maatregelen.

Bron:

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema's/watertekort/verdringingsreeks/>

Projectgroep Droogtestudie Nederland, Droogtestudie Nederland, Samenvattend rapport Fase 2a, Proces en beleid, 2004.

4.2.1.2 Samenwerkingsverbanden

4.2.1.2.1 STOCKHOLM CITY - Set ambitious goals and utilize holistic planning

Initiatiefnemer: Stockholm

Beschrijving: Samenwerking en dialoog met projectontwikkelaars

Beoordeling: Bij het transformatieproces van een oude havenregio naar een moderne stadsomgeving, was de samenwerking en dialoog met de projectontwikkelaars een sleutelstrategie voor de stad Stockholm. Als eigenaar van de site heeft de stad Stockholm controle over de vergunningen en staat dus in een goede positie om de “duurzaamheidsagenda” vast te leggen. De stad heeft verschillende strategieën gevolgd, waaronder het uitvaardigen van stringente eisen, een uitgebreid opvolgingsproces vanaf de eerste planningsfase tot en met de uitvoering en een nauwe dialoog met de projectontwikkelaars.

Bron: C40 Cities Climate Leadership Group, Good Practice approaches for a successful climate positive project.

4.2.1.2.2 Maximaliseren van het potentieel van klimaatpositieve publiek-private partnerships

Initiatiefnemer: C40 Cities Climate Leadership Group

Beschrijving: : duurzame stadsontwikkelingsprojecten vormen opportuniteiten om de gemeenschap en stad rondom de site, te stimuleren tot duurzame initiatieven. Publiek-private samenwerkingen waarin de overheid strategisch duurzaamheidsaspecten via de infrastructurele ontwikkeling inbrengt, werken best in “greenfield” projecten waarin een duurzaamheidsvisie op holistische wijze in het masterplan geïntegreerd wordt, in gebieden die snel ontwikkelen en met infrastructuurontwikkeling op voldoende grote schaal.

Bron: C40 Cities Climate Leadership Group, Good Practice approaches for a successful climate positive project.

4.2.2 Attitude

4.2.2.1 Sensibilisering

4.2.2.1.1 GUELPH – Mobile Application

Initiatiefnemer: City of Guelph

Beschrijving: De Mobiele applicatie zal gebruikers toelaten hun waterverbruik op te volgen en te vergelijken met anderen. Uitdagingen omtrent gebruik zullen geïntroduceerd worden in de app.

Beoordeling: Dit kan op een indirecte manier waterverbruik verminderen. Gebruikers zijn op een speelse manier bezig met het verminderen van waterverbruik. . De stad telt 135 000 inwoners (2017) en de kostprijs van het project bedraagt \$140 000.

Bron: Water efficiency strategy update (2016) – city of Guelph.

4.2.2.1.2 GUELPH – Public Education

Initiatiefnemer: City of Guelph

Beschrijving: Het publieke onderwijs programma ondersteunt alle andere initiatieven in Guelph.

Beoordeling: /

Bron: Water efficiency strategy update (2016) – city of Guelph

4.2.2.1.3 ZARAGOZA – Water saving city program

Initiatiefnemer: Stad Zaragoza, Spanje

Beschrijving: De stad Zaragoza beoogt het waterverbruik te verminderen door middel van bewustwordingscampagnes voor gedragsverandering. Dit programma omvatte enkele opeenvolgende fases:

-“Kleine stappen, grote oplossingen”: een wijdverspreide bewustmakingscampagne om het waterverbruik in woningen, openbare gebouwen en commerciële activiteiten te verminderen door middel van gedragsverandering en technologieën.

-“50 goede praktijken”: 50 voorbeelden van water efficiënte technologieën werden geïmplementeerd in het straatbeeld (in parken, publieke gebouwen, ...) om de werking te demonstreren en het gebruik ervan op grotere schaal aan te moedigen.

-“school voor efficiënt watergebruik”: verspreiding van gidsen die de goede praktijken uit fase 2 beschrijven

-“100 000 toezeggingen” : de uitnodiging van burgers en bedrijven om online publieke toezeggingen te doen om water te besparen in teken van de internationale expo “water and sustainable development”

Voornamelijk fase 1 en 4 horen thuis onder dit type maatregel.

Beoordeling: De stad Zaragoza is er in geslaagd het waterverbruik te verminderen van 180 L per dag per persoon in 1980 tot iets minder dan 100 L per dag per persoon in 2010. Het merendeel van deze verwezenlijking was toe te schrijven aan deze bewustmakingsactiviteiten. Al in de eerste fase van dit programma was het percentage van de burgers die op de hoogte waren van waterbesparende maatregelen gestegen van 40% naar 72%. De geschatte kost van de bewustwordingscampagnes worden geschat op 2,5 miljoen euro tussen 2002 en 2010.

Bronnen:

-Zaragoza: combining awareness raising and financial measures to enhance water efficiency (2014) (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/zaragoza-combining-awareness-raising-and-financial-measures-to-enhance-water-efficiency>)

- Reducing water demand and establishing a water saving culture in the City of Zaragoza

(http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Case_studies/Zaragoza_Case_study_preview.pdf)

4.2.2.2 Financieel

4.2.2.2.1 GUELPH – Home Visits/Audits

Initiatiefnemer: City of Guelph

Beschrijving: De stad biedt residenten thuis een gratis water audit (1 uur) om water-specifieke retrofit mogelijkheden te bepalen.

Beoordeling: de kostprijs voor dit programma bedraagt \$122 500 voor een periode van 10 jaar. Gedurende deze periode zou er 65 m³ water/dag bespaard worden. Dit is relatief weinig tegenover andere maatregelen die in Guelph genomen werden. Het programma bespaart water ter waarde van \$301 860.

Bron: Water efficiency strategy update (2016) – city of Guelph

4.2.2.2.2 ZARAGOZA – Economic incentives for behavioral change

Initiatiefnemer: Stad Zaragoza, Spanje.

Beschrijving: De watertarieven in de stad werden herzien om dit meer rechtvaardig en vraaggericht te maken. Dit werd gedaan door:

- betaalbare toegang tot elementaire watervoorziening voor iedereen (inclusief subsidies voor kwetsbare gezinnen)
- stimulans voor de consument om water duurzaam te gebruiken: huishoudens die hun waterverbruik konden verminderen werden beloond.
- buitensporige consumptie bestraffen met hogere prijzen

Beoordeling: De stad Zaragoza is er in geslaagd het waterverbruik te verminderen van 180 L per dag per persoon in 1980 tot iets minder dan 100 L per dag per persoon in 2010. Het merendeel van deze verwezenlijking was toe te schrijven aan deze bewustmakingsactiviteiten promotieactiviteiten.

Bronnen:

-Zaragoza: combining awareness raising and financial measures to enhance water efficiency (2014) (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/zaragoza-combining-awareness-raising-and-financial-measures-to-enhance-water-efficiency>)

- Reducing water demand and establishing a water saving culture in the City of Zaragoza

(http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Case_studies/Zaragoza_Case_study_preview.pdf)

4.2.2.2.3 GUELPH – Water Smart Business Program

Initiatiefnemer: City of Guelph, Canada

Beschrijving: De stad biedt industriële, commerciële en institutionele klanten een gratis water audit en een eenmalige korting van \$0,75 per liter per dag. Dit vermindert permanent het waterverbruik.

Beoordeling: De kostprijs van het 'Water Smart Business Program' bedraagt \$2 225 000 voor een periode van 10 jaar. Gedurende 10 jaar zou hierbij 1500 m³ water/dag uitgespaard worden. In totaal – gebaseerd op de voorspelde waterbesparing – bespaart het programma water ter waarde van \$7 020 000.

Bron: Water efficiency strategy update (2016) – city of Guelph.

4.2.2.2.4 KOPENHAGEN - Toepassing van creatieve financieringsmethoden i.f.v. het garanderen van lange termijn zekerheid

Initiatiefnemer: Kopenhagen

Beschrijving: Innovatief publiek-privaat financieringsschema (voor financiering van het “Cloudburst Management plan”) d.w.z. inzameling waterbelastingen via de publiek beheerde waterdistributiemaatschappij. De wetgeving om dit te implementeren werd in samenwerking met de nationale overheid aangepast, waardoor een ruimere toepassing van de waterkosten mogelijk wordt gemaakt. Er wordt samengewerkt met verschillende partners uit de particuliere sector, waaronder verzekeringsmaatschappijen, om (verwachte) verliezen te monetiseren en verscheidene maatregelen te onderwerpen aan kosten-batenanalyses om aanzienlijke budgettaire toewijzingen te verantwoorden.

Beoordeling: Goede praktijk voorbeeld

Bronnen: C40 Cities Climate Leadership Group, Good Practice Guide Climate Change Adaption in Delta Cities

4.2.2.3 Regelgeving

4.2.2.3.1 SYDNEY

Initiatiefnemer: City of Sydney

Beschrijving: het is moeilijk om efficiëntie van waterverbruik te verbeteren in appartementsgebouwen, commerciële gebouwen, etc. Het individueel verbruik meten van een multi-residentieel gebouw heeft het potentieel om meer aandacht te vestigen op het watergebruik. In het actieplan van de stad Sydney staat beschreven dat het monitoren van individueel verbruik verplicht zou moeten zijn.

Beoordeling: /

Bron: Decentralised Water master plan 2012-2030.

4.2.2.3.2 QUEENSLAND – restriction water use

Initiatiefnemer: Queensland

Beschrijving: Als droogtemaatregel werden er beperking opgelegd op de hoeveelheid en tijdstippen van waterverbruik

Beoordeling: effect moeilijk in te schatten

Bronnen:

https://www.jstor.org/stable/26269544?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

4.2.3 Technologie

4.2.3.1 Sensibilisering

4.2.3.1.1 ZARAGOZA – Water saving city program

Initiatiefnemer: Stad Zaragoza, Spanje

Beschrijving: De stad Zaragoza beoogt het waterverbruik te verminderen door middel van bewustwordingscampagnes voor gedragsverandering. Dit programma omvatte enkele opeenvolgende fases:

-“Kleine stappen, grote oplossingen”: een wijdverspreide bewustmakingscampagne om het waterverbruik in woningen, openbare gebouwen en commerciële activiteiten te verminderen door middel van gedragsverandering en technologieën.

-“50 goede praktijken”: 50 voorbeelden van water efficiënte technologieën werden geïmplementeerd in het straatbeeld (in parken, publieke gebouwen, ...) om de werking te demonstreren en het gebruik ervan op grotere schaal aan te moedigen.

-“school voor efficiënt watergebruik”: verspreiding van gidsen die de goede praktijken uit fase 2 beschrijven

-“100 000 toezeggingen” : de uitnodiging van burgers en bedrijven om online publieke toezeggingen te doen om water te besparen in teken van de internationale expo “water and sustainable development”

Voornamelijk fase 2 en 3 horen thuis onder dit type maatregel, aangezien de inwoners van de stad via bewustwordingscampagnes worden aangemoedigd om water efficiënte technologieën te gebruiken.

Beoordeling: De stad Zaragoza is er in geslaagd het waterverbruik te verminderen van 180 L per dag per persoon in 1980 tot iets minder dan 100 L per dag per persoon in 2010. Het merendeel van deze verwezenlijking was toe te schrijven aan deze bewustmakingsactiviteiten. Al in de eerste fase van dit programma was het percentage van de burgers die op de hoogte waren van waterbesparende maatregelen gestegen van 40% naar 72%. De geschatte kost van de bewustwordingscampagnes worden geschat op 2,5 miljoen euro tussen 2002 en 2010.

Bronnen:

-Zaragoza: combining awareness raising and financial measures to enhance water efficiency (2014) (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/zaragoza-combining-awareness-raising-and-financial-measures-to-enhance-water-efficiency>)

-Reducing water demand and establishing a water saving culture in the City of Zaragoza (http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Case_studies/Zaragoza_Case_study_preview.pdf)

4.2.3.2 Financieel

4.2.3.2.1 GUELPH – Royal Flush Toilet Rebate Program (Canada)

Initiatiefnemer: City of Guelph, Canada.

Beschrijving: Het programma biedt klanten \$50 korting wanneer ze ‘oude’ toiletten (6L) vervangen door een gecertificeerd model (4,8L). Oorspronkelijk kregen klanten 75\$ korting bij het vervangen van een 16L-model.

Beoordeling: De kostprijs van het programma bedraagt \$605 000 voor een periode van 10 jaar. Hierbij zou er 210m³ water/dag uitgespaard worden. In totaal – gebaseerd op de voorspelde waterbesparing – bespaart het programma water ter waarde van \$982 800.

Bron: Water efficiency strategy update (2016) – city of Guelph.

4.2.3.2.2 GUELPH – Blue Built Home Water Efficiency Standards and Rebate program

Initiatiefnemer: City of Guelph

Beschrijving: Het programma voorziet een korting voor een verscheidenheid aan waterbesparende apparaten voor zowel bestaande als nieuwe woningen als het verbruik minder dan 150 L bedraagt per persoon per dag.

Beoordeling: De kostprijs van het programma bedraagt \$109 500 voor een periode van 10 jaar. Gedurende deze periode wordt er 14 m³ water/dag uitgespaard. Dit is verwaarloosbaar in vergelijking met andere maatregelen die in Guelph genomen werden. Het programma bespaart water ter waarde van \$64 350.

Bron: Water efficiency strategy update (2016) – city of Guelph.

4.2.3.3 Regelgeving

4.2.3.3.1 STOCKHOLM CITY - Opleggen van stringent planningskader en selectieproces met voorkeur voor (visionaire) projectontwikkelaars van stedenbouwkundige (overheids)projecten.

Initiatiefnemer: Stockholm City, C40 Cities Climate Leadership Group.

Beschrijving: Opleggen van stringent planningskader en selectieproces met voorkeur voor (visionaire) projectontwikkelaars van stedenbouwkundige (overheids)projecten. “Klimaatvoordeel” was een gunningscriterium in het aanbestedingsproces, teneinde een innovatief en duurzaam project te kunnen selecteren.

Beoordeling: dergelijke initiatieven werken het best in situaties waarin steden grote, goede gelegen gronden kunnen vermarkten en een competitief aanbestedingsproces kunnen doorlopen.

Bron: C40 Cities Climate Leadership Group, Good Practice Guide Climate Change Adaption in Delta Cities.

4.3 Aanbodzijde

4.3.1 Optimaliseren huidig systeem

4.3.1.1 Structureel

4.3.1.1.1 GUELPH – Water Loss Management Program

Initiatiefnemer: City of Guelph, Canada.

Beschrijving: De stad beoogt een minimalisatie van het waterverlies in het distributiesysteem. Dit wordt beheerd met jaarlijkse lekdetectie-activiteiten waaronder detectie van verborgen lekken aan de hand van de geluidskarakteristieken van de (metalen) structuren in het distributiesysteem. In 2015, 22 potentiële lekken werden geïdentificeerd. Bovendien betreft het de uitbreiding en onderhoud van de 'district metered areas'. Het bestaat uit de installatie van permanente debietmeters en kamers worden parallel geïnstalleerd met isolatie van een deel van het waterdistributiesysteem om het watergebruik in dit gebied te monitoren.

Beoordeling: De kostprijs van het programma bedraagt \$1 595 000 voor een periode van 10 jaar. Hierbij zou er in Guelph 3962 m³ water/dag uitgespaard worden. In totaal – gebaseerd op de voorspelde waterbesparing – bespaart het programma water ter waarde van \$18 542 160.

Bron: Water efficiency strategy update (2016) – city of Guelph.

4.3.1.2 Technologie

Pro memorie

4.3.1.3 Stedenbouwkundig

4.3.1.3.1 ROTTERDAM en HO CHI MIN CITY - Geïntegreerde planning van het landgebruik en het watersysteem

Initiatiefnemer: Rotterdam, Nederland en Ho Chi Minh City, Vietnam

Beschrijving: Plan op het niveau van de stad als geheel in relatie tot de topografie en het watersysteem, houdt rekening met toekomstige risico's, kwetsbaarheden, indirecte effecten, behoud consistentie met de noodplannen, met integraal waterbeheer, met financiële plannen en budgetten, met ontwikkelingsscenario's en masterplannen, ...

Initiatieven voor adaptatie en mitigatie t.a.v. droogte (regenwatercaptatie en hergebruik, blauw-groene netwerken (infiltratie- en groene zones), hergebruik van gezuiverd afvalwater, ...) moeten passen en ingebed zitten in een geïntegreerde planning voor landgebruik, waterbeheer, hitte-stress mitigatie, ...

Rotterdam heeft een geïntegreerde klimaatadaptatie strategie met als doelstellingen:

Herinrichting van de openbare ruimte i.f.v. een combinatie van 3 functies: sponswerking (waterpleinen, infiltratiezones en groene ruimten), bescherming-veiligheid, en schadebeheersing.

Verhoog de veerkracht van de stad door een geïntegreerde planning.

Speel in op de opportuniteiten die klimaatverandering met zich meebrengt, door aanzwengelen van de economie, verbetering van leefkwaliteit, verhogen van biodiversiteit

Rotterdam heeft wateropslagruimten gerealiseerd, bvb ondergrondse parking en waterberging Museumpark met capaciteit 10.000 m³ en integratie van blauw-groene netwerken in het stedelijk weefsel. Deze blauw-groene corridors i.e. watergangen en waterpartijen, zijn ontworpen om natuurlijke hydrologische processen zoals grondwateraanrijking met een minimum aan overstromingsrisico, biodiversiteitsverhoging en leefbaarheidsverbetering te faciliteren. Rotterdam heeft meer dan 185.000 m² groene daken gerealiseerd alleen al in 2014.

Ho Chi Minh City heeft een allesomvattende klimaatadaptatie strategie op punt gesteld in 2013, gebaseerd op een triple A strategische planningsmethodiek (beoordelingsatlas – adaptatiestrategie – actieplan). Eén van de 6 strategieën is gericht op het beperken van de hitte-stress door het ontwikkelen van stedelijke blauw-groene netwerken.

Beoordeling:

Bron: C40 Cities Climate Leadership Group, Good Practice Guide Climate Change Adaption in Delta Cities.

A city might adopt this approach when the local administration is fully committed to addressing climate change and prepared to think ‘big picture’ and long-term, and when there is significant political support to see implementation at a larger scale across the city.

4.3.2 Alternatieve watercreatie

4.3.2.1 Structureel

Pro memorie

4.3.2.2 Technologie

4.3.2.2.1 SYDNEY – Sewer mining

Initiatiefnemer: City of Sydney

Beschrijving: Voor enkele stadswijken in Sydney werd in de vorm van conceptuele studies ‘sewer mining’ onderzocht. Dit was het geval voor: Johnstons Creek, City wide, Darling Harbour, Barangaroo en greater green square.

‘Sewer mining’ betreft het winnen van afvalwater rechtstreeks van de riolering of rioleringsnetwerk van gebouwen voor ze aansluiten op het stadsnetwerk. Het afvalwater wordt behandeld dichtbij de plaats van extraheren. Dit betreft geavanceerde filtratie-processen (zoals membraan-biofiltratie) die niet alleen de gesuspendeerde vaste stoffen, maar ook de hoge concentraties organische stoffen en nutriënten kunnen verwijderen.

Beoordeling: Een van de case studies betref de ‘City wide sewer mining’. Volgens de studie zou 8.1 GL water hergebruikt kunnen worden op jaarbasis. Daarvoor zou er een subsidie nodig zijn van 221 miljoen dollar. Voor Barangaroo sewer mining zou er 0.8 GL water bespaard worden per jaar en investering van 39 miljoen dollar is nodig.

Bronnen: Recycled water plan – city of Sydney.

4.3.2.2.2 QUEENSLAND – potable recycled water

Initiatiefnemer: /

Beschrijving: Op het hoogtepunt van de droogte in 2007-2008 werd in Bundamba bij Ipswich een geavanceerde afvalwaterzuiveringsinstallatie gebouwd die drinkbaar gerecycled water produceert. Andere geavanceerde rioolwaterzuiveringsinstallaties, die industrieel water produceren, zijn gebouwd om het industriële gebruik van drinkwater te verminderen.

De PRBW-fabriek in Bundamba was via het nieuwe waternetwerk verbonden met verschillende potentiële industriële gebruikers, bijvoorbeeld elektriciteitscentrales en landbouw, maar het meest opvallend was dat deze was gekoppeld aan de Wivenhoe-dam. Ondanks het bekende gebrek aan publieke steun voor PRW, kondigde de regering in 2007 een voornemen aan om PRW in Wivenhoe in te voeren als een noodmaatregel zodra de nieuwe fabriek en het pijpleidingennet volledig operationeel waren. Het definitieve besluit werd echter uitgesteld vanwege de constante regenval eind 2008 en de maanden voorafgaand aan de verkiezingen in maart 2009. Omdat de reservoirvolumes stegen tot meer dan de helft van hun capaciteit, werd aangekondigd dat PRW alleen zou worden heroverwogen als het reservoir niveaus daalden tot <40%.

Beoordeling: In het geval van Queensland enkel een optie in crisissituaties;

Bronnen:

https://www.jstor.org/stable/26269544?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

4.3.2.2.3 QUEENSLAND – desalination plant

Initiatiefnemer: privésector

Beschrijving: Een ontziltingsfabriek werd in opdracht van de particuliere sector gebouwd en beheerd om drinkwater te produceren in Tugun aan de Gold Coast. Het water van hoge kwaliteit zou in het regionale netwerk worden ingevoerd. Dit veroorzaakte echter ophef omtrent de energiekosten en hoge zoutontladingen die hiermee gepaard gaan. De fabriek trad in werking in 2009 en leverde aanvankelijk koelwater voor centrales (die eerder drinkwater uit reservoirs gebruikten). De fabriek werd na amper twee jaar stil gelegd (door hevige regenval). Het wordt nu beschouwd als een verzekeringsoptie voor toekomstige crises.

Beoordeling: (dure) technologie die enkel in crisissituaties gebruikt zal worden in Queensland

Bronnen:

https://www.jstor.org/stable/26269544?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

4.3.2.2.4 ORANGE COUNTY – wastewater reuse

Initiatiefnemer: Orange County Water District

Beschrijving: Het grootste indirecte drinkbaar-water-hergebruikssysteem (GWRS) in zijn soort is gelokaliseerd in Orange county, California. Het ontvangt secundair behandeld rioolwater voor verdere behandeling. Dit was een alternatief voor het bouwen van een tweede pijplijn richting oceaan.

Beoordeling: Het project kostte 420 miljoen dollar en voorziet 86 miljoen ‘gallon’ per dag.

Bronnen: <https://www.water-technology.net/projects/groundwaterreplenish/>

4.3.2.3 Stedenbouwkundig

4.3.2.3.1 Water sensitive Urban Design – Fukuoka, Japan

Initiatiefnemer: Fukuoka City, Japan

Beschrijving: Uitvaardigen van een Ordonnantie voor promotie van waterbesparing met als doel wijzigingen in de maatschappelijke voorwaarden tot stand te brengen en water-efficiënte ruimtelijke planning te promoten.

3 pijlers: verantwoordelijkheden van burgers en dienstverleners, verantwoordelijkheid van de stedelijke overheid, installatie en gebruik van een grijswater systeem.

3 categorieën van niet-drinkbaar water:

Gezuiverd afvalwater wordt op een ruime schaal verdeeld in de stad als gerecycleerd water voor toiletspoeling, irrigatie, ...

In-house systemen voor afvalwaterinzameling in gebouwen, zuivering en hergebruik. Installatie en exploitatie door eigenaars van gebouwen;

Regenwater of bronwater voor huishoudelijk gebruik zonder voorafgaandelijke behandeling.

Beoordeling: door de waterbesparingen kon op investeringskosten voor het ontwikkelen van infrastructuur voor watervoorziening (dammen) worden bespaard.

Er werd aangetoond dat lokale regenwaterinzameling in dicht bebouwde stedelijke milieus met centrale rioleringsnetwerken mogelijk is. Het totale regenwaterhergebruik wordt geschat op 10.000 m³

Bron: OECD Studies on Water, Water and Cities ensuring sustainable futures, 2015.

4.3.2.3.2 MELBOURNE

Initiatiefnemer: City west water

Beschrijving: In en rond Melbourne werden verschillende grote regenwater (of stormwater) opvangingsprogramma's geïntroduceerd. Op die manier moet de stad minder gebruik maken van leidingwater voor bijvoorbeeld irrigatie van parken, etc. In Melbourne is namelijk een verminderd verbruik vastgesteld van ongeveer 363 miljoen liter leidingwater door deze programma's. 'The stormwater harvesting systems' verzamelt water van afvoerkanalen en wegen. Het water wordt daarna gezuiverd door middel van bio-filtratie en ondergronds opgeslagen. Later kan dit water gebruikt worden om parken, straten, etc. te irrigeren. Regenwater kan ook rechtstreeks opgevangen worden op daken van gebouwen.

Beoordeling: Een van de projecten had betrekking tot de 'Fitzroy Gardens', een park van ongeveer 26 hectares. Het stormwater opvangsysteem is het grootste in Melbourne. Dit systeem bespaarde circa 30 miljoen liter drinkwater per jaar. Het systeem werd gefinancierd als onderdeel van de Eastern Melbourne Parks en Gardens Stormwater Harvesting Scheme, die in totaal \$ 4,8 miljoen ontving van de Australische overheid in 2011.

Bronnen:

- Integrated water cycle management strategy – City west water

- urban water 2017 – City west water

- <http://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/projects/water-capture-and-reuse/fitzroy-gardens-stormwater-harvesting-project/>

<http://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/industry/treatment-types/stormwater-and-rainwater-harvesting/>

4.3.2.3.3 SYDNEY – roof water harvesting

Initiatiefnemer: city of Sydney

Beschrijving: wanneer regenwater van daken gewonnen wordt draagt de eerste lading vaak vervuiling van de daken met zich mee. Die eerste lading wordt niet opgeslagen voor hergebruik in tegenstelling tot de rest van het water afkomstig van daken. Er is dan ook geen behandeling nodig als het gebruikt wordt voor niet drinkbare doeleinden.

In de conceptstudie van 'Moore Park Roof Water Harvesting' zou het dakwater van de Sydney Cricket ground, Fox studios, the entertainment quarter en omliggende gebouwen worden hergebruikt. Het regenwater zou worden afgeleverd aan een lange ondergrondse opslagloods van 8,5 ML over de hele lengte van de faciliteit, die ook de voorbehandeling en distributie van het gewonnen water levert. Het gerecycleerde dakwater wordt uit de opslag gehaald, gedesinfecteerd en gebruikt om te voldoen aan interne en externe niet-drinkbare eisen.

Beoordeling: Het winnen van regenwater van daken voor de conceptstudie van het Moore park in sydney zou 0,1 GL water per jaar hergebruiken. Een subsidie van 20 miljoen euro zou hiervoor nodig zijn.

Bronnen: Recycled water plan – city of Sydney.

4.3.2.3.4 MARRAKECH

Initiatiefnemer: World Bank's Water Scarce Cities (WSC)

Beschrijving: case study in Marrakech. Voor de watervoorziening van golf resorts heeft de stad Marrakech een akkoord bereikt met golf resorts ontwikkelaars en de toerisme industrie. Er zou gebruik gemaakt worden van afvalwater behandeling en hergebruik. De afvalwaterzuiveringsinstallatie (inclusief tertiaire behandeling) en transmissiesystemen naar de resorts werden operationeel in 2012.

Beoordeling: /

Bronnen: www.worldbank.com

4.3.2.3.5 ROTTERDAM – Groene Daken

Initiatiefnemer: De stad Rotterdam – Waterplan 2

Beschrijving: In het teken van de Rotterdamse strategie tegen klimaatverandering werden een reeks adaptieve maatregelen voorgesteld in het Waterplan van de stad. Men tracht op die manier o.a. 'de sponsfunctie' van de stad te herstellen met maatregelen die het water vasthouden waar het valt, bergen en vertraagd afvoeren. Een van deze maatregelen is het stimuleren van de aanleg van groene daken. Er is een aantrekkelijk subsidie voor dak eigenaren. De gemeente Rotterdam voorziet 20 euro subsidie per m² gerealiseerd groen dak (2018). In 2019 en 2020 is de subsidie 15 euro. Groene daken geven Rotterdam een groener aanzien, vormen een buffer bij regenafvoer en zorgen voor een langere levensduur van een dak. Bovendien kan een groen dak gecombineerd worden met zonnepanelen. Intussen ligt er al 235 000 m² groen dak in Rotterdam.

Beoordeling: De stad Rotterdam heeft een uitgebreid waterplan opgemaakt. Mogelijk interessant voor de stad Antwerpen omdat de lokale context/omstandigheden

grotendeels gelijk zijn. Het Rotterdamse waterplan gaat echter vooral uit van wateroverlast i.p.v. waterschaarste. In dit onderzoek wordt er op zoek gegaan naar maatregelen bij het bestrijden van droogte, wat Rotterdam een minder geschikt voorbeeld maakt.

Bronnen:

- waterplan 2 gemeente Rotterdam
- Herijking waterplan 2 Rotterdam (2013)
- <https://www.rotterdam.nl/wonen-leven/groene-daken/>

4.4 Geïntegreerd Water Beheer

4.4.1 PERTH

Initiatiefnemer: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities (CRCWSC)

Beschrijving: Het project bestond uit het organiseren van workshops in 'greater Perth'. Vijf workshops van een halve dag vonden plaats. Deelnemers kwamen van verschillende organisaties en hadden een andere disciplinaire achtergrond. Op basis van deze workshops werd een visie opgesteld voor de stad Perth als een 'water sensitive city'.

Beoordeling: Dit kan zeker interessant (en noodzakelijk) zijn om ook in Antwerpen te organiseren. Echter weinig concrete oplossingen voortgevloeid uit het project in Perth die getransfereerd kunnen worden naar Antwerpen.

Bron: Shaping Perth as a Water Sensitive City: Outcomes and perspectives from a participatory process to develop a vision and strategic transition framework.

4.4.2 Rain City Project – Suwon Korea

Initiatiefnemer: Suwon City Korea

Beschrijving: Aangezien de stad slechts voor 11% zelfvoorzienend is (het water wordt via een multi-regionaal watervoorzieningssysteem aangevoerd) werd in 2009 een eerste actieplan 'Rain City Project' opgezet. Verder bouwend op het succes ervan werd een tweede plan uitgewerkt voor de periode 2015-2018.

Verskillende acties:

Uitvaardiging van een ordonnantie die een wettelijke basis legt om opslag van regenwater te promoten.

Masterplan Waterbeheer 2009-2011, o.a. omvattende een analyse van de status van waterbevoorradingsbronnen, een plan om regenwaterinzameling en gebruik te verbeteren en richtlijnen om regenwater inzamelingssystemen te installeren en te exploiteren.

Installatie van verschillende installaties voor het inzamelen en het hergebruik van regenwater, bvb. multifunctionele waterreservoirs in het Suwon sportcomplex, regenwaterreservoirs in private woningen, ...

Aanbod om 90% van de totale installatiekosten van regenwaterreservoirs te subsidiëren om bewonersparticipatie aan te moedigen, .

Openbaar opleidingsprogramma teneinde de perceptie over regenwaterinzameling en gebruik te wijzigen en inzichten in de stedelijke cyclus van natuurlijke grondstoffen te promoten.

Beoordeling: er werd aangetoond dat lokale regenwaterinzameling in dicht bebouwde stedelijke milieus met centrale rioleringsnetwerken mogelijk is. Regenwaterhergebruik : capaciteit 10.000 m³

Bron: OECD Studies on Water, Water and Cities ensuring sustainable futures, 2015.

4.4.3 LONDEN - Tweesporenprogramma om watervraag en aanbod in balans te houden (Londen City, UK).

Initiatiefnemer: Londen

Beschrijving: De stedelijke overheid werkt nauw samen met de watermaatschappij Thames Water, in een tweesporenprogramma om de totale waterbalans voor gebouwen beter in evenwicht te brengen: drinkwatervoorziening en efficiëntie van watergebruik, door te streven naar klimaatrobuste waterreserves . Combinatie van acties:

Analyseer de totale waterbalans: drinkwatervoorziening en efficiëntie van watergebruik. Combinatie van acties:

Aanpak lekverliezen in het drinkwaternetwerk;

Water-efficiënte nieuwe ontwikkelingen;

Geïntegreerd programma voor retrofit van water-efficiëntie-voorzieningen;

Installatie van slimme watermeters;

Sensibilisatie van financiële en milieukundige voordelen van waterefficiëntie bij gebruikers;

Ontwikkelen van een portfolio van watervoorzieningsalternatieven;

Bron: C40 Cities Climate Leadership Group, Good Practice Guide Climate Change Adaption in Delta Cities

4.5 Synthese

De gevalstudies en goede-praktijk-voorbeelden die in de bovenstaande hoofdstukken gerapporteerd werden, worden conform de voorgestelde indelingslijst gerangschikt en beoordeeld naar kostprijs en effectiviteit van de maatregel.

We merken op dat door de sterk uiteenlopende vormen van methodiek (bvb. investeringen versus sensibilisatie) en rapportering (bvb. wetenschappelijke artikels versus promotie/rapportering van projectresultaten i.h.k.v. subsidieprogramma's), een objectieve vergelijking van de maatregelen volgens de gekozen criteria niet altijd eenvoudig is.

			Gevalstudies en demonstratieprojecten	Beoordeling kostprijs	Beoordeling effectiviteit van de maatregel (niveau stad)
1. Vraagzijde	1.1. Structureel	1.1.1. Management	Verdringingsreeks bij watertekort (Nederland): wettelijk vastgelegde en afdwingbare rangorde van maatschappelijke behoeften, die bij verdeling van beschikbare water in acht genomen wordt. In Nederland werd (op nationaal niveau) een rangorde bepaald: 1/ veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade – 2/ Nutsvoorzieningen (drinkwater, energie) – 3/ Kleinschalig hoogwaardig gebruik (kapitaalintensieve gewassen, proceswater) – 4/ Overige belangen (scheepvaart, landbouw, natuur, industrie, waterrecreatie, binnenvisserij). Binnen categorie 3/ en 4/ kan op niveau van de provincie een verdere prioritering gebeuren.	Goede Praktijk	++
		1.1.2. Samenwerkingsverbanden	Samenwerking en dialoog met projectontwikkelaars in combinatie met overheidscontrole op vergunningen en aansturing op duurzaamheidsagenda voorbeeldproject oude haven (Stockholm, Zweden): afspraken over duurzaamheidsstrategie met ontwikkelaars, stringente eisen, controle over vergunningen, uitgebreide opvolging van planning tot ingebruikname, ...	Goede Praktijk	+
			Maximaliseren van het potentieel van klimaatpositieve publiek-private partnerships: duurzame projecten zijn opportuniteiten om de gemeenschap en stad rondom de site, te stimuleren tot duurzame initiatieven. Publiek-private samenwerkingen waarin de overheid strategisch duurzaamheidsaspecten via de infrastructurele ontwikkeling inbrengt, werken best in "greenfield" projecten waarin een duurzaamheidsvisie op holistische wijze in het masterplan geïntegreerd wordt, in gebieden die snel ontwikkelen en met infrastructuurontwikkeling op voldoende grote schaal.	Goede Praktijk	++
	1.2. Attitude	1.2.1. Sensibilisering	Mobiele applicatie voor opvolging waterverbruik (Guelph, Canada): gebruikers kunnen hun individueel waterverbruik opvolgen en vergelijken.	140.000 \$ (middelgrote stad)	++
			Publieke onderwijsprogramma (Guelph, Canada): sensibilisering van alle strategische waterbesparingsmaatregelen		+

			Gevalstudies en demonstratieprojecten	Beoordeling kostprijs	Beoordeling effectiviteit van de maatregel (niveau stad)
			Bewustwordingscampagnes voor gedragsverandering (Zaragoza, Spanje): 50 demonstratieprojecten, 100.000 online toezeggingen van burgers en bedrijven	2.5 Mio € (2002-2010)	++ (45% waterbesparing 1980-2010, resultaat van meerdere maatregelen)
		1.2.2. Financieel	Gratis wateraudit voor residenten (Guelph, Canada)	122.500 \$ (periode 10 jaar)	+ (waterbesparing 65 m³/dag, waarde 301.860 \$)
			Gratis wateraudit voor industriële, commerciële en institutionele klanten (Guelph, Canada): éénmalige korting 0.75\$/liter/dag	2.23 Mio \$ (periode 10 jaar)	++ (waterbesparing 1500 m³/dag, waarde totaal 7 Mio \$)
			Herziening van watertarieven (Zaragoza, Spanje): meer rechtvaardig en vraaggericht, buitensporige consumptie wordt financieel bestraft		++ (45% waterbesparing 1980-2010, resultaat van meerdere maatregelen)
			Toepassing van creatieve financieringsmethoden i.f.v. het garanderen van lange termijn zekerheid overstromingsbeheer (Kopenhagen City, Denemarken). Innovatief publiek-privaat financieringsschema (voor financiering van het "Cloudburst Management plan") d.w.z. inzameling waterbelastingen via de publiek beheerde waterdistributiemaatschappij. De wetgeving om dit te implementeren werd in samenwerking met de nationale overheid aangepast.	Goede Praktijk (hier concreet i.f.v. overstromingsbeheer maar ook toepasbaar in andere domeinen)	++
		1.2.3. Regelgeving	Verplichte monitoring individueel waterverbruik in appartementsgebouwen, commerciële gebouwen, ... (Sydney, Australië)		?
			Beperking waterverbruik bij droogte (hoeveelheid, tijdstippen) (Queensland, Australië).		?
	1.3. Technologie	1.3.1. Sensibilisering	Bewustwordingscampagnes voor gedragsverandering (Zaragoza, Spanje): 50 demonstratievoorbeelden, 100.000 online toezeggingen van burgers en bedrijven. Inwoners van de stad worden via bewustwordingscampagnes aangemoedigd om water efficiënte technologieën te gebruiken	2.5 Mio € (2002-2010)	++ (45% waterbesparing 1980-2010, resultaat van meerdere maatregelen)
		1.3.2. Financieel	Korting 50 \$ bij vervanging door waterbesparend toilet	605.000 \$ (periode	+



			Gevalstudies en demonstratieprojecten	Beoordeling kostprijs	Beoordeling effectiviteit van de maatregel (niveau stad)
			(gecertificeerd) (Guelph, Canada)	10 jaar)	(waterbesparing 210 m ³ /dag of totaal 982.800 \$)
			Korting op waterbesparende apparaten in bestaande en nieuwe woningen (Guelph, Canada): voorwaarde : verbruik <150 l/persoon/dag	109.500 \$ (periode 10 jaar)	0 (waterbesparing 14 m ³ /dag of totaal 64.350 \$)
		1.3.3. Regelgeving	Stringent beleids- en regelgevende kaders voor stimuleren van klimaatpositieve ontwikkelingen (Stockholm, Zweden): Opleggen van stringent planningskader en selectieproces met voorkeur voor (visionaire) projectontwikkelaars van stedenbouwkundige (overheids)projecten.	Goede Praktijk	++ (in situaties waarin steden grote, goede gelegen gronden kunnen vermarkten en een competitief aanbestedingsproces kunnen doorlopen)
		1.4. Landgebruik			
2. Aanbodzijde	2.1. Optimaliseren huidig systeem	2.1.1. Structureel	Minimalisatie van waterverlies in het waterdistributie-netwerk (Guelph, Canada): jaarlijkse lekdetectie, monitoring met debietmeters	1.6 Mio \$ (periode van 10 jaar)	+++ (waterbesparing 3962 m ³ /dag, totaal 18.542.160 \$)
		2.1.2. Technologie			
		2.1.3. Stedenbouw-kundig	Geïntegreerde planning van het landgebruik en het watersysteem (Rotterdam, NL en Ho Chi Minh City, Vietnam). Plan op het niveau van de stad als geheel in relatie tot de topografie en het watersysteem, houdt rekening met toekomstige risico's, kwetsbaarheden, indirecte effecten, behoud consistentie met de noodplannen, met integraal waterbeheer, met financiële plannen en budgetten, met ontwikkelingsscenario's en masterplannen, ... Initiatieven voor adaptatie en mitigatie t.a.v. droogte (regenwatercaptatie en hergebruik, blauw-groene netwerken (infiltratie- en groene zones), hergebruik van gezuiverd afvalwater, ...) moeten passen en ingebed zitten in een geïntegreerde planning voor landgebruik, waterbeheer, hitte-stress mitigatie, ...	Goede Praktijk	++
	2.2. Alternatieve watercreatie	2.2.1. Structureel			
		2.2.2. Technologie	Sewer mining (Sydney, Australië): (potentiële) winning, zuivering en hergebruik van afvalwaters vanuit rioleringsnetwerk van gebouwen. Toepassing van geavanceerde zuiveringstechnieken.	City wide: Raming 221 Mio \$ voor hergebruik van 8.1 mio m ³ water	+

			Gevalstudies en demonstratieprojecten	Beoordeling kostprijs	Beoordeling effectiviteit van de maatregel (niveau stad)
				Barrangaroo: 39 Mio \$ voor hergebruik 0.8 mio m ³ water	
			Productie van drinkbaar of grijs gerecycled water uit afvalwater (Queensland, Australië): geavanceerde afvalwaterzuiveringsinstallatie in Bumdamba (hergebruik door energiecentrales en landbouw)		++
			Ontziltingsinstallatie voor productie van drinkwater (Queensland, Australië): in Tugun aan Gold Coast	Dure technologie, hoge energiekosten en zoutlozingen, voorbehouden voor crisissituaties	
			Productie van drinkbaar water uit secundair gezuiverd afvalwater (Orange County, Californië):	420 Mio \$ voor 325.000 m ³ /dag	+
			Water-vasthoudende verhardingen i.f.v. het mitigeren van hitte-eiland effecten (Tokyo, Japan). Innovatieve verhardingstechnologie (watervasthoudende cementmelk, thermische scherm coating, ...) en vernevelen van hergebruik-afvalwater.	Goede Praktijk	0/+ Resultaten zijn beperkt tot het milderen van hitte-eiland-effecten
		2.2.3. Stedenbouwkundig	Water sensitive urban design (Fukuoka, Japan): Ordonnantie voor promotie van waterbesparing en water-efficiënte ruimtelijke planning promoten. 3 pijlers: burgers en dienstverleners, stedelijke overheid, grijswater systeem. 3 categorieën niet-drinkbaar water: gezuiverd afvalwater, in-house zuivering en hergebruik afvalwater in gebouwen, regenwater of bronwater. Lokale regenwaterinzameling (bvb 10.000 m ³) in dicht bebouwde stedelijke milieus is haalbaar.		++
			City west water – Stormwater harvesting systems i.e. grootschalige regenwateropvang-programma's (Melbourne, Australië): zuivering via bio-filtratie en ondergrondse opslag als grijs water.	Reductie drinkwaterverbruik 363.000 m ³ /j Fitzroy gardens: subsidie 4.8 Mio \$ en besparing van 30.000 m ³ /jaar	++
			Roof water harvesting in stadskwartier (Sydney, Australië): zuivering en desinfectie, hergebruik voor niet-drinkbare eisen.	Berekende subsidie 20 mio €, ondergrondse opslag regenwater 8.500 m ³ , besparing	++



			Gevalstudies en demonstratieprojecten	Beoordeling kostprijs	Beoordeling effectiviteit van de maatregel (niveau stad)
				100.000 m ³ /jaar	
			Afvalwaterzuivering en hergebruik/verdeling (Marrakech, Marokko): overeenkomst met golf resorts ontwikkelaars en toeristische industrie. Hergebruik voor irrigatie.	?	
			Stimuleren van aanleg groene daken (Rotterdam, NL): subsidieregeling 20€/m ² gerealiseerd groendak.	235.000 m ² groen dag in stad Rotterdam.	+ Veeleer efficiënt i.f.v. waterretentie
3. Geïntegreerd waterbeheer			Participatief proces voor visieontwikkeling en strategisch transitiekader (Perth, Schotland): participatieve workshops, deelnemers uit verschillende organisaties, visieontwikkeling voor "Water Sensitive City Perth".		+
			Rain City Project - Multi-regionaal watervoorzieningssysteem met omslag naar regenwaterinzameling en hergebruik (Suwon Korea): Ordonnatie met wettelijke basis voor promotie van opslag regenwater, analyse van waterbevoorradingsbronnen, plan voor regenwaterinzameling, opleiding, subsidie regenwaterreservoirs.		+ Visie, plan, haalbaarheid lokale regenwaterinzameling (bvb. 10.000 m ³).
			Tweesporenprogramma om watervraag en aanbod in balans te houden (Londen City, UK). - Aanpak lekverliezen in het drinkwaternetwerk; - Water-efficiënte nieuwe ontwikkelingen - Geïntegreerd programma voor retrofit van water-efficiëntie- voorzieningen - Installatie van slimme watermeters - Sensibilisatie van financiële en milieukundige voordelen van waterefficiëntie bij gebruikers - Ontwikkelen van een portfolio van watervoorzieningsalternatieven	Goede Praktijk	+++

5 Referenties

ABO (2015). Geohydrologische nota: opmaak geohydrologische kaarten Stad Antwerpen. 16981 R.01.

AGIV & VMM (2014). Rioleringsdatabank Vlaanderen (update januari 2018).

Allen R.G. & Food and Agriculture Organization of the United Nations (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Baetens J., Van Eerdenbrugh K. & Mostaert F. (2005). WATERSYSTEEM VAN HET ALBERTKANAAL EN DE KEMPENSE KANALEN. WATERSYSTEEM VAN HET ALBERTKANAAL EN DE KEMPENSE KANALEN - INVENTARISATIE VOOR DE OPMAAK VAN ZOETWATERSTRATEGIEËN. Waterbouwkundig Laboratorium, WL Rapporten, 720_4. Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek: Antwerpen.vi, 64 + kaarten, bijlagen pp.

Batelaan O. & De Smedt F. (2001). "WetSpass: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modelling" Gehrels, H., Peters, J., Hoehn, E., Jensen, K., Leibundgut, C., Griffioen, J., Webb, B. and Zaadnoordijk, W-J. (Eds.). *Impact Hum. Act. Groundw. Dyn. IAHS Publ*IAHS Publ, (269), 11–17.

Bultot, F., Coppens A. & Dupriez G.L. (1983). Estimation de l'évapotranspiration potentielle en Belgique. Publications d'IRM (Institut Royal Météorologique de Belgique), Série À No 112.

Cabus P., De Jongh I. & Cauwenberghs K. (2007). Hydrologisch modelleren op onbemeten stroomgebieden: Een eenvoudig modelconcept op basis van PDM en waargenomen maximale afvoercoëfficiënten. Congr. Watersysteemkennis 2006-2007 Model. Voor Integraal Waterbeheer Vlaan. Water Tijdschr. Integraal Waterbeleid.

CIW (2016). Stroomgebiedbeheerplan voor de Schelde 2016-2021, Grondwatersysteemspecifiek deel Sokkelsysteem. VMM.

Copernicus (2018). Corine Land Cover (CLC) , Copernicus land monitoring Services.

IMDC (2010a). Onderzoek over de toepassing van het hemelwaterbesluit in het Antwerps havengebied op de rechteroever, in het bijzonder de mogelijke rol van infiltratie in het tegengaan van de verzilting van het grondwater (K 2205). Deelrapport Post 3 - Meerwaarde van buffering. I/RA/11358/10.050/JVB.

IMDC (2010b). Onderzoek naar de noodzaak tot capaciteitsuitbreiding van de sluizencomplexen op het Albertkanaal - Finaal Rapport. I/RA/11359/10.044/BOB.

IMDC (2015). Uitbreiding iFramework. Next-Generation Tools m.b.t. hydrometrie, hydrologie en hydraulica in het operationele waterbeheer - uitbreiding iFramework - Eindrapport. I/RA/11471/15.110/BPA.

Lebbe L. & Vandenbohede A. (2004). Ontwikkeling van een lokaal axi-symmetrisch model op basis van de HCOV kartering ter ondersteuning van de adviesverlening voor grondwaterwinningen; Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Operationeel Waterbeheer.

Meyus Y., Adyns D., Woldeamlak S.T., Batelaan O. & De Smedt F. (2004). Opbouw van een Vlaams Grondwatermodel. Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde, VUB, Brussel.

Monteith J.L. (1965). "Evaporation and environment". Symposia of the Society for Experimental Biology. 205–224.

Niinemets Ü. & Valladares F. (2006). Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547.

Stad Antwerpen (2013). Groenplan Antwerpen: Groenplan Analyse deel 1: methodiek, basisstructuur en context.

Uitdewilligen D., Van Eylen I. & Lermytte J. (2005). Ontwikkelen van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwater Model (VGM) in GIS/MODFLOW – Centraal Vlaams Model Noord, deelrapport 1: Basisgegevens en conceptueel model, studie in het kader van de opdracht: Opbouw van het Vlaams Grondwater Model (VGM) en de gegevensinvoer in Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV). Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Water.

Van der Linden S., Van Valckenborgh J. & Van Camp N. (2016). Operationele aanmaak Bodembedekkingsbestanden Vlaanderen 2012; Bodembedekkingskaart (BBK), 1m resolutie, opname 2012; Bodembedekkingskaart (BBK), 5m resolutie, opname 2012; Bodemafdekkingkaart (BAK), 5m resolutie, opname 2012; Waterondoorlaatbaarheidkaart (WOK), 5m resolutie, opname 2012. AGIV.

van Genuchten M.Th. (1980). A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44(5), 892, doi: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x.

Van Orshoven, Jos, Deckers, Jozef A, Vandenbroucke, Danny & Feyen, Jan (1993). The completed database of Belgian soil profile data and its applicability in the planning and management of rural land. The completed . Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 1993, 28(2), 197–222.

Van Ranst E. & Sys C. (2000). Eenduidige legende voor de digitale Bodemkaart van Vlaanderen (Schaal 1:20 000). Universiteit Gent, Laboratorium Bodemkunde.

Van Wingham A. & De Vocht P. (1968). Afwatering en Drainering van de Kleine Ring rond Antwerpen. *Het Ingenieursblad*, 37(24), 849–858.

VMM (2008a). Grondwater in Vlaanderen: het Centraal Vlaams Systeem. Vlaamse Milieumaatschappij.

VMM (2008b). Grondwater in Vlaanderen: Het Centraal Kempisch Systeem. Vlaamse Milieumaatschappij.

VMM (2008c). Grondwater in Vlaanderen: het Kust- en Poldersysteem. Vlaamse Milieumaatschappij.

Vriens L. & Peymen J. (2016). Ecotoopkwetsbaarheidskarten voor Vlaanderen 2016 - versie 2. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

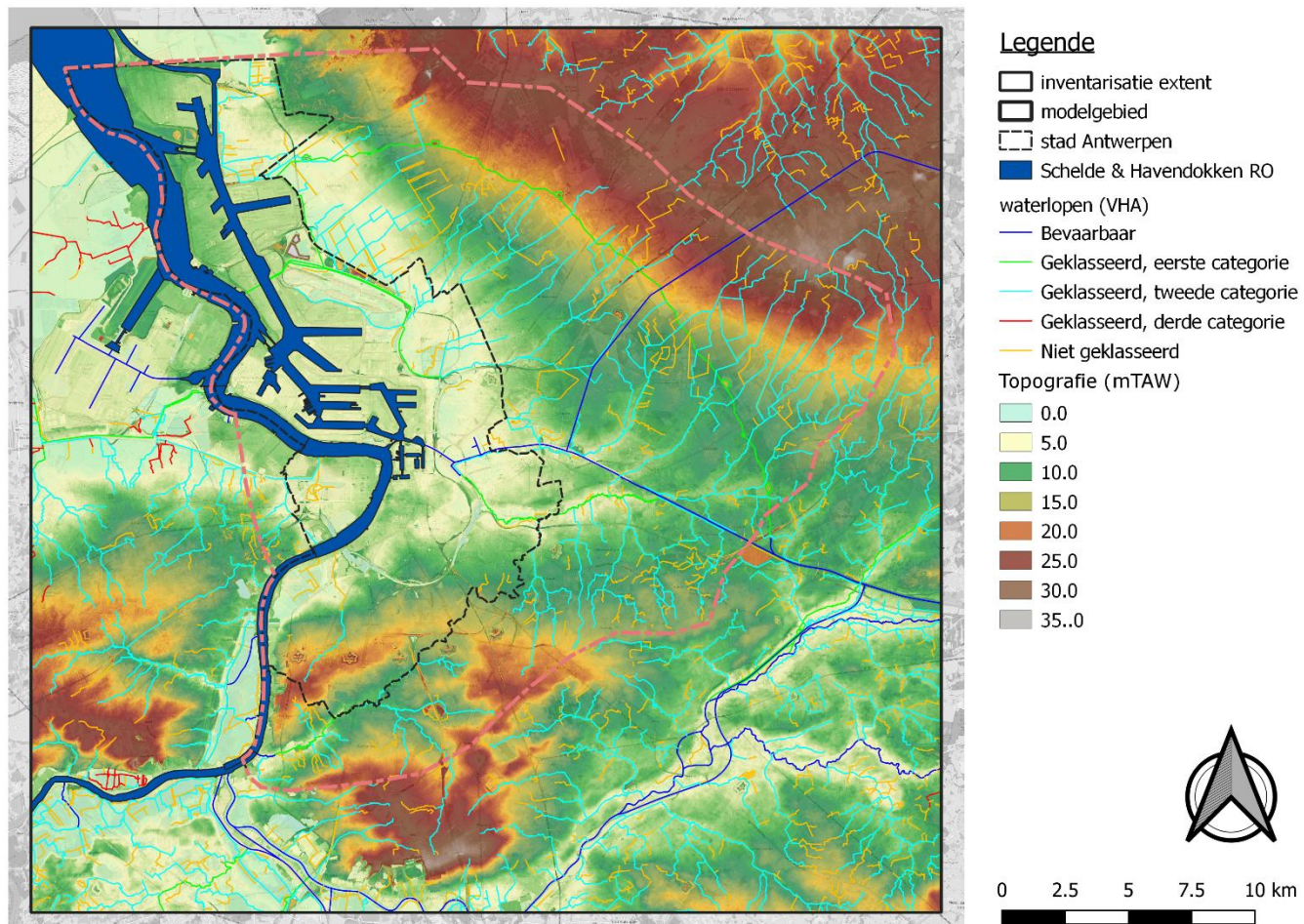
Weynants M., Vereecken H. & Javaux M. (2009). Revisiting Vereecken Pedotransfer Functions: Introducing a Closed-Form Hydraulic Model. *Vadose Zone J.*, 8(1), 86, doi: 10.2136/vzj2008.0062.

Willems P., De Niel, J & Tabari H. (2015). ‘Modellering en beleidsaanbevelingen ten aanzien van neerslag in Antwerpen – Validatie aan overstromingsgegevens’, aanvullende studie KU Leuven voor Stad Antwerpen.

Bijlage A Hydrogeologie

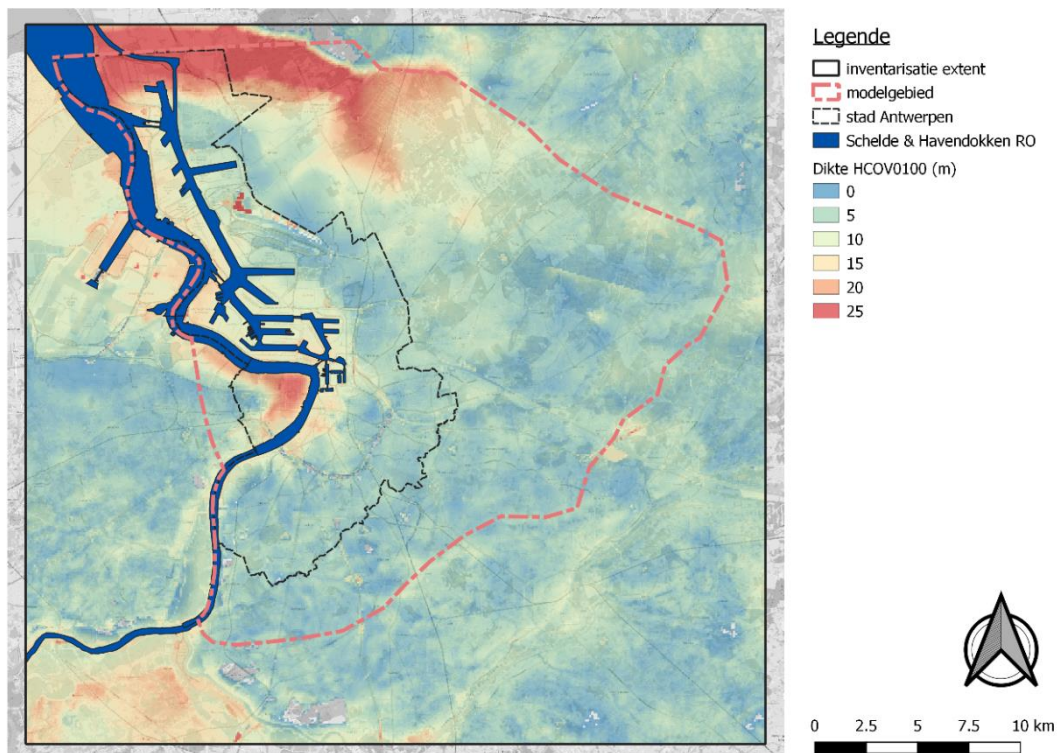


A.1 Topografie

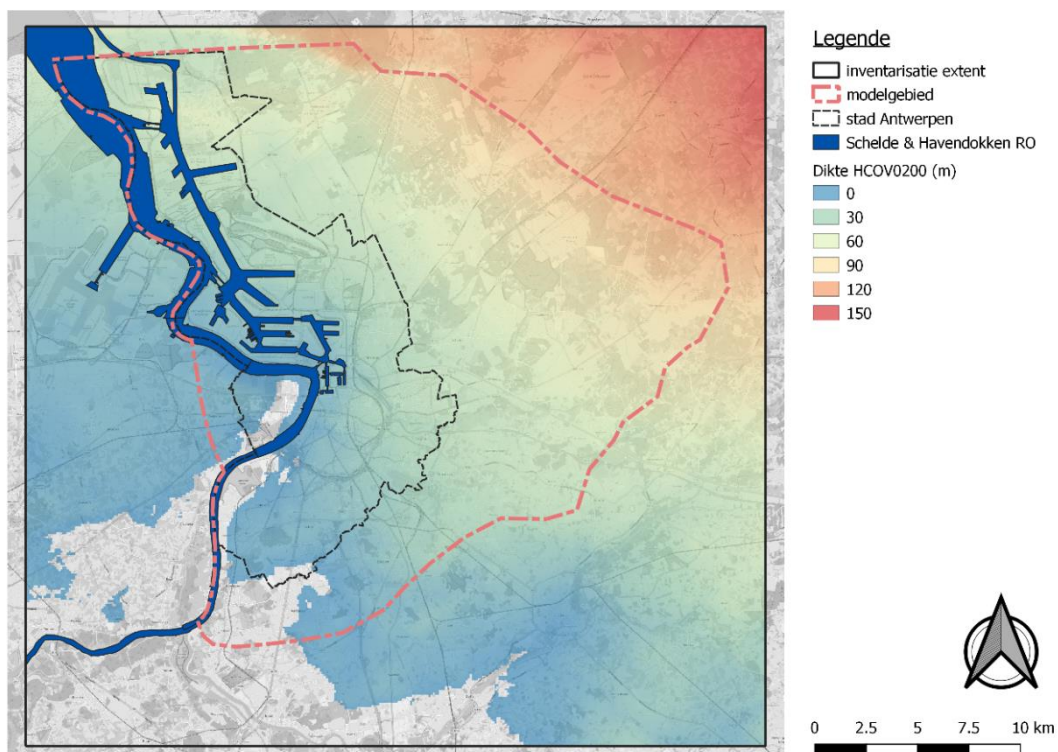


Figuur Bijlage A-1: DHMVII

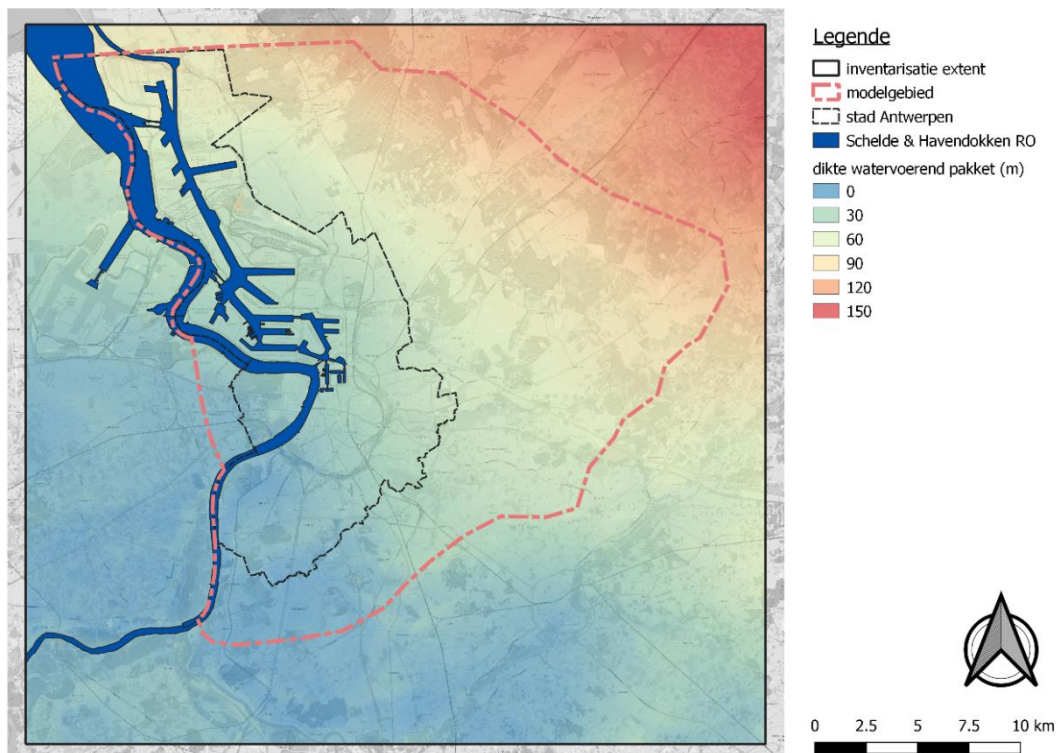
A.2 HCOV HOOFDEENHEDEN



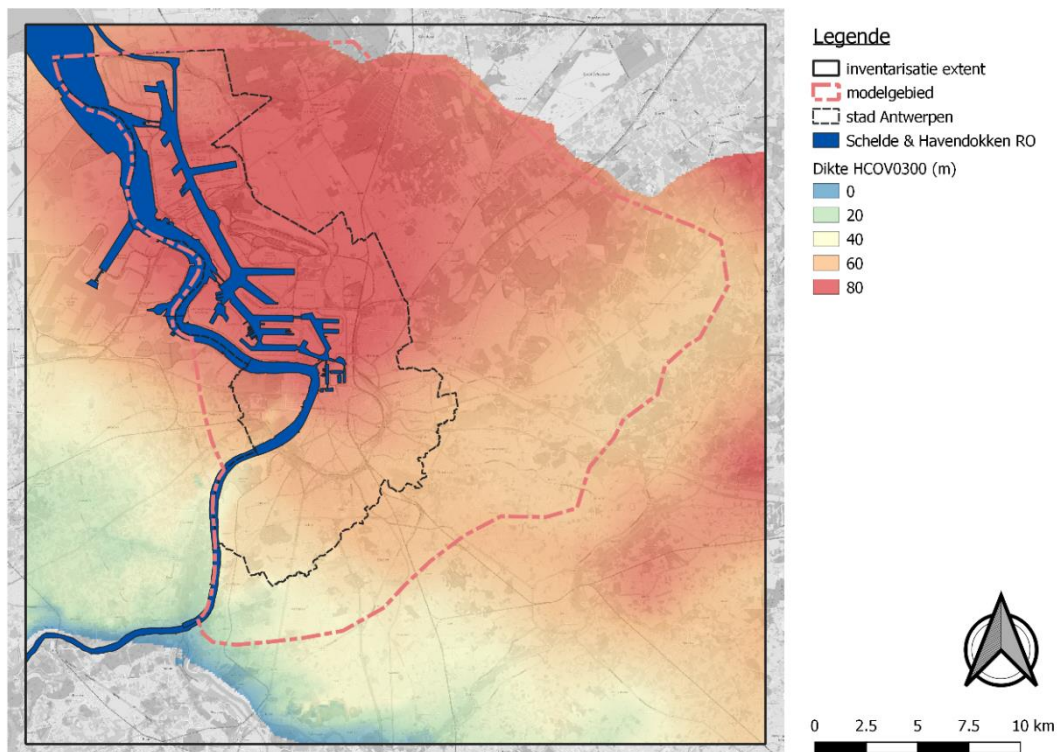
Figuur Bijlage A-2: Dikte en voorkomen Quartaire Aquifersystemen (HCOV0100)



Figuur Bijlage A-3: Dikte en voorkomen Kempens Aquifersysteem (HCOV0200)



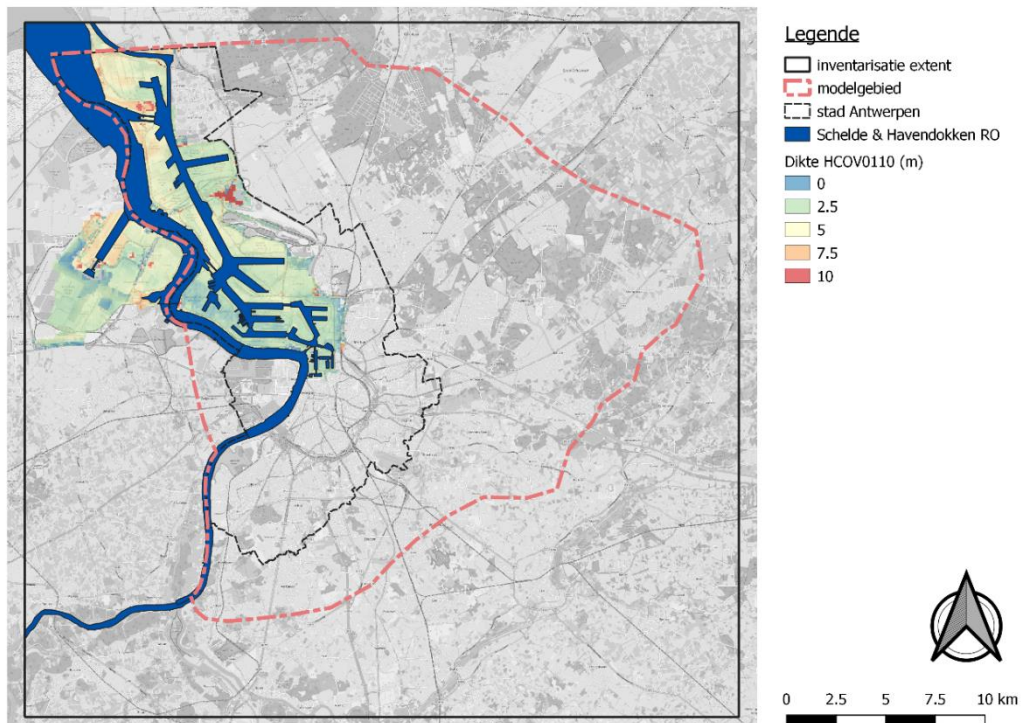
Figuur Bijlage A-4: Dikte watervoerend pakket
(Quartaire Aquifersystemen HCOV0100 + Kempens Aquifersysteem HCOV0200)



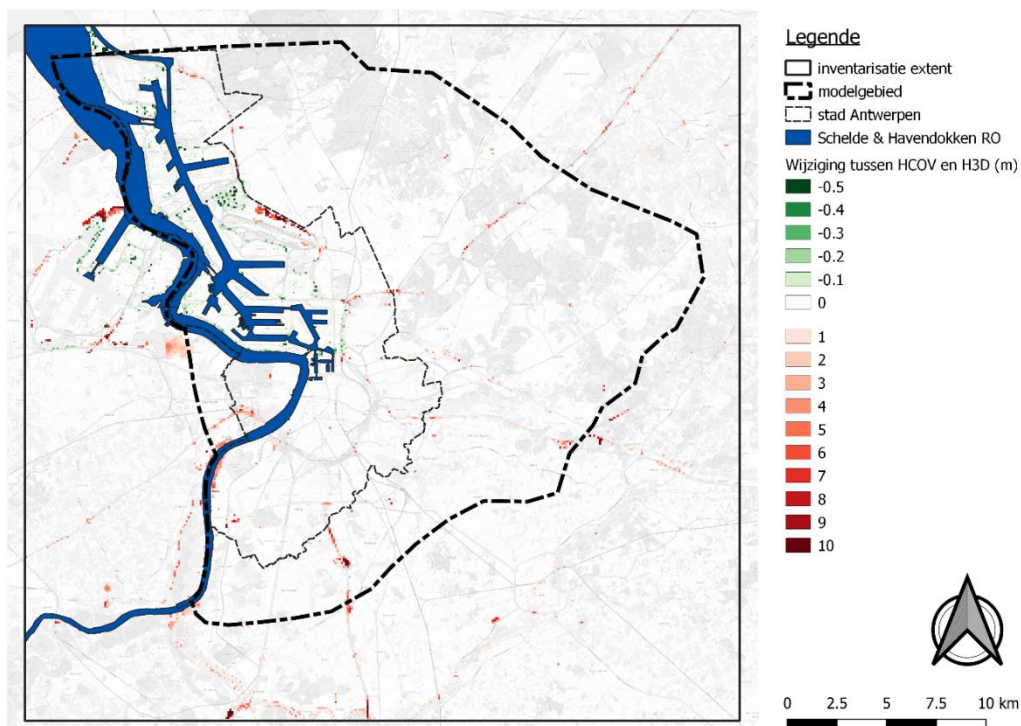
Figuur Bijlage A-5: Dikte en voorkomen Boom Aquitard (HCOV0300)

A.3 HCOV SUBEENHEDEN

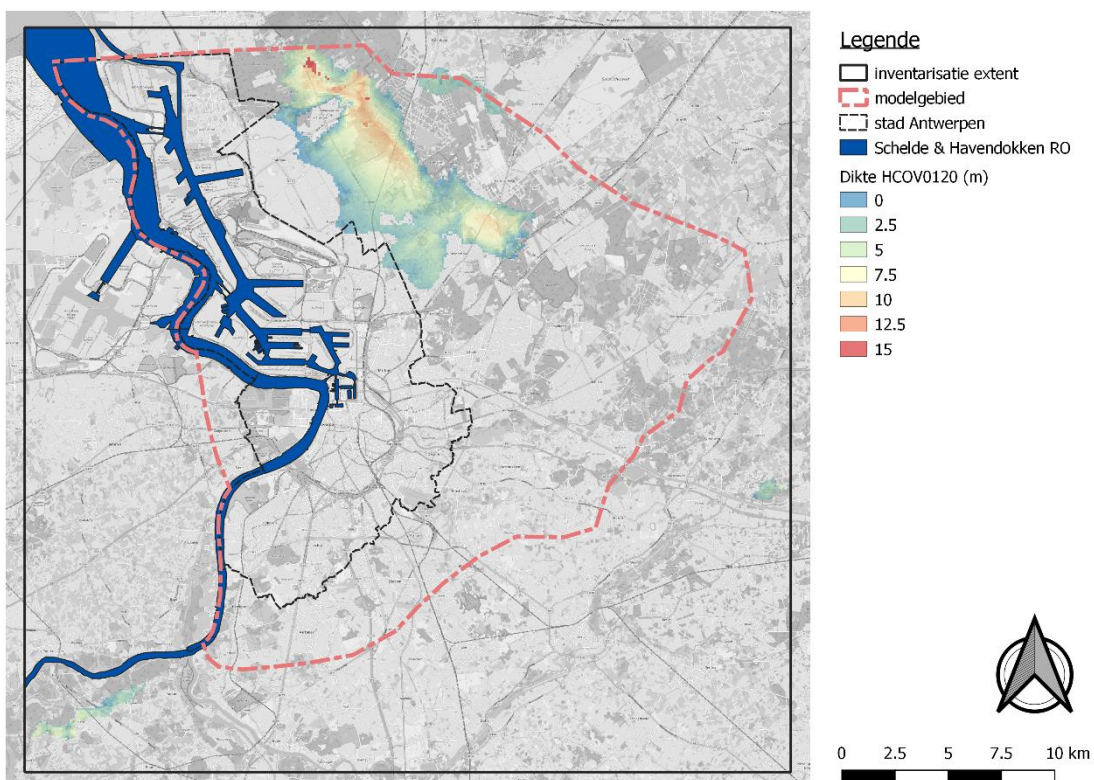
A.3.1 Quartaire Aquifersystemen (HCOV0100)



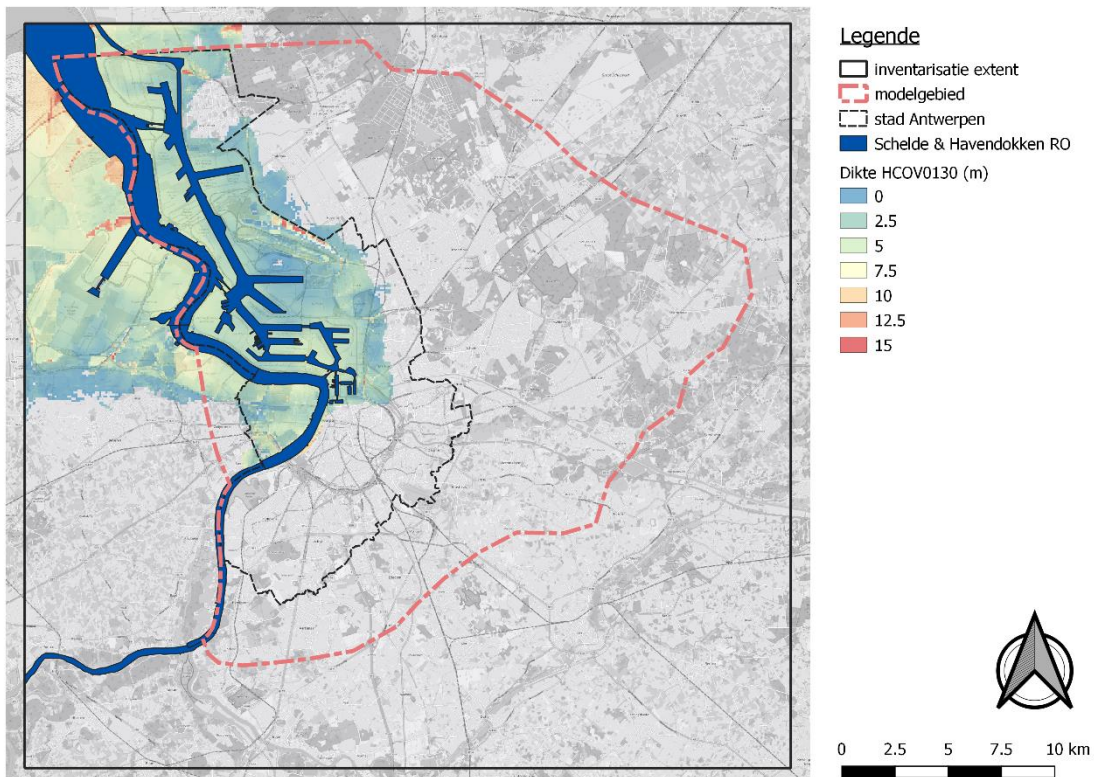
Figuur Bijlage A-6: Dikte en voorkomen Ophogingen (HCOV0110)



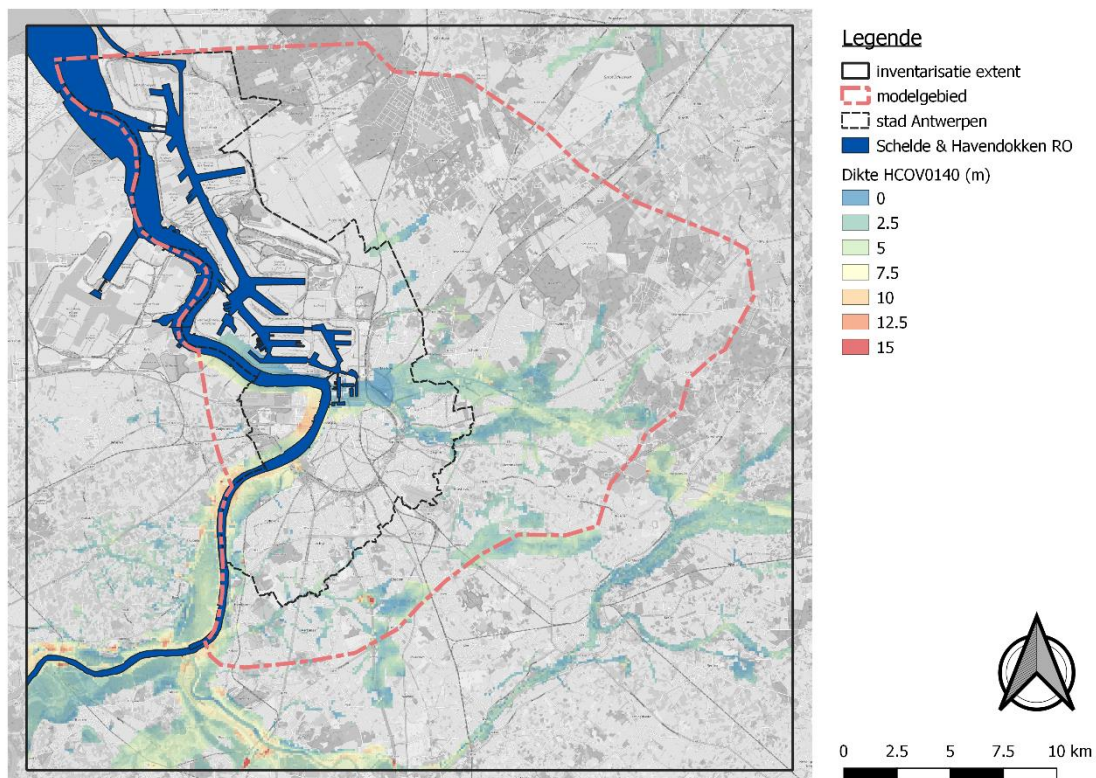
Figuur Bijlage A-7: Verschil in dikte van de ophogingen tussen HCOV en H3D. (Toename = positief).



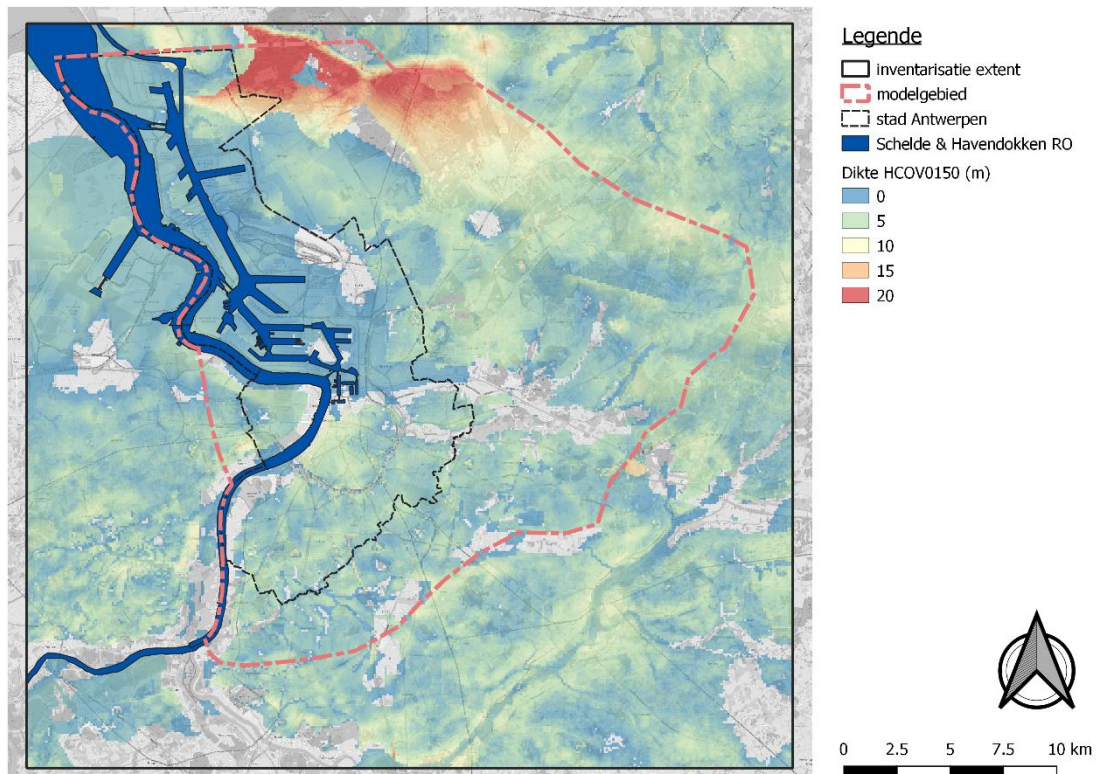
Figuur Bijlage A-8: Dikte en voorkomen Duinen (HCOV0120)



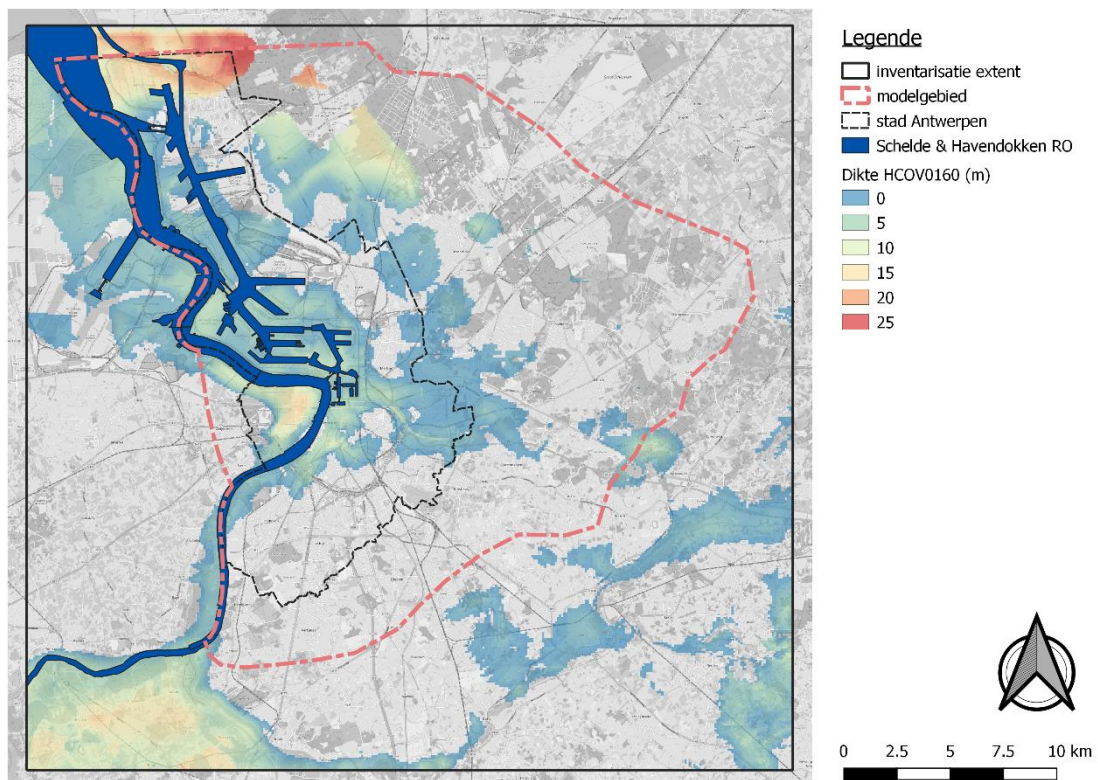
Figuur Bijlage A-9: Dikte en voorkomen Polderafzettingen (HCOV0130)



Figuur Bijlage A-10: Dikte en voorkomen Alluviale Deklagen (HCOV0140)

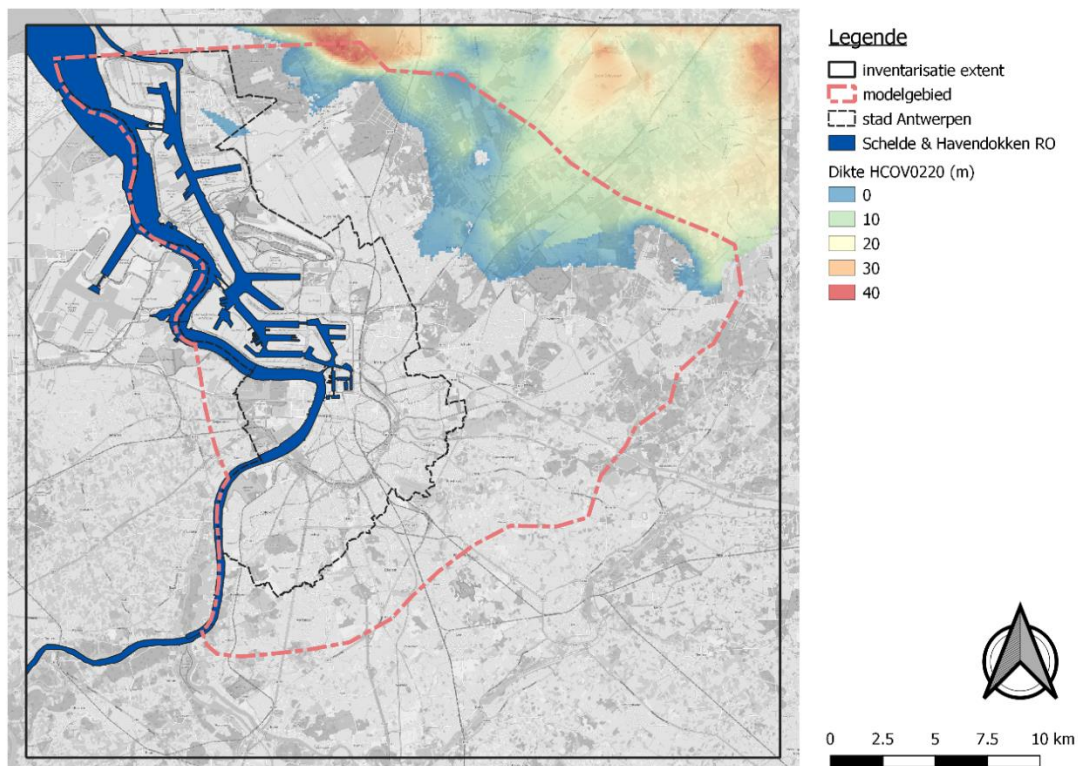


Figuur Bijlage A-11: Dikte en voorkomen Deklagen (HCOV0150)

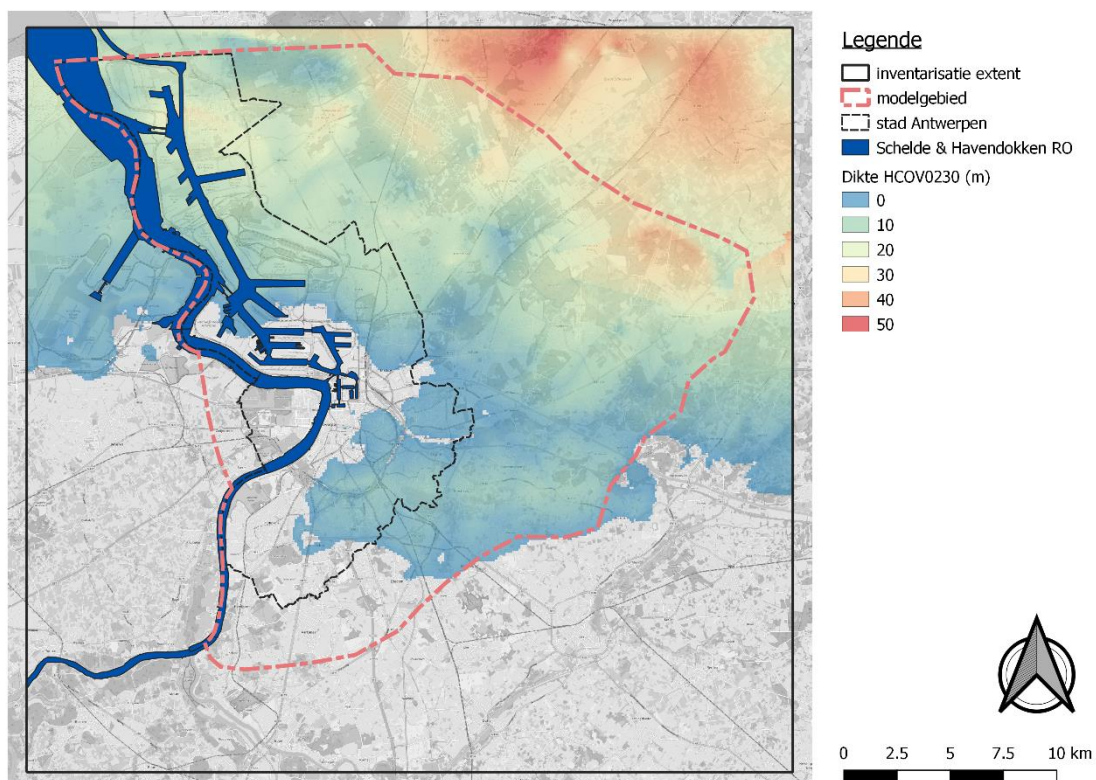


Figuur Bijlage A-12: Dikte en voorkomen Pleistocene Afzettingen (HCOV0160)

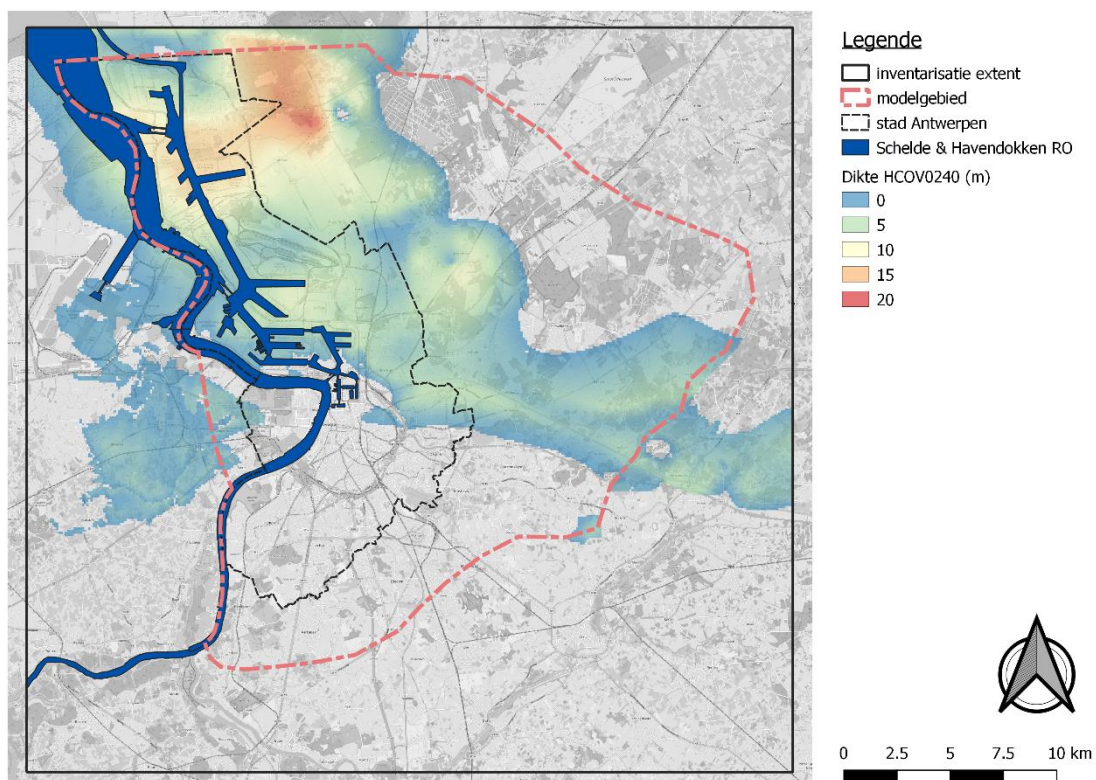
A.3.2 Kempens Aquifersysteem (HCOV0200)



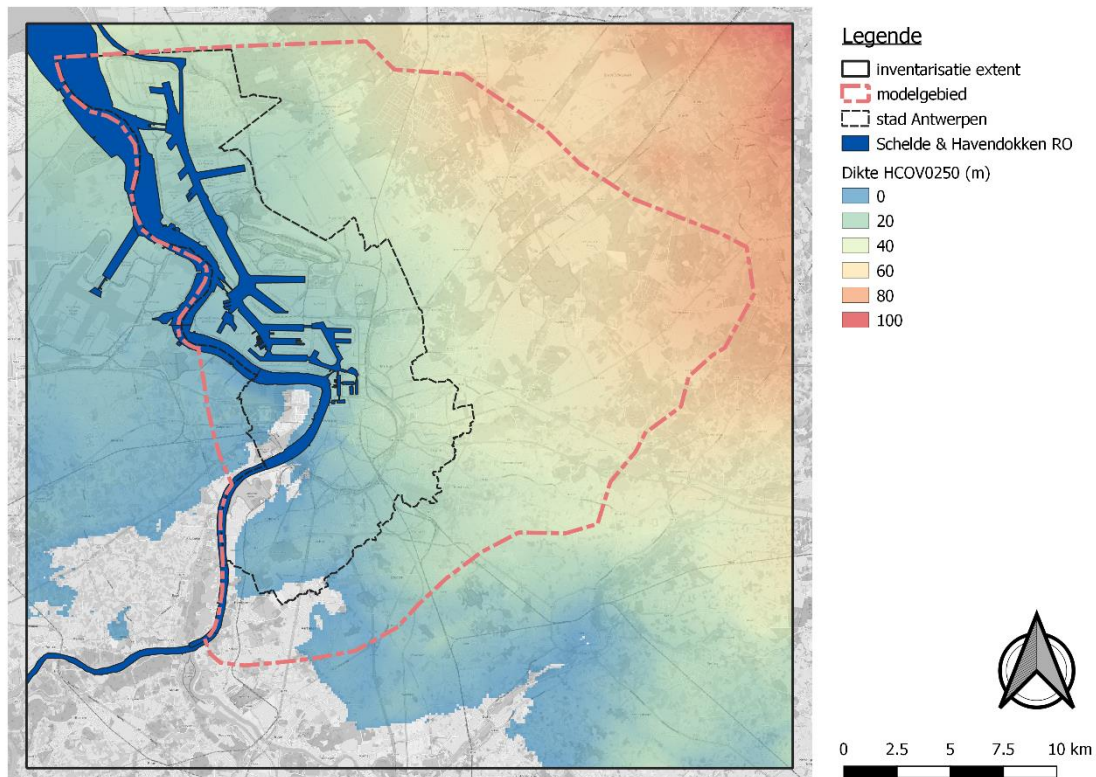
Figuur Bijlage A-13: Dikte en voorkomen Klei-zand-complex van de Kempen (HCOV0220)



Figuur Bijlage A-14: Dikte en voorkomen Pleistoceen en Pliocene Aquifer (HCOV0230)



Figuur Bijlage A-15: Dikte en voorkomen Pliocene kleige laag (HCOV0240)



Figuur Bijlage A-16: Dikte en voorkomen Mioceen Aquifersysteem (HCOV0250)

Bijlage B Grondwatervoeding: modelvergelijkingen

De grondwatervoeding wordt ingeschat met behulp van een ruimtelijk verdeeld bodemvocht model. Dit model is ontwikkeld op basis van de expertise van de Universit  catholique de Louvain (UCL) in het kader van het Next-generation tools project van de VMM (IMDC, 2015). Uit deze studie blijkt dat het model in staat is om de evolutie van het bodemvocht betrouwbaar weer te geven.

Het model vat de bodemwaterbalans op door de bodem als een enkelvoudig reservoir. Het volume van dit reservoir wordt bepaald door de inkomende (neerslag) en uitgaande (evapotranspiratie, drainage) termen. De basis bodemwaterbalans vergelijking is als volgt:

$$\frac{dS}{dt} = P_{eff}(t) - ET(t) - D(S, t)$$

met S [m] de bodemwaterdiepte in het reservoir, P_{eff} de effectieve neerslag [m/d], ET de evapotranspiratie [m/d] en D de drainage naar het grondwater [m/d].

Effectieve neerslag

De effectieve neerslag wordt bepaald met behulp van een runoff coëfficiënt (a). Deze is afhankelijk van de plaatselijke helling, bodemtextuur en landgebruik (Cabus *et al.*, 2007).

$$P_{eff} = P \cdot a$$

Evapotranspiratie

De evapotranspiratie is afhankelijk van het bodemvocht gehalte in het reservoir. Op deze manier wordt er rekening gehouden met het concept van de matrixpotentiaal die bepaalt dat de wateronttrekking uit het bodemvocht vermindert bij een dalend bodemvocht gehalte. Het model maakt gebruik van de volgende relatie:

$$ET(t) = Kc(t) \cdot ET0(t) \cdot \left(1 - \left(\frac{\theta_s \cdot R - S(t)}{\theta_s \cdot R}\right)^\alpha\right)$$

met θ_s het volumetrisch bodemvocht gehalte bij saturatie [m^3/m^3], R de worteldiepte [m], Kc de plant specifieke evapotranspiratie factor en α een constante ($\alpha = 1$).

Drainage

De hydraulische conductiviteit van de bodem wordt geschat op basis van de Mualem-Van Genuchten functie (van Genuchten, 1980):

$$K(Se(S, t)) = K_s Se(S, t)^l \left(1 - (1 - Se(S, t)^{1/m})^m\right)^2$$

met K_s [m/d] als de gesatureerde hydraulische conductiviteit van de bodem en n en m als hydraulische parameters, afgeleid van de bodemvocht retentiecurve.

$$Se(S) = \frac{\frac{S}{R} - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

met θ_s het residueel volumetrisch bodemvocht gehalte [m^3/m^3] (meestal 0 beschouwd). De oplossing van de volledige vergelijking geeft dan het volgend resultaat:

$$S^{t+1} = S^t + \left(P^t \cdot a - Kc \cdot ET0^t \cdot \left(1 - \left(\frac{\theta_s R - S(t)}{\theta_s R}\right)^\alpha\right) - K_s \left(\frac{\frac{S^t}{R} - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^l \left(1 - \left(1 - \left(\frac{\frac{S^t}{R} - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^{1/m}\right)^m\right)^2 \right) \Delta t$$

De vergelijking maakt gebruik van klimatologische tijdseries (P^t, ET_o^t), plant parameters (K_c, R) en bodem parameters ($K_s, m, n, l, \theta_r, \theta_s$). In een ruimtelijk verdeeld model heeft elke cel dus 2 input tijdreeksen en 8 parameters nodig.

Run off coëfficiënt

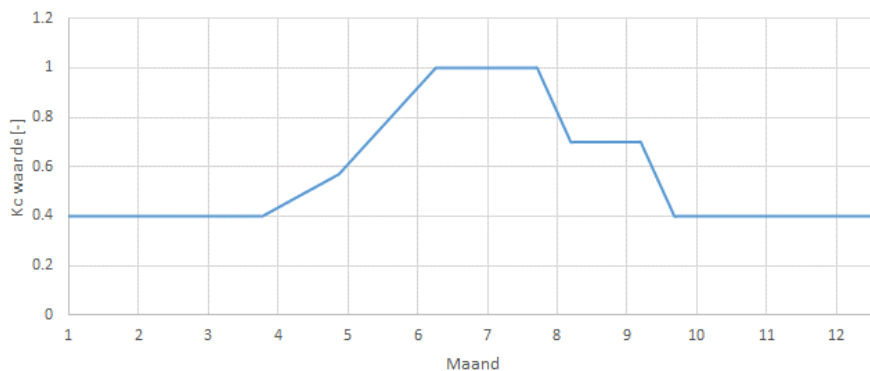
De run-offcoëfficiënten zijn overgenomen van (Cabus *et al.*, 2007). De Vlaamse Milieu Maatschappij – Afdeling Water bepaalde op basis van het runoffconcept van het WetSpa-model (Batelaan and De Smedt, 2001) afvoercoëfficiënten voor heel Vlaanderen.

Evapotranspiratie

Voor de Evapotranspiratie wordt de tijdreeks van Ukkel gebruikt. Deze is berekend op basis van de Bultot methode (Bultot, F. *et al.*, 1983).

Plant parameters

Voor het inschatten van de plantparameters K_c en R wordt er gebruik gemaakt van de plantfactoren die beschreven staan in FAO56 manual (Allen and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998). Bij gebrek aan gedetailleerde landbouwkundige gegevens wordt de CORINE-landgebruikskaart gebruikt. De CORINE-landgebruiksklassen worden dan vertaald om overeen te komen met de K_c en R factoren in (Allen and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998). Deze worden eveneens tijdsafhankelijk gemaakt in functie van het groeiseizoen met behulp van een schalingsfactor (Figuur Bijlage B-1). De K_c waardes variëren tussen 0.9-1 voor bebouwde gebieden en bossen en 1-1.2 voor landbouw- en natuurgebieden. De worteldieptes variëren van 0.5 m in bebouwde gebieden tot 0.8-1.1 in landbouw- en bos- en natuurgebieden.



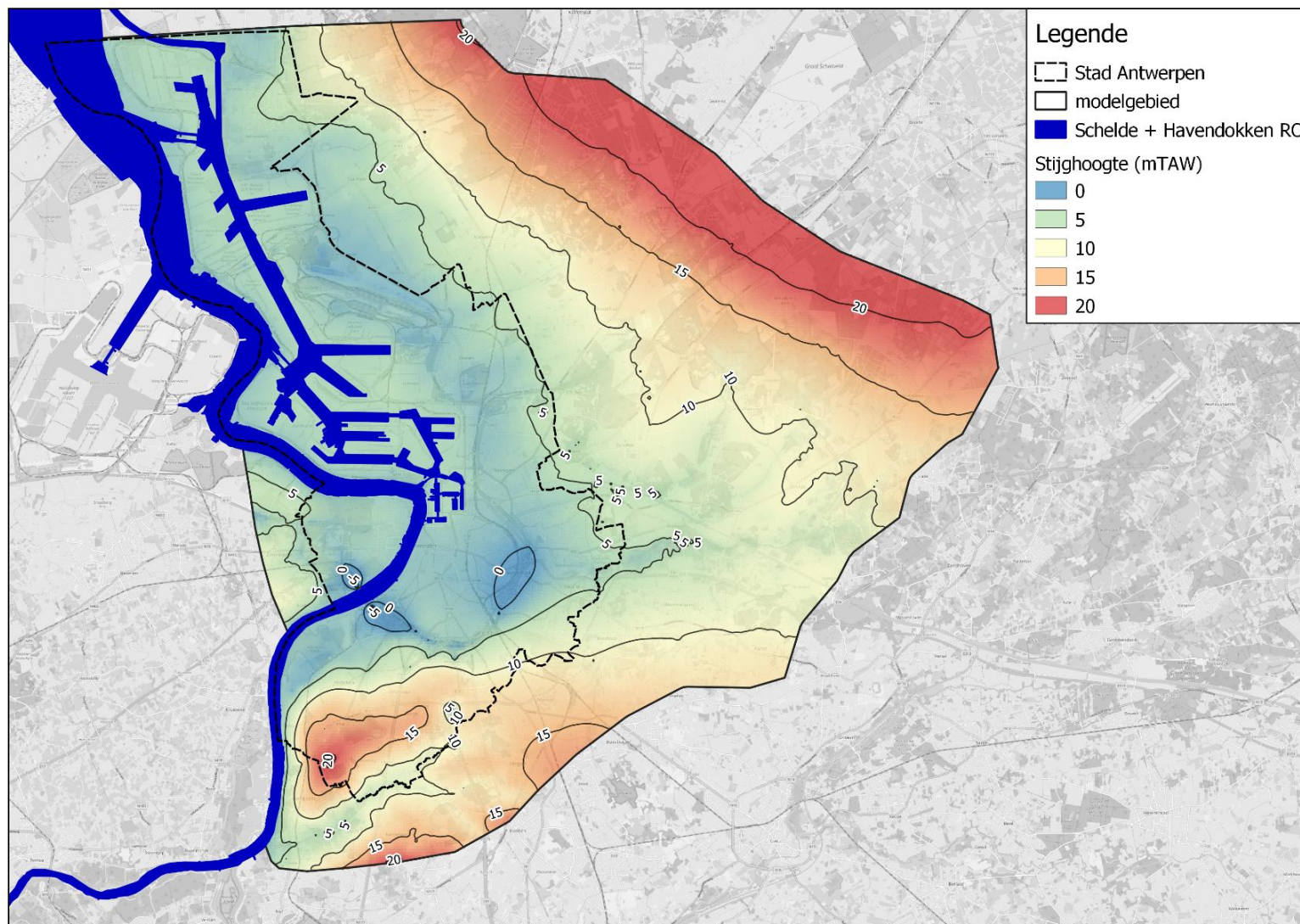
Figuur Bijlage B-1 Overzicht van het verloop van de plantparameter K_c doorheen het jaar.

Bodem

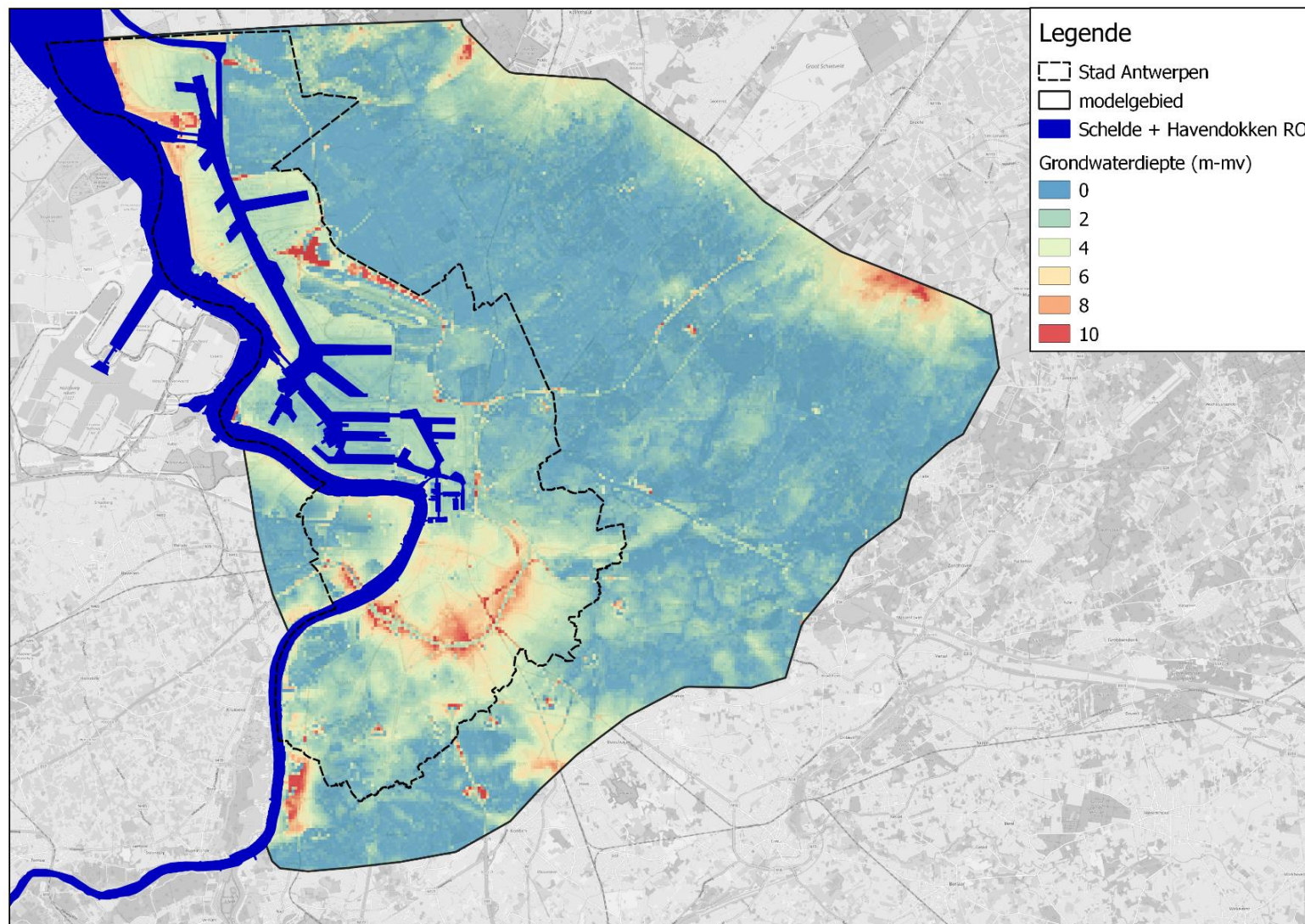
De bodemparameters worden overgenomen van de Aardewerk databank. Deze databank bevat de analyse resultaten van een 7000-tal bodems in Vlaanderen. Deze bodems kunnen met behulp van omzettingssleutels gekoppeld worden met de classificatie van de bodemkaart (IMDC, 2015), (Van Orshoven, Jos *et al.*, 1993). Door het gebruik van de pedotransferfuncties van (Weynants *et al.*, 2009) kunnen de parameters van de Mualem-Van Genuchten functie ingeschat worden.



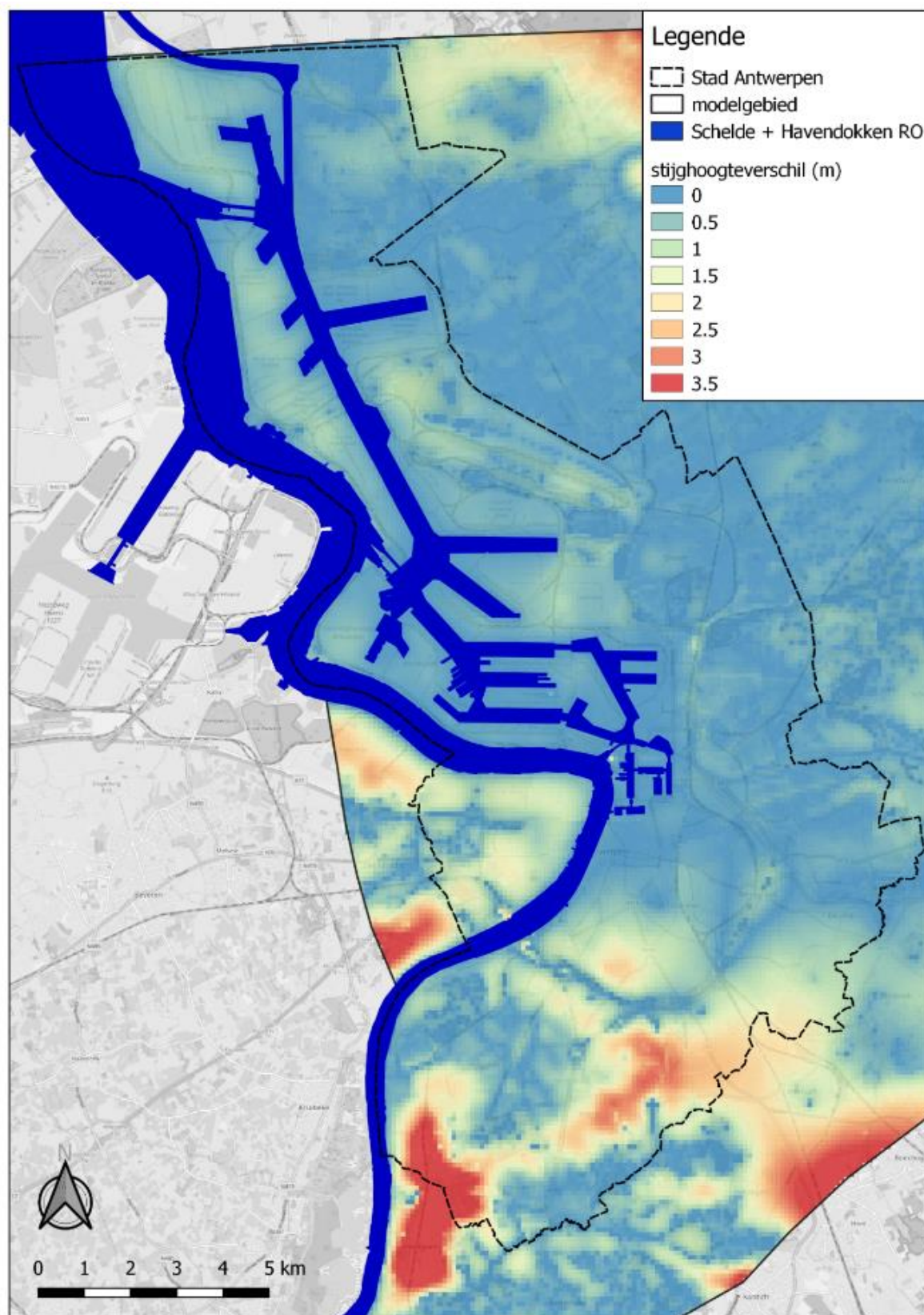
Bijlage C Resultaten grondwaterstromingsmodel referentiesituatie



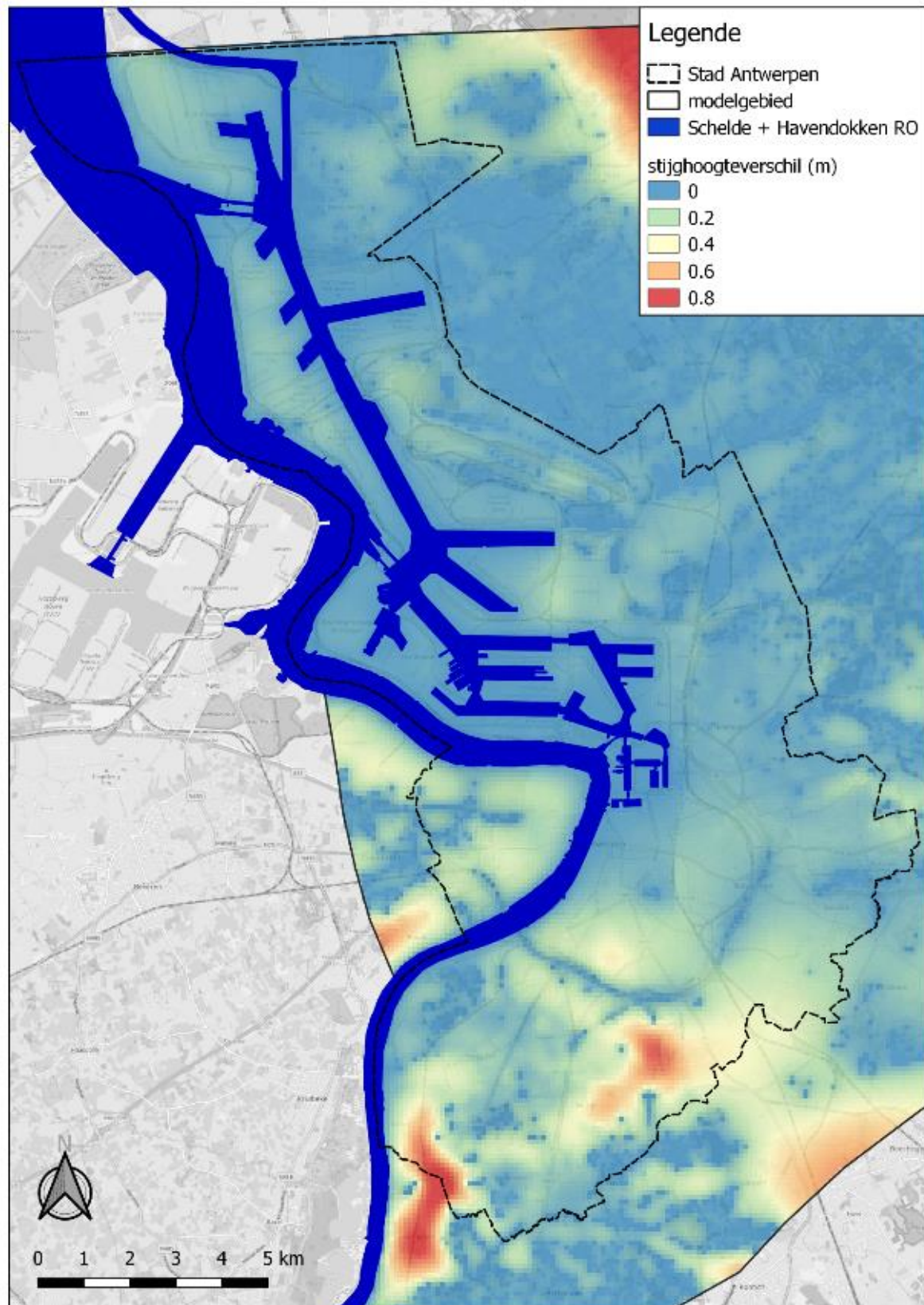
Figuur Bijlage C-1: Grondwaterstanden stationaire toestand, huidig klimaatscenario



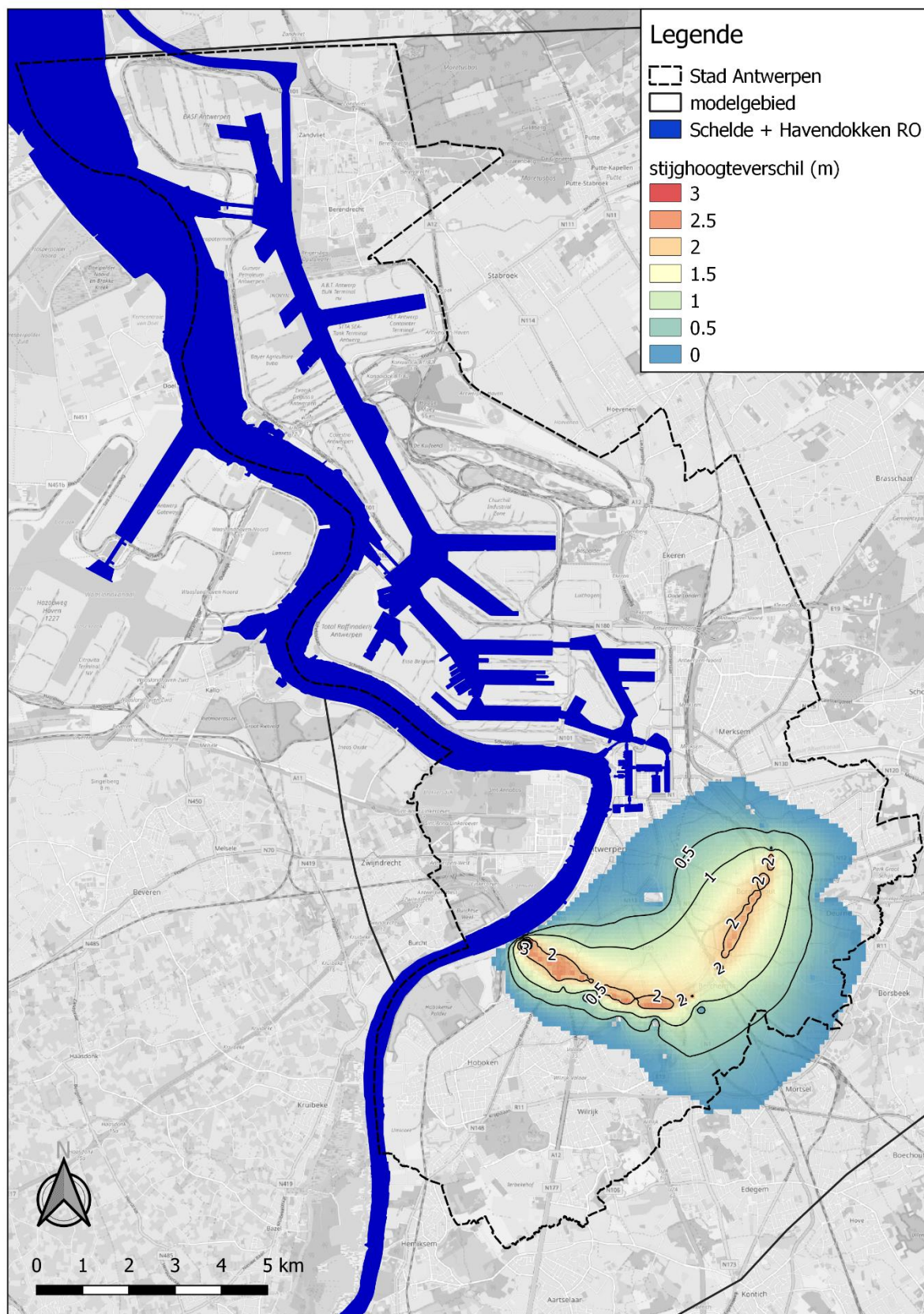
Figuur Bijlage C-2 : Grondwaterdieptekaart stationaire toestand, huidig klimaatscenario



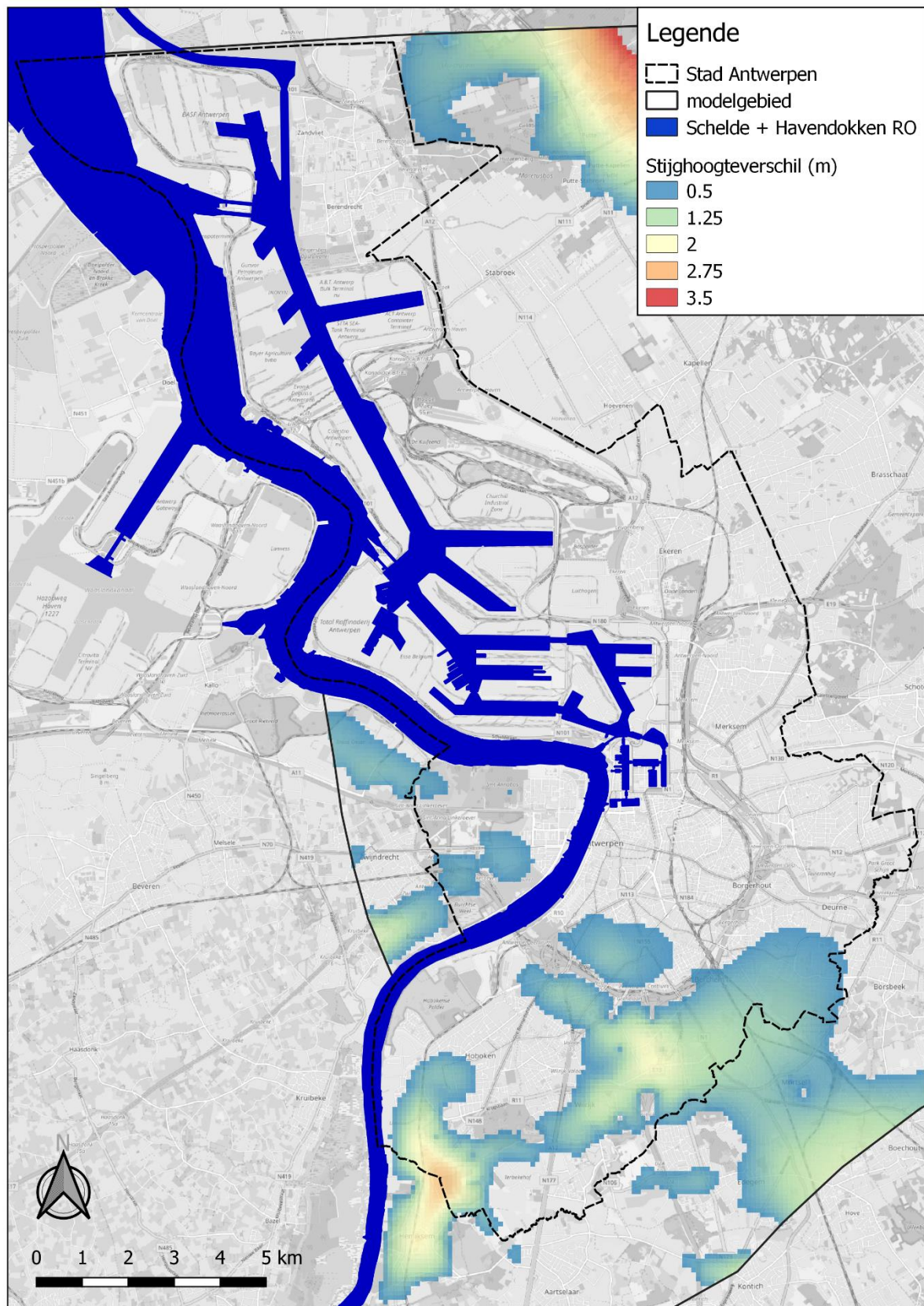
Figuur Bijlage C-3: Gevoeligheidsanalyse op de hydraulische doorlatendheid. Hierbij wordt het stijghoogteverschil voorgesteld tussen de gevallen waarbij de horizontale doorlatendheid respectievelijk vermenigvuldigd en gedeeld wordt met een factor 2



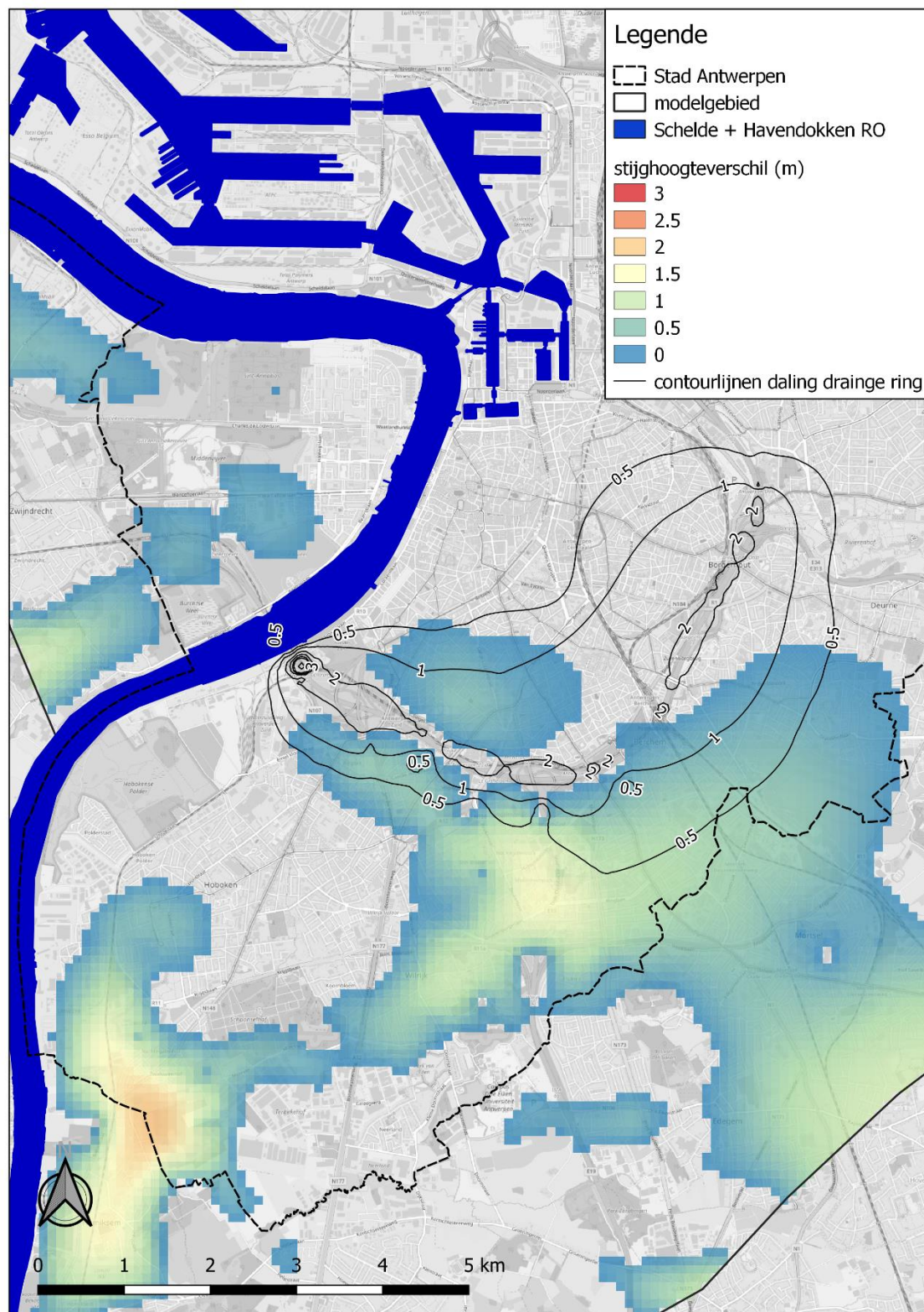
Figuur Bijlage C-4: Gevoeligheidsanalyse op de grondwatervoeding. Hierbij wordt het stijghoogteverschil voorgesteld tussen de gevallen waarbij de grondwatervoeding respectievelijk met 10% verhoogd en verlaagd wordt



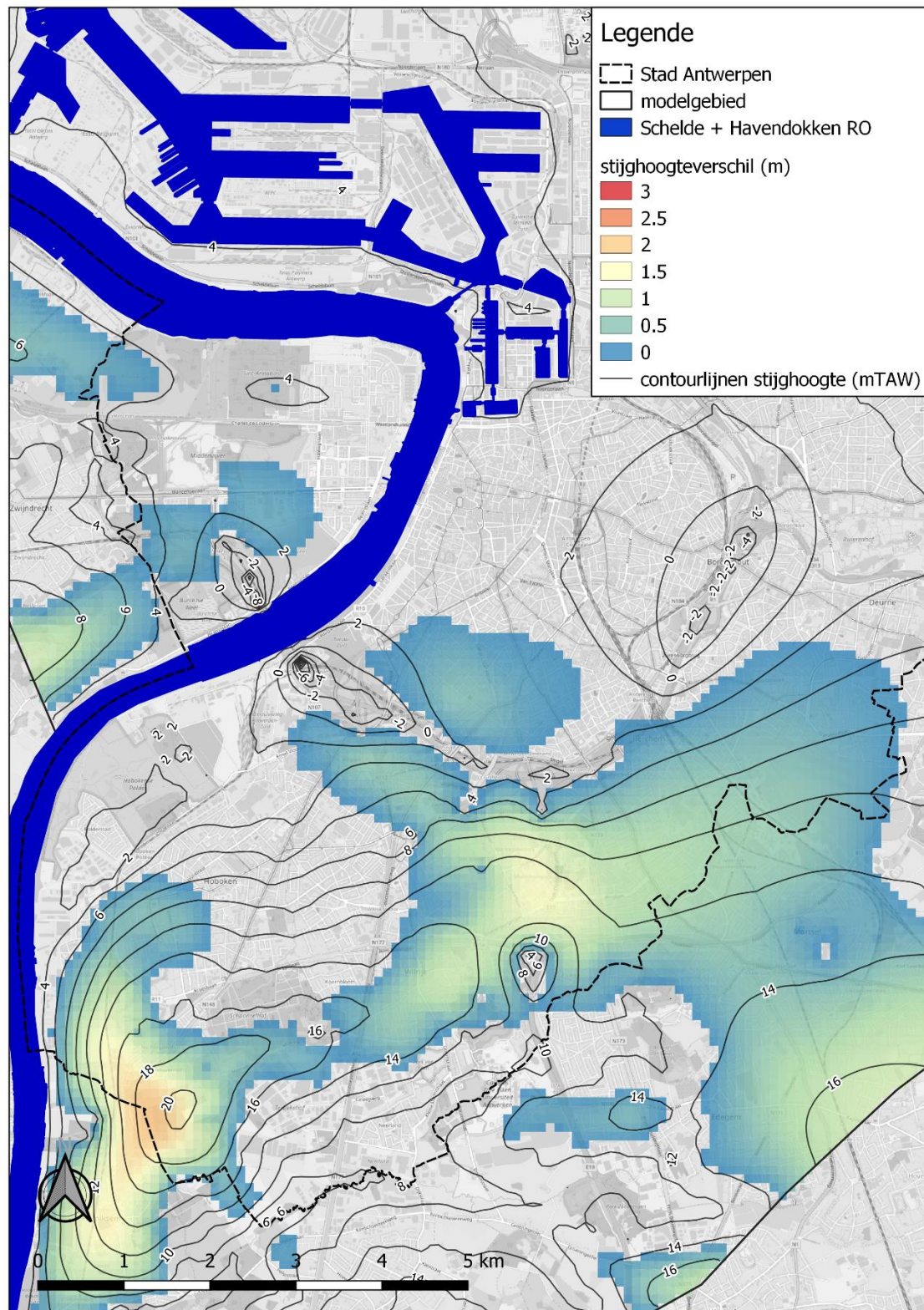
Figuur Bijlage C-5:: Gevoeligheidsanalyse op de aanwezigheid van de drainage van de Antwerpse ring. Hierbij wordt de daling in stijghoogte ten gevolge van de aanwezigheid van deze drainage weergegeven



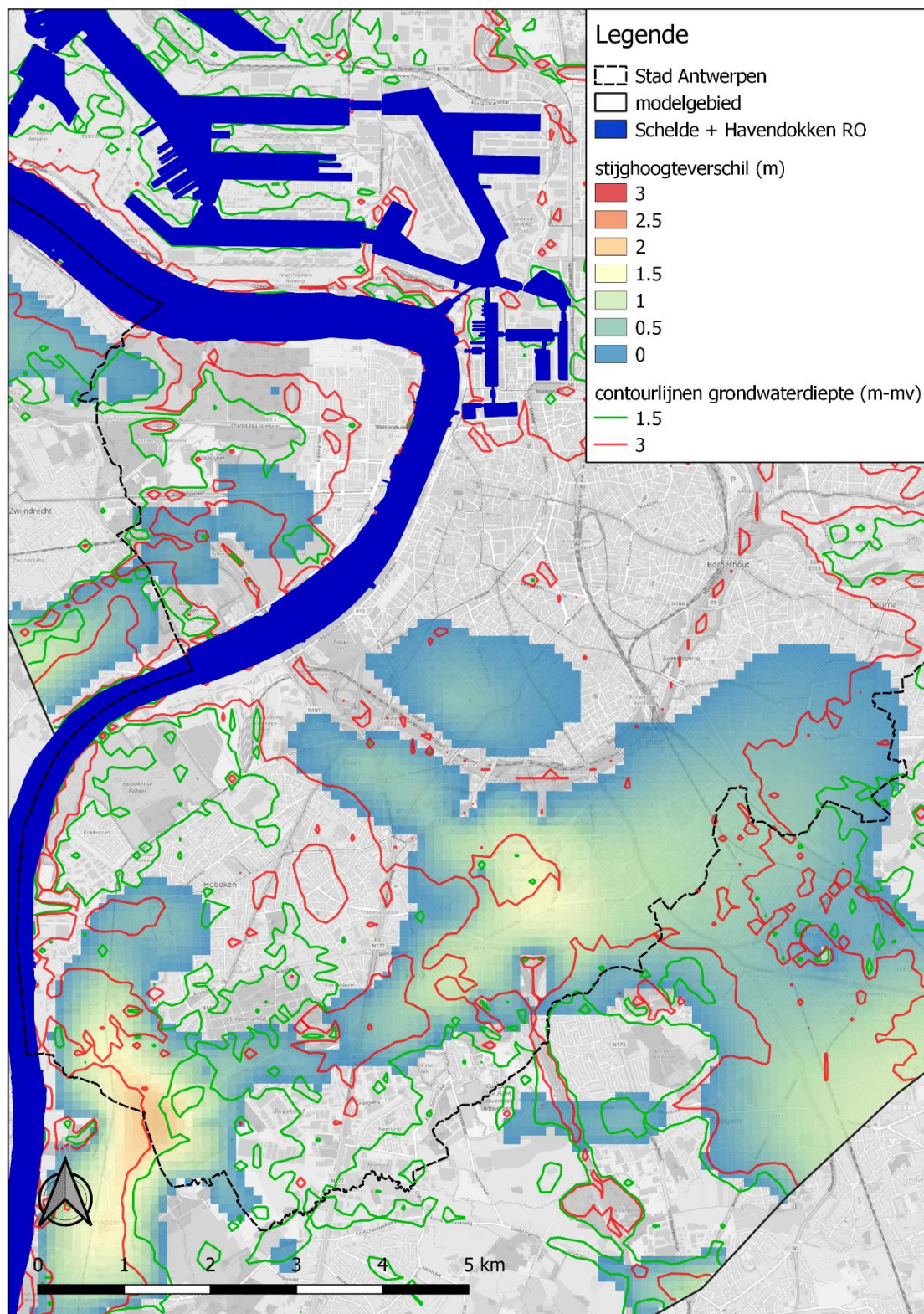
Figuur Bijlage C-6 : Verschilkaart gemiddelde grondwaterstand tussen huidig klimaatscenario en laag klimaatscenario. Weergegeven verschil betreft hier minimaal 0,5 m.



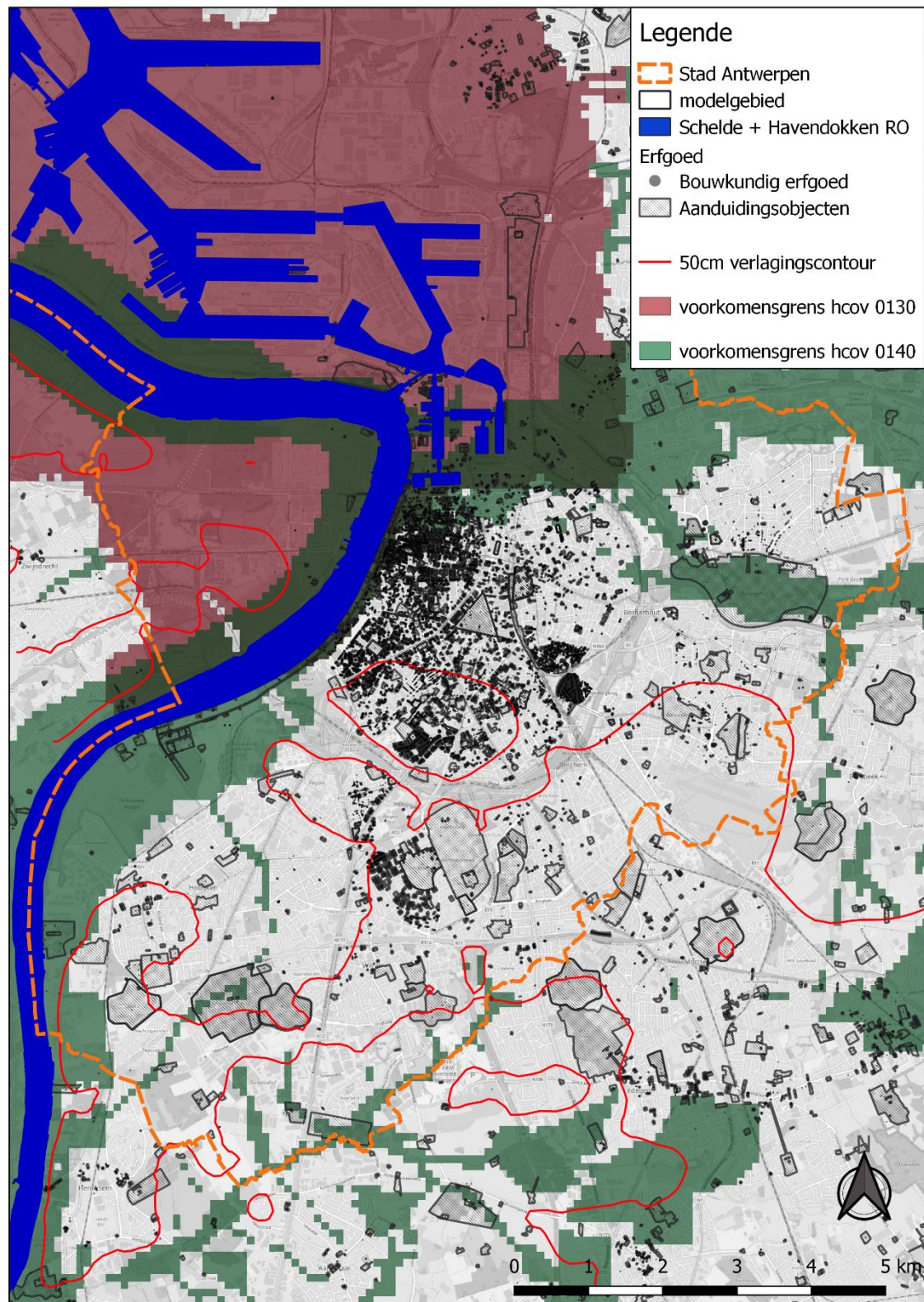
Figuur Bijlage C-7 : Verschilkaart gemiddelde grondwaterstand tussen huidig klimaatscenario en laag klimaatscenario. Weergegeven verschil betreft hier minimaal 0,5 m. Zoom op het stadsdeel waar verlagingen voorkomen. Ter referentie worden de contourlijnen van daling ten gevolge van aanwezigheid drainage stadsring weergegeven.



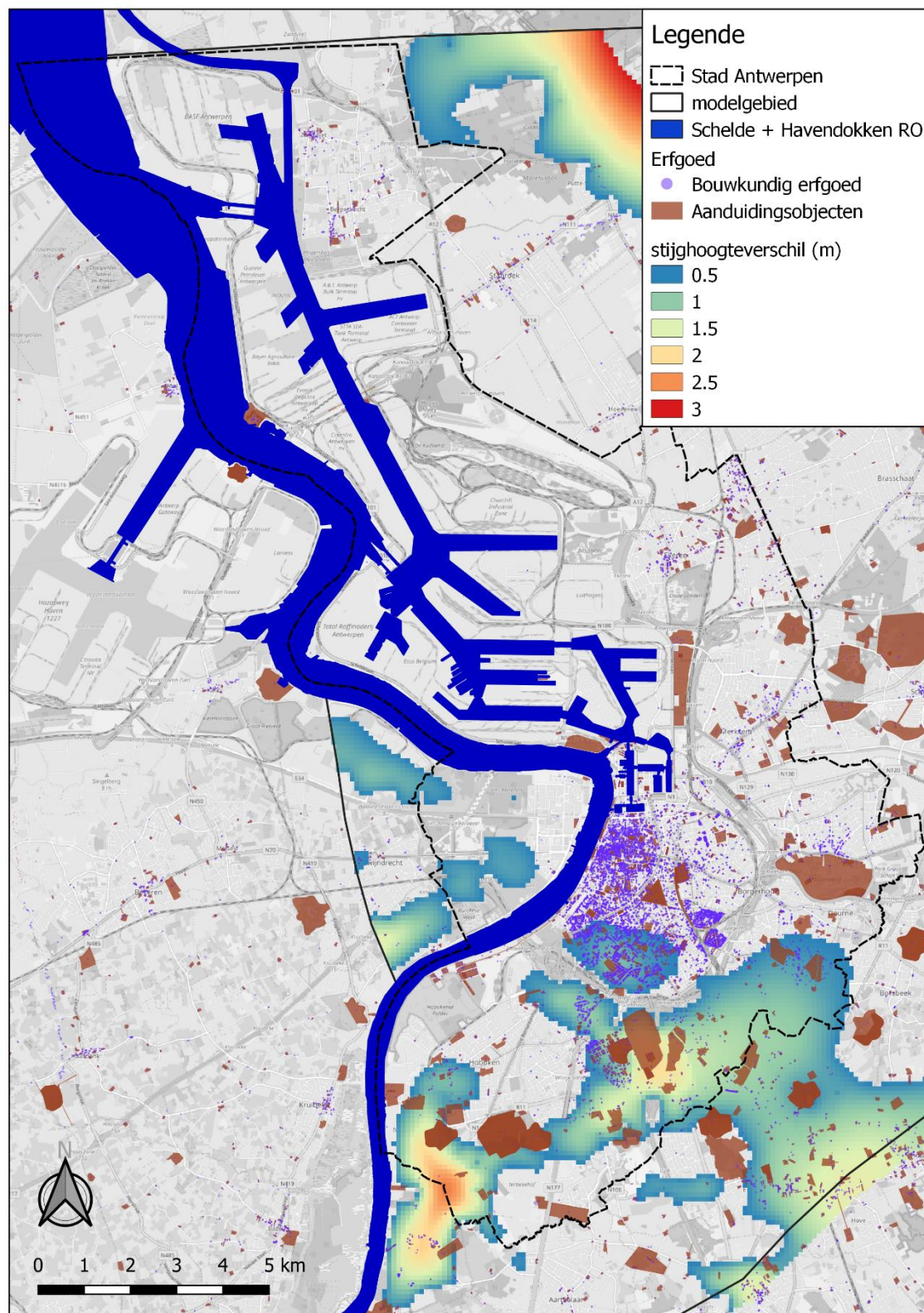
Figuur Bijlage C-8 : Verschilkaart gemiddelde grondwaterstand tussen huidig klimaatscenario en laag klimaatscenario. Weergegeven verschil betreft hier minimaal 0,5 m. Zoom op het stadsgedeelte waar verlagingen voorkomen. Ter referentie worden de stijghoogtecontourlijnen weergegeven



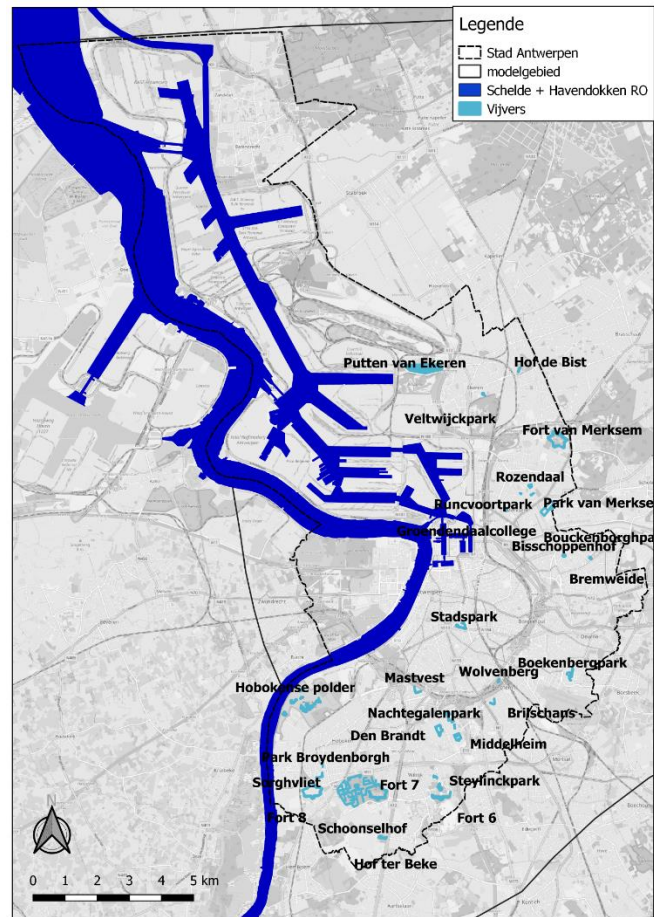
Figuur Bijlage C-9 : Verschilkaart gemiddelde grondwaterstand tussen huidig klimaatscenario en laag klimaatscenario. Weergegeven verschil betreft hier minimaal 0,5 m. Zoom op het stads gedeelte waar verlagingen voorkomen. Ter referentie worden grondwaterdiepte contouren van 1,5 en 3 m-mv weergegeven



Figuur Bijlage C-10: verlagingscontour 0.5 meter tussen huidig klimaatscenario en laag klimaatscenario. Aanduiding van de voorkomensgrenzen van HCOV 0130 (polderafzettingen, HCOV 0140 (Alluviale Deklagen) en zone met bouwkundig erfgoed



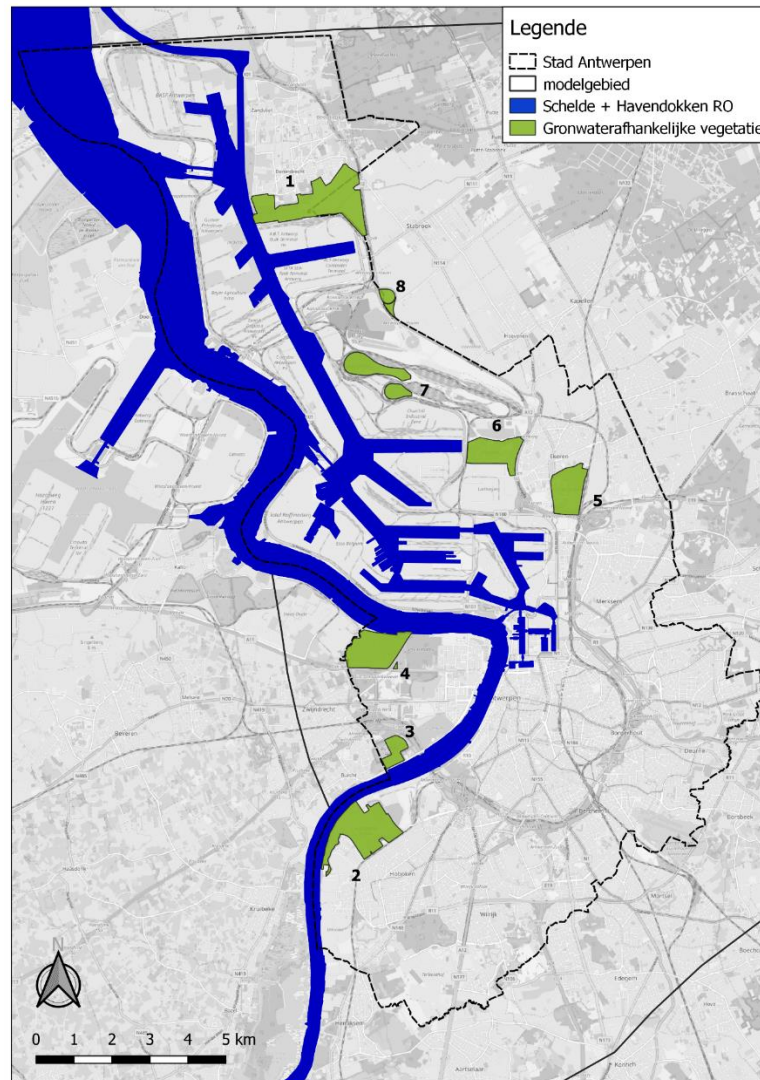
Figuur Bijlage C-11: Verschilkaart gemiddelde grondwaterstand tussen huidig klimaatscenario en laag klimaatscenario. Weergegeven verschil betreft hier minimaal 0,5 m



Figuur Bijlage C-12: Ligging stadsvijvers

Tabel Bijlage C-1: Kwelafname in omgeving van de stadsvijvers tussen huidige toestand en het laag klimaat scenario

Vijver	kwel (mm/d)		% afname
	huidig	klimaat laag	
Boekenbergpark	7.2	3.3	53%
Mastvest	2.5	1.4	45%
Stadspark	6.4	4.2	35%
Hof ter Beke	1.1	0.6	40%
Schoonselhof	1.7	1.0	37%
Fort 6	1.2	0.2	81%
Fort 8	1.9	1.3	31%
Nachtegalenpark	0.0	0.0	-
Den Brandt	1.1	0.0	100%
Hobokense polder	0.9	0.5	40%
Bouckenborghpark	4.8	3.6	25%
Rozendaal	4.6	2.9	38%
Hof de Bist	10.6	8.8	17%
Veltwijckpark (slotgracht)	7.1	4.3	40%
Sorghvliet	1.3	0.9	27%
Steytelinckpark	0.0	0.0	-
Park Broydenborgh	0.8	0.5	36%
Middelheim laag	0.0	0.0	-
Brilschans	8.4	3.8	55%
Wolvenberg	1.7	0.0	100%
Bremweide	0.2	0.1	30%
Bisschoppenhof (slotgracht)	11.8	9.2	22%
Groenendaalcollege	3.0	1.8	38%
Park van Merksem	4.6	2.7	41%
Runcvoortpark	0.0	0.0	-
Fort van Merksem	3.2	2.1	32%
Grote Put van Ekeren	3.3	2.4	26%
Kleine Put van Ekeren	3.5	2.5	28%
Fort 7	0.3	0.0	100%



Figuur Bijlage C-13: Ligging grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen stad Antwerpen

Tabel Bijlage C-2: Kwelafname in grondwaterafhankelijke zone voor huidige toestand en het laag klimaat scenario

gebiedsnummer		Kwel (mm/d)		afname
		huidig	klimaat laag	
1	De kuifeend	2.4	2.1	15%
2	Polder Hoboken	0.7	0.4	39%
3	Burchtse Weel	0.4	0.2	42%
4	Blokkersdijk	0.5	0.4	33%
5	De Oude Landen en Bospolder	1.6	1.1	30%
6	De kuifeend	1.0	0.6	33%
7	De kuifeend	0.5	0.3	35%
8	De kuifeend	3.3	2.7	20%

Bijlage D Achtergrondinformatie Benchmarkstudie

D.1 PERTH

Initiatiefnemer: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities (CRCWSC).

Title document: Shaping Perth as a Water Sensitive City: Outcomes and perspectives from a participatory process to develop a vision and strategic transition framework.

Link: [TMR_A4.2-ShapingPerthWSCReport-Final-WEB](#).

Background:

The CRCWSC Project A4.2 “Mapping Water Sensitive City Scenarios” develops innovative strategic planning processes and frameworks targeted at addressing these challenges, with a particular focus on accelerating the transition to water sensitive cities and towns in Australia. The research involves workshop series in multiple case study locations, designed to facilitate in-depth discussion and analysis amongst key local stakeholders of how their urban region can be transformed to provide reliable water services, ensure public health and wellbeing, enhance urban amenity and protect the environment over the long-term.

Perth stakeholders have expressed a desire to achieve a more water sensitive city, and recent policy, planning and knowledge-sharing initiatives have focused on generating momentum and alignment in this direction. Project A4.2 therefore selected Perth for one of its case studies, providing an opportunity to advance the sector-wide dialogue and develop a strategic transition framework for shaping Perth as a water sensitive city.

Aims and objectives

The aim of Project A4.2 is to develop tools to support the latest efforts in science, policy, and practice for understanding how envisioning and planning processes can accelerate the transition of cities and towns from their current conditions to water sensitivity, enhancing their liveability, sustainability, productivity and resilience. The objectives for the Greater Perth case study application were to:

I. Produce a strategic transition framework for guiding government, industry, and community stakeholders to implement and support initiatives to achieve Perth’s water sensitive city aspirations. The key components of this transition framework include:

- a. The rationale for transforming practice towards water sensitivity;
- b. A detailed vision for Greater Perth as a water sensitive city;
- c. Assessment of the city’s current transition challenges;
- d. Transition strategies and actions to realize the desired vision.

II. Provide a forum in which a diversity of perspectives and rigorous discussion leads to a shared understanding, strategic alignment and long-term partnerships amongst key organizations for collaborating towards their common water sensitive city objectives.

III. Test the latest scientific thinking on transition planning processes and frameworks for application to cities and towns wanting to shift practice towards water sensitivity, and develop practical tools and innovative methods for translating water sensitive aspirations into practical outcomes for local regions.

Vision:

The vision was iteratively developed throughout workshops, where participants were given the opportunity to expand and refine the vision at each workshop. The vision of greater Perth as a water sensitive city in 2065 consists of four themes:

1. Fostering stewardship of the system;

- (a) People understand the entire water cycle and recognize the need to adapt to uncertain and changing conditions;
 - (b) People feel a sense of belonging and connection with Perth and identify with its evolving water story;
 - (c) People are appropriately engaged in open and inclusive decision-making processes that are informed by comprehensive information and transparency in people's priorities;
 - (d) There is continuous investment in developing necessary knowledge, skills, and capacity across water-related professions, sectors and the community.
2. Protecting and enhancing well-being of people and the environment:
- (a) Water is valued and managed with respect for the interdependent and dynamic relationship between people and the environment;
 - (b) Perth's coastal and inland water ecosystems are protected and thriving with biodiversity;
 - (c) Flood and inundation risks are managed in harmony with local conditions to minimize impacts on and embrace opportunities for the city.
3. Integrating and engaging with the built and natural landscape:
- (a) Perth's urban character reflects its unique landscape and water environments;
 - (b) The urban environment is comfortable, safe, and promotes health and wellbeing;
 - (c) The city is filled with a network of beautiful, well-designed and high quality places that are diverse, accessible, loved and enhanced by effective water management;
 - (d) Infrastructure planning and development are coordinated and integrated to deliver multiple benefits.
4. Sustaining the long-term use of Perth's resources:
- (a) Water is available to equitably meet the needs of people and the environment both now and in the future;
 - (b) Fit-for-purpose water is supplied through adaptable systems that work across multiple scales;
 - (c) Efficient use and recovery of resources is ensured through innovative water cycle management.

Approach

The project involved a series of five half-day workshops held over the course of five months in Greater Perth. The workshop series was designed around a methodological approach grounded in latest insights from the science, policy and practice of strategic transition planning. People from a diverse mix of organisations and with different disciplinary backgrounds were involved in the workshops, together representing key stakeholders that influence water management and planning across government, industry and the private sector. Individual participants were identified by their peers and colleagues as being a leader and strategic thinker within their organisations and across the sector more broadly.

Critical strategies and actions

☐ Shared vision and message:

Develop and communicate a unifying vision and message about the need for and value of Greater Perth as a future water sensitive city.

1. Develop an ongoing and adaptive meta-narrative for Perth's broad identity and the role of water within it;

2. Engage professionals to develop a media and communication plan and targeted materials for disseminating key messages about Perth's water narrative to the community and industry;
3. Establish a multi-faceted community campaign for developing and promoting Perth's water sensitive city vision, formally endorsed by stakeholder organizations;
4. Set targets for achieving the water sensitive vision for Perth, building on the outcomes of this "Shaping Perth as a water sensitive city" visioning process.

📌 Community mandate

Build community support for water sensitive outcomes that provides the mandate for driving change in water-related policy and practice.

1. Initiate dialogue with the community about Perth's water narrative, building on the outcomes of this "Shaping Perth as a water sensitive city" visioning process;
2. Utilize the opening of Elizabeth Quay and other suitable opportunities for initiating targeted media and community engagement about Perth as a water sensitive city;
3. Implement targeted behavior change initiatives based on social research to guide community practices towards water conservation and environmental protection;
4. Develop a water sensitive cities education toolkit and dissemination strategy to inform the curriculums of primary and secondary schools, universities and professional training programs;

📌 Leadership

Foster broad political and industry support and inspire leadership at all levels to set a clear direction, drive change and model the behaviours needed to achieve water sensitive outcomes

1. Establish a non-political high level advisory committee to guide the transition towards water sensitive decisions and outcomes;
2. Develop a program to recognise and profile champions of water sensitive innovation in government, industry and the community;
3. Create a network of young water sensitive city leaders from peak organisations across the water, planning, development and community sectors;

📌 Governance

Strengthen governance arrangements to address gaps, remove barriers, clarify ambiguities and provide incentives for water sensitive practice:

1. Establish clear organizational roles and responsibilities for managing, protecting and enhancing environmental water quality;
2. Reform drainage governance arrangements to facilitate a total water cycle approach to the management of stormwater runoff, groundwater and waterways;
3. Establish a sustainable financial mechanism for delivering water sensitive drainage services;
4. Review outcomes of this "Shaping Perth as a water sensitive city" visioning process against current governance arrangements and existing legislative and policy frameworks to identify opportunities for influencing their implementation, development or reform (in the short term - Liveable Neighbourhoods and the Strategic Assessment of Perth and Peel Region);
5. Establish a robust review mechanism based on expert panel assessment of development applications against outcome-focused priorities and performance-based criteria related to water sensitivity;
6. Provide developers with clarity about Government priorities and guidance on how to navigate approval processes;

📌 Professional culture and capacity.

Develop strong capacity and enabling organisational cultures for fostering collaboration and innovation towards water sensitive practice

1. Develop an accreditation program that recognises, celebrates and incentivises innovative projects, designs and practitioners that are trusted to deliver water sensitive outcomes;
2. Establish mechanisms and financial incentives to encourage risk sharing and collaboration towards innovation for water sensitivity;
3. Strengthen Perth's water sensitive cities capacity building program with a sustainable funding source;
4. Establish mechanisms for sharing lessons from experiences of success and failure to promote widespread learning on how future water sensitive initiatives can be improved;
5. Develop a strategy for continuing to build a Perthbased water sensitive cities community of practice;

☐ Research and technology.

Establish mechanisms and commit resources to ensure impact-oriented research and development, including its translation to influence water sensitive policy and practice:

1. Fund research to address unresolved scientific questions and key knowledge gaps important for achieving the vision of water sensitive Perth;
2. Establish reliable streams of research funding from government and industry to incentivize impact-oriented research and translation of findings to influence policy and practice;
3. Continually review and update policies and guidelines with contemporary science and evidence;
4. Undertake social research to understand community values and people's connection to local water narratives;
5. Strengthen local research capacities related to water sensitive city objectives;
6. Continually implement demonstration projects that trial innovative approaches for delivering water sensitive outcomes.

D.2 ELWOOD

This report presents the outcomes of a local-scale participatory process conducted in Elwood, a bayside suburb of Melbourne, to develop a community-driven future vision for their suburb and pathways for advancing towards it. The process centred on the concept of water sensitivity, an approach that centres on urban water management enhancing the liveability, sustainability and resilience of a city. It has two distinct aims: (1) develop a vision and strategies for guiding initiatives towards achieving the vision, and (2) catalyse momentum and commitment amongst community champions for driving change towards the vision.

The process was conducted as part of a Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities (CRCWSC) project, which develops and applies innovative transition planning processes and frameworks. The project aims to enable collaboration amongst stakeholders from government, business and community to address urban challenges, with a particular focus on accelerating the transition to water sensitive cities and towns in Australia.

Discussions in Workshop 2 and 3 focused on identifying ideas and strategies for achieving the desired 2065 vision developed for Elwood. This two-stage process first involved identifying spatial opportunities to translate the vision for Elwood to have expression in its built and natural environment (see Figures 5, 6, 8 and 9). Analysis of the identified opportunities after the workshop revealed eight pathways that would need to be collectively pursued to enable the transition to the desired vision for Elwood:

1. Greening streets and lanes;
2. Managing flood paths to maximise community benefit;
3. Encouraging citizens to be informed, resilient and adaptive;
4. Connecting citizens to place and to each other;
5. Naturalising the canal;
6. Protecting and embracing coastal life;
7. Taking responsibility for environmental impacts from private property;
8. Leading catchment-level deliberation and action.

Strategies and actions

The strategies and actions regarding water are described below:

Strategies	Actions
c) Prioritise water in all planning and building processes	i) Review planning schemes to ensure they support best practice water sensitive design principles. ii) Expand street planting and replace Plane trees with drought-tolerant natives. <i>This can be part of the natural replacement cycle. The current policy is to maximise canopy cover.</i>
d) Increase community education at all levels	i) Ensure water organisations work directly with communities. ii) Encourage use of nature strips for gardens and fruit trees <i>Many councils, including City of Port Phillip, have published guidelines for planting on nature strips. Edible planting (e.g. vegetables) should first consider the risk of soil contamination</i>

Strategies	Actions
a) Exploit opportunities to harvest stormwater for reuse	i) Ensure urban renewal projects adopt leading-edge sustainable water management practices. <i>Gaining compliance of all developments with Clause 56.07 - Integrated Water Management - in Planning Schemes would also be beneficial.</i> ii) Use pilot projects to demonstrate costs and benefits, making the return on investment period for water sensitive projects transparent to potential adopters. iii) Use the Elsternwick Park project as a model water sensitive design project.
b) Increase stormwater storage capacity in Elwood	i) Investigate storage potential of broad streets. <i>Participants suggested Broadway.</i> ii) Retrofit laneways with permeable paving and bioretention. <i>Participants suggested beginning with laneways that do not have vehicle access. As laneways do not have services near the surface, they offer more flexibility for lowering or increasing permeability, e.g. removing every other paver.</i> iii) Increase the capacity of Elwood Canal, particularly near its mouth, and expand the permeable green space buffer area. <i>Participants suggested raising the banks of the canal in its lower course.</i>
c) Adopt a whole-of-catchment approach to flood management centred on continuous and responsive planning and investment	i) Pursue a formal coalition of councils around the Elster Creek catchment. <i>Build on shared community values of protecting and enhancing environmental health, much as the Association of Bayside Municipalities has done with respect to the bay.</i> ii) Achieve gradual transition in accordance with existing maintenance cycles.

D.3 GUELPH

Sources: City of Guelph master plan – final report (2006) || 2016 water efficiency strategy update (2016).

The City of Guelph continues to be a leading Canadian municipality in the field of water conservation and efficiency. Water Efficiency is recognized as a best management practice for water utilities by the Federation of Canadian Municipalities, National Research Council and the American Water Works Association. The success of Guelph's water conservation and efficiency programs has helped to protect the City's water supply. This has been achieved by reducing water demand on a daily basis as Guelph pumps less water from the aquifer which, in turn, ensures that more water is made available for future use and the current system can accommodate our reduced peak water demands. Less pumping also means less dependence on regular rainfall events to recharge the aquifer, a factor that is becoming less predictable as our climate changes. Wetlands, streams and rivers all benefit when we take less water from our natural systems as this helps keep aquatic ecosystems, including fish and aquatic plants that live in them, healthy. Community participation in Guelph's water conservation programs has not only led to reduced water demand, but also to reductions in the amount of electricity and chemicals used to treat and convey water and wastewater. The City estimates that the conservation and efficiency programs has resulted in annual operational savings of over \$534,000 per year, a significant financial benefit to our rate payers (City of Guelph, 2016). As a result of such efforts, the City's water and wastewater rates remain low and close to the median of Council approved comparable Ontario municipalities.

The following recommendations were described (here a summary) in the final report of the master plan for the city of Guelph (2006):

- Short-term recommendations;
 - ☐ Water conservation and demand management;
 - ☐ Full implementation of the water conservation and efficiency study final report (January 1999).
 - ongoing implementation of the city's peak demand management efforts ☐ maintain at all times a max day factor of 1.5.
 - expansion of the city's average day conservation and efficiency measures ☐ expectation of a 10% reduction in average day use by 2010.
- ☐ Expand existing groundwater supply system
- ☐ Establish new surface water supply – local
- ☐ Establish new surface water supply – regional
- Mid-term recommendations
 - ☐ Water conservation and demand management
 - ☐ Expand existing groundwater supply system
 - ☐ Establish new surface water supply – local
 - ☐ Establish new surface water supply – regional
- Long-term recommendations

In the water efficiency update (2016) the following 'best practices' were described:

Table 30: Summary of Water Efficiency Best Practices, Guelph's Current Action and Future Program Alternatives

Category	Best Practice	Guelph's current action
General Best Practices	Water Management Planning	• Water Conservation Department • Water Conservation and Efficiency Public Advisory Committee • Municipal Facility Upgrades: - installation of a rainwater harvesting systems - irrigation system upgrades
	Information and Education Programs	• Resources for Youth: - The Yellow Fish Road Program - Grade 2 and 8 In-school Education Programs - The Waterloo Wellington Children's Groundwater Festival - H2Awesome • Healthy Landscapes – a one-hour consultation on how to have a water efficient landscape. • Home Visits – a one hour consultation to inform residents on how to further reduce home resource use, including water conservation, and directing homeowners to further resources and tools to assist with the implementation of recommended improvements.
	Smart Metering	Preliminary research on implementation – no smart meters have been installed.

	Water Loss Control	Water Loss Management – through annual leak detection: - Sonic condition assessment - Installation of district metered areas
General Best Practices	Financial Incentive Programs	• Water Conservation Rebate Programs: • Royal Flush Toilet Rebate Program • Greywater Reuse Rebate Program • Smart Wash Washing Machine Rebate Program • Rainwater Harvesting System Rebate Program • Blue Built Home Water Efficiency Standards and Rebate Program – Bronze, Silver or Gold certification. • Industrial/Commercial/Institutional Water Capacity Buyback Program.
	Regulatory Enforcement	Outside Water Use Program – enforced by City of Guelph Water Services and Bylaw Enforcement Officers.
	Billing System Considerations	Guelph water rates are currently under review.
	Water Audits/Surveys	Can be applicable to the Industrial/Commercial/Institutional Water Capacity Buyback Program and Home Visit program.
Residential Best Practices	Water Efficient Fixtures	Royal Flush Toilet Rebate Program
	Water Efficient Appliances	Smart Wash Rebate Program
	Rules for New Construction	No current action
	Residential Water Loss	Toilet lead detection strips, at home water use and leak educational materials, and Home Audits.
Irrigation Best Practices	Water Efficient Landscaping	Healthy Landscapes – free home visits to residents of the City of Guelph and demonstration gardens. Spring Rain barrel Sale.
	Water Efficient Irrigation	Water Smart Irrigation Professional program – Guelph is a Level 1 Partner. Spring Rain barrel Sale.
	Water Reuse	No current action
	Drip/Micro-Irrigation Systems	No current action
	Low Pressure Center Pivot Sprinkler Irrigation Systems	No current action
Industrial Best Practices	Boiler and Steam Systems	Can be applicable to the Industrial/Commercial/Institutional Water Capacity Buyback Program
	Industrial Alternative Sources and Reuse of Process Water	Can be applicable to the Industrial/Commercial/Institutional Water Capacity Buyback Program
	Rinsing/Cleaning	Can be applicable to the Industrial/Commercial/Institutional Water Capacity Buyback Program
	Increasing Cooling Systems' Efficiency	Can be applicable to the Industrial/Commercial/Institutional Water Capacity Buyback Program

With the additional help of changes to the Ontario Building Code and in the marketplace, current water efficiency programming has allowed the City **to reduce its annual average day water production by 13 percent between 2006 and 2014 even though the City experienced a 13 percent increase in population during this same period.** In order to continue with successful water savings, it is necessary to periodically re-evaluate current programming and revamp or discard programming that fails to meet expected participation or water savings objectives.

Based on the stakeholder engagement, community feedback, technical reviews and research, potential programs were weighted based on the developed evaluation criteria, financial review and potential volumetric costs. The following is summary of the proposed Water Efficiency Programs to be implemented over the next 10 years (update 2016).

- Direct water savings programs

- ☐ Residential sector

- ☐ Royal flush rebate program - \$50 rebate to be provided to customers replacing toilets flushing with six litres or more with WaterSense®-certified models flushing with 4.8-litres or less (the program previously offered \$75 rebates to customers replacing 13-litre model toilets).

- ☐ Blue Built Home Water Efficiency Standards and Rebate Program – The existing three-level certification will be transitioned to a single-level program where rebates are offered for a variety of water saving fixtures and appliances to both existing and new homes if they achieve indoor demands of no more than 150 litres per capita per average day.

- ☐ Home Visits and Audits – The City will offer residents a free one-hour in-home water audit to define home specific water efficiency retrofit opportunities.

- ☐ Water Softener Rebate – A program recommended beginning in 2022, following continued research of water softener technology. A rebate of \$200 will be offered to customers who install an approved non-salt based residential water softener, or a very efficient low-salt-use ion exchange softener.

- ☐ Multi-residential sector

- ☐ Multi-residential Audit Program – The City will offer multi-residential customers a free water demand analysis of their building, including completing 24-hour data logging of water demands and visually inspecting a number of apartment suites to identify water saving opportunities.

- ☐ Multi-residential Sub-Metering Program – A new program will provide funding to companies to install permanent sub-metering in multi-residential buildings. Eligibility to participate in this pilot program will work in concert with the Multi-residential Audit Program.

- ☐ Industrial, commercial, and institutional sector

- ☐ Industrial, Commercial, and Institutional Capacity Buyback Program – The City will offer industrial, commercial, and institutional customers a free facility water audit and a one-time rebate of \$0.75 per litre per day towards capital process retrofits that permanently reduce facility water demand. Furthermore, to aid program marketing and engagement it is recommended that the current Capacity Buyback program be rebranded as the “Water Smart Business Program”.

- ☐ Municipal operations

- ☐ Municipal Facility Upgrades Program – The City will continue to lead by example and make water-saving upgrades in City buildings and conducting pilot and research projects within municipal facilities (e.g., rainwater harvesting and wastewater reuse programs).

- ☐ Water Loss Management Program – The City’s goal is to achieve and maintain distribution system leakage at the lowest economically viable level. The City utilizes District Metered Areas (considered an industry Best Management Practice) where possible to manage system leakage. The City will continue its current leak detection and sounding programs and it will commission an additional 20 district metered areas between the years of 2016-2018, bringing the total number to 27.

- ☐ Automated Meter Reading Installation – It is recommended that the City install automated meter reading starting in 2022 if the research conducted in the next five years supports installation.

- Indirect water savings programs

- ☐ Outdoor water use

- ☐ Healthy Landscapes – The City will continue to provide free home visits to residents where program staff explain how to reduce outdoor water use while maintaining a healthy and vibrant landscape.



2 Water Efficient Landscaping Incentives – In 2021 it is recommended that the City begin developing a Water Efficient Landscape Incentive program with the intention of implementing the full program beginning in 2022.

2 Public outreach/education Programs

2 Public Education – Public education programs support and facilitate participation in all other program initiatives. Education activities can include in-school programs, workshops, ads or articles in newspapers and flyers, audits, websites, television ads, and much more.

2 Mobile Application – The City will continue developing the Watr mobile water engagement application with the local startup company Focus21. This app will allow users to see their water consumption data and compare it to their peer grouping. Challenges to reduce consumption will be presented along with conservation messaging through push notifications.

2 Drinking Water Promotion – The City will continue to execute programs including the Water Wagon service with a potential to increase program capacity by adding an additional Water Wagon.

2 Outdoor Water Use Program – The City will continue with its Outdoor Water Use Program to manage peak water demands by ensuring all community members are aware of the summer outdoor water use by-law and how they can reduce their outdoor water use.

- Research programs

Table ES-1: Summary of the 10 Year Total Water Efficiency Programs Cost and per Cubic Metre Saved

Water Efficiency Programs		10-Year Program Cost	10-Year Water Savings	Cost per Cubic Metre per Day Savings	Program Savings
Direct Water Savings	Royal Flush Toilet Rebate Program	\$605,000	210	\$2,881	\$982,800
	Blue Built Home Water Efficiency Standards and Rebate Program	\$109,500	14	\$7,964	\$64,350
	Home Visits/Audits	\$122,500	65	\$1,899	\$301,860
	Water Softener Rebate	\$50,000	4	\$14,286	\$16,380
	Multi- Residential Audit Program	\$142,500	74	\$1,919	\$347,490
	Sub-metering Program	\$95,000	11	\$8,796	\$50,544
	Water Smart Business	\$2,225,000	1,500	\$1,483	\$7,020,000
	Municipal Facility Upgrades	\$602,953	220	\$2,744	\$1,028,196
	Water Loss Management	\$1,595,000	3,962	\$403	\$18,542,160
Indirect Water Savings	Automated Meter Reading Installation	\$760,000	56	\$13,620	\$261,144
	Healthy Landscapes Home Visit	\$2,411,000	N/A	N/A	N/A
	Water Efficient Landscaping Incentives	\$330,000	N/A	N/A	N/A
	Public Outreach and Education	\$1,150,000	N/A	N/A	N/A
	Mobile Applications (Watr)	\$140,000	N/A	N/A	N/A
	Drinking Water Promotion	\$150,000	N/A	N/A	N/A
	Outdoor Water Use Programs	\$300,000	N/A	N/A	N/A
Research	Water Reuse and Demand Management	\$550,000	N/A	N/A	N/A
	Water Conservation and Rebound Effects Study	\$100,000	N/A	N/A	N/A
	Water/Energy Nexus	\$60,000	N/A	N/A	N/A
	Water Softening Pilot Rebate Study	\$100,000	N/A	N/A	N/A
	Municipal Upgrades Best Practices Study	\$25,000	N/A	N/A	N/A
	Distribution System Pressure Management	\$20,000	100	\$200	\$468,000
	Automated Meter Reading Study	\$180,000	N/A	N/A	N/A
	Cooling Tower Audit Research Program	\$120,000	15	\$8,000	\$70,200
	Irrigation Audit (Water Smart Irrigation Professional)	\$27,000	30	\$913	\$138,477
	Irrigation System Rebates	\$18,000	6	\$3,042	\$27,695
Water Efficiency Strategy Implementation		\$3,775,200	N/A	N/A	N/A
Total		\$13,593,653	6,265	\$2,170	\$29,319,296

This Water Efficiency Strategy Update aims to achieve the following:

- 2 Continue to increase the awareness and consumer perception of the value and importance of a safe, dependable water supply,
- 2 Promote innovation and research new emerging water efficiency technologies,
- 2 Achieve a reduction in annual average day production of 6,265 cubic meters per day by 2027,

contributing to the 2038 target of a reduction in annual average day production of 9,147 cubic meters per day,

- Provide a financial net benefit of approximately \$15.7 million in deferred water and wastewater capacity expansion,
- Assist with keeping water rates low by ensuring efficiencies within Water Services, and
- Eliminate the need for a Guelph Lake Water Treatment Plant and a final expansion of the wastewater

treatment plant (valued at approximately \$37 million in the 2014 Water Supply Master Plan).

Throughout the update process, a common theme emphasized via public consultation in general was the importance of innovation and the necessity to pursue new technology to allow for future potential in water efficiency. The recommendations outlined in this report are not only projected to achieve the targets set out in the 2014 Water Supply Master Plan, but allow for further research and innovation with the intent to progress water efficiency and develop new measures and programming that can be utilized to achieve future water savings.

It is anticipated that this plan will be revised in 2022 following the revision of the 2014 Water Supply Master Plan. At this time, if new water reduction targets are set, the programs set for implementation in 2022 and beyond will be reviewed to ensure they are still relevant based on market changes and programming requirements.

D.4 MELBOURNE – City West Water

Source: Integrated water cycle management strategy – City west water || urban water 2017 – City west water.

We need access to enough water to meet basic human needs and to support a healthy environment and economy. Without water, trees and vegetation cannot provide the range of ecosystem services that assist in creating a truly liveable city, such as: temperature regulation; air quality improvements; carbon storage; habitat; and stormwater, waterways and catchment benefits. Greener urban environments can offer low-cost preventive strategies to improve community health, reduce heat stress, increase amenity and foster social cohesion.

This Urban Water Strategy seeks to identify how the supply-demand balance for water might change over the next 50 years and what measures we need to take to:

- understand, and potentially modify, the emerging demand for water;
- manage, and develop as required, options for the supply of water to most effectively and efficiently meet the emerging demand.

Vision and principles:

1. Achieve Water Security	• Improve the security of potable supplies through the provision of alternative water supplies including recycled water, and stormwater sources, aiming to maximise potable water substitution. • Water consumption per capita is limited to 240 litres per person per day (including residential, non-residential and non-revenue consumption) and 160 litres per person per day for residential drinking water use. • Promote the efficient use of all water resources.
2. Support Economic Prosperity	• Enhance project outcomes from a triple bottom line perspective whilst maintaining long term business viability. • Plan for projects that support residential and business growth.
3. Environmental Protection	• Manage the impact of activities on any waterway, aquifer or wetland to minimise environmental impacts on, and risks to, the aquatic ecosystem. • Assist to maintain and restore valuable natural assets to promote biodiversity. • Minimise activities that impact on the broader environment (nexus with other sustainability agendas such as energy consumption, resource recovery, etc.).
4. Collaborative Planning	• Collaborate with Government agencies, Local Government, the Water Industry and the public and private sectors to take into account regional needs and optimise outcomes. • Engage with customers and broader stakeholders to better understand their expectations; and support the vision outlined in the Greening the West initiative to enable sustainable, liveable and healthy communities through urban greening. This will be achieved through exploring and implementing IWCM initiatives.

Key directions?

1. Managing growth

-optimizing utilization of recycled water through construction of a recycled water supply network throughout growth areas;

-optimizing utilization of stormwater through localized harvesting for irrigation of public open space and schools;

2. Maintaining water within the landscape:

-mitigate the impact of the heat island effect by maintaining healthy trees, parks and gardens ;

-support greening the west by identifying sustainable water supplies to maximize urban greening;

3. Integrated water cycle management infrastructure:

-planning infrastructure to achieve multiple benefits;

-designed to address: water supply, sewerage, drainage, flood management, stormwater quality, amenity;

-integrating water cycle infrastructure into the urban landscape to improve the quality and functionality of green space.;

4. Cost effectiveness;

5. Stakeholders.

Current practices:

- drinking water supply:

Melbourne's water supply uses water harvested from a range of sources within the south-central region of Victoria. Most of Melbourne's drinking water comes from protected and forested catchments to the north and east of the city that stretch along the Great Divide, from Wallaby Creek in the west, to Thomson Reservoir in the east.

- Alternative water supply:

-Where does it come from?

City West Water supplies alternative water to its customers from various sources, including recycled water from treatment plants, and stormwater harvested from stormwater drains. We currently supply approximately 2.5GL of alternative water per annum to a range of customers across a number of schemes.

-integrated water management (IVM) opportunities

As outlined in Water for Victoria the Government has developed a new integrated water management planning framework to guide the development of place-based integrated water management plans. In order to consider the benefits of an integrated approach, we have mapped some opportunities we are already considering. Figure 15 shows the areas where we need to consider more than just water supply, but also wastewater management, stormwater management and healthy and valued urban landscapes.

-western growth areas

-established areas

- managing water usage

-water efficiency programs

City West Water provides accessible water efficiency programs and water conservation messaging to help, remind and assist our customers to do their part in saving water. City West Water aims to offer tailored, cost effective programs and incentives to enable long-term sustainable water efficiency. While our customers have become more aware of their personal water use, population growth and climate change will continue to place upward pressure on demand.

City West Water will intensify water efficiency programs and will take additional measures depending on the water availability situation. City West Water aims to assist business customers to improve operational efficiency, understand their water usage, identify innovative ways to save water, and ultimately reduce their costs. A range of programs have been offered in the past and have had great success in reducing both water and energy usage.

- Managing wastewater services

City West Water collects wastewater from residential and non-residential customers – including trade waste) from major industrial and commercial customers, such as restaurants and hotels. Some stormwater and ground water undesirably makes its way to the sewerage network – this is known as rain dependent inflow and ground water infiltration. Wastewater from residential and commercial

customers is usually estimated and the remaining volume is attributed to an “unaccounted” category (i.e. wastewater whose source has not yet been established).

-wastewater discharge and treatment

CBD cathment

-treating wastewater and using re-cycled water

Of the sewage volume produced within City West Water’s boundary, 94% is transferred to Melbourne Water for treatment at its Western Treatment Plant. The remaining 6% of sewage volume is received and treated at City West Water’s owned and operated Altona Treatment Plant (ATP). In 2015/16, the Western Treatment Plant received 87 GL of City West Water’s sewage (238 ML per day average). The ATP treated 5 GL in 2015-2016 (14 ML per day average).

-wastewater quality management

Actions

In the Urban water Strategy 32 actions are described:

Following is a summary of the full set of actions identified above and the timeframes within which those actions are to be taken.

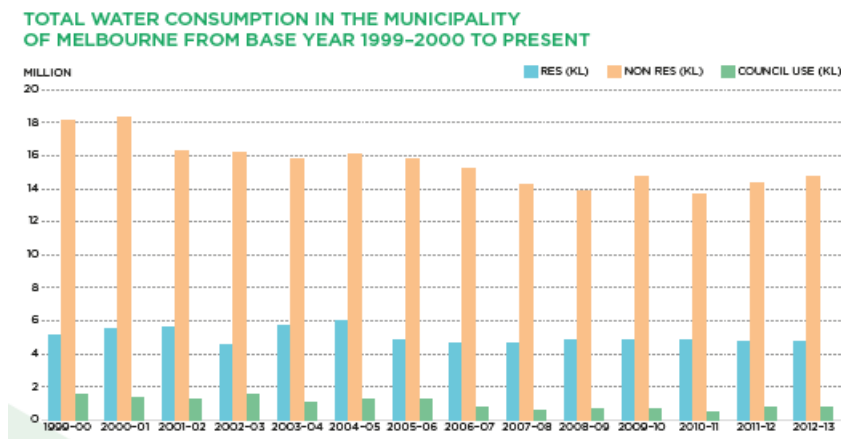
ITEM #	URBAN WATER STRATEGY STRATEGIC PRIORITY	ACTION	ORGANISATION	TIMING
Reliability and quality of water and wastewater services				
1	Responding to trends in supply and demand for water	Enhance City West Water's understanding of long-term trends in regional water resource availability by participating in DELWP-led Central Region Sustainable Water Strategy review and Long Term Water Resource Assessment.	DELWP in collaboration with water corporations	Ongoing commitment
2	Responding to trends in supply and demand for water	Publish an Annual Water Outlook to meet community expectations to be more proactive, engaging and accessible.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	Annually, by 1 December (next edition December 2017)
3	Responding to trends in supply and demand for water	Collaborate in a water industry working group for the development and improvement of demand forecasting methods and tools, with an objective to support the development of consistent water and sewage demand forecasts at hourly, daily, seasonal and annual scales.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	Ongoing commitment
4	Responding to trends in supply and demand for water	Review desalinated water order process in consultation with DELWP to ensure we optimise the costs and benefits from the investment.	Melbourne Water, City West Water, retail water corporations	September 2017
5	Managing and developing sources of water	Support DELWP in the south central market trial and the development of the grid oversight function.	Melbourne Water, retail water corporations, regional water corporations, DELWP, VEWI, Southern Rural Water	Ongoing commitment

6	Managing and developing sources of water	Evaluate long-term water supply options that could supply water to Melbourne and the surrounding region, taking into consideration community preferences.	City West Water will collaborate with MW and DELWP to assist with demands	June 2021
7	Managing and developing sources of water	Strive to deliver 9.7 GL per year of alternative water by 2065 – in line with current plans for growth areas (including existing 2.5 GL per year supply as of 2015-16). City West Water's aim is to explore opportunities in established areas which have a potential to substitute 6 to 8 GL per year of drinking water.	City West Water	Long term action
8	Managing and developing sources of water	Review City West Water's Integrated Water Management Strategy to ensure alignment with UWS.	City West Water	June 2017
9	Managing and developing sources of water	Develop a prototype industry based water resource assessment model to provide integrated view of our future supply and demand balance – e.g. eWater Source.	City West Water	December 2017
10	Making every drop count	Support research directions emerging from Water for Victoria , including through a study into the economic costs of water restrictions. The objective is to build a shared understanding of the following complex considerations of water restrictions: • potential liveability impacts • economic costs • community perspectives • potentially modest water savings.	DELWP in collaboration with water corporations	Ongoing commitment
11	Making every drop count	Enhance the metrics to identify target behaviours and report consumption through more robust classification systems that facilitate focusing on the industry sectors where there is greatest opportunity to improve water efficiency.	City West Water in collaboration with project stakeholders	End of 2018
12	Making every drop count	Commit to supporting the efficient use of water across the community. By 2022, City West Water is forecasting demands of: • 230 litres per person per day for total water use across Melbourne (includes both residential and non-residential use) • 150 litres per person per day for residential only water use. City West Water will publish our performance and actions in the Annual Water Outlook.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	December 2022

13	Making every drop count	Deliver initiatives for effective management of non-revenue water and manage water losses to an economic level.	City West Water	Ongoing commitment
14	Managing the environmental impact of treated wastewater	Update projections for sewage collection based on the outcomes from the collaborative Demand Forecasting and Capacity Planning Improvement Project and develop an ongoing improvement plan for forecasting and capacity planning.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	June 2017
15	Managing the environmental impact of treated wastewater	Collaborate with Melbourne Water, Yarra Valley Water and South East Water to develop Melbourne's sewerage strategy.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	September 2018
16	Managing our investment in assets and resources	The water industry will consider all benefits of alternative water projects when developing business cases based on the scenarios from the urban water strategies and will work to ensure alignment of implementation across the industry.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	Ongoing commitment
17	Managing our investment in assets and resources	The industry will quantify further benefits on liveability outcomes and health benefits and review the principles of recycled water and stormwater pricing for inclusion in business cases.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	End of 2019
18	Managing our investment in assets and resources	Work with Melbourne Water through regular review of average and peak demand, seeking efficiencies by avoiding (where prudent) capital infrastructure upgrades for the water and sewer network.	City West Water and Melbourne Water	Ongoing commitment
19	Managing our investment in assets and resources	Commit to innovation to deliver smart and efficient services and optimise existing investment in assets and management systems. Work towards determining the viability of upgrading our meter fleet to digital meters.	City West Water in collaboration with retail water corporations	2017/18
20	Managing our investment in assets and resources	Commit to exploring opportunities to determine real time monitoring of our network and customers' usage of water.	City West Water	Ongoing commitment
21	Managing our investment in assets and resources	Develop a Climate Resilience Strategy by June 2017. This strategy will include commitments to undertake the following: - proactively reducing the risks climate change poses to our customers, assets and staff - educating our customers on climate change and engaging with them to deliver services and infrastructure that take account of customer expectations - integrating future climate change scenarios into our planning - establishing a monitoring and evaluation process for climate resilience.	City West Water	June 2017
22	Managing our investment in assets and resources	Reduce our total carbon emissions by 80% (compared to our baseline) by 1 July 2025 and adopt a leading pathway to achieve net-zero emissions by 2030.	City West Water	2030

23	Partnering and leading for the benefit of the community	Actively support DELWP in the formation and delivery of the IWM forums and plans.	City West Water	Ongoing commitment – from 2017
24	Partnering and leading for the benefit of the community	Review where we can have the greatest influence on the targets of the United Nations Sustainable Development Goals both as an individual business and as a partner with other metropolitan Melbourne water corporations.	City West Water	2017/18
25	Partnering and leading for the benefit of the community	Review Drought Preparedness Plans every five years and work with Councils to identify priority public assets to meet liveability outcomes.	City West Water in collaboration with stakeholders	March 2018
26	Partnering and leading for the benefit of the community	Maximise learnings from <i>The Best Practice Guidelines for Functional Open Space</i> by providing practical tools to encourage open spaces to be irrigated in the most efficient way. This includes partnering with water utilities across Australia to develop an irrigation management tool.	City West Water in collaboration with stakeholders	Ongoing commitment
27	Engaging with general community	Deliver on our customer and community engagement strategy by: - building on existing customer committees for deep engagement on specific campaigns - broadening consultation through <i>YourSay</i>, expanding the <i>Voice of the Customer</i> program and social media - building on existing partnerships to enhance social connectedness, in particular with culturally and linguistically diverse and vulnerable customers - enhancing water literacy program and give recognition to Indigenous values for water.	City West Water	Ongoing commitment
28	Engaging with general community	Support and improve our current water education programs, such as community education, school learning and National Water Week.	City West Water	Ongoing commitment
29	Engaging with general community	Continue to engage with the community to ensure we reflect their needs and expectations in our water supply planning.	City West Water	Ongoing commitment
30	Engaging with general community	Actively support programs that encourage drinking of tap water through <i>Choose Tap</i> and our water fountains.	City West Water	Ongoing commitment
31	Engaging with Aboriginal community	Work collaboratively across the water sector to develop long term meaningful relationships with the Traditional Owners in the Greater Melbourne region – the objective being to better integrate cultural water needs into water resource management, and ensure their contribution to the future of water management. We aspire to create relationships and actions that enable the co-design, co-development and co-management of water resources.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	Ongoing commitment
32	Delivering the strategy	Implement a UWS industry working group to oversee the implementation of the actions set out in this plan and report progress through the Annual Water Outlook.	City West Water, Melbourne Water, retail water corporations	Upon launch of UWS and MWSS

Total watermark – city as a catchment – city of Melbourne



Successes across the municipality since 2008:

- Water restrictions and government campaigns such as Target 155 have changed behaviour, reducing water usage.
- Residents have reduced water consumption by purchasing efficient fittings and appliances; choosing drought tolerant plants; recycling household grey water and installing rainwater tanks.
- The Office of Living Victoria has been formed to drive generational change within the sector.
- The water authorities have worked on developing integrated water management plans.

City of Melbourne's successes since 2008.

We have:

- Implemented several large stormwater harvesting schemes including those located in: Fitzroy Gardens, Darling Street East Melbourne, the Docklands development, Birrarung Marr, and Alexandra and Queen Victoria Gardens. This has reduced stormwater pollutants such as Total Nitrogen by 32 per cent and decreased our reliance on mains water by 363 million litres.
- Implemented an extensive drought proofing program in open spaces including converting turf to warm season grasses, installation of storm water harvesting tanks and major changes to irrigation practices and systems.
- Incorporated water sensitive urban design into many of our streetscapes.
- Reduced water use in council-owned buildings through efficient fittings and toilets, improving fire sprinkler-testing regimes, cooling tower efficiencies and rainwater harvesting.
- Encouraged building owners and managers to retrofit their buildings and reduce water use through our 1200 Buildings program.

D.4.1 WATER SCARCE CITIES

The World Bank's Water Scarce Cities (WSC) Initiative is an innovative undertaking that offers a holistic perspective to urban water security in scarcity conditions. With a host of experiences and extensive global reach, WSC is working towards shifting mindsets across the world, demystifying urban water management, and engaging with water scarce cities to develop concrete solutions.

The objective of this initiative is to bolster awareness of integrated approaches to managing water resources and service delivery in water scarce cities as the basis for water security and climate resilience.

This will be achieved by:

Generating knowledge on improved urban water management approaches in a water scarcity context, building on the review of water scarce cities experiences around the world. In particular, case studies will be prepared to review how cities around the world tackle water scarcity and manage to secure sustainable and resilient urban water supplies. The case studies will describe the nature of the local challenge from a water resources perspective, the technical solutions, costs and institutional mechanisms put in place. They will analyze the political economy around their adoption, identify the drivers of change and analyze how governance, capacity or technological challenges were addressed, and ultimately draw lessons and recommendations applicable to other cities facing water scarcity challenges.

Facilitating multi-stakeholder dialogue, knowledge flow and collaboration through establishing a global network of practitioners and experts on the subject of urban water management in water scarce regions. This would include state/local government, water agency and utility managers with firsthand experience dealing with water scarcity or interest in exploring new approaches, and academic think-hubs that are fostering knowledge flows, in order to bring that experience to our countries, cities and utilities most in need.

Supporting concrete engagement to support water scarce cities, including through the facilitation of technical assistance in interested cities. This support could include assessing current water resources management approaches, identifying opportunities based on knowledge generated through the initiative, or incentivizing the application of innovative approaches.

Case studies? (website World Bank)

-Marrakech

- Investing in non-conventional solutions: Marrakech was able to negotiate with golf resort developers and the tourism industry and made them understand that it was in everyone's interest to manage water sustainably. As a result, the city turned to wastewater treatment and reuse for the water supply of the golf resorts. Political support, particularly from the central government of Morocco, was instrumental in backing this approach. The wastewater treatment plant (including tertiary treatment) and transmission systems to the resorts became operational in 2012. Promoters of the golf resort projects signed bilateral conventions with the utility under the authority of the regional governor, each indicating the estimated volumes of water needed. In order to deter the resorts from tapping into the aquifer as a more economic option, the conventions stipulated that resorts would be billed for at least 80% of the volume requested at the onset of the project, regardless of the actual consumption.
- Plugging the leaks before you fill the tub: In the early 2000s, Marrakech's water service provider RADEEMA faced high losses, losing close to 40% of the water put into the city's water system. The national bulk water provider, ONEE, stipulated that RADEEMA should start addressing this issue as a condition to maintaining its water allocation level. RADEEMA took strong measures to curb losses, bringing them down to a current level of 27% and aiming for a target of 20% in the longer term.

-Orange County, California

Paving the way for a more resilient water system, authorities in northern and central Orange County have partnered to develop imaginative approaches to reducing dependence on imported water. The main goal is to protect the groundwater. To this end, the Orange County Water District (OCWD) was created as a collaborative effort to manage the aquifer on behalf of their client agencies, and now focuses on adapting local water systems to meet future projected needs. There are two key features of OCWD's multifaceted strategy to efficiently use every drop: wastewater reuse and groundwater basin governance.

Wastewater reuse

Boasting the largest planned indirect potable reuse system in the world, OCWD's Groundwater Replenishment System (GWRS) captures and reuses recycled water that has been treated to exceed federal and state drinking water standards. The System was implemented after carefully weighing the tradeoffs between collaboration and avoiding the costly construction of a second pipeline that disposes treated wastewater into the ocean several hundred feet below the water surface. The Orange County Sanitation District (OCSd) served as a key partner in helping Orange County fund the System instead of building a second ocean disposal pipeline. To overcome the hurdle of the negative perception of reusing wastewater, a community education campaign was developed to help rethink the concept of recycled water. OCWD also enhances water resilience with an integrated approach that includes: monitoring and regulation of groundwater levels; investing in regional stormwater capture projects; preventing seawater intrusion by injecting water^[1] along the coast to build a water barrier between freshwater and seawater, to protect water quality, and to maximize the ability to capture as much stormwater as possible during large storm events, to prevent storm water from flowing into the Santa Ana River; and offering financial incentives to encourage groundwater producers to reduce pumping.

Groundwater basin governance

The creative case of pursuing water sustainability in Orange County may serve as an example of an integrated water paradigm that presents tools and guidance to other urban centers, particularly including cities in developing countries. OCWD's focus on groundwater basin governance through a diversified recharge strategy not only protects the quality of water in the aquifer from seawater intrusion, but also increases the storage capacity of the basin over time. The Orange County case is an example of alternative water management approaches through an innovative blend of technology, local source development projects, policy, and enhanced stakeholder coordination driven by two critical factors:

- Collaboration among regional stakeholders through a unifying authority devoted to groundwater basin management, as well as cooperation between regional water and sanitation districts, to yield fruitful water management results.
- Diversification and development of local water resources to reduce demands on water import, improve the water portfolio, and decrease the financial and energetic cost of water delivery.

D.5 ROTTERDAM

Source: waterplan 2 – gemeente Rotterdam || Herijking waterplan 2 Rotterdam (2013)

Algemeen

Het perspectief voor Rotterdam Waterstad 2030 is gebaseerd op enerzijds het versterken van bestaande kwaliteiten en anderzijds op het slim inspelen op nieuwe ontwikkelingen. Het perspectief Rotterdam Waterstad 2030 is derhalve niet een onbereikbaar toekomstvisioen, maar maakt gebruik van ingrediënten en kwaliteiten die reeds in Rotterdam aanwezig zijn: sommige zichtbaar, andere latent. Het aansluiten bij en uitbouwen van bestaande kwaliteiten is een strategie die aansluit bij het ‘olievlekprincipe’ uit de Rotterdamse Stadsvisie.

Het hoofddoel van Waterplan 2 is: de verschillende wateropgaven oplossen en tegelijkertijd een bijdrage leveren aan een aantrekkelijke en klimaatbestendige stad. Om dit te verwezenlijken zijn vijf ‘beslissingen van wezenlijk belang’ geformuleerd.

- Aantrekkelijke stad: gezamenlijk met alle stakeholders zoeken naar oplossingen voor waterproblemen, en daarmee de stad ook aantrekkelijker, economisch sterker en meer leefbaar maken.
- Bescherming: Rotterdam beschermen tegen overstroming, zowel in binnendijs als buitendijs gebied, nu en op de lange termijn.
- Schoon water: de Rotterdamse wateren helder en plantenrijk maken.
- Riolerings: zorgen voor een goed functionerende riolering, essentieel voor de waterstad.
- Samen: gemeente en waterschappen, maar ook bedrijfsleven, kennisinstellingen en bewoners, gaan samen aan de slag om dit te realiseren.

☐ drie hoofdgebieden: Rivierstad, noord en Zuid. tussen deze drie gebieden verschillen zowel de hoofdwatersystemen als de stedelijke condities dusdanig van elkaar dat ook de oplossingsrichtingen en te volgen strategieën anders zijn.

Rivierstad

De strategie voor Rivierstad stelt nieuwe voorwaarden waaronder je deze gebieden kunt ontwikkelen en beheren. In het buitendijkse gebied moet worden ingespeeld op de verwachte stijging van de zee- en rivierspiegel. De meest behoudende aannames gaan uit van een relatief beperkte stijging van enkele decimeters over de hele 21e eeuw. Maar er zijn ook berichten dat het, als gevolg van het smelten van de ijskappen, meer kan worden. Aangezien we alleen weten dat het water zal stijgen, maar niet precies hoeveel, zullen ingrepen in het buitendijkse gebied zodanig moeten worden vormgegeven dat er altijd de mogelijkheid is om de hoofdwaterring verder op te hogen en/of te versterken. De verdichtingsopgave in het buitendijs gebied zal zo gestalte moeten krijgen dat er voldoende ruimte blijft voor de adaptieve strategie voor de hoofdwaterring. Dat kan ingevuld worden door letterlijk ruimte over te houden voor verdere dijkophoging, maar ook door nieuwe dynamische rivierwoonmilieus te realiseren. tegelijkertijd moet er een goede aanhechting ontstaan tussen de bestaande stad en de nieuwe riviermilieus in het buitendijs gebied. Dat betekent dat de barrièrewerking van de dijk moet worden opgeheven, zonder de mogelijkheid eventuele dijkverhogingen in de toekomst te frustreren, maar ook zonder braakliggende niemandslanden tussen de oude en nieuwe stad te laten ontstaan.

Noord

De strategie voor noord bestaat uit het zoveel mogelijk vasthouden en vertragen van het regenwater. Daar waar de ruimte schaars is, zoals in de binnenstad en de oude stadswijken, wordt ingezet op innovatieve oplossingen. Daar waar de kwaliteit reeds bestaat uit boezems en singelmilieus wordt (waar het kan) ingezet op het versterken en waar mogelijk uitbreiden hiervan. Een voorbeeld hiervan is het gebied Groot Kralingen. Belangrijke kwaliteiten van Groot Kralingen zijn

natuurlijk het Kralingse Bos en het rustig stedelijke woonmilieu in Kralingen. Daar waar nieuwbouw (zoals op de stadskwekerij of het veilingterrein) of herstructureringen (zoals in Jaffa of delen van crooswijk en Oud-Mathenesse) gaan plaatsvinden is het uitbreiden van het singelmilieu een logische keuze. Ook de herstructurering van bedrijventerreinen biedt de mogelijkheid om een robuuster watersysteem te realiseren. noord wordt tenslotte gekenmerkt door een groot aantal uitbreidingslocaties, zoals nesselande, Park Zestienhoven en Schieveen. De opgave voor al deze gebieden (voor zover dat niet reeds geregeld is) is vooral het opnemen van water als een belangrijke kwaliteitsdrager van het plan.

Zuid

Dit dynamische waternetwerk levert op twee specifieke terreinen een grote bijdrage aan de herstructureringsopgave op Zuid. ten eerste vormt het een belangrijke basis voor de realisering van geheel nieuwe en onderscheidende, waterrijke woonmilieus op Zuid, met name in de Zuidelijke tuinsteden. ten tweede biedt het de mogelijkheid tot, en is het de aanleiding voor, een nieuwe verbinding van dit waternetwerk met het natuur-en recreatiegebied tussen Rhoon en Portugaal. Die verbinding is waterhuishoudkundig noodzakelijk om water in tijden van droogte vanuit Midden-IJsselmonde naar Rotterdam te kunnen inlaten en genereert tegelijkertijd een aantrekkelijke vaar-en recreatieve verbinding tussen Rotterdam Zuid en (de landschappelijke kwaliteiten van) Midden-IJsselmonde.

Hiernaast wordt voor Oud-Zuid, dat vooral bestaat uit dichtbebouwde, vooroorlogse wijken, eenzelfde strategie toegepast als in de oude stadswijken op noord: een veelheid van innovatieve oplossingen als waterpleinen, waterdaken, water onder gebouwen et cetera, in combinatie met, waar mogelijk, nieuw te graven singels.

De kern van de Rotterdamse strategie voor klimaatadaptatie:

1. Robuust systeem: behouden en versterken

Voor een klimaatbestendige stad kunnen we blijven vertrouwen op ons systeem van stormvloedkeringen en dijken, singels en plassen, boezems, riolen en gemalen. Ook in de toekomst onderhouden en verbeteren we deze essentiële infrastructuur, waarbij we de verzamelde kennis over de kwetsbare plekken in de stad gebruiken om deze inzet te optimaliseren. Het voorkomen van uitval van vitale (nuts)voorzieningen in het buitendijkse gebied, in stad en haven, is een bijzonder aandachtspunt. Het is de robuuste basis van een klimaatbestendig Rotterdam.

2. Adaptatie: benutten van de stedelijke ruimte

Maar er is meer nodig. Het bestaande systeem gaat haar grenzen bereiken als de waterstanden in de Maas hoger worden, hevige neerslaggebeurtenissen toenemen of perioden van droogte en hoge temperatuur langer aanhouden. Op sommige plaatsen in de stad zien we dat al. Vandaar dat het nodig is om aanvullend adaptieve maatregelen te treffen. Adaptatie houdt in dat we zoeken naar oplossingen in de hele stedelijke ruimte die het systeem ontlasten en veerkrachtig maken. De 'sponsfunctie' van de stad wordt hersteld met maatregelen die het regenwater vasthouden waar het valt, bergen en vertraagd afvoeren. Zoals waterpleinen die de riolering ontlasten, infiltratiezones langs infrastructuur en het inpassen van bomen en groen in de buitenruimte (zowel openbaar als privaat) wat ten goede komt aan het stadsklimaat. Door deze kleinschalige maatregelen veelvuldig toe te passen in de 'haarvaten van de stad' verkleinen we de kwetsbaarheid van Rotterdam.

3. Samenwerken en mee-koppelen

Het onderhouden van het huidige robuuste systeem, zoals dijken, singels en riolering is ook in de toekomst een taak en verantwoordelijkheid van overheden. Naast de gemeente spelen waterschappen en het rijk een belangrijke rol. Denk aan het nationale Deltaprogramma dat op nationaal niveau de noodzakelijke keuzes bepaalt voor waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. Maar klimaatadaptatie in de stad veronderstelt meer. De instandhouding van veel vitale nutsvoorzieningen is in handen van onze stedelijke partners. Zo mogen energievoorziening, (drink)watertoevoer en ICT-netwerken niet langdurig uitvallen en is het noodzakelijk dat deze robuust zijn bij extreme weersomstandigheden. De meeste gebouwen en terreinen zijn privaat bezit.

Adaptatiemaatregelen toepassen in zowel de publieke als private stedelijke ruimte vereist ook daarom samenwerking met andere partijen.

4. Meerwaarde voor leefomgeving, samenleving, economie en ecologie

Langs deze weg biedt klimaatadaptatie volop mogelijkheden voor het versterken van de economie van stad en haven, voor het verbeteren van de leefbaarheid in buurten en wijken, voor het vergroten van de biodiversiteit in de stad en voor een betrokken en actieve deelname van Rotterdammers aan de samenleving. Samen werken aan een klimaatbestendige stad levert de stad wat op!

Doelen klimaatbestendig Rotterdam:

In Rotterdam kijken we samen vooruit naar de toekomst. Concreet willen we het volgende bereiken:

- De stad en haar inwoners zijn veilig voor het water. We willen dat Rotterdam en haar inwoners beschermd blijven tegen het water uit de zee en rivieren en dat het investeringsvertrouwen in deze stad en regio in stand blijft.
- De stad en haar inwoners ondervinden minimale hinder van te veel of te weinig neerslag. We willen dat Rotterdam is opgewassen tegen extreme weergebeurtenissen zoals heftige regenbuien en periodes van hitte en droogte. Daar werken we al aan samen met de partners van het Waterplan van Rotterdam en dat zullen we voortzetten.
- De Rotterdamse haven blijft veilig en bereikbaar. Onze inspanningen zijn erop gericht dat Rotterdam een bereikbare stad blijft voor mensen, goederen en dienstverlening. De vitale stedelijke (nuts)netwerken zijn robuust en ook extreme weergebeurtenissen leiden niet tot onbeheersbare situaties.
- De inwoners van Rotterdam zijn zich bewust van de effecten van klimaatverandering en weten wat zij kunnen doen. Inwoners en bedrijven in Rotterdam zijn zich bewust van de gevolgen van klimaatverandering, kennen hun eigen verantwoordelijkheden en weten welke handelingsmogelijkheden zij zelf hebben. De gemeente stelt hen in staat hun verantwoordelijkheid te nemen.
- Klimaatadaptatie draagt bij aan een comfortabele, leefbare en aantrekkelijke stad. We willen dat Rotterdam een stad blijft met een prettig verblijfsklimaat waar klimaatverandering minimale invloed heeft op de gezondheid en het welzijn van haar inwoners. De maatregelen die dit garanderen dragen direct bij aan een aantrekkelijke en leefbare stad.
- Klimaatadaptatie versterkt de Rotterdamse economie en haar imago. Rotterdam wil economisch profiteren van het klimaatbestendig maken van de stad. Klimaatadaptatie zorgt voor nieuwe economische impulsen in de stad en versterkt het internationale imago van Rotterdam als vooruitstrevende deltastad. Rotterdam toont daarin leiderschap naar andere steden.

Uitvoeringsprogramma 2013-2018

Er zijn drie soorten maatregelen:

- Verbetering van het watersysteem met oog voor waterveiligheid, waterkwantiteit, waterkwaliteit en de afvalwaterketen.
- Maximaal gebruikmaken van het raakvlak van water en stedelijke kwaliteit.
- Zoeken naar kansrijke innovaties en alternatieven.

Op basis van het uitvoeringsprogramma 2013-2018 is een projectoverzicht gemaakt. Dit is een dynamisch document dat jaarlijks wordt bijgewerkt en bestuurlijk vastgesteld. Het actuele projectoverzicht is te vinden op www.rotterdam.nl/waterloket.

4 thema's

Waterveiligheid:



Bij waterveiligheid gaat het de komende uitvoeringsperiode vooral om toetsen en versterken van waterkeringen en uitwerken van het waterveiligheidsbeleid voor het buitendijks gebied. Afstemming met het Deltaprogramma is hierbij noodzakelijk.

Waterkwantiteit

☐ Wateroverlast in beeld

☐ Grondwater

Waterkwaliteit

Afvalwaterstromen

D.6 GERMANY

Title: Smart and Multifunctional infrastructural systems for sustainable water supply, sanitation and stormwater management – NaWaM INIS

- Integrated concepts for water, wastewater and energy

netWORKS 3

The providers of municipal water supply and wastewater disposal face great challenges in adapting infrastructural systems to meet the challenges brought about by climate change, rising energy costs and demographic changes. Innovative, novel systemic solutions that could be applied are not yet in common or wide-spread use because of societal and institutional barriers and difficult decision-making processes. The objective of netWORKS 3 is to support municipalities and the water management sector as they attempt to convert their urban water management systems.

Residents' experiences with greywater recycling and heat recovery:

In order to find out how much experience residents already have with greywater recycling and heat recovery, 45 households from four Berlin housing complexes utilising greywater and partial heat recovery were surveyed using semi-structured interview techniques. It was revealed that from the point of view of the residents, the plant functioned unobtrusively and was, by and large, regarded and assessed positively. For most of those interviewed, the quality of the water to be used for flushing the toilets was acceptable. For them, the ecological advantages of the plant play a considerably more important role than the potential for financial savings. However, some of those interviewed would like more background information on both aspects.

The interviews also show that the interest, needs and assessments of the residents with regard to the different wastewater systems are very heterogeneous. Moreover, the results indicate that ecologically oriented building associations show great willingness to implement innovative wastewater systems.

TWIST++

The necessity to adapt urban and rural water infrastructure systems in the face of the grand challenges is obvious. At the end of the transition pathway stand sustainable infrastructures with a high degree of flexibility and more efficient water, energy and resource use. In consequence, the collaborative research project TWIST++ is concerned with the development of new and sustainable concepts of urban water infrastructure systems, together with the relevant technical components; the development of a planning support and data maintenance system as well as the design of a serious game (simulation game), which also includes an evaluation tool to assess the sustainability of water infrastructure systems. The planning tools support renewal and conversion planning to make the transition from today's infrastructure concepts towards innovative and more sustainable integrated ones. As an additional tool, the serious game offers an opportunity to get to learn about and understand such new infrastructure system concepts intuitively. Using these tools, sustainable concepts will be developed and assessed specifically for three model areas. Additionally, drivers for and obstacles to the implementation of these innovative concepts, will be identified based on the analysis of the institutional context and the transferability of the concepts to other sites will be evaluated and assessed.

- Concepts and systems for a secure water supply

NAWAK project

The objective of the research project NAWAK is to examine the effects of climatic and demographic changes on water management in selected regions. Its focus is on future implications for water availability and water demand. Based on this research, it aims to develop possible adaptation strategies for the water management sector and its infrastructure.

- Adaptation and optimization strategies for urban drainage
- Kuras

Urban spaces need drainage and rainwater management concepts that guarantee safe disposal while also contributing to the solution of environmental problems closely linked to urban hydrology. The development of strategies to adapt the relevant urban infrastructure to cope with the consequences of climate change and other future changes is already well underway. However, investigations that examine in greater depth the effectiveness and optimization of concrete measures and their adjustment to institutional requirements are needed before the strategies can be implemented and put into operation. These measures affect drainage planning as well as building, open space and environmental planning and the creation of incentive systems.

The KURAS project examines, describes and characterizes the effects of measures and actions aimed at adapting the urban wastewater and stormwater system. These investigations are extensive and cross-scale, with the aim of developing and demonstrating concepts for sustainable management of wastewater and rainwater.

- Processes for sustainable wastewater treatment
- NidA200: innovative wastewater treatment
- Roof water-farm

D.7 MaRIUS

Title: Resilient drought and water scarcity management in England and Wales in 2065

Context:

One element of the MaRIUS project is to explore and review options for drought management practice in England & Wales beyond the existing regulatory framework and to discuss qualitatively the potential effectiveness of and constraints upon these options with stakeholders. For this purpose, an explorative scenario building workshop was chosen. This is based on the assumption that it benefits the whole project to have different scenarios for drought and water scarcity management available. The explorative scenario building method offers:

- the possibility to develop explorative scenarios for drought management
- the opportunity for unconstrained blue sky thinking about drought management options based on the question ‘What can happen?’.
- to be useful in cases where there is fairly good knowledge regarding how the system works at present, but one is interested in exploring the consequences of alternative developments in drought management

In order to include and reflect the results of other MaRIUS workstreams about half of the workshop participants were researchers from the project. The other half of the participants was represented by water companies, water consultancies, the energy sector and representatives from the regulatory bodies DEFRA, EA and Ofwat. To a large extent the participants were recruited from the MaRIUS Stakeholder Advisory Group. The diversity of participants guaranteed that a comprehensive water expertise, ranging from policy, economic aspects, to modelling and water quality, was represented. The workshop took place on 15th September 2016 at the Centre for Socio-Legal Studies, University of Oxford.

Conclusion MaRIUS:

Local measures can also promote water quantity, i.e. keeping river flows at a level that can sustain the ecology. One important forward looking measure, often overlooked, is to require water efficiency measures in new developments. In some other local areas (e.g. the catchment around Poole Harbour) local authorities have created supplementary planning guidance which stipulate that new houses must meet water efficiency targets set by the Code for Sustainable Homes levels 4 and above, and which also reduce the Nitrogen entering the river network (in the case of Poole it is to protect the Special Area of Conservation of Poole Harbour.) A second measure, already pursued to some degree, is the retrofitting of existing buildings to reduce water use. The work currently being undertaken to address the historical structures in the river, that impact negatively on flows, should be supported. A new measure is local monitoring of the impact of changes to abstraction regimes and the new pipeline. This would give the local community access to information that Thames Water and the Environment Agency could be unwilling to share.

D.8 Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought – EEA report (2009)

Conclusions on future water resource management in Europe

1. Water pricing

Introducing water pricing across all sectors will be critical to achieving sustainable water use. The WFD recognizes this, requiring that pricing provide adequate incentives to use water resources efficiently and recover the full cost of water services. Full cost recovery not only encompasses the cost of water supply, maintenance and new infrastructure but also environmental and resource costs. As such it reflects the 'water user pays' principle.

Effective water pricing needs to be based, at least in part, on the volume of water used, rather than adopting a flat-rate approach. To this end, water metering plays a key role and must be implemented widely across all sectors. Successful water pricing will require a good understanding of the relationship between price and use for each sector and needs to account for local conditions. In line with the Millennium Development Goals guaranteeing universal access to clean water and sanitation, however, pricing must not mean that anyone should compromise personal hygiene and health in order to pay their water bill.

2. Water efficiency and conservation

The introduction of successful water saving measures is reported across various industrial sectors in Europe, although significant potential remains for a greater implementation of such practices. Recycling of industrial wastewater has an important role in this respect, not only in reducing water use but also the subsequent discharge of wastewater.

With respect to public water supply, the most modern of the commonly used domestic appliances or fittings, including washing machines, dishwashers, toilets and showers, are significantly more water efficient than their predecessors. A challenge remains, however, to increase the uptake and use of these modern technologies across the whole of Europe. Both regulation, in terms of standards, and consumer awareness play a role in this respect. Leakage in public water supply systems remains significant in many European countries, despite the general availability of modern leak detection technologies. Tackling leakage may require the imposition of fines where agreed reduction rates are not met.

3. Raising awareness

Achieving more sustainable use of public water supplies will depend strongly upon raising public awareness of water conservation issues. Various means are available to inform domestic, business and tourist water consumers. They include websites, school education programmes, local authority leaflets and the mass media. Eco-labelling of appliances and eco-certification of, for example, tourist hotels can also play an important role in raising awareness, helping consumers to make informed choices about water efficiency and conservation.

4. Alternative supplies

Potentially more sustainable supply-side measures, notably re-use of water and treated wastewater, may be preferable to the more traditional approaches of reservoirs and water transfers.

Rainwater collected from roofs and impervious surfaces, and greywater from baths, showers, washbasins and the kitchen, can be used for non-potable purposes such as the watering of gardens. Both practices help to diminish demand from the public water supply and, therefore, the energy requirements associated with providing clean water. Furthermore, they have minimal detrimental environmental impacts. Water recycling is also increasingly implemented in various industrial sectors leading to clear improvements in water use efficiency and reduced water expenses.

The re-use of treated waste water, although not currently widely practiced, is growing across Europe, particularly for the irrigation of crops and golf courses. Its use within industrial plants is also now reported. Significant potential exists for much greater use of treated wastewater.

5. Desalination

D.8.1 ZARAGOZA

The Zaragoza Water Saving City programme was initiated in 1996 in response to water scarcity. It included awareness raising campaigns, the implementation of examples of good practice and voluntary public commitments by citizens and businesses. The water tariffs were revised to provide disincentives and incentives that ensure a full cost recovery whilst maintaining affordability for low income households. The programme also involved improvements to the water distribution infrastructure to reduce the waste of water. After 15 years the city achieved a reduction of water consumption by almost 30%, mainly due to changes in water use behaviour and is now known throughout the world as a leader in the field of water conservation. The city participated in the SWITCH project (Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health; 2006-2011) to further reinforce the commitment of the city to manage its water resources sustainably.

The city of Zaragoza decided to take action addressing the water management to satisfy the needs of the developing economy and the future demands of a growing population (the population of Zaragoza is projected to reach one million shortly after 2020.). To do so, the city moved away from continued exploitation of limited resources to curbing water demand and limiting the leakage from the distribution networks. Water scarcity, particularly a drought in the early 1990s, has been an important consideration, but financial and economic considerations were also drivers.

Adaptation options implemented in this case

- ☐ Awareness campaigns for behavioral change
- ☐ Economic incentives for behavioral change
- ☐ Water restrictions and consumption cuts

Solutions

Following water shortages in the mid-1990s, the municipality of Zaragoza increased its water supply and managed demand by developing a “water saving culture”. The Municipal Strategic Plan 1996-2010 set out an ambition objective to reduce total city water consumption from 84.7 Mm³ in 1995 to 65 Mm³ by 2010. A municipal Water Commission was established by the City Council in 1996 to oversee the implementation of a range of ambitious long-term water saving initiatives. The Zaragoza Water Saving City program was initiated in 1996 by the NGO Fundación Ecológica y Desarrollo (FED) with the municipality support. The programme was implemented through the following phases:

- Phase 1: “Small steps, big solutions”; A widespread awareness-raising campaign to reduce water consumption within homes, public buildings and commercial activity through behavioural change and water saving technology.
- Phase 2: “50 good practices”; The implementation of 50 examples of water efficient technologies and practices in parks, gardens, public buildings and industry to demonstrate performance and encourage uptake on a wider scale throughout the city.
- Phase 3: “School for efficient water use”; The dissemination of pocket guides among the city's major water consuming sectors describing the good water saving practices identified in Phase 2.
- Phase 4: ‘100,000 commitments’ – The invitation of citizens and businesses to make online public commitments to save water in time for the International Expo "Water and Sustainable Development" which opened in Zaragoza in June 2008.

Another initiative to reduce water consumption in the city included a review of the water tariffs structure to make it more equitable and demand-responsive, with the aim of achieving full cost

recovery through revenues, including the direct costs of service provision as well as indirect costs within the water cycle more generally. This was done through:

- equitable charging, ensuring that the cost of water is related to the benefits it delivers to the user;
- affordable access to basic water services for all, including the availability of subsidies for vulnerable households (pensioners, unemployed, large families);
- an incentive for the consumer to use water efficiently, in the form of water bill discounts rewarding households that were able to reduce their annual water consumption by 10% or more;
- penalising excessive consumption with higher prices.

The final part of the programme was targeting leakages from the city's aging water supply pipelines. Considerable investments were made in controlling water losses, including rehabilitation of the pipeline network (189 km from the 1,246 km of the network have been renovated), pressure management controls and much needed maintenance to leaking storage tanks in the basements of apartment buildings.

The results of this comprehensive campaign reduced the water consumption from 180 litres per capita per day (lpcd) in 1980, through 136 lpcd in 2000, to just under 100 lpcd in 2010. In terms of the overall water savings, the city exceeded its own target: in 2009 total water consumption was 59.9 Mm³. Thus, 15 years after the start of the campaign, the city achieved a reduction of water consumption by almost 30 %, despite a 12 % population increase in the same time. In response to these achievements, new goals have been set that aim to reduce per capita consumption of potable water in the city to 90 litres per person per day and overall consumption to 58 Mm³ per year by 2015.

The bulk of the achievements were due to changes in water use behaviour, largely brought about through the awareness-raising and promotional activities. As early as the first phase of the Water Saving City programme, the percentage of citizens aware of potential water saving measures had risen from 40% to 72%. Other initiatives such as the control of leakage from the water supply distribution network also played a part. Between 2000 and 2010, the number of pipe bursts reduced from 750 to 350 in 2010, and losses from the system as a whole were reduced by over 40%, meaning that almost 20 Mm³ of water were saved each year. The review of tariffs was less influential in reducing the water consumption but nonetheless had a large economic impact on water services. Whereas in 1997 income from water consumers covered around 70% of the cost of supply and wastewater disposal, the equivalent figure in 2006 was closer to 90%; well on the way to achieving the goal of full cost recovery. This has allowed much-needed investment to be made in water services infrastructure, particularly wastewater treatment.

The results allow to conclude that combining changes in water use behaviour, water efficiency technology and reduced leakage can generate sufficient savings to make new and costly water supply infrastructure unnecessary. It also made the City of Zaragoza more resilient to future droughts and water scarcity associated with climate change.

Success and limiting factors

The success of this approach appears to have largely depended on the implementation of the following actions:

- Working directly with stakeholder representatives.
- The establishment of a central coordination unit: rather than being a collection of fragmented, individual initiatives, the setting up of the Zaragoza Water Commission provided effective coordination of consultation, implementation and evaluation of the different activities, with the aim of achieving a common goal.
- Encouraging public participation: domestic water consumption was identified as a key area where significant water savings could be made and this drove the involvement of the local residents in the work of the Water Commission.

- Targeting specific sectors: instead of promoting generic water saving messages, awareness-raising activities targeted specific user groups with information that was directly relevant for their business or lifestyle. The production of dissemination guides for different consumer types also resulted in explicit benefits and incentives of reduced water use to be clearly outlined and promoted.
- Leading by example: high-use groups and the general public were likely to ignore awareness-raising campaigns if they felt that the authorities responsible for water were not equally committed to improving their own performance. By providing an efficient and reliable water and wastewater service, businesses and residents were more inclined to contribute themselves.
- Gaining political commitment: key stakeholder consultation and public participation to reduce water consumption in Zaragoza was specifically mentioned in the municipal strategic plan, with the implementation of many activities taking place through Local Agenda 21 commissions. A supportive city council allowed policy commitments to be made, increased the availability of funding and provided the means to generate public pride in the city's achievement through events such as Expo '08.

Participation of the city in the following projects was also relevant:

- "SWITCH - Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health", undertaking innovation in the area of integrated urban water management in 12 cities across the globe to further reinforce the commitment of the city to manage its water resources sustainably.
- Optimizagua - a Reference Model for the Efficient Management of Water (LIFE 2003 ENV/E/000164) shortlisted as best environment project by the EC.
- Aquanet (ES/07/LLP-LdV/TOI/149053), which resulted in a guidebook for an efficient water management.

Costs and benefits

The approximate cost of the public awareness campaigns between 2002 - 2010 is around 2,500,000 euros.

D.8.2 SYDNEY

Sources: Decentralized water master plan 2012-2030 – city of Sydney || Environmental action 2016-2012 – city of Sydney || recycled water plan – city of Sydney || WSUD and stormwater infrastructure – city of Sydney.

The content of the Decentralised Water Master Plan offers a different approach to managing and moving water in the city. Founded on the principles of integrated water cycle management and water sensitive urban design, it differs from traditional management of water in three key ways:

Sewage and stormwater treated as a water resource rather than waste to be discharged.

Recycled water used many times locally – a less wasteful way of using water.

Stormwater retained, slowed down and treated with vegetated systems, rather than disposed off swiftly through concrete pipes and channels into the receiving waters.

A decentralised water system refers to a cluster of opportunities for providing water from diversified sources including groundwater, seawater, roof water and recycled water (treated stormwater, treated wastewater, grey water and black water). These opportunities can be provided independently at a lot or precinct scale or in combination through a decentralised water network.

The Decentralised Water Master Plan highlights opportunities to introduce local decentralised water systems. The concept of a city-scale decentralised water system includes:

- ☐ Maximising use of locally available alternative water sources, reducing dependence on the imported drinking water supply
- ☐ Moving away from ad-hoc building scale systems to a city wide decentralised water system

☐ Utilising a network that enables buildings and developments to import alternative water to meet demands and export surplus water to meet the demands of others. The key benefits of this approach include:

- ☐ Increasing water availability provides water for greening the city and improving liveability
- ☐ Decentralised water systems that source water locally reduce the amount of energy and infrastructure required to transport water
- ☐ Decentralised water systems can harness local synergies using existing infrastructure and integrating the water systems with other infrastructure such as the trigeneration network

The key challenges include:

- ☐ Regulatory uncertainty and governance barriers
- ☐ Uncertainty of demand as solutions rely on the behaviour of individual property owners to connect
- ☐ Alternative water sources, and recycled water in particular, typically exceed the cost of the drinking water supply and may require subsidies
- ☐ Funding and incentives to attract public and private sector investment over the short, medium and long term.

These benefits and challenges will be discussed further in Chapter 3 and 4 of this report.

The local water resources that were analysed for their yield and how it matched with the recycled water demand included: roof water, stormwater, groundwater, sewage and blackwater, greywater, sea water.

Roof water

Roof water is rain water that runs off from the roof area of buildings and diverted into a large storage tank before it reaches the stormwater system. When collecting roof water, the first flush which generally carries with it the pollutants on the roof surface is allowed to be discharged before the rest of run off from the roof is diverted for storage and use. As the water collected after the first flush is generally free of pollutants, no treatment is necessary if it is used for non-drinking purposes.

Stormwater

Stormwater is rain water that runs off of all surfaces within the City including roofs, roads, pathways, parks and other open areas, and ends up in the drainage system that is designed to divert the stormwater away from roads and properties and to discharge into the waterways. Stormwater picks up a wide range of pollutants from the surfaces it flows off and its quality is highly variable over time.

Stormwater treatment generally involves some form of filtration to capture the suspended solids and pollutants attached to the sediments followed by disinfection. Vegetated systems that are carefully designed to use natural processes for filtering the pollutants are now commonly used to provide effective treatment of stormwater with none to low energy and chemical input.

Groundwater

Groundwater is naturally infiltrated and stored in shallow and deep water aquifers. The major aquifer in the City of Sydney area is the Botany Sands aquifer, which is relatively shallow. Groundwater is accessed through bores for domestic and industrial purposes, which are licensed through a Water Sharing Plan managed by NSW Office of Water. Groundwater can also seep into tunnels and is pumped and discharged to the stormwater system. This is potentially a source of recycled water. Groundwater requires treatment processes similar to stormwater involving filtration and disinfection.

Sewage and Blackwater

Sewer mining involves extraction of wastewater directly from the sewerage system (sewage) or directly from the sewage network of the buildings before they connect to City's network

(blackwater). In both cases, the wastewater is treated, using a package treatment plant located close to the extraction point. The treatment of sewage and blackwater involves advanced filtration processes (such as membrane biofiltration) that can remove not only the suspended solids but also the high amount of organic and nutrient content.

Grey water

Grey water is wastewater that excludes toilet waste and is therefore a higher quality than sewage. It includes waste from uses such as hand washing, showering and clothes washing. Separating grey water from sewage requires special plumbing within buildings and is only cost effective and feasible for new buildings.

Sea water

Thermal desalination is the process of changing saline water into vapour. This vapour or steam is generally free of the salt, minerals and other contaminants that were in the saline water. When condensed, this vapour forms high purity distilled water. There are several different methods of achieving this distillation but the method in this Master Plan is based on using the zero carbon waste heat from local electricity generation from the City's trigeneration system. Although the distilled water produced by thermal desalination is of a purer quality than conventional drinking water supplies the regulatory barriers to decentralised water means that it would be more expensive to use this water in the drinking water mains than using the water in a recycled water network.

Thermal desalination using the waste heat from cogeneration or trigeneration is significantly more efficient in the production of electricity and water compared with conventional electrically driven sea water reverse osmosis systems such as the Sydney desalination plant at Kurnell.

Conventional reverse osmosis desalination plants consume significant quantities of electricity supplied from remote centralised power generation via the grid. Coal fired centralised power generation loses two thirds of primary energy at the power station in the form of waste heat rejected into the atmosphere via cooling towers with further losses in the grid so the efficiency of grid electricity can be less than 30% of primary energy consumed at the power station by the time it arrives at the desalination plant.

The Recycled Water Plan includes 10 major precinct scale recycled water concepts, as case studies for undertaking financial and multi criteria analysis. These case studies were selected to represent a range of locations and source water used to produce recycled water.

The 10 conceptual case studies include five sewer-mining options, three stormwater harvesting options, one roof harvesting option and a thermal desalination option. These case studies are indicative of the range of opportunities available across the City in terms of source and sensible scale of opportunity.

Sewer Mining	Stormwater Harvesting	Roof Water Harvesting	Thermal Desalination
Johnstons Creek	Wentworth Park	Moore Park	Barangaroo
City Wide	Waterloo oval		
Darling Harbour	Sydney Park		
Barangaroo			
Greater Green Square			

Johnstons Creek Sewer Mining: Sewer mining of the large sewer mains adjacent to Sydney University and transfer to a 1.2 ML/day advanced wastewater treatment facility within the Sydney University. Recycled water of a high quality would be delivered to properties within Sydney University, as well as

the major developments at Waterloo and Harold Park, and used to meet internal and external non-potable demands.

City Wide Sewer Mining: Sewer mining at two large sewer mains running through the CBD as well as the large sewage pumping station SP0001 in Darling Harbour. Wastewater would be delivered to three advanced wastewater treatment plants with a combined capacity of 22 ML/day. Recycled water of a high quality would be delivered to properties throughout the CBD, Darling Harbour and Pyrmont via a city wide recycled water network and used to meet internal and external non-potable demands.

Darling Harbour Sewer Mining: Sewer mining at the large existing sewage pumping station SP0001 in Darling Harbour. Wastewater would be delivered to an 8.5 ML/day advanced wastewater treatment plant, which may be co-located with the proposed trigeneration plant. Recycled water of a high quality would be delivered to properties within precincts with high recycled water demand via a local recycled water network and used to meet internal and external nonpotable demands.

Barangaroo Sewer Mining: Sewer mining at the existing sewage pumping station SP1129 adjacent to Barangaroo. Wastewater would be delivered to a 2.2 ML/day advanced wastewater treatment plant which may be co-located with the proposed trigeneration plant. Recycled water of a high quality would be delivered to properties within the major development of Barangaroo and adjacent properties to the south of Barangaroo via a local recycled water network and used to meet internal and external non-potable demands.

Greater Green Square Sewer Mining: Sewer mining from the large sewer main running through the Green Square development. Wastewater would be delivered to a 5.7 ML/day advanced wastewater treatment plant which would be co-located within the Green Square development. Recycled water of a high quality would be delivered to properties within the major developments of Green Square and Redfern via a local recycled water network and used to meet internal and external non-potable demands.

Wentworth Park Stormwater Harvesting: Stormwater harvested from the large stormwater mains running under Wentworth Park. Stormwater would be diverted to a large 12 ML surface storage pond located within Wentworth Park. Stormwater would be treated to a high quality and delivered to properties within Blackwattle Bay via a local recycled water network and used to meet internal and external non-potable demands.

Waterloo Oval Stormwater Harvesting: Stormwater harvested from the large stormwater mains running under Waterloo Oval. Stormwater would be diverted to a large 8 ML sub-surface storage located within Waterloo Oval. Stormwater would be treated to a high quality and delivered to properties adjacent to the oval in the north of the Green square development and to Moore Park via a local recycled water network and used to meet internal and external non-potable demands.

Sydney Park Stormwater Harvesting: Stormwater harvested from Stage 1 and Stage 2 of the Sydney Park wetlands. Stormwater would be treated to a high quality and delivered to properties in Alexandra Canal, the Waterloo major development and the areas of high growth to the north of Sydney Park via a local recycled water network and used to meet internal and external non-potable demands.

Moore Park Roof Water Harvesting: Roof water harvesting from the roofs within the Sydney Cricket Ground, Fox Studios, the Entertainment Quarter and Page 76 GHD | Report for City of Sydney- Recycled Water Plan surrounding buildings. Harvested roof water would be delivered to a long 8.5 ML sub-surface storage main running the length of the facility providing both storage and pre-treatment and distribution of the harvested roof water. Recycled roof water would be extracted from the storage, disinfected and used to meet internal and external non-potable demands.

Barangaroo Thermal Desalination: Extraction of raw seawater from Sydney Harbour and delivery to a 5.6 ML/day thermal desalination plant within the Barangaroo development. The desalination plant would be co-located with the proposed trigeneration plant CBDN2 and use waste heat from the trigeneration plant to distil seawater. Desalinated water would be delivered to properties in the

Barangaroo major development and properties in the west of the CBD via a local recycled water network and used to meet internal and external non-potable demands.

Multi-criteria assessment of the 10 conceptual options

Decentralised Water Recycling Case Study	Demand opportunity (GL/yr)	Footprint (m2)	Levelised cost (\$/kL)	Network/ supply effective (ML/km/yr)	Synergistic use of resources (Judgement)	Adaptability (Judgement)	Net carbon intensity (tCO2-e/ML)	Environ. impact (per cent reduction)	Resilience and reliability (Judgement)
1. Johnstons Creek Sewer Mining	0.4	3,200	11.7	60	0.38	0.72	2.4	0.0%	0.67
2. City Wide Sewer Mining	8.1	22,800	9.0	180	0.64	0.49	2.4	0.0%	0.84
3. Darling Harbour Sewer Mining	3.1	8,600	7.9	500	0.79	0.72	2.4	0.0%	0.84
4. Barangaroo Sewer Mining	0.8	4,900	7.3	450	0.75	0.72	2.4	0.0%	0.58
5. Greater Green Square Sewer Mining	2.1	6,100	8.4	160	0.68	0.72	2.4	0.0%	0.58
6. Wentworth Park Stormwater Harvesting	0.5	12,500	6.5	60	0.41	0.53	0.3	4.5%	0.38
7. Waterloo Oval Stormwater Harvesting	0.5	500	8.3	50	0.52	0.53	0.3	5.1%	0.38
8. Sydney Park Stormwater Harvesting	0.5	400	7.3	50	0.64	0.51	0.2	5.3%	0.38
9. Moore Park Roof Water Harvesting	0.1	100	16.5	40	0.48	0.36	0.5	3.2%	0.15
10. Barangaroo Thermal Desalination	2.0	1,100	5.4	140	0.89	0.52	0.2	0.0%	0.84

Table 8 Indicative summary of conceptual options

Conceptual Option	Recycled water GL/yr	Indicative subsidies \$M	WASCO NPV analysis \$/kL	Cumulative recycled water GL/yr	Cumulative subsidy \$M
2.8a Sydney pk stormwater harvesting	0.5	5	-1.46	0.5	5*
2.3a Wentworth Pk stormwater harvesting	0.5	4	-1.74	3.1	49
5.1d Barrangaroo Thermal desalination	2.0	39	-2.64	2.6	45
1.2e Darling Hbr sewer mining	3.1	79	-6.56	6.2	128
1.5c Green Sq sewer mining	2.1	67	-6.92	8.3	195
1.2b City Wide sewer mining	8.1	221	-7.62	16.4	416
2.7a Waterloo stormwater harvesting	0.5	8	-3.28	16.9	424
1.2h Barrangaroo sewer mining	0.8	39	-7.42	17.7	463
1.1b Johnson Creek sewer mining	0.4	34	-1.68	18.1	498
3.2a Centennial Park Roof Water Harvesting	0.1	20	-33.60	18.2	518

* Subsidy may not be required (May be already funded)

D.8.3 QUEENSLAND, Australia

Sources: https://www.jstor.org/stable/26269544?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

Title: Managing urban water crises: adaptive policy responses to drought and flood in Southeast Queensland, Australia

Choosing policy solutions:

First, the state government initiated a series of major changes in water governance in 2006. It established a statutory body, the Queensland Water Commission, to centralize water strategy

responsibilities. With the assistance of consultants, it developed a new centralized governance model for the water industry in SEQ (see Queensland Water Commission 2007), including divestment of local government roles in water management, integrated state ownership of water assets, and functional separation between responsibility for water storage and treatment facilities and responsibility for the new regional water grid (trunk pipeline network). Local authorities retained their roles in managing stormwater and sewerage treatment and also in the water retail business. The cooperative models for water planning and for joint ownership of water assets that had operated in the late 1980s through the 1990s became discredited around 2005–2006 as the prolonged drought deepened and as state/local conflict emerged at the political level (Head 2010). The state government concluded that, in the face of a planning crisis, responsibilities had become unclear, local authorities were too weak or fragmented to solve the problems, and that centralization of authority was necessary. This decision created a high level of political distrust and conflict, heightened by a process of amalgamations of local authorities during 2008, with an overall reduction in the SEQ region from 18 to 10.

Second, the state government promised a number of new water infrastructure facilities. These took several forms. A major pipeline network was built in 2007–2009 to facilitate transfers between storages or catchments across the region. This would have been difficult without centralization of power, owing to the likely parochialism of local stakeholders. In relation to dam construction, the government enlarged the storage capacity of some regional reservoirs and proposed to construct a new dam on the Mary River at Traveston (beyond the northern boundary of the SEQ region). Considerable funds were spent on preliminary planning and acquisitions for the proposed dam until the federal government surprisingly vetoed the proposal in November 2009 on environmental grounds, having determined that biodiversity protection requirements could not be met. All the government's supply-side and demand-side measures from this period are summarized in Table 2.

Two other important supply-side options were also announced in 2006–2007: a desalination plant and a potable recycled water facility. A desalination plant was commissioned, to be built and managed under contract by the private sector, to produce potable water at Tugun on the Gold Coast. The high quality water would be fed into the regional network as required. This facility generated environmental criticism in relation to energy costs and high saline discharges, but it commenced operation in early 2009; it initially supplied cooling water for state power stations (which, to the considerable embarrassment of government, had previously been using potable water from reservoirs). However, the plant was mothballed within two years owing to heavy rainfall throughout SEQ (Brisbane Times, December 5, 2010). Its utility was briefly revived during the flood of early 2011, when some other water sources had become polluted, but it was closed soon afterward. It was regarded as an insurance option for future crises. An even more controversial innovation was state investment in potable recycled water (PRW). Previous attempts by local authorities to implement PRW at a local scale had been rejected by local residents and by the state government (Uhlmann and Head 2011). At the height of the drought in 2007–2008, an advanced wastewater treatment plant producing potable recycled water was built at Bundamba near Ipswich. Other advanced sewerage treatment plants, producing industrial-quality water, were built to reduce industry use of potable water and to reduce nutrient discharges into waterways. The Bundamba PRW plant was linked via the new water grid to several potential industrial users, e.g., power stations and agriculture, but most notably it was linked to the Wivenhoe dam. Despite the well-known lack of public support for PRW, the government announced in 2007 an intention to feed PRW into Wivenhoe as an emergency measure once the new plant and pipeline grid were fully operational. However, the final decision was delayed owing to steady rainfall in late 2008 and through the months leading up to the state election in March 2009. Because reservoir volumes rose to more than half their capacity, it was announced that PRW would only be reconsidered if reservoir levels fell to < 40% (Spearritt and Head 2010).

Finally, the state government's policy responses to the urban water crisis included a range of demand-management and water conservation measures. Water restrictions were regarded as politically unpopular but had commonly been applied in various periods of reduced water availability, and these restrictions were intensified as the urban drought continued after 2002. Because these

restrictions mainly affected residential outdoor water uses (e.g., for gardens, pools, and car-washing), it was necessary to engage consumers in a more thorough program of voluntarily reducing their total water use. A marketing campaign by the Queensland Water Commission, supported strongly by the mass media, attempted to persuade residents to extend their water conservation to indoor uses and to reduce daily per capita consumption to < 140 L (which was half the historical norm).

Targeted reductions were practicable only if there was good information for each household; fortunately, water metering had become universal since the 1990s, and price increases were beginning to provide incentives for restraint. The campaign was extremely successful, with targets met and wide community support for water conservation to achieve collective goals. Even more remarkably, the behavior changes largely survived the drought, with average per capita consumption in 2011–2012 approximately 160 L. Other incentive programs to reduce consumption included subsidies for water-efficient household plumbing (taps, showers) and for domestic rainwater tanks. Larger businesses using > 107 L/yr of town water were also drawn into the new regulatory arrangements. They were required to implement a water efficiency management plan based on industry best practice.

Table 2. Available policy responses to water scarcity.

Supply-side responses directed at establishing augmented and alternative water supplies	Demand-side responses directed at reducing water consumption through demand-management measures
• New dams • Increase capacity of existing dams • Water grid pipelines • Desalination plant • Advanced wastewater purification plant (recycled water facility) • Stormwater capture for industrial and parkland re-use • Incentives for domestic and industrial rainwater tanks • Aquifer recharge where feasible	• Water restrictions (e.g., limits on certain water uses and hours of water use) • Installation of water-efficient devices • Water metering • Larger industrial water-users required to adopt best-practice water conservation standards • Higher water prices to ensure full cost recovery • Consumption targets for households, localities, and industry sectors • Information, education, and publicity concerning water use