
Uitbreiding van het Klimaatportaal-Vlaanderen met klimaatadaptatietools

Methodologische beschrijving

Broekx Steven, Lefebvre Filip, Lauwaet Dirk, Beckx Carolien, Verachtert Els, Wolfs Vincent, Schoeters Kato, Cauwenberg Peter, Hilgersom Koen, Gabriëls Karen, Guido Vaes, Els Lemeire, Maud Raman

Studie uitgevoerd in opdracht van: VMM, Vlaamse Milieumaatschappij

(Bestek nr. WAT L 2020 S 0014 X)

Het bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Milieumaatschappij.
2023/RMA/R/2934

Depotnummer: D/2023/6871/010

April 2023

Partners:



In samenwerking met:



In opdracht van:



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

INHOUD

Inhoud	I
Lijst van tabellen	IV
Lijst van figuren	V
HOOFDSTUK 1. Inleiding	9
1.1. <i>Achtergrond en doelstelling</i>	9
1.2. <i>Opbouw van het rapport</i>	10
HOOFDSTUK 2. Adaptatie-tools op hoofdlijnen	11
2.1. <i>Plantool</i>	11
2.2. <i>Projecttool</i>	12
2.3. <i>Bouwblokken</i>	13
HOOFDSTUK 3. Adaptatiemaatregelen	14
3.1. <i>Longlist adaptatiemaatregelen</i>	14
3.2. <i>Shortlist adaptatiemaatregelen</i>	15
HOOFDSTUK 4. Adaptatiedoelen en -indicatoren	18
4.1. <i>Longlist van mogelijke adaptatiedoelen</i>	18
4.2. <i>Shortlist adaptatiedoelen in de klimaatadaptatietools</i>	21
HOOFDSTUK 5. Modelsimulaties met klimaat-effectmodellen	23
5.1. <i>Overzicht</i>	23
5.2. <i>Wateroverlast</i>	24
5.2.1. <i>Modelbeschrijving</i>	24
5.2.2. <i>Gebruikte software</i>	26
5.2.3. <i>Ingebouwde adaptatiemaatregelen</i>	27
5.3. <i>Hitte</i>	30
5.3.1. <i>Modelbeschrijving</i>	30
5.3.2. <i>Ingebouwde adaptatiemaatregelen</i>	34
5.4. <i>Droogte</i>	36
5.4.1. <i>Modelbeschrijving</i>	36
5.4.2. <i>Ingebouwde adaptatiemaatregelen</i>	37
5.5. <i>Klimaatscenario's</i>	39
5.6. <i>Afstemming inputdata</i>	40
HOOFDSTUK 6. Impact: kwetsbaarheden en vermeden schade	42
6.1. <i>Kwetsbaarheid door wateroverlast</i>	42
6.2. <i>Kwetsbaarheid door hitte</i>	42

6.3.	<i>Kwetsbaarheid door droogte</i>	43
6.4.	<i>Vermeden materiële schade door overstromingen</i>	43
6.5.	<i>Vermeden gezondheidsschade door hitte</i>	44
6.6.	<i>Vermeden schade door droogte</i>	45
HOOFDSTUK 7.	Adaptatiepotentieelkaarten	46
7.1.	<i>Generieke methode</i>	46
7.2.	<i>Potentiële impact</i>	49
7.2.1.	<i>Hitte</i>	49
7.2.2.	<i>Droogte</i>	50
7.2.3.	<i>Wateroverlast</i>	51
7.3.	<i>Restricties</i>	52
7.4.	<i>Effectiviteit van maatregelen</i>	52
7.5.	<i>Voorbeeld: ontharding</i>	53
7.6.	<i>Voorbeeld: boomschaduw</i>	55
HOOFDSTUK 8.	Kosten van maatregelen	56
8.1.	<i>Methode</i>	56
8.2.	<i>Gehanteerde eenheidskosten</i>	57
HOOFDSTUK 9.	Co-benefits van maatregelen	60
9.1.	<i>Methode</i>	60
9.1.1.	<i>Beschrijving co-benefits</i>	60
9.1.2.	<i>Kwalitatieve waardering (scores) natuurwaardeverkenner stad</i>	61
9.1.3.	<i>Toepassing in de klimaatadaptatietools</i>	61
HOOFDSTUK 10.	Samenstelling van scenario's	64
10.1.	<i>Selectie en clusterings van maatregelen uit de shortlist</i>	64
10.2.	<i>Combinatie van potentieelkaarten</i>	65
10.3.	<i>Aftopping van potentieel van maatregelen in functie van de noden</i>	67
10.4.	<i>Omschrijving doorgerekende scenario's</i>	68
HOOFDSTUK 11.	Resultaten voor testgebied Mechelen	71
11.1.	<i>Scenario's</i>	71
11.2.	<i>Wateroverlast</i>	73
11.2.1.	<i>Klimaateffecten</i>	73
11.2.2.	<i>Kwetsbaarheden</i>	77
11.2.3.	<i>Vermeden materiële schade</i>	78
11.3.	<i>Droogte</i>	79
11.3.1.	<i>Klimaateffecten</i>	79
11.3.2.	<i>Kwetsbaarheden</i>	81
11.4.	<i>Hitte</i>	82

11.4.1.	Klimaateffecten	82
11.4.2.	Kwetsbaarheden	88
11.4.3.	Vermeden schade aan gezondheid	88
11.5.	<i>Kosten</i>	89
11.6.	<i>Co-benefits</i>	89
HOOFDSTUK 12.	Resultaten voor Vlaanderen	90
12.1.	<i>Scenario's</i>	90
12.2.	<i>Wateroverlast</i>	92
12.2.1.	Klimaateffecten	92
12.2.2.	Kwetsbaarheden	96
12.2.3.	Vermeden materiële schade	97
12.3.	<i>Droogte</i>	98
12.3.1.	Klimaateffecten	98
12.3.2.	Kwetsbaarheden	102
12.4.	<i>Hitte</i>	103
12.4.1.	Klimaateffecten	103
12.4.2.	Kwetsbaarheden	107
12.4.3.	Vermeden schade aan gezondheid	108
12.5.	<i>Kosten</i>	109
12.6.	<i>Co-benefits</i>	110
HOOFDSTUK 13.	Conclusies	111
13.1.	<i>Achtergrond</i>	111
13.2.	<i>Impacttool</i>	111
13.3.	<i>Plantool</i>	112
13.4.	<i>Projecttool</i>	114
HOOFDSTUK 14.	Aanbevelingen	115
Literatuurlijst	119	

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Short list maatregelen en omschrijving opname maatregelen in tools _____	17
Tabel 2: In te zetten modellen in het evaluatiekader en af te leiden indicatoren _____	23
Tabel 3: Opzet van een combinatietabel voor de belangrijkste maatregelvoorzieningen en bijbehorende parameters voor piekafwatering _____	29
Tabel 4: Overzicht van de WBGT klassegrenzen voor het bepalen van de hittestress score _____	34
Tabel 5: Veronderstelde parameters per maatregel in droogte-instrumentarium _____	38
Tabel 6: Overzicht van alle inputgegevens die gebruikt worden in de potentieelkaarten en klimaat-effectmodellen _____	41
Tabel 7: Indicatoren die gebruikt worden voor de effectiviteit van infiltratiemaatregelen _____	53
Tabel 8: Eenheidskosten voor maatregelen in de plantool (totale aanleg en onderhoud) _____	58
Tabel 9: Toegepaste eenheidskosten voor berekening meerkost maatregelen in de plantool _____	59
Tabel 10: Co-benefit scores gehanteerd binnen klimaatadaptatie-tools _____	63
Tabel 11: Overzicht geclusterde maatregelen voor samenstelling scenario's _____	64
Tabel 12: Gehanteerde grenzen voor potentieelscores per geclusterde maatregel bij samenstelling van de scenario's _____	66
Tabel 13: Omschrijving doorgerekende scenario's voor plantool _____	69
Tabel 14: Vergelijking oppervlaktestatistieken scenario's 2050 en buffering met doelstellingen Lokaal Energie- en Klimaatpakt 2.1 _____	70
Tabel 15: Oppervlaktmaatregelen in de verschillende scenario's voor Mechelen (ha) _____	71
Tabel 16: Oppervlaktestatistieken voor de scenario's _____	73
Tabel 17: Oppervlaktmaatregelen in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen (ha) _____	90
Tabel 18: Oppervlaktestatistieken voor de scenario's _____	92
Tabel 19: Bijkomende investeringen maatregelen in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen (miljoen €) _____	110
Tabel 20: Bijkomende jaarlijkse uitgaven maatregelen in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen (miljoen €) _____	110

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Bouwblokken om eindproducten te produceren	13
Figuur 2: Conceptueel bakkenmodel voor de modellering van maatregelen voor het thema wateroverlast	28
Figuur 3: Verband tussen de lucht temperatuur, de lucht vochtigheid en de WBGT bij dezelfde condities wat betreft straling en windsnelheid. Bron: WBGT Chart (arielschecklist.com)	31
Figuur 4: Gemiddelde van de T20 dagmaximum en dagminimum WBGT kaart in Mechelen (boven) en het gemiddeld aantal hittegolfgaaddagen voor de periode 2000-2019 (onder)	33
Figuur 5: Schematische voorstelling van hoe de impact van bronmaatregelen via lange termijn berekeningen worden ingewerkt in gewijzigde runoff	40
Figuur 6: Scenariokaart Lokeren en omgeving (scenario: trend, trend versnellen, trend sterk versnellen)	46
Figuur 7: Illustratie van de systeemlogica bij de opmaak van een adaptatiepotentieelkaart. Voorbeeld uitgewerkt voor 'verminderen drainage en stuwen van grachten (droogte) in onbebouwd gebied', testgebied omgeving Lokeren.	48
Figuur 8: Voorbeeld van de aftopping van de potentieelkaart voor Wadi's in het gebied van de Barebeek: links de hoeveelheid beschikbare oppervlakte per 100x100m-cel (wit = 0%, zwart = 100%), rechts de afgetopte gebruikte oppervlakte aan Wadi's	68
Figuur 9: Buffervolume voorzien in de verschillende scenario's in bebouwd en onbebouwd gebied voor Mechelen (1000 m ³)	71
Figuur 10: Vergroening voorzien in de verschillende scenario's voor Mechelen door groendaken, ontharding en boomschaduw (ha)	72
Figuur 11: Piekwaterdiepte in Mechelen bij een T20-bui in huidig klimaat (boven) en bij een hoog-impact klimaatscenario in 2050 (onder; scenario S0 "Geen bijkomende acties").	75
Figuur 12: Waterdieptes in huidig klimaat (2019) en relatieve dieptes van overige scenario's (combinatie van klimaatverandering en effect van adaptieve maatregelen) t.o.v. 2019.	76
Figuur 13: Percentage gebouwen getroffen door wateroverlast in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's	77
Figuur 14: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door wateroverlast in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's	77
Figuur 15: Kwetsbare instellingen (in rood) met wateroverlast in een "trend"-scenario	78
Figuur 16: Vermeden materiële schade door wateroverlast in een T20 in Mechelen voor het trend en maximum scenario	78
Figuur 17: Extreme droogte-duur agrarisch [droogtedagen] in Mechelen voor een T25 droogte event in het huidige klimaat – Scenario "Geen bijkomende acties"	79
Figuur 18: Extreme droogte-duur agrarisch [droogtedagen] in Mechelen voor een T25 droogte event in 2050 – Scenario "Geen bijkomende acties"	80
Figuur 19: Extreme droogte-duur agrarisch [droogtedagen] in Mechelen voor een T25 droogte event in 2050 – Scenario "Maximum"	80
Figuur 20: Percentage kwetsbare ecotopen met significante droogtestress in een T25 in Mechelen voor verschillende scenario's	81
Figuur 21: Percentage landbouwpercelen met significante droogtestress in een T25 in Mechelen voor verschillende scenario's	82
Figuur 22: Dagmaximum WBGT [°C] in Mechelen voor een T20 hitte event in het huidige klimaat	83
Figuur 23: Dagminimum WBGT [°C] in Mechelen voor een T20 hitte event in het huidige klimaat	84
Figuur 24: Hittestress score in Mechelen voor een T20 hitte event in het huidige klimaat	85
Figuur 25: Hittestress score in Mechelen voor een T20 hitte event in het 2050 hoog klimaat scenario zonder maatregelen (S0)	86

Figuur 26: Percentage oppervlakte met hittestress boven drempelwaarde (score 4 of 5) in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's	87
Figuur 27: Hittestress score in Mechelen voor een T20 hitte event in het 2050 hoog klimaat scenario met een maximum aan maatregelen (S7)	87
Figuur 28: Percentage kwetsbare inwoners getroffen door hittestress in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's	88
Figuur 29: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door hittestress in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's	88
Figuur 30: Vermeden gezondheidskosten door reductie van vroegtijdige sterftes in een extreem heet jaar (T20) in Mechelen voor het trend en maximum scenario	89
Figuur 31: Co-benefits van scenario's in Mechelen voor het trend en maximum scenario	89
Figuur 32: Buffervolume voorzien in de verschillende scenario's in bebouwd en onbebouwd gebied voor heel Vlaanderen (1000 m ³)	91
Figuur 33: Vergroening voorzien in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen door groendaken, ontharding en boomschaduw (ha)	91
Figuur 34: Overstromingskaart Vlaanderen bij een bui met een terugkeerperiode van 20 jaar 2050	93
Figuur 35: Toename van overstromingsdieptes in landelijk gebied langs de Bampoelbeek nabij Oeren bij een T20-bui in huidig klimaat (links) en een T20-bui in het hoogzomer-scenario 2050 (rechts)	93
Figuur 36: Toename van overstromingsdieptes opwaarts van twee duikers in de Begijnbeek nabij Assen bij een T20-bui in huidig klimaat (links) en een T20-bui in het hoogzomer-scenario 2050 (rechts)	94
Figuur 37: Waterdieptes in No Action-scenario 2050 (S0) en relatieve dieptes van overige scenario's t.o.v. S0	95
Figuur 38: Percentage gebouwen getroffen door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	96
Figuur 39: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	97
Figuur 40: Materiële schade door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	97
Figuur 41: Vermeden materiële schade door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	98
Figuur 42: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogteperiode in het huidig klimaat (zonder maatregelen)	99
Figuur 43: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogteperiode in het toekomstig klimaat 2050 (zonder maatregelen)	100
Figuur 44: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogtejaar in het toekomstig klimaat 2050 in het maximale scenario (s7)	100
Figuur 45: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogtejaar in het huidig en toekomstig klimaat voor de verschillende onderzochte scenario's	101
Figuur 46: Aantal droogtedagen m.b.t. waterlopen (laagwaterdebieten) voor een T25 droogtejaar in het huidig en toekomstig klimaat voor de verschillende onderzochte scenario's	102
Figuur 47: Percentage kwetsbare ecotopen met significante droogtestress in een T25 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	103
Figuur 48: Percentage landbouwpercelen met significante droogtestress in een T25 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	103
Figuur 49: Dagmaximum WBGT [°C] voor een T20 hitte event in het huidige klimaat	104
Figuur 50: Dagminimum WBGT [°C] voor een T20 hitte event in het huidige klimaat	105
Figuur 51: Hittestress score voor een T20 hitte event in het huidige klimaat	105

Figuur 52: Hittestress score voor een T20 hitte event in het 2050 hoog klimaat scenario zonder maatregelen (S0)	106
Figuur 53: Hittestress score voor een T20 hitte event in 2050 voor het maximum scenario (S7)	107
Figuur 54: Percentage oppervlakte met hittestress boven drempelwaarde in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	107
Figuur 55: Percentage kwetsbare inwoners getroffen door hittestress in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	108
Figuur 56: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door hittestress in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's	108
Figuur 57: Vermeden vroegtijdige sterftes in een extreem heet jaar (T20) in Vlaanderen voor verschillende scenario's	109
Figuur 58: Vermeden gezondheidskosten door reductie van vroegtijdige sterftes in een extreem heet jaar (T20) in Vlaanderen voor verschillende scenario's	109

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

1.1. ACHTERGROND EN DOELSTELLING

In 2018 lanceerde de VMM het Klimaatportaal-Vlaanderen (klimaat.vmm.be), waarbij informatie over de huidige en toekomstige toestand van klimaatverandering in Vlaanderen werd ontsloten voor lokale besturen en kennis- en adviesinstellingen. Deze informatie wordt gebruikt voor het opstellen van klimaatadaptatieplannen en te rapporteren volgens de vereisten van het burgemeestersconvenant (de SECAP). Een screening van bestaande klimaatadaptatieplannen leert dat over het algemeen plannen informatie opnemen over locatie-specifieke risico's en kwetsbaarheden, maar dat info over maatregelen eerder beperkt is tot generiekere lijsten zonder dat het duidelijk is in welke mate deze maatregelen bijdragen tot het reduceren van risico's.

Een logische volgende stap die als leemte wordt gesignaleerd in het klimaatportaal is dan ook ondersteuning bieden om locatie-specifiek geschikte adaptatie-maatregelen te identificeren en beoordelen. Om deze noden nader te onderzoeken werd in het voorjaar 2019 een voorstudie uitgevoerd naar een zogenaamde Klimaatadaptatietool. De resultaten van deze voorstudie werden door VMM eind 2019 tijdens een 'Inspiratiedag Klimaatadaptatie' voorgesteld en afgetoetst bij een brede groep stakeholders (lokale overheden, dienstverleners zoals studie bureaus en ruimtelijke planners, diverse geledingen van de VO, onderzoekers enz.). Deze opdracht gaat verder op de resultaten van deze voorstudie en de bevindingen verzameld tijdens de inspiratiedag, en betreft de realisatie van deze tools en alle ondersteunende informatie die hiervoor aan de basis ligt. De ambitie is om klimaatadaptatieplannen van de lokale en andere besturen gericht te kunnen voeden met locatie-specifieke maatregelen (wat doen we best waar en in welke mate?). Dit moet leiden tot een beleidsondersteunend instrumentarium waarmee klimaatadaptatiestrategieën kunnen geconcretiseerd worden door adaptatiedoelen te formuleren en de doelafstand op te volgen zowel vanuit maatregelen- en actieprogramma's (planniveau) als voor afweging tussen concrete ruimtelijke inrichtingsvarianten (projectniveau). Hiervoor wordt maximaal hergebruik gemaakt van reeds bestaande (web)databanken met adaptatiemaatregelen, studies rond effectiviteit en (voorkeurs)locatie, kosten en co-benefits van maatregelen en modellen waarmee klimaateffecten en ook ruimtelijke ontwikkelingen gesimuleerd kunnen worden.

Concreet worden in deze studie:

- een **inventarisatie** uitgevoerd over mogelijke maatregelen, hun toepassingsgebied en impact in het reduceren van klimaatrisico's;
- **modelsimulaties** uitgevoerd voor heel Vlaanderen die toelaten de impact van maatregelen locatie-specifiek te evalueren;
- een **evaluatiekader** uitgewerkt dat toelaat maatregelen te vergelijken op basis van voorgaande informatie;
- **tools** ontwikkeld die toelaten om op planniveau (gemeenten, wijken, etc.) en op projectniveau (één of meerdere percelen) maatregelen te evalueren.

De focus van modelsimulaties en tools ligt op de klimaatthema's hitte, droogte (bodemvocht) en wateroverlast. Deze focus is binnen dit project zo gedefinieerd omdat voor deze thema's de nodige modellen reeds beschikbaar zijn (klimaateffectmodellen ontwikkeld, kennis over maatregelen) en omdat ook met name voor deze thema's brongerichte maatregelen kunnen opgezet worden door lokale overheden, in tegenstelling tot bijvoorbeeld zeespiegelstijging en fluviale overstromingen.

Een andere belangrijke focus die gemaakt is, is dat we vertrekken van het landgebruik in 2019 en dat we kijken naar een planhorizon tot 2050. Voor toekomstsimulaties houden we geen rekening met bijkomende verstedelijking tussen nu en 2050. We beschouwen enkel de gevolgen van een wijzigend klimaat.

Centrale doelstelling van deze studie is dus:

- de lokale gevolgen van toekomstige klimaatverandering ruimtelijk en kwantitatief in beeld brengen,
- planmatig verkennen in welke mate deze veranderingen tegen 2050 kunnen opgevangen worden en welke ambities lokaal qua adaptatiemaatregelen nodig zijn voor een klimaatbestendige leefomgeving waarbij de toename volledig kan opgevangen worden,
- op projectniveau via inrichting en dimensionering advies verschaffen waarmee de ambitie van een klimaatbestendig ontwerp kan gerealiseerd worden.

Het Vlaams Adaptatieplan 2030 geeft aan dat Vlaanderen ernaar streeft om tegen 2050 klimaatbestendig te zijn en giet dit ook in concrete doelen. Regenwater en rivierwater houden we voldoende vast zodat we risico's op watertekorten in 2040 beperken tot deze van vandaag. Overstromingsrisico's in 2040 beperken tot deze van het huidige klimaat vandaag is een tweede uitgangspunt dat wordt nagestreefd. Hittestress in woonomgevingen wordt gereduceerd met als doelstelling om de oversterfte door hittegolven en hittedagen niet verder te laten toenemen in vergelijking met vandaag. Deze studie tracht beter in kaart te brengen welke inspanningen nodig zijn om deze doelstellingen te bereiken en waar deze moeten gebeuren.

1.2. OPBOUW VAN HET RAPPORT

Dit rapport beschrijft op hoofdlijnen de methode van het project. Specifiek wordt meer ingegaan op de opbouw en het beoogde doel van de adaptatietools, adaptatiemaatregelen, adaptatiedoelen, klimaateffectmodellen, adaptatie-potentieelkaarten. Voorts wordt ook beschreven hoe kwetsbaarheden worden bepaald, kosten, vermeden schade en co-benefits.

We beschrijven voorts hoe scenario's worden opgebouwd en bespreken de resultaten voor een gevalstudie (Mechelen) en heel Vlaanderen. We geven tot slot nog aanbevelingen voor verdere verbeteringen in de methode.

Naast dit hoofd rapport bevatten bijkomende annexen:

- Annex 1: Long list maatregelen
- Annex 2: Adaptatiepotentieelkaart criteria
- Annex 3: Berekeningsmethode materiële schade wateroverlast
- Annex 4: Kostenberekening maatregelen
- Annex 5: Berekeningsmethode gezondheidsschade door hitte

Dit rapport gaat vooral in op de opbouw en resultaten van de plantool. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de projecttool verwijzen we naar een ander rapport.

HOOFDSTUK 2. ADAPTATIE-TOOLS OP HOOFDLIJNEN

Binnen deze studie worden tools opgezet op 2 niveaus: een plantool op gebiedsniveau en een projecttool op projectniveau. We geven in deze paragraaf een beschrijving van de tools en de verschillende eindproducten of bouwblokken waar deze tools op bouwen.

2.1. PLANTOOL

Doelstelling:

De plantool maakt duidelijk in welke mate scenario's met verschillende ambitieniveaus in staat zijn klimateffecten tussen nu en 2050 op te vangen en kwetsbaarheden te reduceren voor hitte, droogte en wateroverlast.

Gebruikers:

De beoogde gebruikers zijn overheden (en ondersteunende partijen zoals consultants) met vragen op planniveau.

Gevraagde input van de gebruiker:

Volgende input wordt gevraagd via de tool:

- Selectie van een gebied: gemeente, wijk (= statistische sector) of waterlichaam
- Selectie scenario: selectie van een scenario (= combinaties van maatregelen)

Verwachte output voor de gebruiker:

- In welke mate dragen scenario's bij in het realiseren van adaptatiedoelen, het reduceren van de kwetsbaarheden?
- Hoeveel maatregelen stemmen overeen met dit scenario? (aantal eenheden, oppervlaktes)
- Wat is (benaderend) de kost van deze maatregelen?
- Welke co-benefits worden bijkomend gerealiseerd?
- Waar kunnen deze maatregelen mogelijk geïmplementeerd worden, welke locaties binnen het geselecteerde gebied bieden het grootste adaptatiepotentieel?

Stappen in tool:

We onderscheiden voor de plantool:

- Selectie gebied: selectie van wijk, gemeente of waterlichaam
- Adaptatiescenario's: overzicht van en keuze uit een 7-tal gecombineerde adaptatiemaatregelen op kaart en hun overeenkomstige risicoverminderingen a.d.h.v. een aantal belangrijke indicatoren
- Risicovermindering in detail: per adaptatiescenario inzicht in de omvang van de maatregelen ($m^2/\%$, m^3) en een vergelijkende kaart-analyse die gereduceerde effecten en impacts toont op kaart en vergelijkt met o.a. de huidige en no-action 2050 toestand
- Evaluatie: evaluatie van de impact van de geselecteerde maatregelen (kosten, vermeden schade, co-benefits)

2.2. PROJECTTOOL

Doelstelling:

Op projectniveau informatie aanleveren voor het klimaatbestendig ontwerpen van de bebouwde ruimte (heraanleg van wijken, terreinen, gebouwen, straten, pleinen, ...) tegen een 2050-hoog-impactklimaat.

Gebruikers:

De beoogde gebruikers zijn ontwerpers en ontwikkelaars (of ondersteunende bureaus).

Gevraagde input van de gebruiker:

Volgende input wordt gevraagd aan de gebruiker via de tool:

1. De gebruikers starten met het intekenen van het projectgebied
2. In functie van de kenmerken van het gebied en bijkomende filters kunnen gebruikers op zoek gaan naar mogelijke maatregelen. Filters zijn b.v. de kenmerken van het projectgebied en het klimaateffect waarop ingewerkt wordt
3. Op basis van deze lijst zal de gebruiker in een volgende stap interactief zelf één of meerdere maatregelen selecteren en lokaliseren-intekenen (o.b.v. punt, lijn of polygoon)

Verwachte output voor de gebruiker:

1. De projecttool voert in eerste instantie een omgevingsanalyse uit waarmee de uitdagingen van klimaatverandering in en rond het projectgebied samenvattend getoond worden op een 5-klassen schaal
2. De tool geeft in tweede instantie een suggestie van meer effectieve type-maatregelen en toont voor alle andere type-maatregelen hun theoretische effectiviteit per klimaatthema
3. De tool berekent adaptatiescores per klimaatthema en een gemiddelde score (1-10), kosten en co-benefits.

Herhaaldelijk doorlopen van deze stappen laat toe verschillende ontwerpvarianten ten opzichte van elkaar te wegen/scoren om zo tot een effectief klimaatbestendig project-ontwerp te komen.

Stappen in tool:

De stappen voor de projecttool zijn gelijkaardig als de plantool, zij het dat gebieden en maatregelen niet geselecteerd worden uit voorgedefinieerde lijsten, maar interactief ingetekend op kaart.

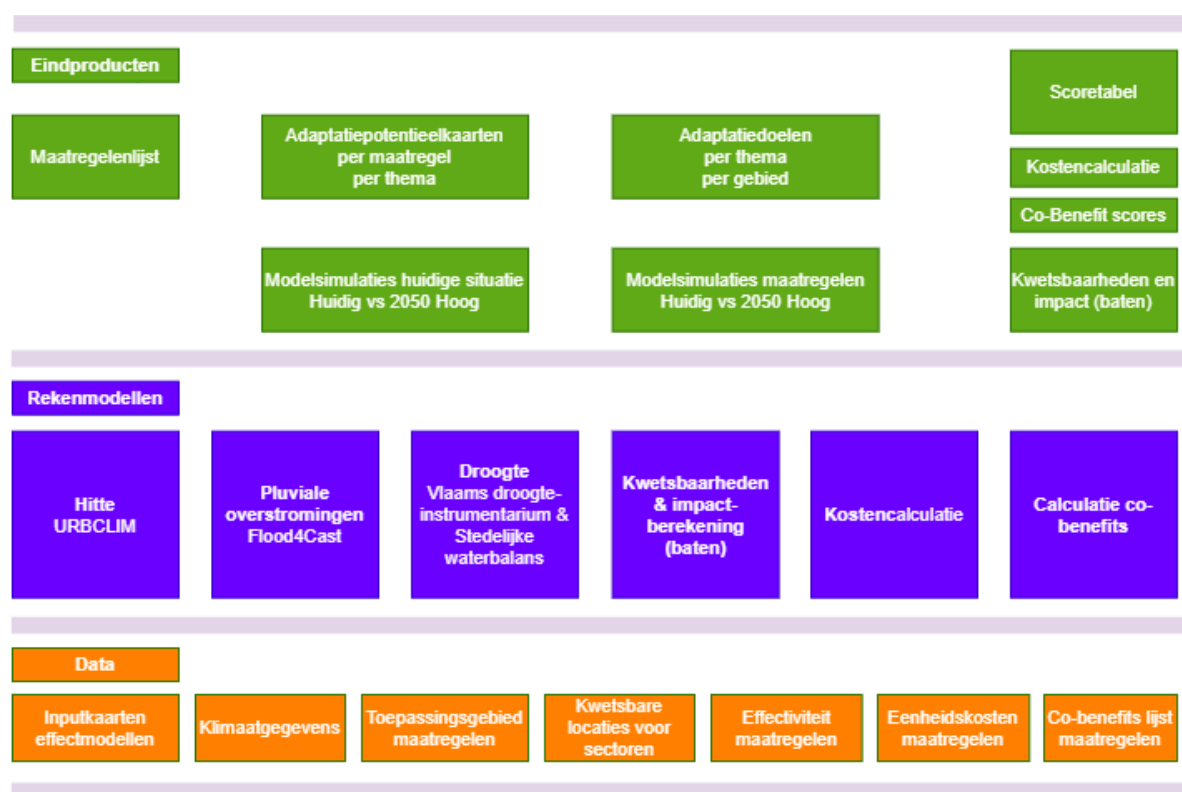
- Gebiedselectie: perimeter van het projectgebied intekenen
- Klimaateffecten: rapportage van mogelijke klimaateffecten in en rond het geselecteerde gebied voor het 2050 hoog-impactscenario
- Maatregelen inplannen: intekenen van geselecteerde maatregelen in het projectgebied en hun bijhorende dimensionering
- Resultaat: evaluatie van de impact van de geselecteerde maatregelen (scores, kosten, co-benefits) en laat toe de adaptatiescore te verbeteren en deze optioneel als URL te delen met anderen

2.3. BOUWBLOKKEN

In de verschillende stappen in beide tools worden kaarten weergegeven met bijhorende indicatoren die meestal de gebiedsgemiddelde waarde uit de kaart weergeven voor een specifiek gebied. Deze indicatoren en kaarten zijn ook een samenvatting van de eindproducten die geproduceerd zijn in deze studie.

Deze eindproducten worden berekend op basis van een reeks rekenmodellen en data. Onderstaand overzicht geeft alle bouwblokken weer. Belangrijk hierbij is dat we voor de verschillende modellen en eindproducten zoveel mogelijk gebruik maken van uniforme datasets om consistentie in resultaten te behouden.

Onderstaand overzichtsschema geeft weer welke rekenmodellen en data gebruikt worden om eindproducten te produceren voor de tools. De afzonderlijke onderdelen komen later in het rapport aan bod.



Figuur 1: Bouwblokken om eindproducten te produceren

HOOFDSTUK 3. ADAPTATIEMAATREGELEN

3.1. LONGLIST ADAPTATIEMAATREGELEN

Voor de inventarisatie van mogelijke maatregelen verwijzen we naar een bijgeleverde tabel: **longlist maatregelen (D1 longlist)**. In deze maatregelenlijst is op basis van literatuurstudie en expertkennis een “long list” van maatregelen opgesteld. Deze long list omvat een zeer breed scala aan mogelijke klimaatadaptatiemaatregelen.

De longlist bevat volgende informatie over de maatregelen:

- Naam
- Beschrijving
- Klimaat-effect (eerste scores)
 - ✓ Droogte (en verzilting)
 - ✓ Hitte
 - ✓ (Pluviale) wateroverlast
 - ✓ Fluviale overstromingen
 - ✓ Stijging zeespiegel
- Toepassingsgebied
 - ✓ Verstedelijkt gebied
 - ✓ Natuur
 - ✓ Landbouw
- Schaalniveau
 - ✓ Perceel
 - ✓ Straat
 - ✓ Wijk
 - ✓ Stad
- Beleid (ruimtelijk, regelgevend, sensibiliserend, overige)
- Referentie
- Modelleerbaar?
 - ✓ Droogte
 - ✓ Hitte
 - ✓ Wateroverlast
 - ✓ Impact

Gehanteerde bronnen voor deze maatregelenlijst komen uit België en Nederland:

- Nederlandse websites en tools klimaatadaptatie
 - ✓ KBS toolbox (<https://kbstoolbox.nl/nl/>)
 - ✓ Deltaprogramma (<https://www.deltaprogramma.nl/themas/ruimtelijke-adaptatie/deltaplan>)
 - ✓ Rainproof (<https://www.rainproof.nl/>)
 - ✓ Urban Green-Blue Grids (<https://www.urbangreenbluegrids.com/>)
- Kennisinstellingen waarvan gegevens zijn geraadpleegd:
 - ✓ STOWA (<https://www.stowa.nl/>)
 - ✓ Rijkswaterstaat

- Belgische websites en tools klimaatadaptatieBlauwgroen Vlaanderen:
 - ✓ Burgemeestersconvenant (<https://www.burgemeestersconvenant.be/>)
 - ✓ Klimaatruimte (<https://omgeving.vlaanderen.be/nl/klimaat-en-ruimte-home>)
 - ✓ Klimaatadaptatieplan België 2017 – 2020 (https://climat.be/doc/NAP_NL.pdf)
- Kennisinstellingen waarvan gegevens zijn geraadpleegd:
 - ✓ ILVO
 - ✓ Samenklimaatactief
 - ✓ Boerenbond
 - ✓ Agentschap Natuur en Bos
 - ✓ VMM
 - ✓ Vilt
 - ✓ Ecopedia
 - ✓ Aquafin
 - ✓ AquaFlanders
 - ✓ Natuurpunt
 - ✓ BOS+
 - ✓ Departement Landbouw & Visserij
 - ✓ Leefmilieu Brussels

Deze inventarisatie heeft geleid tot een long list van 142 maatregelen, die zijn opgenomen in annex 1.

3.2. SHORTLIST ADAPTATIEMAATREGELLEN

Uit de longlist van een 140-tal maatregelen werd een shortlist van een 20-tal verder te beschouwen maatregelen geselecteerd.

Een aantal selectiecriteria zijn hiervoor gehanteerd:

- Voor elk van de maatregelen uit de longlist werd bepaald of deze opgenomen kunnen worden in de modelberekeningen en adaptatietools. We focussen hierbij op brongerichte maatregelen en niet receptor-gerichte maatregelen.
- De maatregel is relevant d.w.z. breed toepasbaar en heeft impact op minstens één van de drie klimaatthema's.
- De maatregel is geen deelverzameling van een andere maatregel (vb. een maatregel die al elders in de long list voorkomt maar in een beperkter gebied wordt toegepast.)

We lijsten een aantal maatregelen op die vrij vaak voorkomen maar niet meegenomen zijn in de shortlist:

- erosiebestrijding: infiltratiepoelen is de belangrijkste maatregel voor overstromingen en droogte, die al elders aan bod komt. Voor de rest zijn er geen maatregelen gericht op erosiebestrijding die relevant zijn om mee te nemen.
- koolstofgehalte bodem verhogen gezien de kennis over koolstofgehalte in de bodem op perceelsniveau ontbreekt. Algemeen geldt dat een hoger koolstofgehalte de waterhuishouding op een perceel verbetert door een betere bodemstructuur, maar er kan geen kwantitatieve relatie gelegd worden tussen het koolstofgehalte en watergerelateerde parameters.
- moerassen: (behoud, vergroot en verbind moerassen (+ aanleg nieuwe moerassen): maatregel wordt mee gevat door het opstuwen in grachten (en waterlopen)
- kleinschalige landschapselementen: belangrijkste elementen met impact op hitte, droogte of overstromingen worden al gevat in andere (type)maatregelen

- groene geluidsschermen: detail-maatregel die vooral effect heeft op geluid en veel minder op hitte.
- windcorridors: vereist detailstudies en een ander soort modellering (Computational Fluid Dynamics, CFD) dan wordt toegepast in deze studie.
- ontstaansgebied van koele lucht vrijwaren: kijkt vooral naar bijkomende verstedelijking in de toekomst en dit komt niet aan bod in de scenario's.
- tijdelijke waterkeringen, dammen, winterbedding verbreden: fluviale overstromingen komt – in de huidige ontwikkelingsfase – niet aan bod in de klimaateffectmodellen.
- voorspellingssystemen: is geen gebiedsgerichte actie die kan gemodelleerd worden
- ophogen terreinen: wordt mede gevat onder waterproof bouwen of verbouwen.
- droogteresistente gewassen: op basis van gesprekken met experts van ILVO werd besloten dat de huidige stand der kennis niet toelaat om de impact hiervan mee te nemen in droogtemodellering of adaptatiepotentieelkaarten.
- receptor-gerichte maatregelen: we simuleren in dit project met behulp van klimaateffect-modellen vooral hoe brongerichte maatregelen bijdragen aan het reduceren van klimaateffecten en -impacts. Het reduceren van kwetsbaarheden met behulp van receptor-gerichte maatregelen werd niet meegenomen in de berekeningen.

Tabel 1: Short list maatregelen en omschrijving opname maatregelen in tools

Maatregelen	Plantool**	Projecttool
Wadi's (bovengrondse infiltratie)	Bovengrondse berging bebouwd gebied	Wadi
Infiltratievelden en infiltratiestroken (bermen)	Bovengrondse berging bebouwd gebied	Infiltratieveld of -strook
Infiltratiepoelen	Bovengrondse berging onbebouwd gebied	
Ontharden	Ontharden	Ontharden
Straatbomen en laanbomen	Boomschaduw	Boomschaduw
Groendaken	Groendaken	Groendak
Blauwgroene daken		Blauwgroen dak
Ondergrondse infiltratie (o.a grindkoffers, infiltratiekragen, infiltratieriool, verticale infiltratiepalen, waterbergende onderfundering)	Ondergrondse berging bebouwd gebied	Ondiepe horizontale ondergrondse infiltratie
Waterbergende onderfundering	Ondergrondse berging bebouwd gebied	Waterbergende onderfundering
Waterdoorlatende verharding	Ontharden	Waterdoorlatende verharding
Ondergrondse buffer met vertraagde afvoer	Ondergrondse berging bebouwd gebied	Ondergrondse buffer vertraagde afvoer
Bovengrondse buffer met vertraagde afvoer	Bovengrondse berging bebouwd gebied	Bovengrondse buffer vertraagde afvoer
Waterplein		Waterplein
Waterelement toevoegen (koelen)		Waterelement
Hemelwaterputten	Ondergrondse berging bebouwd gebied	Hemelwaterput
Daken afkoppelen*		
Wegenis afkoppelen*		
Opstuwen van grachten	Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	
Overig verhard afkoppelen*		
Extra zonnewering (zonnenscherm)		Zonnenscherm
Boomkruin (bomen, natuurlijk hittescherm, straatbomen, stadsbossen)	Boomschaduw	Boomschaduw

* We veronderstellen bij de inrichting van andere maatregelen dat verharde oppervlakte wordt afgekoppeld en aangesloten op buffer- en infiltratiemaatregelen. Deze maatregelen worden niet apart meegenomen in de modelberekeningen en tools.

** In de plantool worden een aantal van deze maatregelen gegroepeerd. De kolom voor de plantool omschrijft onder welke groepering deze acties zijn opgenomen.

HOOFDSTUK 4. ADAPTATIEDOELEN EN -INDICATOREN

De klimaatadaptatietools zijn een beleidsondersteunend instrumentarium waarmee klimaatadaptatiestrategieën geconcretiseerd en afgetoetst kunnen worden. Een belangrijk onderdeel hierbij is het **formuleren van adaptatiedoelen, en indicatoren om de uitvoering van het klimaatadaptatiebeleid op te volgen**.

Voor klimaatadaptatie zijn er geen formele of wettelijke **doelstellingen**. Het Europese Burgemeestersconvenant verplicht ondertekenaars om een risico- en kwetsbaarheidsanalyse uit te voeren en een plan op te maken om de grootste risico's te ondervangen, maar koppelt daar geen zeer concrete doelstellingen aan. Voor klimaatmitigatie daarentegen worden wel cijfermatige doelstellingen naar voren geschoven vanuit overheden, zoals bijvoorbeeld 40% CO₂-uitstootreductie tegen 2030 in het (vernieuwde) Burgemeestersconvenant. Uit gesprekken met lokale overheden blijkt dat die doelstelling-gedreven aanpak ook interessant zou zijn voor adaptatie.

Het Vlaams Adaptatieplan 2030 schetst wel een aantal kantlijnen die bruikbaar zijn voor het afleiden van deze doelstellingen: regenwater en rivierwater vasthouden zodat risico's op watertekorten in 2040 beperkt worden tot deze van vandaag; overstromingsrisico's in 2040 beperken tot deze van het huidige klimaat vandaag en hittestress in woonomgevingen reduceren met als doelstelling om de oversterfte door hittegolven en hittedagen niet verder te laten toenemen in vergelijking met vandaag.

Een tweede belangrijk onderdeel van het uitwerken van een adaptatiestrategie is het formuleren van **indicatoren** die kunnen **opvolgen**¹ in hoeverre een klimaatadaptatiestrategie al geïmplementeerd is en in staat is om de gevolgen van klimaatverandering ook daadwerkelijk op te vangen. Gezien de veelheid aan mogelijke acties en toepassingsdomeinen rond klimaatadaptatie, is het van groot belang om een meetbare en complete set van indicatoren te definiëren die al die acties, en dus de voortgang van de implementatie van het klimaatadaptatiebeleid, kan opvolgen.

4.1. LONGLIST VAN MOGELIJKE ADAPTATIEDOELEN

Adaptatiedoelen kunnen bijzonder breed gedefinieerd worden. Enkel al op vlak van impact-gebaseerde doelstellingen zijn een zeer groot aantal doelstellingen mogelijk in functie van de sector die men beoogt te beschermen tegen de gevolgen van klimaatverandering. We geven hieronder alvast een niet-limitatief overzicht van verschillende mogelijke doelstellingen opgedeeld per type doelstelling. Dit overzicht is gebaseerd op eigen bevindingen van het consortium, overleg met de CIW projectgroep Hemelwater- en droogteplannen (zie ook de Blauwdruk voor de opmaak van hemelwater- en droogteplannen zoals gepubliceerd door de CIW en Bijlage 4 daarin voor een overzicht van mogelijk te gebruiken doelstellingen die door de projectgroep naar voren worden geschoven), alsook de Europese SECAP template. Deze longlist kan gebruikt worden als inspiratie bij het opstellen van adaptatieplannen en kan onafhankelijk van de adaptatietools gebruikt worden.

- Effect- (aangeduid met een (*)) en impact-gebaseerde doelstellingen (gesorteerd per effect):
 - Wateroverlast:

¹ Het monitoren of opvolgen van de implementatie van klimaatadaptatiestrategieën valt buiten de scope van de bestaande adaptatietools. Wel wordt er op dit moment onderzocht in opdracht van VMM en Departement Omgeving welke indicatoren gebruikt kunnen worden voor monitoring en rapportering.

- De uitgestrektheid van de wateroverlast die schade veroorzaakt met terugkeerperiode 20 jaar beperkt tot deze in het huidig klimaat bij eenzelfde terugkeerperiode (*).
 - Aantal getroffen woningen beperken
 - Aantal getroffen gebouwen beperken
 - Aantal getroffen technische installaties beperken
 - Aantal dagen met verstoring van publieke functies, zoals mobiliteit, beperken
 - Overstroomde oppervlakte en/of overstromingsduur van waardevolle natuur beperken tot grenzen die geen (irreversibele) schade toekennen
 - Overstroomde oppervlakte landbouwgronden beperken in het groeiseizoen
 - Bebouwbare oppervlakte (bouwplaatsen) in overstromingsgevoelig gebied beperken (...)
 - ...
- Droogte, watertekort en verzilting:
 - Eenzelfde GLG (gemiddeld laagste freatische grondwaterstand), GMG (gemiddelde) of GHG (hoogste freatische grondwaterstand) nastreven in het toekomstig klimaat als in het huidig klimaat (*).
 - Laagwaterdebiet langs waterlopen met terugkeerperiode 20 jaar verhoogd tot deze in het huidig klimaat bij eenzelfde terugkeerperiode (*).
 - % leegstand vijvers/stilstaande waters beperkt tot deze in het huidig klimaat (*).
 - Een variatie van GLG/GHG nastreven in het huidig en toekomstig klimaat rekening houdend met de referentiewaarden van grondwaterafhankelijke habitats volgens de NICHE dataset.
 - Terugkeerperiode onderschrijding van het ecologisch minimale debiet voor de kwetsbare waterlopen verhoogd tot deze in het huidig klimaat.
 - Aantal hectaren vegetatie/landbouwgewas met droogtestress bij een bepaalde terugkeerperiode beperkt tot deze in het huidig klimaat, of terugkeerperiode droogtestress verhoogd tot deze in het huidig klimaat
 - Over/onderschrijding van de grenswaarden van zoutconcentratie (bv. EC > 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) beperkt tot deze in het huidig klimaat.
 - Voor zwemvijvers en recreatievijvers: terugkeerperiode van over/onderschrijding grenswaarden voor gezondheidsrisico's volgens normwaarden beperkt tot deze in het huidig klimaat.
 - ...
 - Overstortwerking (*opmerking: niet in scope van de klimaatadaptatietool*):
 - De overstortfrequentie onder het toekomstig klimaat beperken tot deze van het huidig klimaat (of bijvoorbeeld tot een f7) (*).
 - De overstortvolumes bij een TX bui in het toekomstig klimaat reduceren (...) (*)
 - Geen overstortwerking meer op waterlopen A, B en C (*)
 - Over/onderschrijding van immissienormen waterkwaliteit in de ontvangende waterloop beperken tot deze in het huidig klimaat.
 - ...
 - Hitte:
 - De gemiddelde hittestress in een wijk (gemiddelde van dagmaximum en dagminimum WBGT met terugkeerperiode van 20 jaar) mag tot 2050 binnen een

- o gemeente nergens hoger liggen dan de hoogste waarden in het huidige klimaat (zelfde terugkeerperiode)
- Aantal kwetsbare instellingen (rusthuizen, scholen, ...) in hittestress-gevoelige zones beperken
- Aantal residentiële woningen in hittestress-gevoelige zones beperken
- Systeemgebaseerde doelstellingen:
 - o Het infiltreren van X% van alle regenwater dat op verharding valt binnen de gemeente.
 - o Een jaargemiddeld infiltratievolume per deelgebied nastreven dat onder het toekomstig klimaat gelijk is aan dat van het huidig klimaat.
 - o Beperken van de gedraineerde oppervlakte van de gemeente tot X hectare (bv. door grachten, drainage, ...)
 - o Het drainage-debiet ten gevolge van lekkende rioleringsleidingen beperken tot Y m³/jaar (of reductie van Z% t.o.v. huidige toestand)
 - o Afstroming van verharding van nieuwe infrastructuurprojecten infiltreert voor minstens X% (gemiddeld over de gemeente)
 - o Stadswaterverbruik op niveau van gemeente reduceren met X% of X m³/jaar
 - o Hergebruik van hemelwater op niveau van deelgebied X verhogen met X m³/jaar
 - o ...
- Maatregelgebaseerde doelstellingen:
 - o X mm berging
 - o X m² groen (met onderscheid laag- en hooggroen)
 - o X m² ontharding
 - o X m² klassieke drainage omgevormd naar peilgestuurde drainage
 - o X m² groendaken
 - o Aantal uitgevoerde acties uit het klimaatadaptatieplan
 - o Verharde oppervlakte in de gemeente
 - o Verharde oppervlakte in de gemeente aangesloten op de riolering
 - o Grootte van parasitaire debieten die afgevoerd worden naar de riolering
 - o Geïnstalleerd buffervolume (onderscheid naar bufferende maatregelen in de stedelijke omgeving en langs waterlopen?)
 - o Geïnstalleerd volume aan infiltratievoorzieningen
 - o Aantal en oppervlakte groendaken
 - o Oppervlakte natte natuur
 - o Aantal projecten rond grootschalige opvang, buffering en hergebruik
 - o Aantal hectare peilgestuurde drainage
 - o Aantal projecten rond collectief watergebruik
 - o Aantal/oppervlakte erosiebestrijdende maatregelen
 - o Aantal bemalingsinstallaties met mogelijkheden om water te gebruiken
 - o Aantal geïnstalleerde stuwjes op private grachten
 - o Afstand tot een publiek toegankelijke koeltezone (> 1ha) beperken tot minder dan 300m
 - o Minstens 30% beschaduwing voorzien (van gebouwen of bomen) in straten en op pleinen op de heetste uren van de dag
 - o % onder boomkruin in residentiële wijken optrekken tot minstens 30%

4.2. SHORTLIST ADAPTATIEDOELEN IN DE KLIMAATADAPTATIETOOLS

De longlist aan adaptatiedoelen geeft een zeer brede range aan mogelijke doelstellingen, en dit op vlak van impacts, effecten, systeemwerking en maatregelen. Zeker op vlak van de effect- en impact-gebaseerde doelstellingen zijn de mogelijke adaptatiedoelstellingen die gedefinieerd kunnen worden quasi eindeloos. In de klimaatadaptatietooling zal dit beperkt moeten worden omwille van praktische redenen tot een set van adaptatiedoelen die de verschillende problematieken kunnen afdekken, zonder evenwel te detaillistisch te zijn. Deze trechtering van alle mogelijke adaptatiedoelen tot diegene die geïmplementeerd worden in de tooling gebeurt door het opmaken van een shortlist.

Volgende principes worden gehanteerd bij het opmaken van de shortlist:

- De voorkeur gaat uit naar **impact-gebaseerde doelstellingen**, en indien dat niet mogelijk is naar effect-gebaseerde doelstellingen voor de **adaptatieplanningstool**. Impact-gebaseerde doelstellingen zijn eenvoudiger interpreteerbaar voor niet-expertgebruikers.
- Voor de **adaptatieproofing** tool wordt gewerkt met **maatregel- en systeemgebaseerde doelstellingen**.
- We focussen op klimaateffecten en -impacten die zich in **2050** kunnen voordoen bij een **hoog-impact klimaatscenario**. We wensen de toename van impacten tussen nu en 2050 op te vangen met maatregelen.
- We focussen op een **terugkeerperiode van ongeveer 20 jaar voor de drie thema's**. Het is enerzijds een relevante terugkeerperiode waarvan de kans dat zich dit voordoet tussen nu en 2050 groot is en een aanknooppunt met uitgangspunten uit het waterbeleid. Anderzijds is het ook een terugkeerperiode waarvoor het realistisch is te veronderstellen dat impacten kunnen gereduceerd worden in belangrijke mate met brongerichte maatregelen. De extremiteit (terugkeerperiode) is voldoende laag gekozen, zodat de impact van maatregelen duidelijk zichtbaar is.

Uit de longlist zijn de volgende **adaptatiedoelen** gehanteerd voor opname in de **Plantool**.

- Voor **hitte**:
 - Adaptatiedoelen:
 - Percentage oppervlakte met hittestress (WBGTmin en WBGTmax) boven drempelwaarde in het toekomstig klimaat nergens hoger in dezelfde gemeente/stad dan de hoogste waarden in het huidige klimaat
 - Percentage kwetsbare personen (0-4 en 65+) woonachtig in hittestress-gevoelige zones in het toekomstig klimaat gelijk aan het huidig klimaat
 - Percentage kwetsbare instellingen (rusthuizen, scholen,...) in hittestress-gevoelige zones in het toekomstig klimaat gelijk aan het huidig klimaat
 - Extremiteit: terugkeerperiode van +/- 20 jaar.
- Voor **wateroverlast**:
 - Adaptatiedoelen:
 - Percentage gebouwen getroffen door wateroverlast in het toekomstig klimaat gelijk aan het huidig klimaat
 - Percentage kwetsbare instellingen getroffen door wateroverlast in het toekomstig klimaat gelijk aan het huidig klimaat
 - Extremiteit: terugkeerperiode van +/- 20 jaar, in lijn met de normering van het ontwerp van rioleringen en bronmaatregelen.
- Voor **droogte**:
 - Adaptatiedoel:
 - Gemiddeld aantal droogtedagen (of de droogte-intensiteit) in het toekomstig klimaat gelijk houden aan het aantal vandaag (voor bodemvocht agrarisch en

debieten in waterlopen). Wanneer deze indicator op bodemvocht wordt toegepast, wordt direct de vegetatiestress onderzocht, wat een impactindicator is.

- Percentage oppervlakte kwetsbare ecotopen, landbouwpercelen met significante droogtestress in het toekomstig klimaat gelijk houden aan vandaag
- Extremiteit: terugkeerperiode van +/- 20 jaar. Maatregelen zullen wellicht te weinig impact hebben op de grootste terugkeerperiodes, wat ontmoedigend werkt en zou leiden tot overdimensionering.

Belangrijke kanttekening is dat we voor deze doelen uitgaan van het landgebruik en de bevolking van 2019. We houden dus geen rekening met autonome evoluties.

Deze shortlist van adaptatiedoelen is gebaseerd op gesprekken met de CIW- projectgroep “Opmaak hemelwater- en droogteplannen” (HWDP), maar is niet dezelfde als opgenomen in de Blauwdruk voor de opmaak van hemelwater- en droogteplannen zoals gepubliceerd door de CIW. We verwijzen naar de blauwdruk en Bijlage 4 daarin voor een completer overzicht van de doelstellingen zoals naar voren geschoven door de CIW-projectgroep HWDP.

Voor de **projecttool** is het minder wenselijk om uit te gaan van effect- of impact-gebaseerde doelstellingen. De schaal is veelal te klein om een significante impact te hebben op wateroverlast of droogte. Voor de consistentie over de verschillende thema’s heen is gewerkt met **maatregeldoelen** of **stelsel-doelen, die afgeleid worden uit de effect- of impactgebaseerde doelen**.

De maatregel-gebaseerde doelen of indicatoren die zijn gehanteerd, zijn:

- Verhardingsgraad (relevant voor de drie thema’s)
- Percentage hemelwater gebufferd bij hevige regenval (relevant voor wateroverlast)
- Infiltratiepercentage (relevant voor droogte en wateroverlast)
- Percentage boomschaduw (relevant voor hitte, vooral voor maximum temperaturen)

HOOFDSTUK 5. MODELSIMULATIES MET KLIMAAT-EFFECTMODELLEN

De resultaten van de plantool zijn het resultaat van een modellering van de klimaateffecten in verschillende scenario's met klimaat-effectmodellen. Deze modelsimulaties zijn vooraf gebeurd voor diverse scenario's en kunnen in de plantool geraadpleegd worden voor verschillende gebieden.

Deze paragraaf beschrijft de klimaateffectmodellen die worden toegepast en hoe specifiek maatregelen worden ingebouwd voor de scenario's.

5.1. OVERZICHT

Onderstaande tabel geeft een kort overzicht van de geselecteerde klimaateffectmodellen, benodigde modelaanpassingen om de maatregelen in te rekenen (voor zover reeds onderzocht), de benodigde inputdata, de (gebruikte) outputdata, de inrekening van klimaatverandering en de stuurvariabelen om maatregelen in te rekenen.

Tabel 2: In te zetten modellen in het evaluatiekader en af te leiden indicatoren

Thema	Wateroverlast	Hitte	Droogte landelijk gebied	Droogte stedelijk gebied
Gebruikte modellen	Flood4Cast	UrbClim	Vlaamse droogte-instrumentarium	Waterbalans-model geïntegreerd in het droogte-instrument
Output -indicator	Piekwaterdiepte	Wet Bulb Globe Temperature (min en max)	Laagwaterdebiet en Bodemvocht	m ³ infiltratie, verdamping en hergebruik
Model-variabelen om effecten van maatregelen door te rekenen	Runoff, Berging, Infiltratie-capaciteit / doorvoercapaciteit	Landgebruik, % hoog groen, % verhard, vaste boomhoogte in functie van beschikbare ruimte	Landgebruik, berging, infiltratie	Landgebruik, berging, infiltratiecapaciteit
Ruimtelijke resolutie model	2m	1m	100m	n.v.t.

5.2. WATEROVERLAST

5.2.1. MODELBESCHRIJVING

Flood4Cast® Masterplanner is een integrale modelleringstool die invulling geeft aan de nood om op grote ruimtelijke schaal integrale modellering toe te passen zonder de excessieve rekentijden die detaillistische, fysisch-gebaseerde rekensoftware met zich meebrengen. Deze rekensoftware kenmerkt zich in het bijzonder door een zeer snelle en gemakkelijke modelopbouw en modelupdate (in vergelijking met traditionele integrale modellen), zeer snelle rekentijden en een integraal karakter (inbegrip van oppervlaktestroming, rioolstroming en waterloopstroming, alsmede alle relevante interacties).

→ Modelbeschrijving: oppervlaktestroming

Masterplanner maakt gebruik van een rechthoekig rekenrooster met een maaswijdte van 100 m voor de simulatie van de oppervlaktestroming. Hierbij wordt in Masterplanner wel gedetailleerde terreininformatie in acht genomen door gebruik te maken van subgrids. Door het grove rekenrooster volstaat het om voor de berekening van cel naar cel gebruik te maken van de Manningformule. Voor meer informatie over de modelleringsaanpak wordt verwezen naar Craninx et al. (2021).

Eén van de input-datasets voor Masterplanner is het gedetailleerde (1 x 1m²) DTM van Vlaanderen. Een nadeel van het DTM is dat deze op de locaties van waterlopen niet de hoogte van de bedding maar de waterspiegel representeert op het moment van de opname. Bij rechtstreeks gebruik van dit DTM in de modellering wordt de riviercapaciteit onderschat en de afvoerpiek te veel werd vertraagd en uitgesmeerd. Flood4Cast® Masterplanner beschikt daarom over een rivierinbrandingsalgoritme (Craninx et al., 2021). Dit algoritme vertrekt van de shapefile met waterlopen (in het geval van Vlaanderen de Vlaamse Hydrografische Atlas - VHA), een shapefile met duikers en het digitale terreinmodel (DTM). Het algoritme onderzoekt allereerst het DTM op de exacte ligging van de waterlopen uit de shapefile. Vervolgens worden de waterlopen ingebrand met een breedte en diepte die afhankelijk is van de riviercategorie. Hiertoe heeft tijdens de modellering voor een deel van de waterlopen een manuele correctie plaatsgevonden van de riviercategorieën om de breedte en diepte van deze waterlopen beter te representeren in het terreinmodel. Op locaties van duikers is het digitale terreinmodel ingebrand tussen de opwaartse en afwaartse waterlopen.

De gesimuleerde overstromingsvolumes in het rekengrid van 100 x 100 m² worden na de simulatie omgezet naar overstromingsdieptes op 2 x 2 m²-schaal. Masterplanner beschikt hiertoe over een post-processing-algoritmes dat de overstromingsvolumes via een slimme interpolatiemethode herverdeeld naar de locaties in het gedetailleerde terrein waar ze in feite zullen optreden.

→ Modelbeschrijving: urbane afstroming

Masterplanner voorziet in een modellering van de (DWA-/gemengde) riolering, RWA-netwerken en inbuizingen. De twee modellagen die ter beschikking zijn voor deze urbane afstroming kunnen best worden omschreven als een bakjesmodellering. De afzonderlijke bakjes staan gelijk aan de modelcellen van 100 x 100 m². De bakjes zijn aaneengeschaald in een 2D-grid door volumes via afstromingsfracties door te geven aan afwaartse modelcellen. De fracties worden bepaald op basis van de veronderstelde capaciteiten van de rioleringsstrengen die door de modelcel passeren. De capaciteiten worden benaderd op basis van de ontwerpcriteria van de riolering in Vlaanderen en terreingegevens (Craninx et al., 2021).

Bijgevolg kan Masterplanner gedurende de simulaties de vullingsgraad in het netwerk bijhouden, en kan rekening worden gehouden met opstuwning en terugstroming in het urbane netwerk. Ook kan in elke modelcel uitwisseling plaatsvinden met het landoppervlak.

In Masterplanner worden de volgende rioolobjecten meegenomen in de modellering: pompen, overstorten, RWZI-uitstromen, rioolinstromen (bijv. instromen van ingebuisde waterlopen) en riooluitstromen. Bijgevolg kan gedurende de modellsimulatie de inwerkingtreding van deze objecten (op basis van vullingsgraad en in het geval van uitstromen en overstorten ook opstuwning van afwaarts) worden gesimuleerd.

→ Pluviaal versus fluviaal

Deze modelleringstool simuleert ook de wateroverlast langsheen (kleinere) waterlopen, maar enkel ten gevolge van pluviale gebeurtenissen, dus het houdt wel rekening met de stroming in waterlopen ten gevolge van hevige buien, maar het houdt geen rekening met het bijkomend effect van langdurige vernatting in de winter. Om deze reden is het beperkt tot de kleinere waterlopen (in het algemeen 2^{de} en 3^{de} categorie) en zitten de groter waterlopen (hoofdzakelijk 1^{ste} categorie en bevaarbaar) er in als randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden zijn gebaseerd op een statistische analyse van de waterhoogtemetingen en vastgelegd op een terugkeerperiode van 1 jaar (composietlimnigram) en dus gekozen onafhankelijk van de toegepaste bui.

Voorts wordt in de randvoorwaarden van rivieren die onderhevig zijn aan getijdewerking de getijdencyclus ingewerkt in de randvoorwaarde. Hoewel kustoverstroming niet is inbegrepen in de modellering, wordt zodoende wel rekening gehouden met getijdewerking in de rivieren.

→ Scenariomodellering

De modelcode is uitgerust met de mogelijkheid om adaptatiemaatregelen in te rekenen via:

- Wijziging in landgebruik
- De bronmaatregelmodule (inrekening van maatregeleffecten in de composietbui)
- Maatregelen die verbonden zijn met waterlopen, zoals meandering of de bouw van GOG's kunnen met Flood4Cast[®] Masterplanner doorgerekend worden door een aanpassing van de terreinhoogtes. Dergelijke niet-brongerichte maatregelen zijn niet opgenomen in de klimaatadaptatietools, omdat modellering van deze maatregelen op grote schaal complexer is dan de modellering van brongerichte maatregelen. Dit is niet voorzien binnen de timing en het budget van het project.

→ Inrekening klimaatverandering

Klimaatverandering wordt rechtstreeks in de neerslag (composietbuien) ingerekend middels perturbatiefactoren. In deze studie vindt de perturbatie specifiek plaats voor het "hoogzomer"-scenario (hCC). In tegenstelling tot het vaak gebruikte hoogwinter scenario dat de meest extreme klimaatimpact weergeeft voor grotere waterlopen die vooral in de winter overstromen omwille van de combinatie van langdurige voorafgaandelijke vernatting en een significante neerslag, geeft het hoogzomer-scenario de meest extreme klimaatimpact weer op extreme zomerse onweders die bepalend zijn voor wateroverlast in stedelijke gebieden en kleinere waterlopen. De klimaateffecten worden afgezet tegen het scenario met de huidige klimaatverandering voor het referentiejaar 2019 conform de laatste modellering van de pluviale overstromingskaarten.

→ Uitstrekking gemodelleerd gebied

Voor de modellering werd Vlaanderen onderverdeeld in 103 stroomgebieden. Deze stroomgebieden dekken het volledige Vlaamse grondgebied af.

Een deel van de stroomgebieden strekken zich in opwaartse richting uit buiten de gewestgrenzen. De afstroming vanuit deze opwaartse gebieden is in de modellering opgenomen door middel van:

- Hydrologische modellering van het opwaartse deel van het stroomgebied, indien het opwaartse deel een groot landoppervlakte omvat. De belangrijkste databron voor deze hydrologische modellen is het digitale terreinmodel van deze opwaartse gebieden. De uitstroom van de hydrologische modellen werd in Masterplanner aan de waterlopen gevoed nabij de instroom van deze waterlopen in Vlaanderen.
- Directe opname in het Masterplanner-model, indien het opwaartse deel een relatief klein landoppervlakte omvat. Hiertoe werd in deze gebieden zoveel mogelijk vergelijkbare input-data verzameld met de input-data die beschikbaar is voor Vlaanderen.

→ Modelinput

- Digitaal terreinmodel (DHMV-II – 2014)
- Belgische bodemkaart (VPO – versie 2017)
- Bodembedekkingskaart (AGIV – referentiejaar 2018)
- Riooldata (Afvalwaterinformatiesysteem VMM – versie 2020):
 - DWA-/gemengde) leidingen
 - RWA-leidingen
 - Pompstations
 - RWZI's
 - Transportleidingen
- Zuiveringszones (VMM – versie 2020)
- Rivieren (Vlaamse Hydrografische Atlas – versie 2021)
- Gebouwen (Grootschalig Referentie Bestand – versie 2018)
- Duikers (VMM – VLAGG-project 2018)

Voor de modellering van de opwaartse delen van stroomgebieden buiten Vlaanderen werd gebruik gemaakt van vergelijkbare datasets voor zover beschikbaar in deze gebieden.

→ Modeloutput

- Waterdieptes (*primaire modeloutput die op gedetailleerd grid wordt aangeleverd*), voor de herhalingsperiodes T20

5.2.2. GEBRUIKTE SOFTWARE

Met **Flood4Cast® Masterplanner** wordt voor de modellering van de adaptatiescenario's in de plantool gebruik gemaakt van een andere software dan deze die werd gebruikt voor de wateroverlastkaarten in het Klimaatportaal dd 2018 en de nieuwe impacttool. Voor die wateroverlastkaarten werd JFlow® gebruikt. JFlow® (ontwikkeld door JBA Consultants) is een 2D-oppervlaktestromingsmodel. In het kader van die wateroverlastmodellering werd de riolering impliciet gemodelleerd door het deel van de neerslag dat via de riolering afstroomt van de bui af te trekken en afwaarts aan de waterlopen in het oppervlaktestromingsmodel te hervoeden. JFlow® werd hierbij toegepast met een rekenresolutie

van 2 m. Simulaties per deelbekken duurden gemiddeld ongeveer 2.5 dagen voor één bui, daarbij gebruikmakend van verschillende parallel opererende GPUs.

De keuze voor het gebruik van een andere rekensoftware is ingegeven door rekestijd voor JFlow[®] en de geschiktheid voor de voorliggende opdracht:

- Binnen deze opdracht werden twee basisscenario's en zeven klimaatadaptatiescenario's voor het gehele grondgebied van Vlaanderen doorgerekend. Dit zou vele maanden ononderbroken rekenwerk hebben gevraagd in JFlow[®]. Naar planning en benodigd budget was dit geen reële mogelijkheid in het kader van deze opdracht.
- Voor elk klimaatadaptatiescenario werd binnen dit project het effect van bronmaatregelen doorgerekend. Deze bronmaatregelen zouden dan ruimtelijk gespreid voor heel Vlaanderen in de bui ingewerkt moeten worden. Dit zou een vrij complexe aanpak zijn om in JFlow[®] toe te passen, terwijl **Flood4Cast[®] Masterplanner beschikt over een bronmaatregelmodule, waardoor de statistisch correcte neerslag-afvoer wordt bekomen.**
- Om de impact van de bronmaatregelen voldoende nauwkeurig te krijgen in een stedelijke omgeving, is een meer holistische aanpak van de modellering aangewezen.

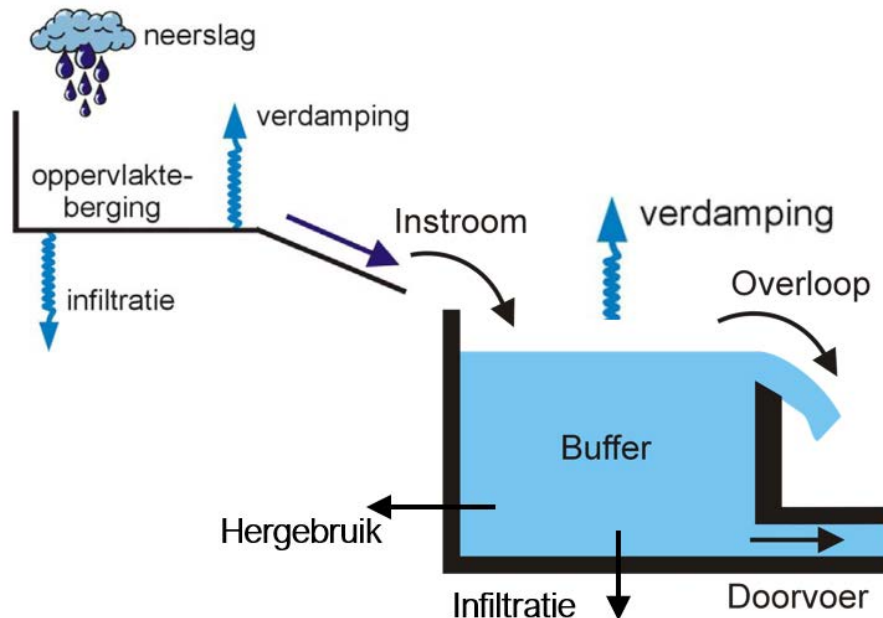
5.2.3. INGEBOUWDE ADAPTATIEMAATREGELEN

Tabel 3 geeft voor het thema wateroverlast weer voor welke adaptatiemaatregelen mogelijk resultaten kunnen worden opgeleverd met behulp van de huidige tooling.

Bronmaatregelmodule

Flood4Cast[®] Masterplanner beschikt over een eigen bronmaatregelmodule. Dit betreft in feite een conceptueel bakkenmodel waarvan de resultaten worden geprojecteerd op de effectieve neerslagafstroming in Flood4Cast[®] Masterplanner. Deze aanpak komt volledig overeen met wat het Sirio-model, zowel wat invoer betreft (continue lange termijn neerslagreeksen en PET voor verschillende klimaatscenario's) als naar modelvergelijkingen; en de resultaten zijn dan ook gelijkaardig. De inwerking in Flood4Cast[®] Masterplanner is nodig om de hele rekenketen automatisch te kunnen doorlopen.

Alle types van bronmaatregelen (voor wateroverlast) worden teruggebracht naar parameters van dit veralgemeend model. Waar overlappend zijn voor de modellering van maatregelen voor het thema droogte gelijke parameters gehanteerd.



Figuur 2: Conceptueel bakkenmodel voor de modellering van maatregelen voor het thema wateroverlast

Per maatregel kunnen de volgende ledigingsfluxen worden bekeken vanuit het bakje:

- Verdamping (enkel nuttig bij groendaken, waar dit als een verlies naar de omgeving wordt gezien en niet in de runoff terecht komt)
- Hergebruik (wordt apart meegenomen omwille van verwijdering uit het natuurlijk systeem – als een constant gemiddelde waarde)
- Infiltratie (opties: constant, lineair i.f.v. vullingsgraad)
- Vertraagde doorvoer (opties: constant, lineair, vierkantswortel i.f.v. vullingsgraad)

Voor de oppervlakteafstroming (linksboven in Figuur 2) wordt een vaste oppervlakteberging gehanteerd van 2 mm (afgestemd met het thema droogte). De verdampingsflux wordt afgeleid uit de historische tijdreeks voor potentiële verdamping (Hargreaves).

Voor infiltratie van onverharde oppervlaktes die niet aangesloten zijn op een bronmaatregel worden de runoffcoëfficiënten gebruikt. Deze zijn in het kader van dit project afgeleid voor referentietoestand 2018. Hierbij is dezelfde methodiek toegepast zoals deze eerder door HydroScan is toegepast in de studie 'Opmaak van een kaart met pluviale overstromingsgebieden Vlaanderen' (2019).

Runoff routing is verwaarloosbaar omdat de gesimuleerde maatregelen altijd van lokale aard zijn.

Voor de effectieve toepassing van deze conceptuele aanpak dient per type bronmaatregel te worden ingeschat:

- verwachte buffervolume
- verwachte (maximale) ledigingsdebieten:
 - i. verdamping
 - ii. infiltratie
 - iii. hergebruik
 - iv. vertraagde doorvoer

Deze inschatting vindt plaats in functie van de effectieve oppervlakte (zowel de afstromende als de infiltrerende oppervlakte) en in functie van specifieke parameters die zijn vastgesteld per type voorziening (Tabel 3).

Tabel 3: Opzet van een combinatietabel voor de belangrijkste maatregelvoorzieningen en bijbehorende parameters voor piekafwatering

Maatregel	Waterdiepte	Volume	Aangesloten oppervlakte	Iedigingsdebiet
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied (o.a. wadi)	0.2 m*	Oppervlakte uit maatregelenkaart (eventueel afgetopt) × waterdiepte	Verharde oppervlakte in modelcel	Constante infiltratie overeenkomstig infiltratiekaart**
Ondergrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	0.5 m			Squareroot infiltratie overeenkomstig infiltratiekaart**
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied (o.a. infiltratiepoelen)	0.2 m*		Alle oppervlakte in de modelcel	Constante infiltratie overeenkomstig infiltratiekaart**
Verminderen drainage en aanleggen stuwen in onbebouwd gebied	0.005 m			
Groendaken	nvt***			
Ontharding	nvt	nvt	Ingerekend met runoffcoëfficiënt van omliggend onverhard	nvt

* De diepte van een wadi of een infiltratiepoel wordt gebruikt om het nodige buffervolume te koppelen aan de nodige oppervlakte. Dit is gebaseerd op de voorgeschreven/aanbevolen maximale diepte van 0.3 m met een correctie naar 0.2 m omdat er voor een inpassing in het terrein meer oppervlakte nodig is dan met een diepte van 0.3 m beschikbaar is. Dezelfde gemiddelde diepte is gebruikt voor infiltratiepoelen.

** Indien de infiltratiecapaciteit volgens de infiltratiekaart lokaal kleiner is dan 5 mm/h wordt overgeschakeld op een vertraagde doorvoer met een debiet van 5 l/s/ha.

*** Omdat er wordt verondersteld dat groendaken altijd in serie staan van andere meer performante bronmaatregelen, wordt er een vaste impact van 20% voor ingeschat: dit betekent dat de dakoppervlakte met 20% wordt gereduceerd en voor 80% verder wordt ingerekend bij de andere bronmaatregelen.

5.3. HITTE

5.3.1. MODELBESCHRIJVING

Het door VITO ontwikkelde **UrbClim model** (De Ridder et al., 2015a) is de afgelopen jaren ingezet om de lucht temperaturen en het stedelijke warmte-eiland in Vlaanderen in kaart te brengen met een hoge ruimtelijke resolutie van 100m (De Ridder et al., 2015b; Lauwaet et al., 2018). Het model is daarbij ook uitgebreid gevalideerd met behulp van een netwerk van stedelijk en rurale meetstations (Lauwaet et al., 2018). De hitte-eiland indicator (het aantal hittegolfgaaddagen) die hierbij in kaart wordt gebracht maakt gebruik van zowel de maximum als de minimum lucht temperaturen en geeft een goed globaal overzicht (zowel in de tijd als in de ruimte) van de stedelijke warmte-eiland problematiek in Vlaanderen.

Lucht temperaturen vertellen echter niet het volledige verhaal van hittestress die mensen ervaren. Ook de stralingsbelasting (zowel kortgolvig als langgolvig), de luchtvochtigheid en de windsnelheid spelen een belangrijke rol in het bepalen van het thermisch comfort (de gevoelstemperatuur). Een indicator die al deze effecten in rekening brengt is de zogenaamde 'Wet Bulb Globe Temperature' (WBGT), de ISO-standaard voor het kwantificeren van thermisch comfort (ISO 1989). Deze indicator wordt gebruikt door de Belgische overheid (FOD Volksgezondheid en FOD Werk) om te bepalen wanneer werknemers worden blootgesteld aan overmatige hittestress².

De standaard WBGT formule is:

$$WBGT = 0.7 \times Tw + 0.2 \times Tg + 0.1 \times Ta$$

met Tw = de natte bol temperatuur, Tg = de zwarte bol temperatuur en Ta= de lucht temperatuur.

De finale WBGT waarde wordt dus in belangrijke mate bepaald door de natte bol temperatuur, die de luchtvochtigheid en windsnelheid in rekening brengt, en de zwarte bol temperatuur, die de stralingsbelasting in rekening brengt. Afhankelijk van deze variabelen kan de gevoelstemperatuur bij éénzelfde lucht temperatuur toch sterk variëren. Onderstaande figuur illustreert dit wat betreft de luchtvochtigheid.

² [Hoe meet u de temperatuur ? - Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg \(belgie.be\)](https://www.belgie.be)

Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) from Temperature and Relative Humidity																
Temperature in Degrees Celsius																
	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
0	14.8	16.1	18.0	18.6	19.8	21.1	22.3	23.5	24.7	25.8	27.0	28.1	29.3	30.3	31.4	32.5
5	15.3	16.7	18.7	19.4	20.7	22.0	23.3	24.6	25.9	27.2	28.4	29.6	30.9	32.2	33.4	34.6
10	16.0	17.4	19.4	20.2	21.6	23.0	24.3	25.7	27.1	28.4	29.7	31.1	32.4	33.8	35.1	36.4
15	16.5	18.0	20.1	20.9	22.4	23.8	25.2	26.7	28.1	29.6	31.0	32.4	33.8	35.2	36.7	38.1
20	17.1	18.7	20.8	21.6	23.1	24.6	26.2	27.7	29.2	30.6	32.1	33.6	35.1	36.6	38.2	39.7
25	17.6	19.3	21.4	22.3	24.0	25.5	27.0	28.6	30.1	31.7	33.2	34.8	36.3	37.9	39.5	
30	18.2	19.8	22.0	23.0	24.6	26.2	27.8	29.4	31.0	32.7	34.2	35.9	37.4	39.1		
35	18.7	20.3	22.6	23.6	25.3	26.9	28.6	30.2	31.9	33.5	35.2	36.8	38.5			
40	19.3	20.9	23.2	24.3	26.0	27.6	29.4	31.0	32.7	34.4	36.1	37.8	39.5			
45	19.7	21.5	23.8	24.9	26.6	28.3	30.1	31.8	33.5	35.2	37.0	38.7				
50	20.2	22.0	24.3	25.5	27.3	29.0	30.8	32.5	34.3	36.1	37.9	39.6				
55	20.7	22.4	24.8	26.0	27.8	29.6	31.4	33.3	35.0	36.8	38.6					
60	21.1	22.9	25.4	26.6	28.4	30.2	32.1	34.0	35.7	37.5	39.4					
65	21.6	23.2	25.9	27.1	29.0	30.9	32.7	34.5	36.4	38.2						
70	22.1	23.9	26.4	27.6	29.4	31.4	33.3	35.1	37.0	38.9						
75	22.5	24.4	26.9	28.2	30.1	32.0	33.8	35.8	37.7	39.5						
80	22.9	24.8	27.4	28.7	30.6	32.5	34.4	36.3	38.2							
85	23.3	25.2	27.8	29.2	31.1	33.0	35.0	36.9	38.9							
90	23.7	25.7	28.3	29.6	31.6	33.5	35.5	37.5	39.5							
95	24.2	26.1	28.7	30.1	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0							
100	24.5	26.5	29.1	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5								

NOTE: This chart is calculated using temperature and humidity, assuming a very clear sky (maximal solar load), and atmospheric pressure of 1ATA (760 mmHg). Chart A was developed by Professor Yoram Epstein to be used in Ariel's Checklist for hikers in Israel.

Figuur 3: Verband tussen de lucht temperatuur, de lucht vochtigheid en de WBGT bij dezelfde condities wat betreft straling en windsnelheid. Bron: [WBGT Chart \(arielschecklist.com\)](http://arielschecklist.com)

VITO heeft een gevalideerde methodologie uitgewerkt om de WBGT te modelleren met een groot ruimtelijk detail (Lauwaet et al., 2020). Hiervoor worden de standaard 100m resolutie meteorologische output variabelen (lucht temperatuur, lucht vochtigheid, windsnelheid, oppervlaktetemperatuur, luchtdruk, neerwaartse kortgolvlige en langgolvlige straling) van het UrbClim model (zoals ook gebruikt in de huidige hittekaarten op het Klimaatportaal) gecombineerd met gedetailleerde stralingsberekeningen, waarbij de exacte locatie van gebouwen en bomen in rekening worden gebracht. Dit soort berekeningen is erg rekenintensief en kan niet voor lange tijdsperioden worden uitgevoerd (zoals wel gebeurt bij de lucht temperatuur modellering), daarom wordt er gekeken naar een geselecteerde typisch hete dag waarop zich hittestress problemen voordoen.

In dit project is geopteerd om te werken met de gevoelstemperatuur (WBGT) als indicator, omdat deze een ruimtelijk completer en gedetailleerder beeld geeft van de hittestress, en deze ook makkelijker te beïnvloeden is met lokale/kleinschalige maatregelen zoals het voorzien van schaduw of een waterelement. Dit is veel minder het geval voor lucht temperaturen, die ruimtelijk minder snel variëren en waarvoor grootschalige maatregelen nodig zijn om ze significant te beïnvloeden. De indicator kaarten op basis van lucht temperaturen blijven wel behouden in het Klimaatportaal, omdat ze iets makkelijker interpreteerbaar zijn door niet-experten, en ze rekening houden met de volledige tijdserie (ipv enkel 1 typisch hete dag). De nieuwe hoge resolutie WBGT kaarten vormen hierop dus een aanvulling die de lokale hittestress nog meer gedetailleerd in kaart brengt.

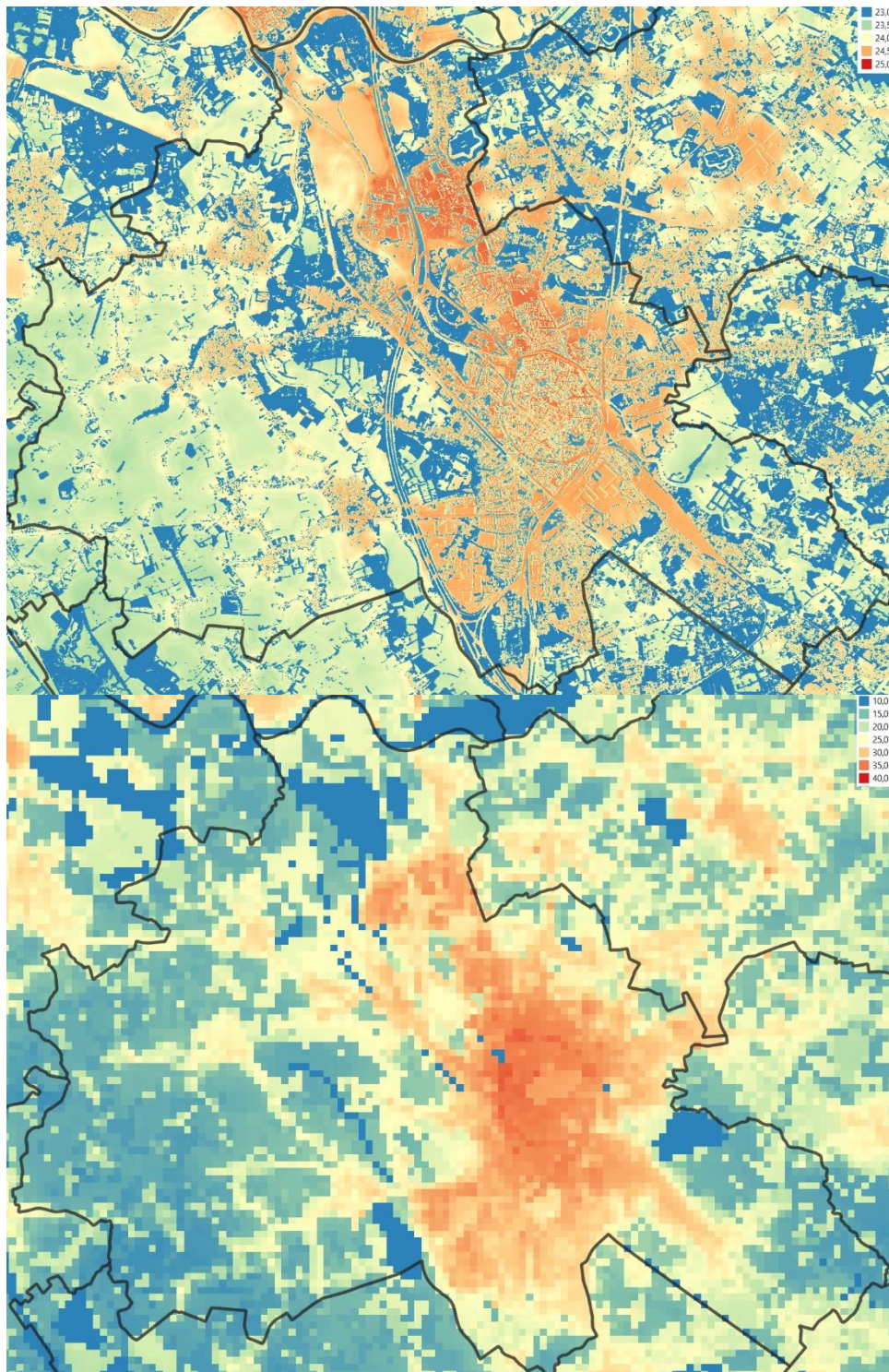
Naar analogie met de andere thema's in deze studie is ervoor gekozen om een typisch hete zomerdag in kaart te brengen met een terugkeerperiode van 20 jaar (T20) in het huidige klimaat (2000-2019). Deze is geselecteerd op basis van de daggemiddelde temperaturen uit de volledige tijdreeks van 2000-2019. De WBGT wordt berekend met een ruimtelijke resolutie van 1m, waarbij de BodemBedekkingsKaart (BBK) van 2018 als voornaamste input kaartlaag wordt gebruikt. Voor de scenario-analyses wordt er in eerste instantie gewerkt met een ruimtelijke resolutie van 100m, omdat

dit anders qua rekentijd niet haalbaar is. Binnen een grid cell van 100m wordt wel onderscheid gemaakt tussen resultaten voor verharde zones en groengebieden, die op hun beurt ook nog eens worden opgesplitst in schaduwzones en niet-schaduwzones. Dit laat toe om toch een groot ruimtelijk detail in de output kaarten van de scenario analyses in te brengen, en deze ook te downscalen naar 1m resolutie.

Een kleine kanttekening bij de modellering is dat het UrbClim model gebruik maakt van een uniform bodemtype voor heel Vlaanderen dat niet lokaal kan aangepast worden (bv. naar zandgrond of kleigrond), en het was niet haalbaar om dat binnen deze studie aan te passen. De impact hiervan op de modelresultaten wordt wel als minimaal ingeschat, omdat a) de T20 dag in erg droge omstandigheden verliep en er bijgevolg weinig verdamping van bodemvocht mogelijk was en b) de grootschalige meteorologische input data van het model (ERA5 reanalyse van ECMWF) wel rekening houden met verschillende bodemtypes, en het effect ervan op de achtergrond lucht temperaturen en luchtvochtigheid dus toch onrechtstreeks in het UrbClim model wordt meegenomen. Validatie oefeningen in het verleden hebben reeds bewezen dat het model sowieso betrouwbare resultaten levert in heel Vlaanderen, boven elk soort bodemtype (Lauwaet et al., 2018).

→ **Modeloutput**

Het UrbClim model produceert uurlijkse Wet Bulb Globe Temperature kaarten voor de geselecteerde T20 hitte-dag, die verwerkt worden tot dag-maxima en dag-minima kaarten. Er is geopteerd om beide kaarten te gebruiken als hittestress indicatoren in dit project, omdat het zowel belangrijk is om de hittestress overdag op de warmste momenten aan te pakken, als tijdens de nacht wanneer mensen moeten kunnen afkoelen en het stedelijke warmte-eiland een rol speelt. Ook bij de hitte-eiland indicator op basis van lucht temperaturen wordt rekening gehouden met zowel de dagmaxima als de dagminima, waardoor een combinatie van de WBGT maxima en minima een vergelijkbaar ruimtelijk beeld geeft. Dit wordt geïllustreerd in onderstaande figuur waarbij de gemiddelde WBGT kaart vergeleken wordt met het aantal hittegolfgraaddagen in Mechelen. De ruimtelijke correlatie tussen beide kaarten bedraagt 0.79.



Figuur 4: Gemiddelde van de T20 dagmaximum en dagminimum WBGT kaart in Mechelen (boven) en het gemiddeld aantal hittegolfgraaddagen voor de periode 2000-2019 (onder)

De WBGT kaarten wijken wel op een aantal punten af van de hittegolfgraaddagen kaart die enkel op lucht temperaturen is gebaseerd. Wateroppervlakken komen bijvoorbeeld als minder koel uit de WBGT kaarten omdat ze 's nachts een vrij hoge temperatuur behouden en overdag geen bescherming bieden tegen de zonnestraling. Daarnaast komen bosgebieden sterker naar voren als koeltezones bij de WBGT kaarten omdat de bomen ook voor schaduwvorming zorgen.

Omdat het voor niet-experten moeilijk is om de WBGT-kaarten en waarden te interpreteren, is er voor geadviseerd om een eenvoudig score-systeem (van 1 tot 5) uit te werken om de interpretatie te vergemakkelijken. Dit op basis van zowel de dagmaximum als de dagminimum WBGT waarden, omdat het belangrijk is om beide te beschouwen, zoals hierboven aangegeven. In de onderstaande tabel wordt de klasse-verdeling weergegeven. Een score van 4 of 5 betekent dat er sprake is van sterke of zeer sterke hittestress. De drempelwaarden van de maxima zijn gebaseerd op de internationale drempelwaarden voor WBGT³. Voor de minima bestaan zulke drempelwaarden niet, maar Djuric et al. (2019) beschouwen 18°C als de ondergrens voor hittestress. Bij lagere waarden kunnen mensen opnieuw recupereren. De voorgestelde indeling van de minima werd als meest logisch bevonden op basis van het kaartmateriaal voor Vlaanderen.

Tabel 4: Overzicht van de WBGT klassegrenzen voor het bepalen van de hittestress score

Hittestress score	WBGT max [°C]	WBGT min [°C]
1	< 27,8	< 17,0
2	27,8-28,75	17,0-17,5
3	28,75-29,5	17,5-18,0
4	29,5-31,0	18,0-19,0
5	> 31,0	> 19,0

Finaal worden de score-kaarten van de WBGT maxima en minima gecombineerd tot 1 scorekaart, waarbij de laagste score wordt behouden. Dit vanuit de redenering dat als de hittestress ofwel overdag ofwel 's nachts onder de drempelwaarde zit, mensen voldoende tijd hebben om te recupereren van de hittestress tijdens andere momenten van de dag. Gebieden met een hittestress score 4 of 5 worden beschouwd als gebieden met hittestress.

→ Inrekening klimaatverandering

Klimaatverandering wordt in rekening gebracht door het temperatuurincrement (op basis van dagmaxima en dagminima) en eventuele verandering in luchtvochtigheid van de Vlaamse klimaatscenario's (Lauwaet et al., 2018) toe te passen op de input data van het model, en vervolgens een nieuwe simulatie uit te voeren.

5.3.2. INGEBOUWDE ADAPTATIEMAATREGELEN

De adaptatiemaatregelen worden herleid naar een reeks van stuurvariabelen van het model die per grid cell aangepast kunnen worden:

- landgebruik
- % verharding
- % laag groen
- % hoog groen
- % water
- % boomschaduw
- % gebouwschaduw
- Albedo gebouwen
- Albedo vegetatie

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Wet-bulb_globe_temperature

- Leaf Area Index (LAI) vegetatie
- Worteldiepte vegetatie
- Stomatale weerstand vegetatie

Bijlage B geeft een overzicht van hoe de individuele maatregelen worden gelinkt aan deze stuurvariabelen in het model.

5.4. DROOGTE

5.4.1. MODELBESCHRIJVING

Het “**droogte-instrumentarium**” is ontwikkeld in opdracht van VMM door een consortium van Sumaqua, KU Leuven, IMDC en Wageningen University & Research (VMM, 2021). De methodologie en uitwerking van het droogte-instrumentarium is beschreven in het eindrapport “Kwantificering en kartering van droogte in Vlaanderen met hydrologische modeltoepassingen” met projectnummer L 2017 S 0006 X⁴. Het droogte-instrumentarium bestaat uit de combinatie van hydrologische PDM-modellen die unidirectioneel gekoppeld zijn aan SWAP modellen. Dit modelinstrumentarium is gekoppeld aan de routing-module in iFramework om stroming door de oppervlaktewaters te simuleren. De simulatieresultaten worden via een statistische naverwerking omgezet naar indicatoren (o.a. het aantal droogtedagen berekend voor bodemvocht en oppervlaktewaters, alsook hun intensiteit).

Voor de plantool werd het droogte-instrumentarium uitgebreid met een massabalanscomponent. Het origineel droogte-instrumentarium is immers te grofschalig (100x100 meter) om scenario's rond bijvoorbeeld ontharding of vergroening door te rekenen. Hiertoe werd een eenvoudige massabalanscomponent toegevoegd dat werkt op basis van langetermijnsimulaties van een groot aantal vooraf uitgevoerde simulaties massabalansen m.b.t. infiltratie, afvoer en verdamping. Er kan rekening gehouden worden met lokale eigenschappen zoals de infiltratiecapaciteit en enkele verschillende gewastypes met verschillende watervraag. Als output van het droogteinstrument worden dus, naast bodemvochtcijfers en laagwaterdebieten, ook infiltratiekarakteristieken gerapporteerd.

→ Modelaanpassingen

Tijdens het toepassen van het droogte-instrument op de testgebieden werd geëvalueerd welke modelaanpassingen wenselijk zijn. Volgende aspecten werden onderzocht en aangepast :

- Voor bronmaatregelen die leiden tot een hogere infiltratie werd er een nieuwe bronmaatregelmodule (i.e. massabalanscomponent) uitgebouwd. De statistische naverwerking van bodemvochtsimulaties naar droogtedagen en –intensiteiten werd bovendien verfijnd worden, door ook rekening te houden met gewasspecifieke kenmerken (o.a. voor GWATEs). Er werden bodemvochtsimulaties uitgevoerd, waarbij het bodemvocht berekend werd over verschillende dieptes. De resultaten van het bodemvocht werden vervolgens geaggregeerd over de worteldiepte van de gewassen zoals gemodelleerd in SWAP. In het oorspronkelijk droogte-instrumentarium werd altijd het bodemvocht geaggregeerd over 70 cm. Er werd na evaluatie op de testgebieden dus een verfijning uitgevoerd.
- De berekening van hydrologische laagwaters werd nader onderzocht op basis van de resultaten van het droogte-instrumentarium uit de voorgaande studie. Er werden geen aanpassingen doorgevoerd aan de manier waarop de hydrologische laagwaters werden gesimuleerd en geanalyseerd t.o.v. het oorspronkelijk droogte-instrumentarium.

4

https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1649745311/26032021DroogtekarteringEindrapport_UitrolVlaanderen_ucoeh6.pdf

→ **Modeloutput**

Voor het droogte-instrument:

- Bodemvocht: aantal droogtedagen, droogte-intensiteit, relatief bodemvocht
- Laagwaters: aantal droogtedagen, droogte-intensiteit, laagwaterdebieten

Voor het massabalansmodel (geïntegreerd in het droogte-instrument):

- Massabalansen rond infiltratie, verdamping en afvoer

→ **Inrekening klimaatverandering**

Klimaatverandering wordt ingerekend via een continue simulatie met de bijhorende klimaatscenario's. Voor droogte wordt, net zoals bij de andere thema's, gekeken naar het hoge-impactklimaatscenario. Dit betekent dat met grote waarschijnlijkheid de werkelijke klimaatverandering zal liggen tussen hetgeen we rapporteren als het huidig en toekomstig klimaat, maar er zijn evenwel klimaatmodellen en scenario's die nog grotere veranderingen voorspellen. Het hoge-impactscenario voor droogte komt overeen met het klimaatscenario dat lage waterbeschikbaarheid simuleert (soms ook aangeduid als laag-scenario).

5.4.2. INGEBOUWDE ADAPTATIEMAATREGELEN**Stuurvariabelen voor adaptatiemaatregelen**

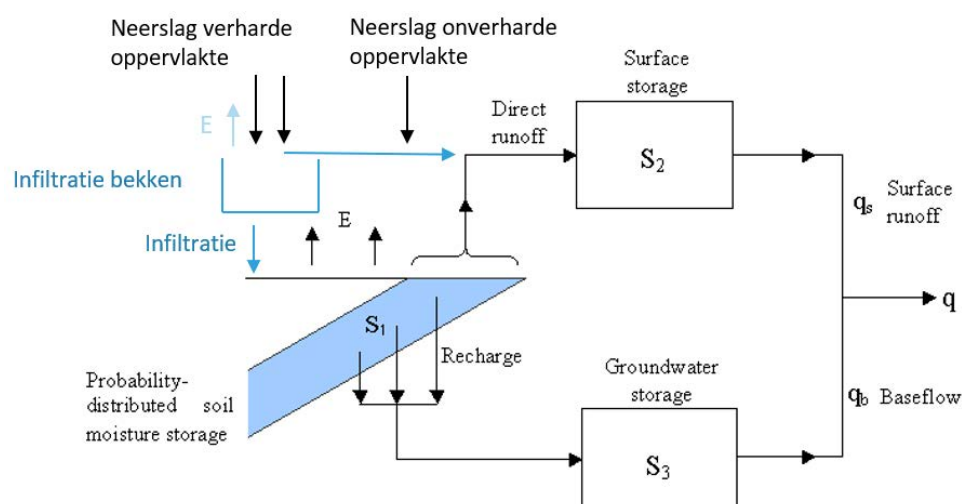
Er werden 3 stuurvariabelen ingebouwd:

- Bergingscapaciteit en infiltratieoppervlakte van maatregelen
- Infiltratiedebiet (na verwerking van simulaties die vooraf uitgevoerd worden voor een groot aantal maatregelen)
- Aanpassing drainagetoestand (klasse) en GW-randvoorwaarde voor cellen.

Bronmaatregelmodule

Er wordt een nieuwe bronmaatregelmodule toegevoegd in de vorm van een bakkenmodel dat voor het PDM model geplaatst wordt. Alle types van maatregelen die leiden tot extra infiltratie kunnen herleid worden tot dit modelconcept. De parameters worden beschreven in de volgende tabel.

Onderstaande figuur geeft schematisch weer hoe de bronmaatregelmodule voor het PDM-model geplaatst wordt. Dit laat toe om bronmaatregelen in zowel verharde als onverharde gebieden te simuleren.



Geïntegreerde adaptatiemaatregelen

Na afstemming met het luik “wateroverlast” werden dezelfde maatregelen en parameters geïntegreerd in het droogte-instrument. Voor de infiltratiecapaciteit werd gebruik gemaakt van de infiltratiekaart die in het kaart van deze studie werd opgemaakt. Deze kaart geeft dus i.f.v. bodemtexturen een ruimtelijk verschillende infiltratiecapaciteit. Onderstaande tabel vat deze samen. Enig verschil is dat de groendaken niet geïntegreerd werden voor het aspect droogte, aangezien deze een eerder negatieve impact hebben op de droogte-karakteristieken. Het lijkt niet wenselijk om (beperkt) negatieve impacts te simuleren.

Tabel 5: Veronderstelde parameters per maatregel in droogte-instrumentarium

Maatregel	Waterdiepte	Volume	Aangesloten oppervlakte	Iedigingsdebiet
Wadi	0.2 m	Oppervlakte uit maatregelenkaart (eventueel afgetopt) × waterdiepte	Verharde oppervlakte in modelcel	Infiltratie via de bodem met een aanpasbare infiltratiecapaciteit
Ondergrondse infiltratie	0.5 m			Infiltratie via de wanden met een aanpasbare infiltratiecapaciteit
Infiltratiepoelen	0.2 m		Alle oppervlakte in de modelcel	Infiltratie via de bodem met een aanpasbare infiltratiecapaciteit
Verminderen drainage en aanleg stuwen in grachten	0.005 m			
Ontharding	nvt	nvt	Ingerekend met runoffcoëfficiënt van omliggend onverhard	nvt

5.5. KLIMAATSCENARIO'S

Voor de ontwikkeling van de klimaatadaptatietooling worden klimaatscenario's gebruikt. Deze scenario's werden eerder afgeleid en beschreven in het MIRA Klimaatrapport (2015). De MIRA klimaatscenario's zijn afgeleid op basis van een 200-tal mondiaal beschikbare klimaatmodelsimulaties. De mondiale simulaties zijn ruimtelijk en temporeel neergeschaald naar het niveau Vlaanderen, aangezien de originele simulatieresultaten te grofschalig zijn. Aldus werden 3 scenario's afgeleid: "laag", "midden" en "hoog".

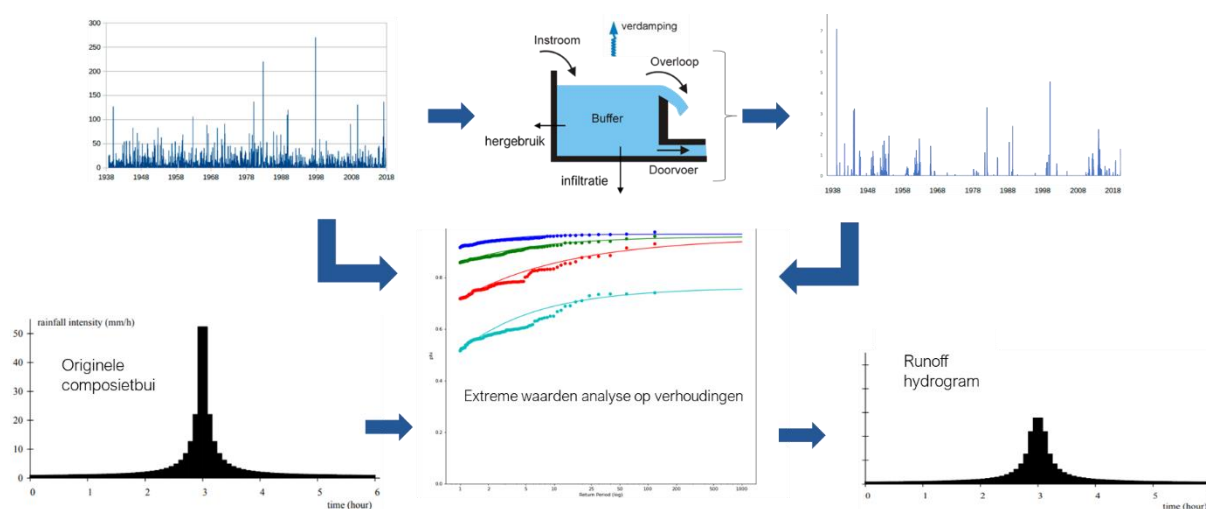
Voor elk thema binnen de klimaatadaptatietooling (wateroverlast, droogte en hitte) wordt het gepaste scenario gebruikt dat de hoogste impacts geeft. Dit zijn dezelfde scenario's als naar voren geschoven worden in het MIRA Klimaatrapport (2015) en gebruikt worden in diverse beleidsstudies, waaronder ook het Klimaatportaal Vlaanderen. We richten ons op de tijdshorizon 2050.

Deze aanpak is conform het klimaatadaptatiebeleid dat in Vlaanderen gewoonlijk wordt toegepast, en gaat uit van een "voorzichtigheidsbenadering". Voor wateroverlast en hitte komt dit scenario overeen met het "hoog"-klimaatscenario zoals beschreven in het MIRA Klimaatrapport (2015). Zoals beschreven in het MIRA Klimaatrapport omvat dit scenario de sterkste toenames in jaargemiddelde temperatuur en extreme buien. Voor droogte komt het hoge-impactscenario overeen met het "laag"-scenario uit het MIRA Klimaatrapport, aangezien dit de laagste waterbeschikbaarheden simuleert. De inhoud van deze scenario's voor droogte en wateroverlast werd bepaald op basis van een groot aantal hydrologische/hydraulische simulaties (zie o.a. Ntegeka et al. (2014) en Ntegeka en Willems (2015)).

De klimaatadaptatietooling gebruikt dezelfde scenario's en onderliggende perturbatiefactoren zoals afgeleid voor het MIRA klimaatrapport (2015), waarbij deze echter per thema op andere basisdata worden toegepast. Dit wordt hieronder verder verduidelijkt. Het verschil in basisdata laat echter toe om dezelfde klimaatscenario's te gebruiken in de klimaatadaptatietooling zoals destijds gehanteerd bij het opmaken van de data in het Klimaatportaal Vlaanderen van VMM.

- Voor wateroverlast wordt gewerkt met historische composietbuien omdat dit de standaard buien zijn die in de meeste (riolerings)studies ook gehanteerd worden. Hiervoor worden de historische composietbuien gebruikt gebaseerd op de niet-gedetrende tijdreeks in combinatie met perturbatiefactoren.
 - Voor tijdshorizont 2019 worden geïnterpoleerde perturbatiefactoren gebruikt, zoals in VLAGG. Hierbij wordt als 0-punt van de perturbatiefactoren het jaar 1975 gebruikt en wordt ervan uitgegaan dat het meest relevante klimaatscenario halverwege ligt tussen het medium en high summer scenario (gebruik makend van de perturbatiefactoren zoals ter beschikking gesteld door KU Leuven).
 - Voor tijdshorizont 2050 worden de perturbatiefactoren gebruikt voor het high summer scenario als worst case zoals ter beschikking gesteld door KU Leuven
- Het feit dat er (zoals bij droogte wel het geval is) niet gewerkt wordt met de gedetrended-tijdreeksen heeft geen wezenlijke impact op de resultaten. Detrending van de tijdreeks past immers enkel waarnemingen aan naar de klimatologische omstandigheden van de laatste 30 jaar (het "huidig" klimaat). Gezien er een lagere terugkeerperiode gehanteerd wordt in de studie van 20 jaar, heeft dat weinig tot geen impact. Voor hogere terugkeerperioden is er eventueel wel een impact van het gebruik van de detrended tijdreeks te verwachten, maar de nadelen van het gebruik van deze reeks (i.c. afwijkende resultaten met de klimaatadaptatietooling van de data op het klimaatportaal en de standaarden in Vlaanderen) wegen niet op tegen het voordeel.

- Om de impact van scenario's door te rekenen, is een continue langetermijnberekening nodig. Hiertoe wordt een tijdreeks doorgerekend en wordt de reductiefactor bepaald in functie van terugkeerperiode en buiduur door te vergelijken met dezelfde langetermijnberekening zonder maatregel. Deze reductiefactoren worden bijkomend toegepast op de composietbuien (naast de klimaatperturbaties) om zo de gewijzigde runoff te bekomen die rekening houdt met de maatregelen. De reductiefactoren zijn niet noodzakelijk hetzelfde voor het huidige klimaat als voor het klimaat in 2050, daarom wordt voor het klimaat 2050 ook de continue langetermijnberekening uitgevoerd met de tijdreeks 2050 en vergeleken met de situatie zonder maatregelen maar met dezelfde tijdreeks. Hiertoe werd door de KU Leuven een perturbatie uitgevoerd op de volgende tijdreeksen om het scenario 2050 High summer te bekomen:
 - Ukkel neerslagreeks 1898-2016
 - Ukkel Hargreaves PET 1898-2016



Figuur 5: Schematische voorstelling van hoe de impact van bronmaatregelen via lange termijn berekeningen worden ingewerkt in gewijzigde runoff

- Voor droogte wordt er gewerkt met continue langetermijnreeksen met referentiejaar 2019. Aangezien er voor droogte continue langetermijnreeksen van 50 jaar (+ 10 jaar warm up) worden doorgerekend, werd er wel gebruik gemaakt van de detrended tijdreeksen.
- Voor hitte worden dezelfde perturbatiefactoren gebruikt als in de MIRA-klimaatscenario's, maar dan toegepast op temperatuursdata. Net zoals bij wateroverlast wordt er gewerkt met het "hoog"-impactscenario.

In het kader van de ontwikkeling van de klimaatadaptatietooling werden de perturbatiefactoren die de partners (VITO, Sumaqua en Hydroscaan) gebruiken nagekeken op consistentie. De gehanteerde perturbatiefactoren bleken hierbij allen correct op elkaar afgestemd te zijn.

5.6. AFSTEMMING INPUTDATA

Belangrijk is dat de resultaten van de klimaateffectmodellen van een gemeenschappelijke gegevensbasis vertrekken om tot consistente resultaten te komen. De volgende tabel vat de gebruikte databestanden voor de verschillende klimaateffectmodellen. De meeste datalagen zijn beschikbaar voor de periode 2018-2019. Vooral de bodembedekkingskaart is het startpunt voor heel wat berekeningen (2018, beta-versie). Deze datalagen worden ook gebruikt voor het opstellen van adaptatiepotentieelkaarten zoals opgenomen in volgend hoofdstuk.

Tabel 6: Overzicht van alle inputgegevens die gebruikt worden in de potentieelkaarten en klimaateffectmodellen

Data laag	Hoofdentiteit	Bron	Jaartal
Bodemkaart	Digitale bodemkaart van het Vlaams Gewest: bodemtypes	Geopunt	2017
Hoofdgebouwen	GRBgis	Informatie Vlaanderen	2019
Gebouwaanhorigheden	GRBgis	Informatie Vlaanderen	2019
3d gebouwen	3D GRB - Gebouw LOD1 DHMV II	Informatie Vlaanderen	2016
Hoogtekaart 1m	Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II, DTM	Informatie Vlaanderen	2014
Hoogtekaart 5m	Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II, DTM	Informatie Vlaanderen	2014
Hoogtekaart 25m	Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II, DTM	Informatie Vlaanderen	2014
bbk 5m	Bodembedekkingskaart (BBK), 5m resolutie, opname 2015	Informatie Vlaanderen	2015
bbk 1m	Bodembedekkingskaart (BBK), 1m resolutie, opname 2015	Informatie Vlaanderen	2015
bbk 1m	Bodembedekkingskaart (BBK), 1m resolutie, opname 2018 (beta)	(beta-versie - Vlaams Planbureau Omgeving)	2018
Groenkaart	Groenkaart Vlaanderen 2018	Informatie Vlaanderen	2018
Rioleringsstrengen	Rioleringsdatabank Vlaanderen. Afvalwater Informatiesysteem AWIS	Informatie Vlaanderen	2020
Hydraulische punten	Rioleringsdatabank Vlaanderen. Afvalwater Informatiesysteem AWIS	Informatie Vlaanderen	2020
Landgebruikskaart	Landgebruikskaart VITO	Informatie Vlaanderen	2019
Grondwaterbeschermingzone	Vlaamse overheid - Vlaamse MilieuMaatschappij - Afdeling Operationeel Waterbeheer	Geopunt	2017
Waterlopen	VHA	Informatie Vlaanderen	2021
Landbouwstreken	Landbouwstreken België	Informatie Vlaanderen	1974
Wegbanen	GRBgis	Informatie Vlaanderen	2019
Vhazones	VHA	Informatie Vlaanderen	2021
woonuitbreidingsgebieden	Atlas van de woonuitbreidingsgebieden	Geopunt	2021
afstroomzones	Afstroomzones, afstroomgebieden	VMM	2021
Gemeente	Voorlopig referentiebestand gemeentegrenzen, toestand 16/05/2018 (geldig vanaf 01/01/2019)		2019
Vlaanderen	Voorlopig referentiebestand gemeentegrenzen, toestand 16/05/2018 (geldig vanaf 01/01/2019)		2019
Percelen	GRBgis	Informatie Vlaanderen	2019
spoorbaan	GRBgis	Informatie Vlaanderen	2019
Ecotoopkwetsbaarheid	Ecotoopkwetsbaarheidskaarten	INBO	2020
Kwetsbare_instellingen	Gebouwenkaart kwetsbare instellingen	VMM/GIM	2020
Waterbehoefte_landbouw	Waterradar waterbehoefte landbouw	Waterradar.be (wfs)	2020
Statistische sectoren	Statistische sectoren	statbel	2020
Bevolking_statsect	Bevolking per statistische sector	statbel	2020
Bevolking_gemeente	Bevolking naar woonplaats, nationaliteit, burgerlijke staat, leeftijd en geslacht	statbel	2020
VLagg_runoff	VLagg runoff kaart (update 2021)	Hydroscan	2021
Dakhellingen	Zonnekaart – dakhellingen	VITO - Zonnekaart Vlaanderen	2015

HOOFDSTUK 6.IMPACT: KWETSBAARHEDEN EN VERMEDEN SCHADE

De resultaten van de klimaateffectmodellen worden verder vertaald naar kwetsbaarheden en vermeden schade. Dit hoofdstuk beschrijft de indicatoren en berekeningswijze die gehanteerd wordt binnen de klimaatadaptatietools om de impact te bepalen door klimaatverandering en de reductie ervan door het nemen van adaptieve maatregelen. Deze aanpak is afgestemd met de bestaande aanpak in het klimaatportaal.

6.1. KWETSBAARHEID DOOR WATEROVERLAST

Voor wateroverlast worden conform de aflijning van adaptatiedoelen de volgende kwetsbaarheidsindicatoren bepaald:

- Aantal gebouwen getroffen door wateroverlast (percentages)
- Aantal kwetsbare instellingen getroffen door wateroverlast (percentages)

Daarnaast zetten we de aantallen ook om naar een percentage om gebieden met elkaar te kunnen vergelijken.

Kwetsbare instellingen bevatten kinderopvang, scholen (excl. voltijds gewoon sec onderwijs, excl. deeltijds beroeps sec onderwijs, excl. gevangenis), ziekenhuizen en rust- en verzorgingstehuizen. De koppeling van de punt-locatie van deze instellingen (POI-dataset) met hun gebouwcontouren (GRB-gebouwen) is identiek gebaseerd op een data-analyse uitgevoerd door GIM van data van 1/1/2020. Deze dataset is ook ingezet voor de bepaling van kwetsbaarheden voor wateroverlast, zeespiegelstijging en fluviale overstromingen in de impacttool.

Het aantal en de oppervlakte van gebouwen (hoofdgebouwen) is gebaseerd op het GRB-bestand hoofdgebouwen van 2019.

Om te bepalen of een gebouw of instelling al dan niet overstroomt, wordt de methodiek toegepast zoals die in het verleden is ontwikkeld voor het klimaatportaal. Dit betekent:

- Bepaling overstroomde pixels in een buffer in lijnvorm rondom het gebouw op 1m afstand
- Bepaling gemiddelde diepte van de overstroomde pixels (average) per gebouw
- Verhouding van overstroomde lijn tov totale bufferlijn (len_{oc}/len_{tot})
- Overstroomd? $(average) * (len_{oc}/len_{tot}) > 6 \text{ cm}$

6.2. KWETSBAARHEID DOOR HITTE

Voor hitte worden conform de aflijning van adaptatiedoelen de volgende kwetsbaarheidsindicatoren bepaald:

- Aantal kwetsbare personen (0-4 en 65+) woonachtig in hittestress-gevoelige zones

- Aantal kwetsbare instellingen (rusthuizen, scholen, ...) in hittestress-gevoelige zones

De hittestress-gevoeligheid wordt berekend op basis van de WBGT_{min} en WBGT_{max}. Voor het aantal kwetsbare personen wordt per 100m-gridcel de gemiddelde WBGT_{min} en WBGT_{max} berekend en getoetst aan de grenswaardes beschreven in Tabel 4. Gebieden met een hittestress score 4 of 5 (d.w.z. de grenswaardes voor WBGT_{min} én WBGT_{max} worden allebei overschreden) worden beschouwd als gebieden met hittestress of hittestress-gevoelig. Voor de kwetsbare instellingen is de gemiddelde WBGT_{min} en WBGT_{max} binnen een afstand van 100m van de gebouwen berekend, behoudens de temperatuur op het gebouw zelf.

Daarnaast zetten we de aantallen ook om naar een percentage om gebieden met elkaar te kunnen vergelijken.

Kwetsbare instellingen zijn uniform voor hitte en overstromingen en bevatten kinderopvang, scholen (excl. voltijds gewoon sec onderwijs, excl. deeltijds beroeps sec onderwijs, excl. gevangenis), ziekenhuizen en rust- en verzorgingstehuizen. De ruimtelijke selectie van deze instellingen is identiek gebaseerd op een data-analyse uitgevoerd door GIM van data van 1/1/2020. Deze dataset is ook ingezet voor de bepaling van kwetsbaarheden voor wateroverlast, zeespiegelstijging en fluviale overstromingen in de Impacttool.

Het aantal gebouwen (hoofdgebouwen) is gebaseerd op het GRB-bestand hoofdgebouwen van 2019.

Het aantal kwetsbare personen (personen van 0-4jaar of ouder dan 65 jaar) is gebaseerd op een combinatie van de leeftijdsverdeling per gemeente (statbel, 2020) en de inwonersdichtheid per ha van 2019 (vito, landgebruikskaart 2019).

6.3. KWETSBAARHEID DOOR DROOGTE

Voor droogte worden conform de aflijning van adaptatiedoelen de volgende kwetsbaarheidsindicatoren bepaald:

- Oppervlakte landbouwpercelen met significante droogtestress
- Oppervlakte kwetsbare ecotopen met significante droogtestress

Daarnaast zetten we de aantallen ook om naar een percentage t.o.v. de totale ecotoop-oppervlakte om gebieden met elkaar te kunnen vergelijken.

Kwetsbare ecotopen met droogtestress (gemiddelde droogte-intensiteit binnen ecotoop > 1) zijn afgeleid uit de ecotoopkwetsbaarheids-kaarten (INBO). Hiervoor werden enkel de ecotopen beschouwd die geklasseerd zijn als droogtegevoelig (kwetsbaarheidsklasse voor verdroging minimum 2). Landbouwpercelen met droogtestress (droogte-intensiteit op een locatie binnen perceel > 1) zijn afgeleid uit de landbouwgebruikspercelen 2020 (Geopunt).

6.4. VERMEDEN MATERIËLE SCHADE DOOR OVERSTROMINGEN

Schadeberekeningen voor de ORBP's gebeuren in Vlaanderen vooral met behulp van LATIS (Deckers et al., 2009). LATIS laat toe om een schadeberekening uit te voeren en overstromingskaarten (waterdieptes) te vertalen naar een 'economische kost' (euro schade). In deze methode worden de overstromingen omgezet naar een economische kost op basis van de overstromingsdiepte en kost in functie van landgebruik of type bebouwing. LATIS is een vrij uitgebreide rekentool, die niet zo

makkelijk actualiseerbaar is en af te stemmen met de inputdata die gebruikt worden voor het klimaatportaal. Om snel de vermeden schade van verschillende scenario's te kunnen bepalen, is een LATIS light-versie ontwikkeld, die beperkt is tot de belangrijkste schadefuncties en enkel gebruik maakt van het landgebruiksbestand Vlaanderen als input om te bepalen waar welke maximale schade kan voorkomen en welke schadefuncties van toepassing zijn.

Er is geopteerd om een zeer vereenvoudigde versie van deze schademodule op te stellen (LATIS light) die vergelijkbare berekeningen maakt als LATIS. Het principe van LATIS is vrij eenvoudig, de inputdata zijn:

- overstromingskaarten met maximale waterpeilen (klassen van 25cm) voor de verschillende terugkeerperiodes (T's)
- landgebruikskaarten
- socio-economische data in verband met de maximale vervangingswaarde in geval van een overstroming per type landgebruik of type gebouw.
- schadefuncties die in functie van waterpeil aangeven wat de werkelijke kost van de overstroming is (schadefactor x maximale kost = werkelijke schade)

LATIS maakt gebruik van hele reeks inputkaarten voor landgebruik, waarbij allerhande punt en lijn informatie wordt gecombineerd (o.a. infrastructuur, transport, industrie, typewoningen), terwijl we ons in deze studie beperken tot 1 landgebruiksbestand (het landgebruiksbestand Vlaanderen 2016) en zowel schadefuncties als de maximale vervangingswaarde uit LATIS 4 hierop afstemmen. Het landgebruiksbestand heeft een ruimtelijke resolutie van 10m. De schadecategorieën die aan bod komen in LATIS Light zijn woningen (+ inboedel), industrie, recreatie, landbouw, wegenis en spoorwegen. De tool bestaat uit een eenvoudig python-script dat de kaarten inleest en gebruik maakt van enkele lookup excel-tabellen voor de schadefuncties (% schade in functie van overstromingsdiepte) en vervangingswaardes om de schade- en risicokaarten te berekenen.

Voor meer details verwijzen we naar Annex 3.

6.5. VERMEDEN GEZONDHEIDSSCHADE DOOR HITTE

Voor hitte zijn generieke cijfers beschikbaar over impact van hitte op gezondheid en arbeidsproductiviteit. In functie van ziektebeelden, sterfte en de duur van arbeidsongeschiktheid kan dit ook uitgedrukt worden in verloren gezonde levensjaren en monetaire eenheden.

Op basis van epidemiologische studies voor Vlaanderen op basis van voorbije hittegolven werden dosis-responsrelaties afgeleid voor vroegtijdige sterfte bij 65-plussers door hitte. Deze cijfers werden verder verwerkt tot relaties die gekoppeld kunnen worden aan de resultaten van het UrbClim-model en lokale bevolkingscijfers op 100m-schaal. Voor de leeftijdsverdeling werd het aandeel 65-plussers op statistische sectorniveau uniform toegepast op gedetailleerde bevolkingsgegevens.

De schatting is dus beperkt tot vroegtijdige sterfte bij 65-plussers. We nemen dus maar een beperkt deel van de totale gezondheidsschade in rekening. We houden bijvoorbeeld geen rekening met andere leeftijdscategorieën, morbiditeit (ziekte) en verlies van arbeidsproductiviteit. Hiervoor ontbreken de nodige relaties en kennis om dit toe te passen in deze studie.

Voor meer details verwijzen we naar annex 5 van deze studie.

6.6. VERMEDEN SCHADE DOOR DROOGTE

Voor droogte zijn de risico-kaders ontwikkeld binnen het Reactief Afwegingskader de meest vergaande informatiebron voor socio-economische impacten voor droogte in Vlaanderen. Deze cijfers zijn wel niet direct toepasbaar in de context van de klimaatadaptatietools. Een verdere vertaling van die risico-kaders naar droogte-indicatoren (vb. droogtedagen) is nog nodig om dit toepasbaar te maken. Met name voor schade aan landbouwgewassen is dit het meest haalbaar.

Gegeven het tijdsbestek en de ontbrekende kennis is deze impact-categorie niet verder uitgewerkt in dit project.

HOOFDSTUK 7. ADAPTATIEPOTENTIEELKAARTEN

Adaptatiepotentieelkaarten zijn kaarten die middenschaling de locatie-specifieke geschiktheid van een maatregel weergeven, rekening houdend met factoren zoals landgebruik, reliëfkenmerken, bodemeigenschappen en de aanwezigheid van risicoreceptoren. Ook de huidige/toekomstige kwetsbaarheid voor klimaatverandering speelt hierbij een rol.

Adaptatiepotentieelkaarten zijn het vertrekpunt om scenario's met verschillende samenstellingen van maatregelen op te stellen die worden doorgerekend met klimaat-effectmodellen. De potentieelkaarten worden ook zelf gevisualiseerd in de tools als achtergrondinformatie bij maatregelen om interessante locaties aan te duiden per maatregel. De potentieelkaarten zijn gebruikt om scenario-kaarten op te stellen (zie onderstaande figuur).

Figuur 6: Scenariokaart Lokeren en omgeving (scenario: trend, trend versnellen, trend sterk versnellen)



7.1. GENERIEKE METHODE

Adaptatiepotentieelkaarten worden opgemaakt voor de maatregelen die finaal weerhouden worden voor implementatie in de klimaatadaptatietools. De shortlist van maatregelen geeft alvast aan wat beoogd wordt om uit te werken. **Er wordt 1 adaptatiepotentieelkaart opgemaakt per klimaatthema per maatregel.** Deze adaptatiepotentieelkaarten vormen de basis voor het selecteren van potentiële locaties waar maatregelen doorgerekend worden in de klimaatadaptatietools.


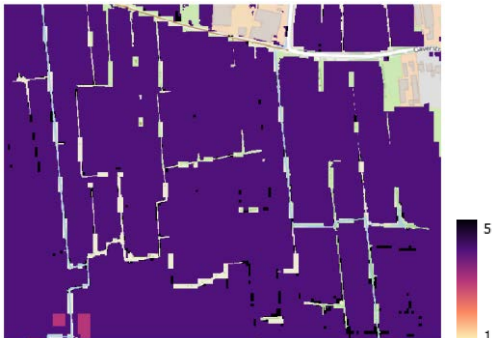
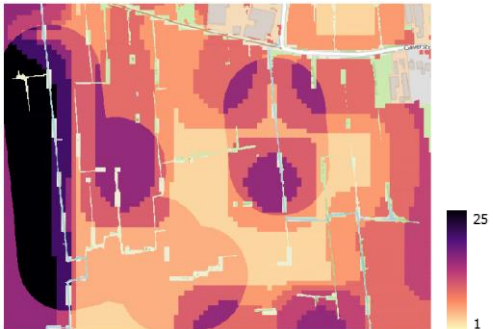


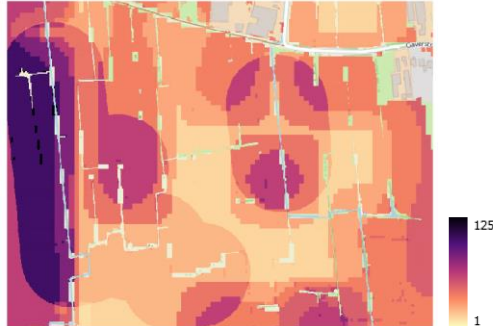
De adaptatiepotentieelkaarten houden rekening met volgende 3 randvoorwaarden:

1. Randvoorwaarden m.b.t. de **potentiële impact**. De potentiële impact van maatregelen kan bepaald worden door de omvang van het klimateffect (hazard/gevaar) en de aanwezigheid van kwetsbare risico-receptoren (kwetsbaarheden) in de nabije omgeving. Bijvoorbeeld, het afbouwen van drainages en aanvullen van de grondwatertafel kan een grotere impact hebben wanneer zij toegepast worden in de nabijheid van ecotopen die kwetsbaar zijn voor verdroging of waar de droogteduur lang(er) is. Dichtbij kwetsbare receptoren en/of gebieden met lang(re) droogteduur, wordt dus een hoger potentieel voor maatregelen toegekend dan verder af.
2. **Restricties op de toepasbaarheid**. Sommige maatregelen kunnen fysiek niet voorzien worden op locaties, of zijn wegens wettelijke redenen niet toepasbaar. In sommige typen drinkwaterwingebieden is het uitbouwen van infiltratie bijvoorbeeld verboden.

3. Randvoorwaarden m.b.t. de **effectiviteit**. Hiermee wordt bedoeld hoe goed de maatregel zal werken. Infiltratievoorzieningen in goed doorlatende zandgronden zullen bijvoorbeeld een grotere impact kunnen hebben dan infiltratie op kleibodems.

Deze 3 randvoorwaarden worden voor elke maatregel geïntegreerd via een systeemlogica bij het opmaken van de adaptatiepotentieelkaarten. Voor elk van de criteria wordt een kwalitatieve score toegekend (nl. ; **1 tot 5 voor kwetsbaarheden en 1 tot 5 voor gevaarkaarten, of gecombineerd 1 tot 25 voor potentiële impact ;0/1 voor toepasbaarheid; 1 tot 5 voor effectiviteit**). Deze individuele scores worden vervolgens **vermenigvuldigd** om de totale adaptatiepotentieel-score te berekenen per locatie/pixel (0 tot 125). De adaptatiepotentieelkaarten tonen aldus de zones die zeer goed geschikt, goed, matig, beperkt en niet geschikt zijn op basis van deze 3 randvoorwaarden.

In de volgende figuur wordt de systeemlogica bij het opmaken van een adaptatiepotentieelkaart geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld voor verminderen drainage en aanleg stuwen in grachten.

Stappenplan bij opmaak van adaptatiepotentieelkaart	Randvoorwaarden en resultaat
<p>1) Restricties op toepasbaarheid (score: 0/1; groen = 1)</p> 	<p>De restrictiekaart geeft aan waar water opgestuwd kan worden en drainage kan verminderd worden. Dit wordt bepaald door volgende randvoorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Niet op locatie waar gebouw(aan)horigheid is - Niet op locatie waar al water is - Enkel op locatie die niet verhard is - Niet in pluviaal of fluviaal overstromingsgevoelig gebied - Enkel in volgend landgebruik: <ul style="list-style-type: none"> - akker - grasland - struikgewas - braakliggend en duinen - moeras
<p>2) Randvoorwaarden m.b.t. effectiviteit droogte (score: 1-5)</p> 	<p>De effectiviteitskaart geeft aan waar verminderen van drainage beter zal werken, en is bepaald door volgende randvoorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - helling (hoe vlakker hoe beter) - bodem drainageklasse (hogere score in droge bodemklasse) - bodemtextuur (hogere score in zanderige bodemtextuur) <p>Ook de landschappelijke positie wordt mee in rekening genomen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - landschapspositie (topografische index tpi binnen 500m) (bij voorkeur op lagere lokaties in het landschap) <p>De effectiviteitskaart voor stuwtjes ziet er vrij uniform uit voor het testgebied waar stuwtjes toepasbaar zijn. Enkel een kleine zone met iets sterkere hellingen krijgt een lagere (rodere) score.</p>
<p>3) Randvoorwaarden m.b.t. impact droogte (score: 1-25)</p> 	<p>Op basis van de aanwezigheid van kwetsbare receptoren en het mogelijke gevaar voor een thema wordt de potentiële impact bepaald. De impactkaart (droogte) is bepaald door:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aanwezigheid van kwetsbare receptoren: waterbehoefte landbouwpercelen in regio (lokaal geen differentiatie zichtbaar) en kwetsbare ecosystemen (zeer kwetsbare ecotopen in het testgebied) - gevaarkaart droogte (droogtedagen) <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Kwetsbare ecotopen</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Gevaarkaart droogtedagen</p> </div> </div>
<p>Opmaak adaptatiepotentieelkaart = stap 1 x 2 x 3 (score: 1-125)</p> 	<p>De potentieelkaart (droogte) is het resultaat van de combinatie van alle vorige stappen. Door de scores te vermenigvuldigen krijg je een eindscore van 1 tot 125 (0 = niet toepasbaar/wenselijk).</p> <p>De potentieelkaart geeft weer op welke lokaties water opgestuwd kan worden, waar dit water ook goed kan infiltreren én waar het relevant is om deze maatregel te nemen gezien de potentiële impact op droogte.</p>

Figuur 7: Illustratie van de systeemlogica bij de opmaak van een adaptatiepotentieelkaart. Voorbeeld uitgewerkt voor 'verminderen drainage en stuwen van grachten (droogte) in onbebouwd gebied', testgebied omgeving Lokeren.

7.2. POTENTIËLE IMPACT

Op basis van de aanwezigheid van kwetsbare receptoren en het mogelijke gevaar voor een thema worden zones afgebakend waar er potentiële impact is voor een thema en het relevant is om maatregelen te nemen. Deze afbakening is thema-specifiek en niet maatregel-specifiek.

7.2.1. HITTE

→ Invloedsfeer van maatregelen

Op basis van expert kennis en modelresultaten van het UrbClim-model werd afgeleid dat maatregelen met een effect op hitte een werkend effect kunnen hebben tot een maximale afstand van 100 meter. Uit zowel metingen als modelstudies blijkt dat het koelend effect van groenblauwe elementen erg beperkt is in de ruimte, zeker als er naar een tijd-gemiddelde situatie wordt gekeken. De afstand waarover de koelte wordt ervaren is typisch van dezelfde grootte als het groenblauwe element zelf (grote parken hebben dus een verder dragend effect dan een klein groepje bomen). Deze afstand is wel erg afhankelijk van de windrichting en de windsnelheid, die typisch erg laag is op hete dagen. Een afstand van 100m lijkt daarom realistisch voor het type dag en het type kleinschalige maatregelen waar in deze studie naar gekeken wordt. We beschouwen dus locaties binnen 100 meter van kwetsbare receptoren als relevant om maatregelen te nemen.

→ Kwetsbare receptoren

Voor de kwetsbaarheden maken we gebruik van de bestaande informatie op het klimaatportaal en dezelfde informatie die gehanteerd is voor berekening van kwetsbaarheden. We baseren ons op de aanwezigheid van kwetsbare populaties (aantal inwoners < 4j + aantal inwoners > 64j). Het totaal aantal kwetsbare inwoners per hectare werd ingeschat door een combinatie van een kaart met de bevolkingsdichtheid per ha (Geopunt, 2019; Inwonersdichtheid per ha) en de leeftijdsverdeling per gemeente. Deze inwonersdichtheid (aantal kwetsbare inwoners/ha) werd verdeeld in scores (2-5) volgens kwartielen (0 inwoners score 1; <1inw/ha score 2; <2.5 inw/ha score 3; < 6 inw/ha score 4; >=6 inw/ha score 5). Gegevens zijn afkomstig van Statbel (2020).

Naast inwoners bekijken we ook de onmiddellijke nabijheid van kwetsbare instellingen. Het aantal kwetsbare instellingen in radius van 100m werd ingedeeld in scores (1 of 4) (geen kwetsbare instelling: score 1; min. 1 kwetsbare instelling: score 4). Gegevens zijn gebaseerd op de kwetsbare gebouwenkaart zoals die is opgenomen in het klimaatportaal 2021.

De synthesekaart voor kwetsbaarheden voor hitte beschouwt de combinatie van kwetsbare populaties en instellingen (maximum score van de twee).

→ Gevaarkaart hitte

De gevaarkaart voor hitte die werd toegepast in de adaptatiepotentieelkaarten is afgeleid uit het UrbClim model. Specifiek werden de WBGTmin en WBGTmax berekend voor het 2050 hoog klimaatscenario voor een T20 hittegolf en vertaald naar een drempelwaarde. Deze aanpak wordt meer in detail beschreven in paragraaf 5.3.1.

7.2.2. DROOGTE

→ Invloedsfeer van maatregelen

Op basis van expert kennis en modelresultaten van het Vlaams droogte-instrumentarium werd afgeleid dat maatregelen met een effect op bodemvocht effect kunnen hebben op een maximale afstand van 100 meter. De reële afstand waarop maatregelen effectief blijken is weliswaar sterk afhankelijk van de geohydrologische condities (zoals de doorlatendheid, de grondwaterlichamen, etc.), maar daar werd abstractie van gemaakt in het modelinstrumentarium. Experimenten met het droogte-model tonen bovendien aan dat simulaties met een fijnere schaal niet haalbaar zijn vanuit rekentechnisch oogpunt binnen dit project. We beschouwen dus locaties binnen 100 meter van kwetsbare receptoren als relevant om maatregelen te nemen.

→ Kwetsbare receptoren

Voor de kwetsbaarheden maken we gebruik van de bestaande informatie op het klimaatportaal:

- De aanwezigheid van landbouwpercelen zoals gebruikt op het portaal. Differentiatie tussen de percelen wordt toegevoegd, nl. een regionale differentiatie op basis van de waterbehoefte van aanwezige teelten gezien regionale verschillen in teeltkeuzes en dus ook waterbehoeftes groot kunnen zijn. Gezien de specifieke teelt jaarlijks wijzigt kijken we in een radius van 5km rond het perceel naar de gemiddelde waterbehoefte van de teelten. De waterbehoefte is afgeleid uit waterradar. De analyse is uitgevoerd op basis van de landbouwgebruikspercelen 2020 (Geopunt) en de irrigatiebehoefte per teelt zoals opgesteld in Irrigatie2.0 en op Waterradar.be. De score wordt dus bepaald aan hand van gemiddelde watervraag in een straal van 5 km. De score is afgeleid op basis van kwintielen van de watervraag per m² (geen watervraag score 1, tussen 0 en 0.005m³/m² score 2; tussen 0.005 en 0.01m³/m² score 3; tussen 0.01 en 0.02m³/m² score 4; >= 0.02m³/m² score 5).
- De aanwezigheid van kwetsbare ecosystemen. We maken hierbij een lokale differentiatie op basis van de specifieke kwetsbaarheidsklassen voor verdroging (ecotoopkwetsbaarheidskaart verdroging INBO, 2020). Enkel de ecosystemen die geklasseerd werden als gevoelig voor droogte werden mee in beschouwing genomen (verdrogingsklasse 2 of hoger). De hoogste verdrogingsklasse van aanwezige ecotopen in radius van 100m werd ingedeeld in scores (geen kwetsbaar ecosysteem of verdrogingsklasse lager dan 2 score 1; verdrogingsklasse tussen 2 en 3 score 4; verdrogingsklasse groter of gelijk aan 3 score 5).

De synthesekaart voor kwetsbaarheden voor droogte beschouwt de combinatie van kwetsbare landbouwgebieden en kwetsbare ecosystemen (maximum score van de twee)

→ Gevaarkaart droogte

De gevaarkaart voor droogte is opgemaakt op basis van het aantal gesimuleerde agrarische droogtedagen van het huidig klimaat. Een droogtedag is daarbij een dag waarop er vegetatiestress optreedt voor het gewas dat erop staat. Hierbij wordt gekeken naar het bodemvocht in de bovenste 70 cm bij een terugkeerperiode van 25 jaar.

Deze benadering is te ruw voor GWATEs (grondwaterafhankelijke vegetaties), waardoor die niet of maar beperkt naar voren komen in de opgemaakte kaarten. Dit is dus een beperking van de

gevaarkaart, die evenwel opgevangen wordt door meer gewicht te geven aan kwetsbare grondwaterafhankelijke vegetaties via de “kwetsbare receptoren” (cf. supra). Bij de impact-analyse van de klimaatadaptatietooling wordt er naast het bodemvocht in de bovenste 70 cm ook het bodemvocht in ondiepere lagen gesimuleerd en geanalyseerd op locaties waar GWATEs voorkomen.

7.2.3. WATEROVERLAST

→ Invloedsfeer van maatregelen

Voor wateroverlast is de relatie tussen de locatie van de maatregel en de mogelijke impact die dit veroorzaakt benedenstreams minder voor de hand liggend. Effecten van maatregelen kunnen zich ook over veel grotere afstanden voordoen dan bij de andere twee thema's. Bovendien hangt de afstand in sterke mate samen met het type maatregel en de omvang ervan. We geven gebieden die binnen een afstand van 200m een overstroomd hoofdgebouw hebben liggen, wel een hogere score maar deze score is minder dominant als bij de andere thema's.

→ Gevaarkaart wateroverlast

De gevaarkaart is gebaseerd op de runoff. Wateroverlast is het gevolg van extreme afstroming. Of een bepaalde locatie een groot afstromingsgevaar heeft, kan worden afgeleid uit een combinatie van bodembedekking, helling en bodemtype. Deze drie parameters zitten vervat in de runoffcoëfficiënten zoals die in de pluviale overstromingskaarten zijn gebruikt. De runoffcoëfficiëntenkaart is in het kader van dit project afgeleid voor referentietoestand 2018. Hierbij is dezelfde methodiek toegepast zoals deze eerder door HydroScan is toegepast in de studie 'Opmaak van een kaart met pluviale overstromingsgebieden Vlaanderen' (2019). De runoffcoëfficiënten worden allereerst geaggregeerd naar de 100x100 m²-schaal waarop de output gegenereerd door het gemiddelde te nemen. De methode gaat eerder uit van zoekzones omdat de maatregelen niet noodzakelijk genomen moeten worden op de vierkante meter naast een gebouw. Gebieden met minder dense gemiddelde verharding moeten een lagere score krijgen dan meer dense. Een te fijn grid gebruiken gaat verkeerdelijk de indruk geven dat dit allemaal heel exacte grenzen zijn voor toepasbaarheid op perceelsniveau.

Om een evenwichtige classificering te bekomen (gelijkaardig aantal cellen per score), worden de gemiddeldes vervolgens als volgt omgezet naar runoffscores om de scores zo evenredig mogelijk te verdelen:

$score = \min (125, \max (0, 242.7 + 550.5 \times \log (runoff)))$ (met een maximum van 125 en een minimum van 0)

Dit resultaat is vervolgens herwerkt tot een afgeronde scoringskaart.

→ Kwetsbare receptoren

De aanwezigheid van overstroomde hoofdgebouwen is de indicator om kwetsbare receptoren af te leiden. We maken gebruik van het GRB 2019 hoofdgebouwen (type1) 2019. Deze versie stemt overeen met de bodembedekkingskaart 2018, zoals die wordt ingezet door de diverse modellen. De hoofdgebouwen die overstromen volgens de waterdieptes uit het 2050t25 scenario worden mee in beschouwing genomen. De aanwezigheid van een overstroomd gebouw in een straal van 200m werd ingedeeld in scores (geen overstroomd gebouw score 3; wél een overstroomd gebouw score 5).

De verdere verwerking van de receptoren voor wateroverlast komt aan bod bij de effectiviteit.

7.3. RESTRICTIES

Voor de restricties wordt per maatregel een oplisting gemaakt van criteria die potentiële locaties beperken of voorwaarden opleggen waaraan een locatie moet voldoen vooraleer deze maatregel hier geïmplementeerd kan worden. Deze criteria zijn dus niet thema-specifiek maar maatregel-specifiek. Dit leidt tot een 0 / 1 score (maatregel is niet mogelijk of wel mogelijk op die locatie).

De belangrijkste restricties hebben betrekking op de bodembedekking waar de maatregel van toepassing is (bijvoorbeeld wel of niet bij gebouwen, wegenis, waterlopen, landbouwgebied, natuurgebied, etc.), aanwezigheid van gescheiden of gemengde riolering en het niet mogen plaatsvinden van infiltratie in grondwaterbeschermingszones. Voor details voor gehanteerde criteria per maatregel verwijzen we naar een aparte tabel. (annex 2)

7.4. EFFECTIVITEIT VAN MAATREGELEN

De effectiviteitsscore geeft aan hoe goed de maatregel zal werken voor het dominante thema waarvoor de maatregel wordt ingezet. Deze score is maatregel-specifiek en het resultaat van een expert-inschatting. Voor details voor gehanteerde criteria per maatregel verwijzen we naar een aparte tabel (annex 2). Effectiviteit is niet van toepassing voor hitte, gezien de effectiviteit van maatregelen niet beïnvloed wordt voor dit thema. We beschouwen dit wel voor wateroverlast. Met name voor de effectiviteit op vlak van infiltratie (relevant voor droogte en wateroverlast) heeft dit veel invloed.

→ Infiltratie

Om de effectiviteit van infiltratie-maatregelen te beoordelen houden we rekening met verschillende achterliggende mechanismes. We kijken naar bodemkenmerken en dan specifiek drainageklasse en bodemtextuur, waarbij infiltratie beter werkt bij drogere bodems en grotere korrelgroottes. We bekijken ook de hellingsgraad, waarbij infiltratiepotentieel beperkter is bij sterke hellingen. Tot slot kijken we ook naar de aanwezigheid van riolering voor infiltratiemaatregelen gericht op verharde oppervlaktes. De VLAGG runoff kaart wordt gebruikt voor ondergrondse infiltratiemaatregelen. Ondergrondse infiltratiemaatregelen zijn relevant voor maatregelen die geen wijziging voor bodembedekking inhouden en nu veel runoff kennen. De eindscore is het gemiddelde van de verschillende criteria die voor de maatregelen worden gehanteerd.

Tabel 7: Indicatoren die gebruikt worden voor de effectiviteit van infiltratiemaatregelen

Mechanisme	Kaart - indicator	Score_1	Score_2	Score_3	Score_4	Score_5
Beperkt infiltratiepotentieel in bepaalde drainageklassen	Bodemkaart - drainageklasse	drainage_c in ('e', 'e-f', 'e-l', 'f', 'g', 'h', 'h-l', 'l')		drainage_c is onbekend		drainage_c in ('a', 'a-b', 'a-d', 'b', 'c', 'c-d', 'd')
Groter infiltratiepotentieel in zanderige bodemtextuur	Bodemtextuur_ viaVLAGG	>9	between 7 and 9	between 4 and 7	between 2 and 4	between 0 and 2
Beperkt potentieel bij sterke hellingen	Hellingkaart	>10	between 5 and 10	between 2 and 5	between 0.5 and 2	between 0 and 0.5
Groter effect bij aanwezigheid van gemengde riolering (5) dan gescheiden (3), dan andere (2) riolering, laagste effect wanneer riolering afwezig (1)	AWIS_riolering	1	2	3		5

→ Andere criteria

Naast bovenstaande criteria maken we voor een aantal maatregelen ook nog gebruik van andere criteria.

Een topografische index werd gebruikt om lagergelegen gebieden te identificeren. Voor het verminderen van drainage en de aanleg van stuwen in onbebouwd gebied werd gewerkt met een topografische index op schaal van 500m om lager gelegen en relatief vlakke locaties op landschapsschaal te identificeren. Voor bovengrondse berging via infiltratiepoelen werd de topografische index op schaal van 100m ingezet om lagergelegen locaties op perceelsniveau te identificeren.

Voor infiltratiepoelen beschouwen we ook de potentiële bodemerosiekaart bij effectiviteit. Als er ook een effect kan gerealiseerd worden op vlak van bodemerosie beschouwen we dit als een meerwaarde.

7.5. VOORBEELD: ONTHARDING

Ontharding is een relevante maatregel voor wateroverlast, droogte en hitte. Per thema zijn aparte adaptatiepotentieelkaarten opgesteld.

We combineren scores voor impact, restricties en effectiviteit.

Voor de impact hanteren we de generieke indicatoren per thema zoals die zijn opgenomen in voorgaande paragrafen.

Voor de restricties of het identificeren van plaatsen waar ontharding (niet)mogelijk is, vertrekken we van de bestaande verhardingskaart van de bbk. Gezien we het bestaande ruimtegebruik als

uitgangspunt gebruiken voor alle berekeningen in de studie (ook voor 2050), gaan we er niet vanuit dat bijvoorbeeld slecht gelegen bestaande wegen en gebouwen onthard kunnen worden. We definiëren als restrictie dat de ontharding enkel kan plaats vinden op locaties van huidige verharding en niet kan plaats vinden op gebouwen (dus wel op wegenis, overige afgedekte oppervlakte, spoorwegen) en de straat zelf. Gezien de categorie “wegenis” op de bbk veel meer bevat dan de wegsegmenten alleen (vb. pleinen e.d.), hebben we een aparte geografische kaart afgeleid uit het wegenbestand die de breedte van het berijdbare gedeelte van de weg afbakent. Om volledig te zijn voegen we bijkomende restricties toe voor gebouwen en gebouwaanhorigheden vanuit het GRB.

Dit is bijvoorbeeld wel één van de belangrijkste uitgangspunten van de onthardingskansenkaart, ontwikkeld door het Departement Omgeving (Vandekerckhove et al., 2021) en met name de opportuniteitskaart. Dit heeft voor gevolg dat meer opportuniteiten naar voor komen in minder druk bevolkte gebieden. Gezien we in deze studie focussen op impact en de impact het grootst zijn in de druk bevolkte gebieden kunnen de resultaten sterk afwijken van de onthardingskansenkaart.

Voor de evaluatie van de effectiviteit kijken we voor droogte het infiltratiepotentieel van de bodem (bodemtextuur, drainageklasse), de hellingsgraad en het al dan niet aanwezig zijn van bestaande riolering en het type ervan (gemengd, gescheiden). De specifieke criteria zijn opgenomen in

Tabel 7. Voor wateroverlast beschouwen we enkel de riolering en de drainageklasse. Voor hitte beschouwen we geen effectiviteitscriteria. De relevante criteria zijn gevat onder impact.

Meer details zijn te vinden in annex 2 van dit rapport.

7.6. VOORBEELD: BOOMSCHADUW

Het creëren van boomschaduw is met name relevant voor het thema hitte. We beschouwen enkel een potentieelkaart voor dit thema.

Voor de impact hanteren we de generieke indicatoren per thema zoals die zijn opgenomen in voorgaande paragraaf.

Voor de restricties beschouwen we de volgende criteria:

- Niet op locatie waar gebouw is (grb)
- Niet op locatie waar gebouwaanhorigheid is (grb)
- Niet op locatie waar gebouw is (bbk)
- Niet in hoog groen
- Niet op locatie die nu al in boomschaduwkaart zit
- Niet op locatie die nu al in gebouwschaduwkaart zit
- Niet op locatie waar al water is (bbk)
- Niet in bestaande spoorwegbedding (spoorbaan) (onveilig)

Voor de effectiviteit wordt geen onderscheid gemaakt naar locaties.

Concreet komen de locaties naar voor waar gebieden onder hittestress staan, er veel kwetsbare receptoren aanwezig zijn en er de nodige open ruimte aanwezig is om bijkomende boomschaduw te voorzien.

Meer details zijn te vinden in annex 2 van dit rapport.

HOOFDSTUK 8. KOSTEN VAN MAATREGELEN

8.1. METHODE

Binnen de referentietask water is door VITO in opdracht van VMM een inventarisatie uitgevoerd van kostengegevens voor een reeks van proactieve droogtmaatregelen. Daarnaast werden voor een aantal acties die vooral gericht zijn op wateroverlast of hitte bijkomende kostengegevens verzameld.

Specifiek maken we voor de kostenschatting een onderscheid tussen de volgende kosten en indicatoren:

- Eenmalige investeringskosten (CAPEX)
- Jaarlijkse onderhoudskosten (OPEX)
- Gemiddelde jaarlijkse uitgaven
- Meerkosten

We inventariseren eenheidskosten (vb. €/m²) die in functie van specifieke kostendrijvers per maatregel (totale oppervlaktes) gebruikt worden om de totale kosten voor scenario's in specifieke gebieden te ramen op grootte-orde en met elkaar te vergelijken.

De scope van deze analyse beperkt zich tot de directe kosten van maatregelen. Zo wordt bijvoorbeeld enkel gekeken naar de investeringen die een overheid of particulier zelf moet maken en niet naar de verdere impact die dit heeft in andere economische sectoren (bijvoorbeeld tewerkstelling in de bouwsector). We beschouwen geen beleidsinstrumenten zoals taksen en subsidies die de lasten die de sectoren dragen om deze maatregelen te implementeren, herverdelen of de implementatie van deze maatregelen afdwingen (vb. subsidies op hemelwaterputten).

We werken op basis van gemiddelde **kengetallen verzameld uit bestaande studies en via een experten-bevraging, die uniform voor sectoren of sub-sectoren worden toegepast**. In realiteit is iedere situatie anders en kan de kosten-effectiviteit afwijken van bron tot bron. Deze variabiliteit kan niet meegenomen worden in deze analyse.

→ Prijspeil

Het prijspeil van deze studie is 2020.

→ Meerkosten

We gaan er bij de kostenberekening in de plantool vanuit dat gedurende de realisatie-periode van 30 jaar sowieso een heraanleg (gebouwen, tuinen, straten, riolering, pleinen, etc.) zal gebeuren op plaatsen waar maatregelen genomen worden. De berekende investering betreft de meer- (of min-) kost om voorziene investeringen klimaatadaptief te maken. We veronderstellen hierbij voor iedere maatregel de additionele kosten t.o.v. een referentiesituatie. Dit wordt weergegeven in Tabel 9.

→ Berekening van gemiddelde jaarlijkse uitgaven

De meerkosten bestaan uit eenmalige investeringskosten en jaarlijkse operationele kosten (onderhoud). Beide meerkosten worden apart berekend.

De plantool rapporteert naast eenmalige investeringskosten ook de gemiddelde jaarlijkse uitgaven gedurende 30 jaar, gezien we een realisatieperiode hanteren van ongeveer 30 jaar (tot 2050) in de plantool en jaarlijkse uitgaven ook een indicator is die gemakkelijk te vergelijken is met begrotingscijfers van lokale besturen. De gemiddelde jaarlijkse uitgaven gedurende een realisatieperiode van 30 jaar worden berekend als 1/30 van de totale investeringskosten van een scenario en 50% van de totale jaarlijkse operationele kosten omdat we uitgaan van een gefaseerde realisatie gedurende deze periode (en dus gemiddeld gezien de helft geïmplementeerd is binnen deze periode).

Voor de projecttool worden enkel de totale investeringen berekend voor de ingetekende maatregelen in het projectgebied. Het betreft hier dus niet enkel de meerkost om de investering klimaatadaptief te maken.

→ Beperkingen bij de gebruikte gegevens

De resultaten zijn op beschikbare kengetallen en schattingen gebaseerd, die overal uniform worden toegepast met behulp van kostendrijvers. Resultaten moeten met de nodige voorzichtigheid gehanteerd worden. Het is vooral een methode om op orde-grootte scenario's te vergelijken. De methode mag zeker niet gebruikt worden om de kosten van gedetailleerde ontwerpen met elkaar te vergelijken en te ramen.

8.2. GEHANTEERDE EENHEIDSKOSTEN

Gegevens over investeringskosten zijn o.a. afkomstig van Klimaatbestendige Stad Nederland, Dep. Landbouw & Visserij (VLIF), INBO (beheerkostenverkenner ecologisch groenbeheer), Inagro, Aannemers, Vlario, ANB, Buiten Leren en Spelen (BLES), Studies VITO en VLAKWA, VMM, Dep. Omgeving, Dienst Integraal Waterbeleid provincie Antwerpen, Boerenatuur en de Bodembouwkundige dienst.

Voor de onderhoudskosten wordt vaak gebruik gemaakt van eigen assumpties (1% van investeringskost). Daarnaast zijn specifieke onderhoudskosten beschikbaar van INBO (beheerkostenverkenner ecologisch groenbeheer), ANB, VITO en Inagro.

Een aantal algemene principes werden hierbij gehanteerd:

- Kosten voor grondverwerving en grondverlies (vereiste ruimte) zijn niet meegenomen. Dit geldt zowel voor maatregelen in landbouwgebied als in de bebouwde ruimte.
- Kosten voor het aanleggen van infiltratiegebieden bevatten enkel de kosten voor deze aanleg en niet de kosten voor het afkoppelen en transporteren van water tot aan dit infiltratiegebied.
- We berekenen een gemiddelde kost. De ranges in kengetallen die we terugvinden is vaak groot.

Voor meer details over de kosten verwijzen we naar annex 4.

Tabel 8: Eenheidskosten voor maatregelen in de plantool (totale aanleg en onderhoud)

Maatregel (clustering)	Kosten gebaseerd op:	Eenheid	Eenheidskosten			
			Investering	Toelichting investeringskosten	Onderhoud (/jaar)	Toelichting onderhoudskosten
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	Infiltratie velden en -stroken	€/m ²	74	Gemiddelde van kostenraming wadi volgens KBS toolbox op 75€/m ² geschat en VLIF op 110€/m ² (we gaan ervan uit dat dit 100% investering dekt). Kostprijs bedraagt rond de 80% van een wadi.	0,93	Beheerkosten via INBO 2BConnecttool. Beheerkosten van een soortenrijke poel: jaarlijks 60 à 80% van de oevervegetatie maaien in rotatie. Regelmatig schonen van de poel door het verwijderen van afvalstoffen en overtollige planten. Kosten tussen 0,75 en 1,1€/m ²
Ondergrondse infiltratie en buffering in bebouwd gebied	Infiltratie kratten	€/m ³	525	Kosten via Inagro. Liggen in lijn met kostprijzen op de markt; via https://www.bouwdepot.be/ds-infiltratiekrat-geotextiel-600l.html	5,25	1% van de investeringskosten
Vermindering drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	Stuwen	€/m ² gestuwd gebied	0,55	Uiteenlopende kostengegevens, (VLIF, boeren natuur, provincie Antwerpen, Inagro). Gemiddelde kost situeert zich op 3300€/stuw. We veronderstellen één stuw voor 150m waterloop en dat de opstuwing aan twee zijdes over een breedte van 20m plaats vindt.	0,0055	1% van de investeringskosten
Groendaken	Groendaken	€/m ²	120	Schatting is incl plaatsing, maar zonder bijkomende werken zoals dakisolatie, nieuwe dakbedekking. Kostprijs voor systemen van € 120 per m ² of meer is voor zware intensieve groendaken (bron: https://www.mijndakwerker.be/groendak#prijs . prijs ligt in lijn met ANB projecten	6,00	KBS toolbox schat onderhoudskosten rond de 5% van de investeringskost
Ontharden	Ontharding	€/m ²	47,34	Gegevens van ANB, kostenverkenner ecologisch groenbeheer, Departement omgeving liggen tussen 16€/m ² en 80€/m ² . We nemen hiervan een gemiddelde.	0,37	Gebaseerd op scenario's 2Bconnect: Beheerkosten van gazon liggen tussen 0,09 en 0,64€/m ² per jaar.
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied	Infiltratie-poel	€/m ²	16,50	Gegevens van VLIF, kostenverkenner ecologisch groenbeheer, GlaWInO liggen tussen 3€/m ² en 30€/m ² . We nemen hiervan een gemiddelde.	1,03	Beheerkosten via Kostenverkenner ecologisch groenbeheertool. Beheer van een soortenrijke poel.
Boomschaduw	Bomen	€/m ² boomkruin	4,20	Algemeen ligt de prijs van verankering van bomen rond de 40€/boom. De NPI van het VLIF voor het aanplanten van bomen ligt op €65 voor streekeigen bomen. Prijzen van projecten van ANB voor leveren en aanplanten van bomen liggen echter vele malen hoger. We veronderstellen een boomkruin van 25m ² per boom.	0,56	geschat op basis van ongeveer gemiddelde onderhoudskost van 14€/boom per jaar. We veronderstellen een boomkruin van 25m ² per boom. Boomzorg.nl. KBS schat onderhoudskosten rond de 5% van de investeringskost

Tabel 9: Toegepaste eenheidskosten voor berekening meerkost maatregelen in de plantool

Maatregel	Eenheid	Bijgewerkte evaluatie - Meerkosten t.o.v. standaard werken (€/eenheid per jaar)			
		Referentie	Investing	Gem. onderhoud	Toelichting meerkost
Bovengrondse bufferen en infiltratiemaatregelen	€/m2	Heraanleg tuin en openbare ruimte bovengronds	0,00	0,56	Veronderstelling dat aanleg van een basis infiltratieveld geen meerkost met zich teweegbrengt ten opzichte van de aanleg van een gewoon grasveld. Wel meerkost in onderhoud t.o.v. grasveld
Ondergrondse bufferen en infiltratiemaatregelen	€/m3	Aanleg gescheiden riolering klassiek afvoersysteem	47,73	0,57	Aquafin schat meerkost van de ondergrondse infiltratievoorzieningen op ongeveer 10% ten opzichte van niet-infiltrerende voorzieningen. Onderhoudskosten van infiltratie-/buffersystemen worden verondersteld gelijk te zijn aan deze van gewone systemen, dus houden geen meerkost in.
Stuwen	€/m ² gestuwd gebied	Geen stuwen, standaard grachtensysteem	0,55	0,0055	Totale kosten aanleg
Groendaken	€/m2	Aanleg klassiek dak	120,00	6,00	Totale meerkosten aanleg tov klassiek dak
Ontharding	€/m2	Continuering/eenmalige vervanging bestaande verharde oppervlakte tijdens komende 30 jaar	47,34	0,37	Totale kosten aanleg
Infiltratiepoel	€/m2	Geen poel	16,50	1,03	Totale kosten aanleg
Bomen	€/m2 kruin	Geen boom.	4,2	0,56	Totale kosten aanleg

HOOFDSTUK 9. CO-BENEFITS VAN MAATREGELEN

9.1. METHODE

9.1.1. BESCHRIJVING CO-BENEFITS

Met co-benefits bedoelen we de bijkomende baten die gerealiseerd kunnen worden door de voorgestelde maatregelen bovenop de vermeden schade voor hitte, droogte en wateroverlast. Het concept van co-benefits sluit wat aan bij het concept van ecosysteemdiensten. Voor de beschrijving en de methode bouwen we dan ook in belangrijke mate voort op de methodes die ontwikkeld zijn voor de natuurwaardeverkenner en specifiek de natuurwaardeverkenner stad (www.natuurwaardeverkenner.be). Specifiek komen de volgende co-benefits aan bod in de adaptatie-tools:

- Voedselproductie: Voedselproductie houdt onder meer de productie van gewassen zoals granen, groenten en fruit, en landbouwproducten voor dierlijke consumptie in. Ook stadslandbouw valt hieronder.
- Luchtkwaliteit: De invloed die vegetatie heeft op de luchtkwaliteit wordt bepaald door twee verschillende processen. Enerzijds is er het filterende proces waarbij luchtverontreinigende stoffen uit de atmosfeer worden afgevangen. Anderzijds is er de impact van vegetatie op de luchtstroming zelf waarbij de windsnelheid, windrichting en turbulentie van de atmosfeer lokaal worden gewijzigd en die op hun beurt een invloed kunnen hebben op de concentraties in de atmosfeer. We beschouwen hier specifiek de effecten van vegetatie op 'achtergrondconcentraties' in afgevangen fijn stof per jaar.
- C-opslag (klimaatmitigatie): Planten zetten CO₂ om in biomassa. Hoe meer atmosferische koolstof wordt vastgelegd in biomassa, en vervolgens in de bodem, hoe minder deze kan bijdragen tot klimaatopwarming. Bodems onder natuurlijke ecosystemen vertonen doorgaans grotere koolstofvoorraden dan deze onder intensief landgebruik. Voor de koolstofvoorraad in biomassa zijn bomen het meest betekenisvol.
- Culturele diensten: Culturele diensten zijn de immateriële baten die mensen krijgen uit ecosystemen door recreatie en esthetische beleving. Groene ruimte heeft voor mensen een belangrijke waarde: mensen kunnen genieten van het uitzicht, ze kunnen er in recreëren, mensen linken hun identiteit (sense of place) aan een landschap en komen er tot rust. Daarnaast hechten mensen ook een waarde aan groene ruimte omdat het open ruimte en natuurwaarden vrijwaart voor zichzelf en voor anderen, voor de toekomstige generaties en omdat het een habitat biedt voor verschillende plant- en diersoorten (niet-gebruikswaarde).
- Biodiversiteit: Biodiversiteit staat voor de hele verscheidenheid aan levensvormen, genen en ecosystemen. Biodiversiteit wordt vaak niet aanzien als een aparte ecosysteemdienst of baat en is ook zeer moeilijk uit te drukken in scores of indicatoren. Op basis van voorgaande tools en oefeningen merken we dat er vanuit de besluitvorming opgemerkt wordt dat het belang van biodiversiteit onvoldoende gevat wordt binnen de range van becijferde ecosysteemdiensten en dat er nood is aan bijkomende indicatoren hierrond. Vandaar dat deze co-benefit ook hier bijkomend wordt meegenomen.

9.1.2. KWALITATIEVE WAARDERING (SCORES) NATUURWAARDEVERKENNER STAD

Voor de berekeningen in de klimaatadaptatie-tools maken we gebruik van een kwalitatieve waardering of een score voor de waaier aan baten die een maatregel levert. Afhankelijk van de maatregel zal het belang van individuele co-benefits sterk verschillen. We berekenen dus een score per individuele co-benefit. Naast kwalitatieve waardering kunnen co-benefits ook kwantitatief (in biofysische indicatoren) en monetair (in geldtermen) uitgedrukt worden. Gezien dit heel wat bijkomende inputdata vereist en de complexiteit van de berekeningen sterk verhoogt, beperken we de becijfering van co-benefits tot een kwalitatieve benadering. We bouwen hiervoor in belangrijke mate voort op de methodes ontwikkeld voor de natuurwaardeverkenner (Hendrix et al., 2015).

De kwalitatieve waardering bestaat dus uit een score-systeem. Per ecosysteemtype of maatregel en per co-benefit is er een score bepaald tussen 0 (kleine bijdrage aan co-benefit) en 10 (grote bijdrage aan co-benefit). Deze scores zijn gebaseerd op een literatuurstudie en experten-schattingen.

Voedselproductie: Voor de kwalitatieve waardering is een eenvoudig principe gebruikt. Voor landgebruik dat ingezet wordt voor landbouw en ook volkstuinjtes veronderstellen we score 10, voor de andere landgebruiken score 0.

Luchtkwaliteit: op basis van het literatuuroverzicht en expert judgement is een kwalitatieve score per groenvorm of landgebruik samengesteld. In de natuurwaardeverkenner varieert deze score van -1 (negatief effect in street canyons) tot +10 (bos). De score hangt in de natuurwaardeverkenner af van de lokale omstandigheden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen achtergrond, canyons en buffers. Hier gaan we ervan uit dat met name hoge vegetatie niet wordt ingezet in street canyons.

C-opslag: op basis van een literatuuroverzicht van gemiddelde C-opslaghoeveelheden in biomassa en C-voorraden in bodems is een proportionele schaalverdeling uitgewerkt. In deze schaal komt tot uiting dat bomen (en dan met name bos) het hoogst scoren in koolstofopname. Hoe dikker de bomen, hoe meer koolstofopname. Ook lage/laagblijvende vegetaties nemen koolstof op, weliswaar minder dan bomen (bij gelijke oppervlakte).

Voor culturele diensten is op basis van een expertenschatting en literatuur een indeling gemaakt naarmate er voor de betreffende groenmaatregel in meer of mindere mate evidentie te vinden is voor effecten op de meerwaarde van woningen, recreatie en gezondheid.

Voor biodiversiteit werd voor het bepalen van de wegingsfactoren dezelfde analyse uitgevoerd als in het project 'biodiversiteitstoets', maar dan zonder een aantal niet-relevante indicatoren (Brabers, 2014). De resultaten hiervan zijn herleid tot een 10-puntenschaal., maar dan zonder de indicatoren 'Vervangbaarheid van een groenvorm op een termijn van ongeveer 5 jaar' en 'Cultuurhistorische waarde'.

De score van een scenario wordt bepaald door de oppervlakte van een maatregel en het resterende landgebruik en de scores die hiermee verbonden zijn. Er wordt een gewogen gemiddelde berekend: oppervlakte maatregel x score maatregel / totale oppervlakte gebied. Voor het landgebruik bouwen we voort op de bodembedekkingskaart (BBK) 2019.

9.1.3. TOEPASSING IN DE KLIMAATADAPTATIETOOLS

De klassen die gebruikt worden in de natuurwaardeverkenner stad komen niet overeen met de short list van maatregelen die gehanteerd worden in de adaptatietools. Ook de landgebruiksclassificatie die gehanteerd wordt in de bodembedekkingskaart is anders dan deze in de natuurwaardeverkenner

stad. Om dit af te stemmen is een herclassificatie uitgevoerd, waarbij telkens per maatregel en landgebruik een overeenkomstige klasse uit de natuurwaardeverkenner stad is bepaald.

We lijsten hier de belangrijkste assumpties op.

Alle maatregelen die gerelateerd zijn aan grijze infrastructuur (gebouwen, verharding, ondergrondse buffering en infiltratie) blijven we beschouwen als gesloten verharding. Ondergrondse buffering en infiltratie kan ook bijvoorbeeld op een grasveld gebeuren in praktijk, maar we gaan er standaard vanuit in de adaptatiepotentieelkaarten dat ondergrondse maatregelen enkel genomen worden als bovengrondse niet mogelijk zijn omwille van aanwezige verharding.

Het voorzien van bovengrondse infiltratie door middel van wadi's, infiltratiepoelen of infiltratievelden beschouwen we als natte groenvormen. We gaan er dus vanuit dat deze gebieden vernatten en dat er regelmatig water aanwezig is in het gebied met positieve gevolgen op o.a. biodiversiteit. Dit is mogelijk in heel wat gevallen een overschatting.

We veronderstellen dat maatregelen die bestaan uit het voorzien van bomen, maar ook een bestaand landgebruik met bomen overeenkomen met bomenrijen. Dit is een wat voorzichtige aanname gezien in vele gevallen er ook bos aanwezig is, waarvoor een aantal baten iets hoger geschat worden dan bomenrijen. We gaan ervan uit dat dit loofbomen zijn, hetgeen ook het meest van toepassing is, zeker in een stedelijke context.

Voor maatregelen gericht op ontharden of het voorzien van hemelwaterputten veronderstellen we dat dit grotendeels wordt ingevuld of overdekt door grasvelden.

Voor stuwtjes worden gebieden afgebakend die beïnvloed worden door de plaatsing van stuwtjes. We gaan ervan uit dat het landgebruik gelijk blijft. We verwachten dat dit grotendeels landbouwgebied zal zijn (dominant landgebruik landelijk gebied), vandaar dat we dit beschouwen als "Akkers en weilanden".

De volgende tabel geeft nog eens een overzicht van de gehanteerde scores voor de short list van maatregelen.

De score wordt als gemiddelde berekend voor de totale oppervlakte van het project- of plangebied. Voor locaties waar geen maatregelen genomen worden, wordt de score voor het landgebruik 2019 volgens de bodembedekkingskaart gehanteerd. Vandaar ook dat overeenkomstige scores voor landgebruik in de tabel zijn opgenomen.

Tabel 10: Co-benefit scores gehanteerd binnen klimaatadaptatie-tools

Maatregelen short list	Reclass NWV Stad	Voedsel	Lucht	C-opslag	Cultureel	Biodivers
wadi's (bovengrondse infiltratie)	Natte groenvormen	0	3	1	7	8
infiltratievelden en infiltratiestroken (bermen)	Natte groenvormen	0	3	1	7	8
infiltratiepoelen	Natte groenvormen	0	3	1	7	8
ontharden	Grasveld, gazon	0	3	1	6	5
straatbomen	Bomenrij loofboom	0	6	7	6	8
groene-daken	Intensief groendak	0	3	6	3	6
blauwgroene-daken	Intensief groendak	0	3	6	3	6
ondergr-infiltratie	Grasveld, gazon *	0	3	1	6	5
waterbergende onderfundering	Gesloten verharding	0	0	0	0	0
waterdoorlatende-verharding	Half-verharding	0	0	0	0	2
ondergrondse-buffer-vertraagde-afvoer	Grasveld, gazon *	0	3	1	6	5
bovengrondse-buffer-vertraagde-afvoer	Natte groenvormen	0	3	1	7	8
waterplein	Gesloten verharding	0	0	0	0	0
waterelement	Water	0	0	0	7	8
hemelwaterputten	Grasveld, gazon	0	3	1	6	5
stuwtjes	Akkers en weilanden	10	2	2	6	4
extra-zonwering	Gesloten verharding	0	0	0	0	0
bomen	Bomenrij loofboom	0	6	7	6	8
Landgebruiksklassen BBK						
Gebouwen (1)	Gesloten verharding	0	0	0	0	0
Autowegen (2)	Gesloten verharding	0	0	0	0	0
Overig Afdgedekt (3)	Gesloten verharding	0	0	0	0	0
Spoorwegen (4)	Gesloten verharding	0	0	0	0	0
Water (5)	Water	0	0	0	7	8
Overig Onafgedekt (6)	Grasveld, gazon	0	3	1	6	5
Akker (Lbgebrperc) (7)	Akkers en weilanden	10	2	2	6	4
Gras, Struiken (8)	Grasveld, gazon	0	3	1	6	5
Bomen (9)	Bomenrij loofboom	0	6	7	6	8
Gras, Struiken (Lbgebrperc) (10)	Akkers en weilanden	10	2	2	6	4
Gras, Struiken (WBN) (11)	Grasveld, gazon	0	3	1	6	5
Bomen (WBN) (12)	Bomenrij loofboom	0	6	7	6	8
Gras, Struiken (WTZ) (13)	Grasveld, gazon	0	3	1	6	5
Bomen (WTZ) (14)	Bomenrij loofboom	0	6	7	6	8

* In de scenario's voor de plantool wordt op basis van de potentieelkaarten ondergrondse infiltratie enkel toegepast onder verharding. Hier wordt gesloten verharding als basis genomen (dus score 0).

HOOFDSTUK 10. SAMENSTELLING VAN SCENARIO'S

Met de klimaateffect-modellen worden voor hitte- en droogtestress en wateroverlast scenario's gesimuleerd. De resultaten van deze scenario's zijn opgenomen in de klimaatadaptatietools (met name de plantool) en stellen gebruikers in staat om te evalueren in welke mate risico's zullen toenemen in de toekomst (2050) zonder maatregelen, in welke mate combinaties van maatregelen bijdragen om risico's te reduceren (adaptatiedoelen). De resultaten van de scenarioberekeningen zijn raadpleegbaar in de tools en dit op het aggregatieniveau van gemeenten, statistische sectoren, en afstroomzones van lokale en Vlaamse waterlichamen.

10.1. SELECTIE EN CLUSTERINGEN VAN MAATREGELEN UIT DE SHORTLIST

Het vertrek van de scenario's zijn een beperkte set van geclusterde maatregelen. Deze maatregelen werden geselecteerd in samenspraak met de thematische experten. Voor wateroverlast zijn buffering en vertraagd afvoeren in bebouwd en onbebouwd gebied de belangrijkste maatregelen. Dit kan bovengronds of ondergronds gerealiseerd worden. Voor droogte speelt vooral infiltratie en vasthouden van water in bebouwd en onbebouwd gebied een rol. Voor hitte is schaduw d.m.v. bomen vooral belangrijk voor de reductie van maximum gevoelstemperaturen en ontharden/groendaken voor de reductie van de minimum gevoelstemperaturen.

Tabel 11: Overzicht geclusterde maatregelen voor samenstelling scenario's

Geclusterde maatregel	Vervat	Adaptatiepotentieelkaart
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	Wadi, infiltratievelden- en stroken (bermen), bovengrondse buffer met vertraagde afvoer	Wadi
Ondergrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	Ondergrondse infiltratie (o.a. grindkoffers, infiltratiekratten, infiltratieriool), waterbergende onderfundering, ondergrondse buffer met vertraagde afvoer	Ondergrondse infiltratie
Ontharden	Ontharden	Ontharden
Groendaken	Groendaken	Groendaken
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied	Infiltratiepoelen	Infiltratiepoelen
Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	Opstuwen en verondiepen van grachten.	Stuwtjes
Boomschaduw	Boomkruin, straatbomen, stadsbossen, natuurlijk hittescherm	Natuurlijk hittescherm

10.2. COMBINATIE VAN POTENTIEELKAARTEN

De adaptatiepotentieelkaarten geven aan waar individuele maatregelen het best geïmplementeerd worden voor welk thema en zijn het startpunt voor het aanmaken van scenario-kaarten die aangeven waar welke maatregel in combinatie geïmplementeerd kunnen worden. We doen dit stapsgewijs.

1. We bepalen een prioritaire volgorde van toe te passen maatregelen.

Volgorde:

1. Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied
2. Ontharden
3. Ondergrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied
4. Berging en infiltratie in onbebouwd gebied
5. Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied
6. Groendaken
7. Boomschaduw: deze maatregel is combineerbaar met de andere maatregelen.

De vastgelegde volgorde is vooral relevant voor maatregelen die in hetzelfde gebied van toepassing zijn. Concreet voor bebouwd gebied betekent dit dat als het adaptatiepotentieel voldoende is voor bovengrondse berging en infiltratie, dat op deze locaties geen ondergrondse berging en infiltratie wordt toegepast. Meestal is dit niet relevant gezien we bij de restricties vaak andere criteria hanteren waar een maatregel al dan niet kan worden toegepast. Vooral voor de maatregelen in onbebouwd gebied kan er overlap zijn. Deze overlap is vooral groot bij de verdergaande scenario's waar ook locaties met lager potentieel worden meegenomen. Berging en infiltratie heeft de voorkeur op verminderen van drainage en aanleg van stuwen, omdat de potentieelkaart meer betrouwbaar is voor deze maatregel. Met name gebrek aan kennis over aanwezigheid van grachten en drainages maakt de potentieelkaart voor het verminderen van drainage en stuwen meer onzeker.

2. We leggen per maatregel in de finale adaptatiepotentieelkaart (die gecombineerde scores in functie van verwachte impact, eventuele restricties en effectiviteit van maatregelen omvat) een grens vast per thema wat we als geschikt beschouwen: enkel locaties van een maatregel met score hoger dan "X" worden weerhouden.

Een hoge score betekent dat enkel de beste locaties weerhouden worden, een lage score betekent dat ook minder geschikte locaties geselecteerd worden. **We bepalen per maatregel de belangrijkste potentieelkaarten per thema om deze locaties te bepalen.**

Onderstaande tabel vat samen welke score-grenzen gehanteerd zijn voor welk scenario voor de thema's droogte (D), wateroverlast (W) en hitte (H). Scores variëren tussen 0 (geen potentieel) en 125 (hoogste potentieel). S1 wordt beschouwd als het minimum scenario waar enkel locaties zijn opgenomen met een heel hoog potentieel. S7 wordt beschouwd als het maximum scenario waar ook locaties zijn opgenomen met een laag potentieel in bebouwd gebied en alle locaties zijn opgenomen in onbebouwd gebied. Tussenliggende scenario's zijn gebaseerd op score-grenzen hiertussen. Bepaalde scenario's gebruiken dezelfde grenzen voor de potentiële scores maar kunnen toch verschillen omdat het onderscheid wordt gemaakt door de combinatie hiervan met de normeringswaarden van bronmaatregelen uit het waterbeleid waarop wordt afgetopt (zie paragraaf 10.3). Een score 0 betekent dat de maatregel overall wordt toegepast waar geen restricties gelden.

Wanneer hogere drempelwaarden (bijvoorbeeld D 100 versus D 50) gehanteerd worden, betekent dit dat er *minder* maatregelen beschouwd worden. Immers, enkel de cellen of maatregelen met een potentiële score hoger dan de drempelwaarden worden weerhouden in het scenario. Bijgevolg is scenario S7 dan ook het scenario dat de meeste maatregelen omvat, en het meest ambitieus is.

Tabel 12: Gehanteerde grenzen voor potentiële scores per geclusterde maatregel bij samenstelling van de scenario's

Geclusterde maatregel	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	D: 100 W: 100	D: 100 W: 80	D: 100 W: 80	D: 80 W: 80	D: 75 W: 75	D: 50 W: 50	D: 50 W: 50
Ontharden	D: 100 H: 100	D: 100 H: 100	D: 100 H: 100	D: 80 H: 80	D: 75 H: 75	D: 50 H: 50	D: 50 H: 50
Ondergrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	D: 100 W: 100	D: 100 W: 100	D: 100 W: 100	D: 80 W: 80	D: 75 W: 75	D: 50 W: 50	D: 50 W: 50
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied	D: 100 W: 100	D: 80 W: 80	D: 80 W: 80	D: 80 W: 80	D: 75 W: 75	D: 50 W: 50	D: 0 W: 0
Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	D: 100	D: 80	D: 80	D: 80	D: 75	D: 50	D: 0
Groendaken	H: 100	H: 100	H: 100	H: 80	H: 75	H: 50	H: 50
Boomschaduw	H: 100	H: 100	H: 100	H: 80	H: 75	H: 50	H: 50

3. We maken een combinatiekaart op, op schaal van de adaptatiepotentieelkaarten (1m resolutie)

Indien geschikt voor maatregel 1, dan maatregel 1. Indien niet dan:

Indien geschikt voor maatregel 2, dan maatregel 2. Indien niet dan:

Etc.

Indien geschikt voor maatregel 7 (boomschaduw), dan uitkomst voorgaande & boomschaduw, indien niet dan: uitkomst voorgaande.

Omwillen van deze stapsgewijze benadering om combinatiekaarten op te stellen komt het regelmatig voor dat maatregelen die geselecteerd zijn in minder ambitieuze scenario's vervangen worden door andere maatregelen op diezelfde locatie omdat die locatie ook voor maatregel 1 toepasselijk is bij een lagere adaptatiepotentieelscore.

4. Eindresultaat: rasterkaart 1m resolutie met classificatie van acties:

0. Geen maatregel
1. Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied
2. Ontharden
3. Ondergrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied
4. Berging en infiltratie in onbebouwd gebied
5. Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied
6. Groendaken
10. Boomschaduw
11. Boomschaduw & Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied
12. Boomschaduw & ontharden
13. Boomschaduw & Ondergrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied
14. Boomschaduw & Berging en infiltratie in onbebouwd gebied
15. Boomschaduw & Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied

10.3. AFTOPPING VAN POTENTIEEL VAN MAATREGELEN IN FUNCTIE VAN DE NODEN

De adaptatiepotentieelkaarten geven geschikte locaties weer voor het nemen van maatregelen. Deze kaarten zijn eerder te beschouwen als zoekzones en zijn eerder maximalistisch ingevuld. Deze kaarten geven geen inrichting noch ontwerp weer en houden geen rekening met de vereiste omvang van de maatregelen in functie van de lokale en specifieke noden, meer bepaald in functie van de specifieke normering voor het ontwerp van buffervoorzieningen. Met name voor droogte en overstromingen voorzien we daarom een aftopping in de hoeveelheid maatregelen op basis van normen voor bronmaatregelen uit het waterbeleid. Zonder dergelijke aftopping zouden we immers veel maatregelen voor berging en infiltratie kunnen inrekenen terwijl er amper verharding in de omgeving aanwezig is. Met andere woorden, deze aftopping zorgt ervoor dat we de hoeveelheid maatregelen die we inrekenen gelinkt is aan de aanwezige verharding in de onmiddellijke omgeving.

Specifiek hanteren we de grens van 250, 330 of 430 m³ buffercapaciteit per ha verharding als bovengrens voor de basisscenario's (zie tabel 10). We hanteren ook een bovengrens van 75 m³/ha per ha onverharde oppervlakte. De waarde 250 m³/ha komt overeen met de huidige normering, terwijl voor verharde oppervlakte de normering in de toekomst zal worden opgetrokken tot 330 m³/ha wanneer er infiltratie mogelijk is en tot 430 m³/ha wanneer er geen infiltratie mogelijk is. Voor onverharde oppervlaktes wordt 75 m³/ha ingerekend. Dit getal werd gekozen op basis van de huidige normering (250 m³/ha) en een gemiddelde runoffcoëfficiënt voor onverhard gebied van 0.30. Dit werd dus eerder pragmatisch bepaald om ook voor onverhard gebied een aftopping toe te passen.

We toppen de maatregelen af op een 100x100m schaal. Indien te veel bufferpotentieel voorzien is in een 100x100m-cel in vergelijking met de bovengrens die bij het scenario hoort, worden eerst zones voor ondergrondse infiltratie afgebouwd, vervolgens onthardingsmaatregelen en in laatste instantie het oppervlak geschikt voor wadi's. Dus als er voldoende bufferpotentieel is in een 100x100m-cel, zal er een buffervolume in deze cel worden behouden gelijk aan de aftoppingswaarde in m³/ha vermenigvuldigd met de verharde oppervlakte in deze 100x100m-cel. Als er onvoldoende bufferpotentieel is in de 100x100m-cel, wordt het gehele potentieel van de maatregelen behouden. Voor meer extreme scenario's wordt afgetopt op hoger gelegen bovengrenzen. Deze aftopping bij verschillende bovengrenzen is zeker voor wateroverlast zeer belangrijk, omdat de adaptatiepotentieelkaarten veel meer potentiële bufferoppervlakte geeft dan effectief nodig is en omdat een grotere buffering een significant effect heeft op de wateroverlast.



Figuur 8: Voorbeeld van de aftopping van de potentieelkaart voor Wadi's in het gebied van de Barebeek: links de hoeveelheid beschikbare oppervlakte per 100x100m-cel (wit = 0%, zwart = 100%), rechts de afgetopte gebruikte oppervlakte aan Wadi's

10.4. OMSCHRIJVING DOORGEREKENDE SCENARIO'S

De volgende tabel omschrijft welke scenario's zijn opgenomen in de plantool en welke volumes voor aftopping hiervoor gehanteerd worden. De potentieelscores die gehanteerd zijn als bovengrens zijn opgenomen in Tabel 12.

Omdat de scenario's gebaseerd zijn op potentieelkaarten en score-grenzen is de relatie met de bestaande trend niet zo eenvoudig te maken. Ook zijn er geen goede cijfers beschikbaar die iets zeggen over wat de huidige trend nu juist is. In het algemeen beschouwen we in deze studie een renovatie-ritme van 1% in bebouwd gebied als de richtinggevende trend. Dit percentage van 1% ligt wat hoger dan het ritme van aangevraagde renovatievergunningen van 0,6% (gemiddeld ongeveer 18.000 renovatie-vergunningen voor woongebouwen per jaar in 2019/2020 op een woningbestand van 3,2 miljoen woningen - statistieken van Statistiek Vlaanderen voor jaren 2018 t.e.m. 2020). Als we ook rekening houden met nieuwbouw (ongeveer 21.000 residentiële woongebouwen per jaar), loopt dit percentage op tot ongeveer 1,2% per jaar. Het bestaande renovatie-ritme van publieke ruimte is niet beschikbaar. Als we het renovatieritme van riolering als richtinggevend beschouwen en rekening houden met een gemiddelde levensduur van 75 jaar, komen we op ongeveer 1,3% per jaar (VMM, 2018). Vertrekkende van de trend van 1% wordt S2 beschouwd als een trend-scenario. In dit scenario wordt in totaliteit 15 miljoen m³ buffering voorzien op 30 jaar nabij bebouwde omgeving hetgeen bij de bestaande gehanteerde norm van 250m³ buffering/ha verharde oppervlakte overeenkomt met 32% van de verharde oppervlakte in 2019 of een jaarlijks renovatie-ritme voor bebouwd gebied (zowel private als publieke ruimte) van ongeveer 1,1% per jaar. S1 bevat minder maatregelen als S2 en focust

zich vooral op het nemen van maatregelen op de meest interessante locaties waar kwetsbaarheden het hoogst zijn. Dit kan interessant zijn om prioriteiten vast te leggen op kortere termijn.

Meer details over de inhoud van de scenario's is terug te vinden in Tabel 13.

Tabel 13: Omschrijving doorgerekende scenario's voor plantool

Nr	Scenario-naam	Omschrijving	Aftopping bebouwd gebied
S0	Geen bijkomende acties	Scenario zonder maatregelen: geeft locatiespecifiek de mogelijke effecten en impacts weer in 2019 en tegen 2050, zoals in de IMPACT-tool.	nvt
S1	Min scenario	Beperkt aantal maatregelen toegepast op grootste hotspots met wateroverlast, droogtestress of hittestress. Streefdoel buffercapaciteit is de bestaande norm van 250m ³ /ha verharde oppervlakte in bebouwd gebied en 75 m ³ /ha onverharde oppervlakte in onbebouwd gebied.	250 m ³ /ha
S2	Trend	Bijkomende maatregelen toegepast op hotspots met wateroverlast, droogtestress of hittestress, focus op berging en infiltratie in bebouwd gebied en aanleg van groendaken en aanplanting bomen in gebieden met hittestress. Streefdoel buffercapaciteit is de bestaande norm van 250m ³ /ha verharde oppervlakte in bebouwd gebied en 75 m ³ /ha onverharde oppervlakte in onbebouwd gebied.	250 m ³ /ha
S3	Trend aan strengere norm	Bijkomende maatregelen toegepast op hotspots, focus op berging en infiltratie in bebouwd gebied, aanleg van groendaken en aanplanting bomen in gebieden met hittestress. Streefdoel buffercapaciteit is verhoogd naar 330m ³ /ha verharde oppervlakte in bebouwd gebied, conform de beslissing van de Vlaamse regering. We behouden 75 m ³ /ha onverharde oppervlakte voor berging in onbebouwd gebied. Het gerealiseerd buffervolume is 40% hoger dan de trend in bebouwd gebied en niet hoger in onbebouwd gebied. De hoeveelheid aangelegde groendaken en aanplanting bomen is even hoog dan de trend.	330/430 m ³ /ha*
S4	Trend versnellen	Versnelde implementatie van maatregelen gericht op hitte, wateroverlast en droogte in stedelijke omgeving in vergelijking met trend. Streefdoel buffercapaciteit is verhoogd naar 330m ³ /ha verharde oppervlakte, conform de beslissing van de Vlaamse regering en 75 m ³ /ha in landelijk gebied. Het gerealiseerd buffervolume is 2x de trend in bebouwd gebied en niet hoger in onbebouwd gebied. De hoeveelheid aangelegde groendaken en aanplanting bomen is 10x de trend.	330/430 m ³ /ha*
S5	Trend sterk versnellen	Sterk versnelde implementatie van maatregelen gericht op hitte, wateroverlast en droogte in stedelijke en landelijke omgeving in vergelijking met trend. Streefdoel buffercapaciteit is verhoogd naar 330m ³ /ha verharde oppervlakte, conform de beslissing van de Vlaamse regering en 75 m ³ /ha in landelijk gebied. Het gerealiseerd buffervolume is 2,5x de trend in bebouwd gebied en 2x de trend in onbebouwd gebied. De hoeveelheid aangelegde groendaken en aanplanting bomen is 20x de trend.	330/430 m ³ /ha*
S6	Trend zeer sterk versnellen	Zeer sterk versnelde implementatie van maatregelen gericht op hitte, wateroverlast en droogte in stedelijke en landelijke omgeving in vergelijking met trend. Streefdoel buffercapaciteit is verhoogd naar 330m ³ /ha verharde oppervlakte, conform de beslissing van de Vlaamse regering en 75 m ³ /ha in landelijk gebied. Het gerealiseerd buffervolume is 3x de trend in bebouwd gebied en 4x de trend in onbebouwd gebied. De hoeveelheid aangelegde groendaken en aanplanting bomen is 30x de trend.	330/430 m ³ /ha*
S7	Max scenario	Scenario met maximaal aantal maatregelen in stedelijke en landelijke omgeving. Vooral in landelijke omgeving wordt bijkomend gestuwd en gebufferd t.o.v. de andere scenario's. Streefdoel buffercapaciteit is verhoogd naar 430m ³ /ha verharde oppervlakte en 75 m ³ /ha in landelijk gebied. Het gerealiseerd buffervolume is 3,5x de trend in bebouwd gebied en 10x de trend in onbebouwd gebied. De hoeveelheid aangelegde groendaken en aanplanting bomen is 30x de trend.	430 m ³ /ha

* wanneer de infiltratiecapaciteit > 5 mm/h is, wordt 330 m³/h gehanteerd, anders wordt er verondersteld dat er met vertraagde afvoer wordt gewerkt en er 430 m³/ha nodig is. Voor landelijke maatregelen zoals infiltratiepoelen wordt in alle scenario's een buffervolume van 75 m³/ha (onverharde) oppervlakte gehanteerd.

Een vergelijking van de oppervlakte- en bufferstatistieken met de resultaten van het lokaal energie- en klimaatpakt (Agentschap Binnenlands Bestuur, 2022. LEKP 2.0) wordt gemaakt in onderstaande tabel. De doelstelling voor opvang van hemelwater wordt benaderd door het trend-scenario hetgeen ook het uitgangspunt was voor het bepalen van de trend. Voor ontharding en het realiseren van bijkomende bomen zit de trend lager als de doelstellingen vastgelegd in het LEKP. De ambities in het LEKP worden benaderd in de meer ambitieuze scenario's. Een wat vreemd ogende statistiek is dat in het minimum scenario meer wordt ingezet op ontharding dan in het trend scenario. Dit heeft te maken met de aftopping die gehanteerd wordt en het meer inzetten op bovengrondse buffering in bebouwde omgeving in vergelijking met de trend, waardoor ontharding niet langer vereist was om op hotspot locaties de doelstelling voor buffering te realiseren. Ontharding wordt m.a.w. vervangen door bovengrondse buffering om de vereiste buffervolumes te realiseren.

Tabel 14: Vergelijking oppervlaktestatistieken scenario's 2050 en buffering met doelstellingen Lokaal Energie- en Klimaatpakt 2.1

Scenario	Buffering in bebouwde omgeving* (m ³)	Opvang hemelwater in m ³ /inwoner/jaar	Ontharding (m ²)	Ontharding in m ² /inwoner/jaar	Boomschaduw (m ² boomkruin)	Aantal bomen/inwoner/jaar**
Doelstelling LEKP***		0,1		0,1		0,1
S1 Min scenario	6.737.998	0,03	14.241.800	0,07	36.211.656	0,01
S2 Trend	15.217.747	0,08	8.683.976	0,04	36.211.656	0,01
S3 Trend aan strengere norm	21.703.239	0,11	10.112.572	0,05	36.211.656	0,01
S4 Trend versnellen	25.718.457	0,13	83.956.474	0,43	403.859.512	0,08
S5 Trend sterk versnellen	30.247.949	0,15	150.636.156	0,76	929.990.463	0,19
S6 Trend zeer sterk versnellen	46.721.176	0,24	73.416.881	0,37	1.379.483.781	0,28
S7 Max scenario	48.459.452	0,25	75.584.519	0,38	1.379.483.781	0,28

* De buffering door stuwen en infiltratiepoelen in onbebouwde omgeving wordt niet beschouwd.

** We beschouwen een oppervlakte van 25m² boomkruin per boom. Belangrijk is wel dat het LEKP niet specificeert dat deze bomen nabij bebouwde omgeving geplaatst moeten worden. Aanplant van bossen komt niet aan bod in de scenario's voor het klimaatportaal.

*** Doelstellingen van het Lokaal Energie en KlimaatPakt 2.1 werd omgerekend per jaar door te delen door 10. De oppervlaktestatistieken van de scenario's rekenen we om op jaarbasis door uit te gaan van een periode van 30 jaar (planhorizon 2050).

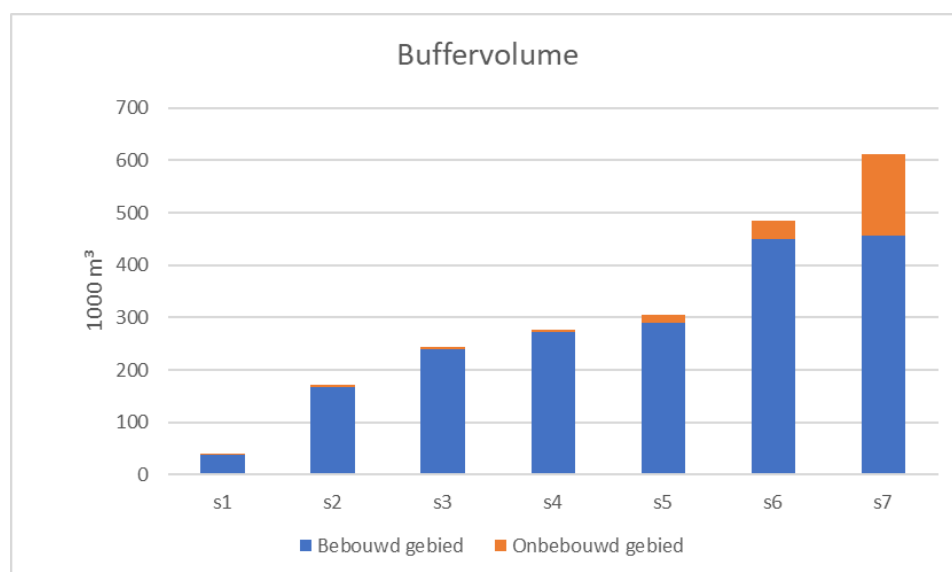
HOOFDSTUK 11. RESULTATEN VOOR TESTGEBIED MECHELEN

11.1. SCENARIO'S

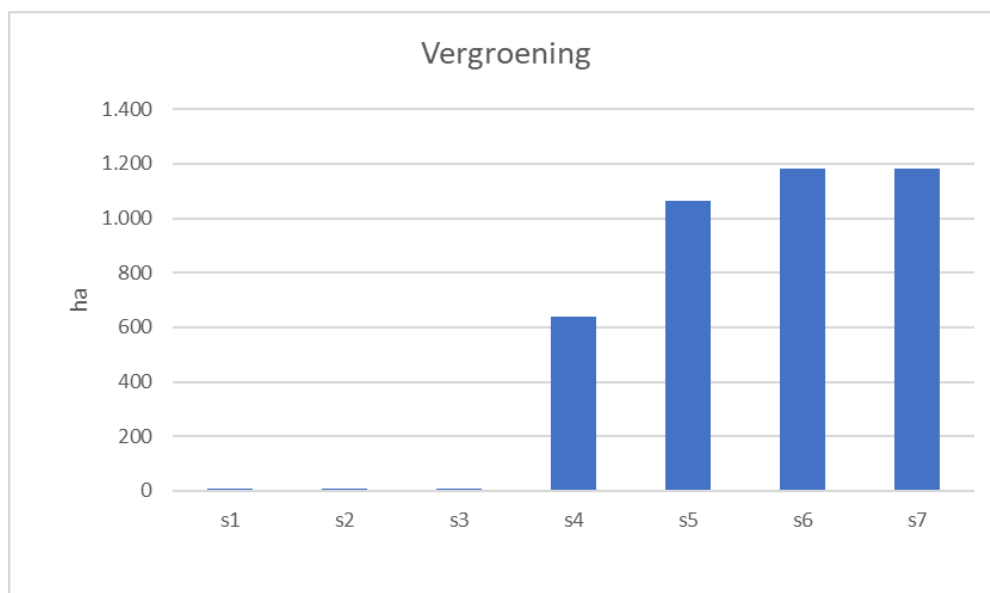
Onderstaande tabel en figuren vatten de oppervlaktes van de maatregelen samen voor de verschillende scenario's. De scenario's zetten vooral in op buffering en infiltratie in bebouwd gebied. Pas in scenario s7 komt buffering in onbebouwd gebied iets meer naar voor. Vergroening is heel beperkt in scenario's s1 t.e.m. s3. Pas in meer extremere scenario's komt dit veel prominenter naar voor en tot in extreme mate. Op ongeveer 20% van de oppervlakte van heel Mechelen worden maatregelen genomen in de extremere scenario's.

Tabel 15: Oppervlaktes maatregelen in de verschillende scenario's voor Mechelen (ha)

Maatregel	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	16	81	115	108	121	195	198
Ontharden	2	2	2	131	197	107	108
Ondergrondse infiltratie en buffering in bebouwd gebied	1	1	2	12	10	12	12
Groendaken	1	1	1	81	111	124	124
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied	0	2	2	2	8	18	79
Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	1	8	8	8	26	20	0
Boomschaduw	5	5	5	427	756	950	950



Figuur 9: Buffervolume voorzien in de verschillende scenario's in bebouwd en onbebouwd gebied voor Mechelen (1000 m³)



Figuur 10: Vergroening voorzien in de verschillende scenario's voor Mechelen door groendaken, ontharding en boomschaduw (ha)

Onderstaande tabel vat de oppervlaktestatistieken samen van de scenario's. De hoeveelheid buffering nabij bebouwd gebied loopt sterk op tot meer dan 300 m³/ha in scenario's 6 en 7. Verschillen tussen deze scenario's zijn te wijten aan het verschil in verharde oppervlakte (omwille van ontharding). Uitgedrukt per inwoner per jaar per inwoner benadert scenario 3 de ambities van het lokaal energie- en klimaatpakt (1 m³ extra opvang van hemelwateropvang voor hergebruik, buffering en infiltratie voor regenwater per inwoner vanaf 2021 t.e.m. 2030 of 0.1 m³/inwoner/jaar). Drukken we de hoeveelheid vergroening uit in functie van het ruimtebeslag en de totale oppervlakte valt op hoe substantieel met name de vergaande scenario's inzetten op vergroening tot bijna 20% van de oppervlakte van het totale grondgebied of ongeveer een derde van het bestaande ruimtebeslag. De onthardingspercentages variëren tussen 0,1% en 12% van de bestaande verharde oppervlakte. Uitgedrukt per inwoner worden de ambities van het lokaal energie- en klimaatpakt (1 m² ontharding per inwoner vanaf 2021 t.e.m. 2030 of 0.1 m²/inwoner/jaar) ruimschoots gerealiseerd vanaf scenario 4. De hoeveelheid bijkomende boomkruin uitgedrukt in boom per inwoner per jaar wordt de ambities van het lokaal energie- en klimaatpakt (1 boom per inwoner vanaf 2021 t.e.m. 2030 of 0.1 boom/inwoner/jaar) gerealiseerd vanaf scenario 5. We beperken ons hier weliswaar vooral tot stedelijk gebied.

Tabel 16: Oppervlaktestatistieken voor de scenario's

Indicator	Eenheid	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
Buffering nabij bebouwd gebied *	m ³ /ha verhard	22,28	99,72	143,27	163,90	188,38	305,71	291,61
	m ³ /inwoner/jaar	0,01	0,06	0,09	0,11	0,11	0,17	0,18
Vergroening **	% totale oppervlakte	0,1%	0,1%	0,1%	9,7%	16,2%	17,9%	18,0%
	% ruimtebeslag	0,2%	0,2%	0,2%	19,0%	31,7%	35,2%	35,2%
Ontharding ***	% verharding	0,1%	0,1%	0,1%	7,8%	11,8%	6,4%	6,5%
	m ² /inwoner/jaar	0,01	0,01	0,01	0,50	0,76	0,41	0,42
Boomkruin ****	Aantal bomen /inwoner/jaar	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,15	0,15

* De buffering door stuwen en infiltratiepoelen in onbebouwde omgeving wordt niet beschouwd. De verharde oppervlakte wordt berekend als de verharde oppervlakte volgens de bbk 2019 – de oppervlakte ontharding voorzien in het scenario.

** Vergroening is de oppervlakte ingenomen door ontharding, groendaken en boomschaduw. Ruimtebeslag is het aandeel van de ruimte dat is ingenomen door onder meer huisvesting, industriële en commerciële doeleinden, transportinfrastructuur of recreatieve doeleinden. Dit bedraagt een derde van de oppervlakte in Vlaanderen (<https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/ruimtegebruik/ruimtebeslag>)

*** Oppervlakte onthard t.o.v. de bestaande verharding.

**** We beschouwen een oppervlakte van 25m² boomkruin per boom. Belangrijk is wel dat het LEKP niet specificeert dat deze bomen nabij bebouwde omgeving geplaatst moeten worden. Aanplant van bossen komt niet aan bod in de scenario's voor het klimaatportaal.

Bij de interpretatie van de resultaten is het belangrijk te duiden dat het niet de bedoeling is om een voorkeur-scenario voor een gemeente of groter gebied naar voor te schuiven maar om eerder locatiespecifiek te evalueren hoe vergaand maatregelen nodig zijn om klimaateffecten te reduceren en of klimaateffecten substantieel gereduceerd kunnen worden met de geselecteerde maatregelen.

11.2. WATEROVERLAST

11.2.1. KLIMAATEFFECTEN

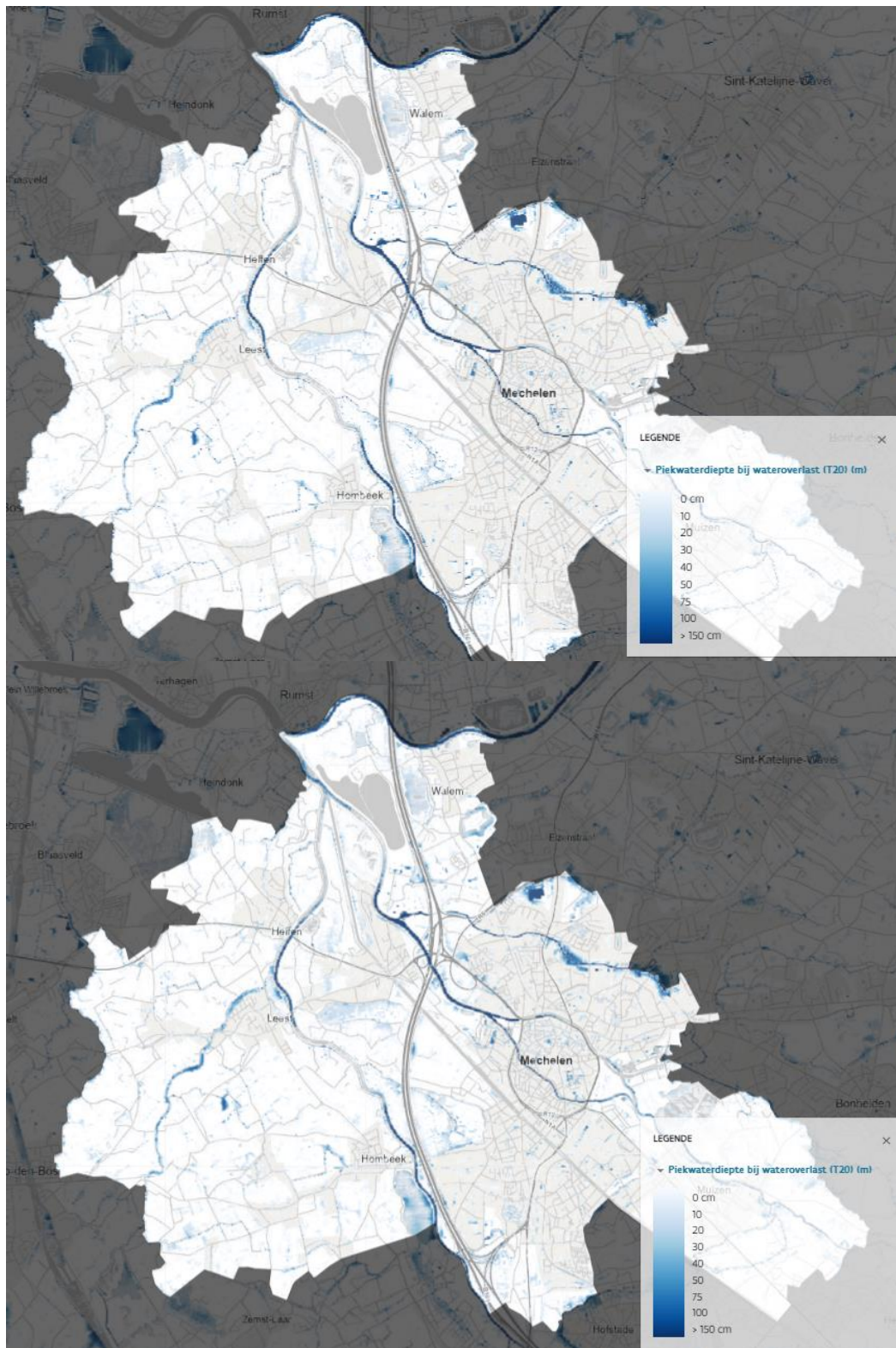
De methodologie voor het modelleren van wateroverlast onder invloed van klimaat en onder invloed van klimaatadaptatiemaatregelen werd getest in Mechelen. De output van de modellering is een kaart met piekwaterdieptes (§5.2.1). Deze waterdieptes werden als absolute waarden beoordeeld voor het huidige klimaat en het hoog-impact klimaatscenario 2050 (Figuur 11).

De gemodelleerde waterdieptes in Mechelen werden gevalideerd met de huidige wateroverlastkaarten in het Klimaatportaal (bemerkt: daar komt een T1000 in beeld). Daarnaast werden de overstromingscontouren vergeleken met de contouren van recent overstroomde gebieden en effectief overstromingsgevoelige gebieden. Deze validatieprocedure is toegepast op alle stroomgebieden in Vlaanderen.

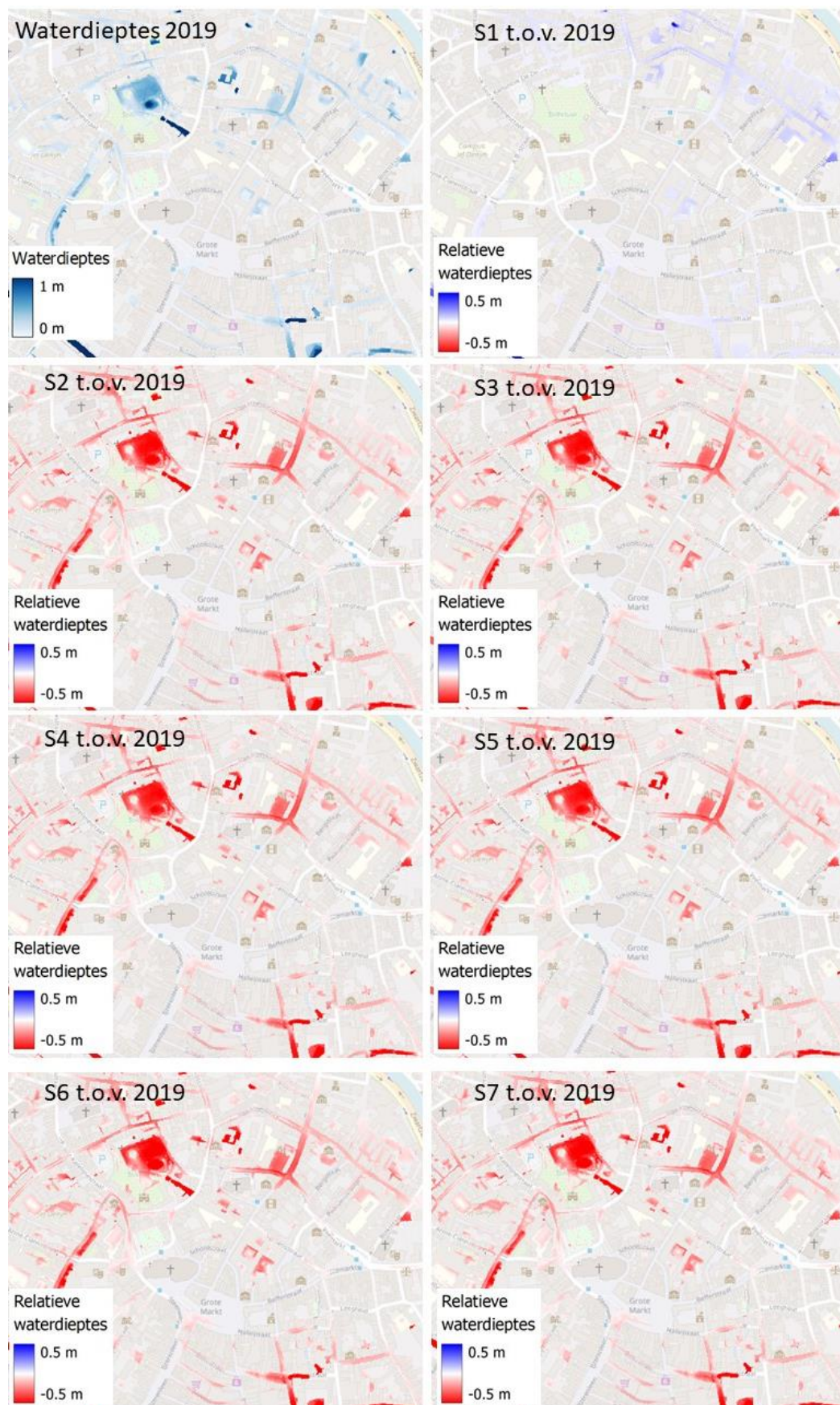
De verschillen voor een T20 bij het huidige klimaat en in 2050 zijn niet heel groot voor Mechelen. De gebiedsgemiddelde piekwaterdiepte bij wateroverlast neemt toe van 0.18m naar 0.20m. Ook de locaties waar wateroverlast voorvalt verschillen niet veel.

Naast de wateroverlastmodellering zelf is in Mechelen ook de methodiek van de klimaatadaptatiescenario's voor referentiejaar 2050 (§10.4) getest. Figuur 12 bevat de relatieve dieptes t.o.v. 2019. Hierbij nemen waterdieptes in het algemeen duidelijk af met een oplopend ambitieniveau van de scenario's. Ondanks dat is het niet op elke specifieke locatie gegarandeerd dat de oplopende scenario's ook tot lagere waterdieptes leiden. Door verschillen in de definities van de scenario's naar aftoppingsvolume, en het effect daarvan op de selectie van de maatregelen per modelcel na aftopping, worden lokaal soms ook toenemende waterdieptes waargenomen wanneer het ambitieniveau van het scenario stijgt, omdat deze ambitieniveaus globaal zijn.

Figuur 12 toont de resultaten relatief aan 2019 om aan te tonen dat met een relatief beperkte inspanning de bijkomende wateroverlast door toedoen van verdere klimaatverandering tot 2050 kan worden gecompenseerd. De gebiedsgemiddelde piekwaterdiepte bij wateroverlast daalt onder het niveau van 2050 (0.18m) vanaf het trend-scenario. Het minimum scenario volstaat niet om de toename van piekwaterdieptes op te vangen. Dit betekent echter niet dat, zelfs in het Maximum-scenario, geen wateroverlast meer zal optreden bij een T20-bui.



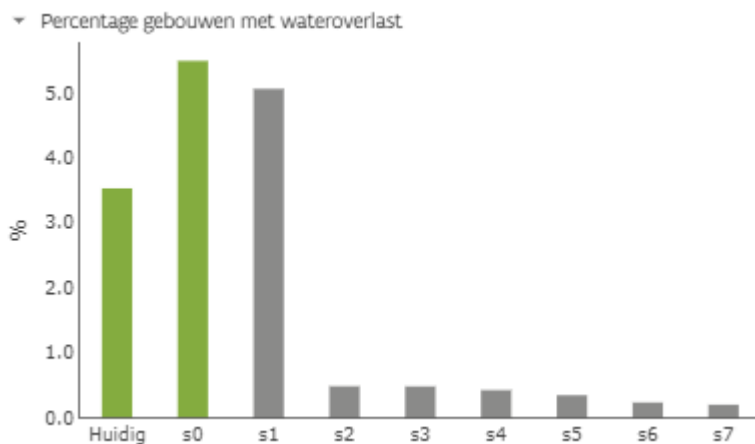
Figuur 11: Piekwaterdiepte in Mechelen bij een T20-bui in huidig klimaat (boven) en bij een hoog-impact klimaatscenario in 2050 (onder; scenario S0 "Geen bijkomende acties").



Figuur 12: Waterdieptes in huidig klimaat (2019) en relatieve dieptes van overige scenario's (combinatie van klimaatverandering en effect van adaptieve maatregelen) t.o.v. 2019.

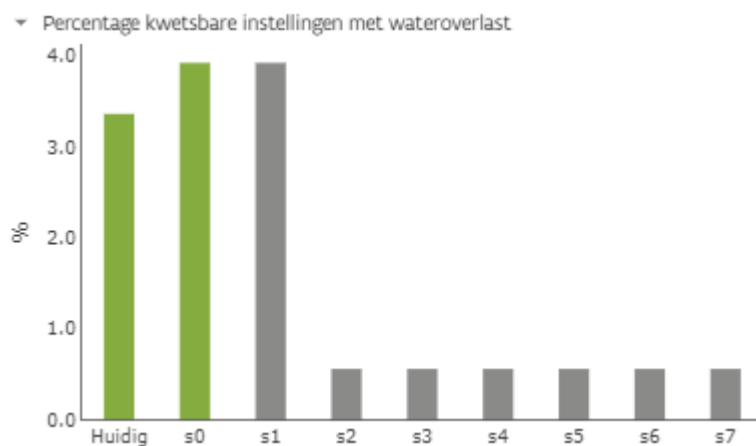
11.2.2. KWETSBAARHEDEN

De kwetsbaarheden voor wateroverlast worden berekend als het percentage van de gebouwen dat getroffen wordt door wateroverlast en het aantal kwetsbare instellingen dat getroffen wordt door wateroverlast. Onderstaande figuur, die ook geraadpleegd kan worden in de plantool, geeft aan dat het aantal getroffen gebouwen toeneemt van 3.5 % in 2019 (huidig klimaat) naar 5.5 % in 2050 (s0) in een hoog-impact klimaatscenario zonder klimaatadaptieve maatregelen. Het minimum scenario (S1) is onvoldoende om deze toename in kwetsbaarheden op te vangen maar de verder gaande scenario's (vanaf S2) zijn wel ruimschoots in staat deze bijkomende kwetsbaarheden op te vangen en verder te reduceren tot 0.5% en minder. Er blijft wel onder alle scenario's een beperkt percentage Mechelse gebouwen getroffen door wateroverlast.

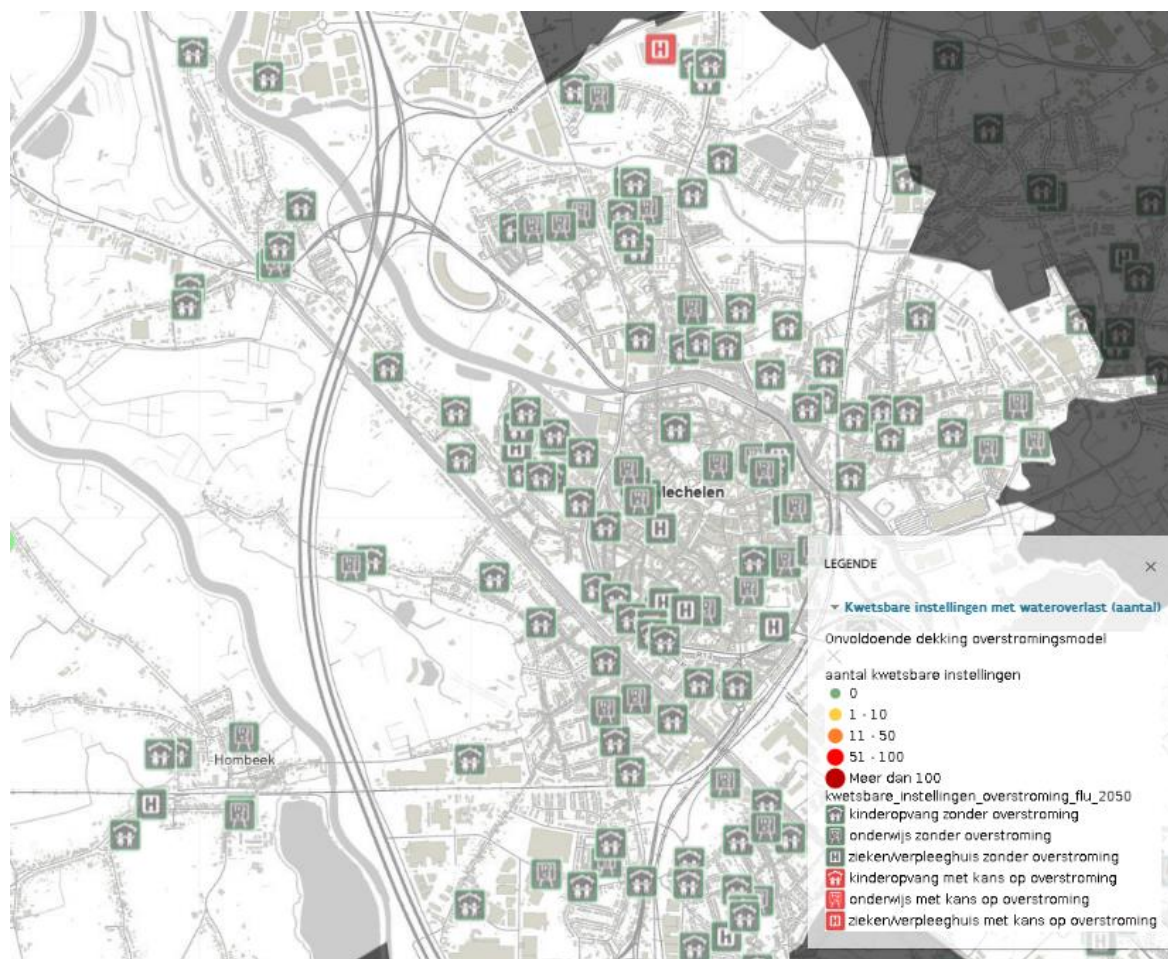


Figuur 13: Percentage gebouwen getroffen door wateroverlast in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's

Het percentage kwetsbare instellingen heeft een gelijkaardig verloop. Dit percentage neemt toe van 3.4% naar 3.9% zonder bijkomende maatregelen. Het trend-scenario volstaat om dit te reduceren tot 0.6%. Ook bij verder gaande scenario's blijft dit percentage 0.6% wat suggereert dat er een beperkte set van kwetsbare instellingen getroffen worden door wateroverlast die niet door brongerichte maatregelen kan opgelost worden (vb. nabij rivieren of gelegen in zeer laag gelegen gebieden).



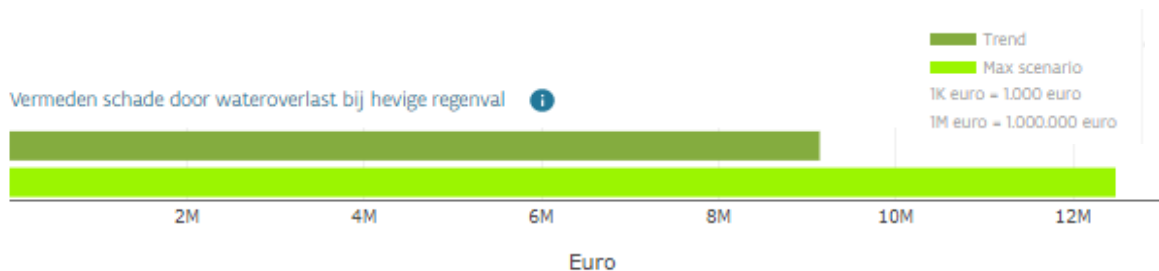
Figuur 14: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door wateroverlast in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's



Figuur 15: Kwetsbare instellingen (in rood) met wateroverlast in een "trend"-scenario

11.2.3. VERMEDEN MATERIËLE SCHADE

Naast kwetsbaarheden worden waterdieptes ook vertaald naar materiële schade op basis van het aanwezige landgebruik, de waterdieptes, schadefuncties en vervangingswaardes. Meer details hierover zijn te vinden in paragraaf 6.4. Onderstaande figuur geeft aan dat de vermeden materiële schade door wateroverlast bij een T20 voor Mechelen varieert tussen ongeveer 9 miljoen euro bij trend en 12 miljoen euro bij een maximum scenario. Dit bevestigt dat het merendeel van de materiële schade reeds vermeden wordt bij de trend.



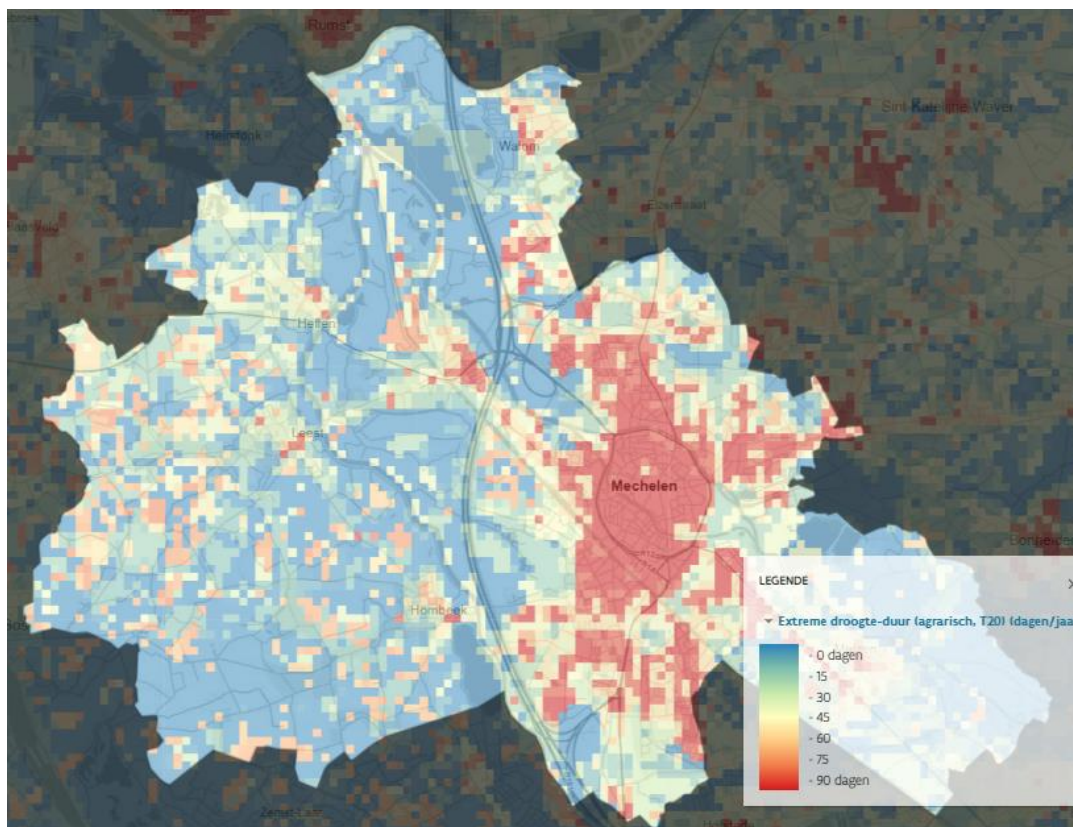
Figuur 16: Vermeden materiële schade door wateroverlast in een T20 in Mechelen voor het trend en maximum scenario

11.3. DROOGTE

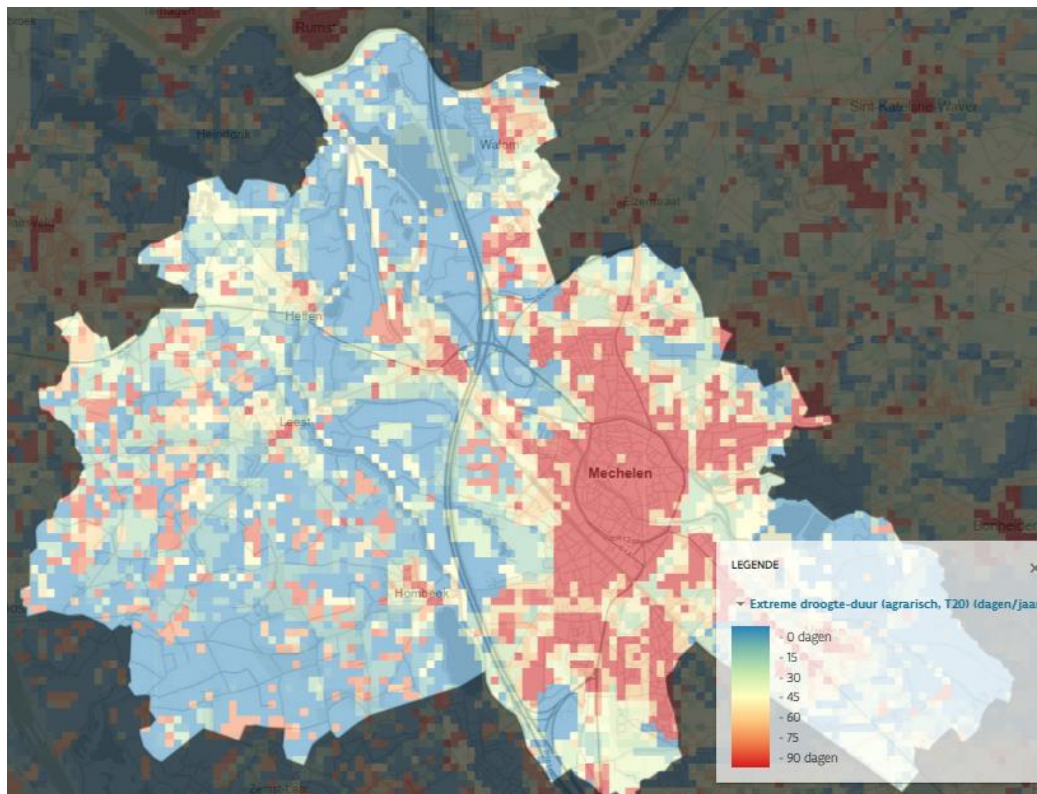
11.3.1. KLIMAATEFFECTEN

De extreme droogteduur agrarisch voor gans het grondgebied Mechelen bedraagt gemiddeld 50 droogtedagen en dit stijgt beperkt tot 53 droogtedagen in 2050 ten gevolge van klimaatverandering voor een situatie die eens per 25 jaar voorkomt. Met het trend-scenario zijn we in staat deze toename reeds ruim op te vangen, en vermindert het aantal droogtedagen tot 40 dagen. Met het maximum scenario en het scenario “Trend sterk versnellen” zijn we in staat dit gemiddeld aantal droogtedagen te reduceren tot 32 dagen (in een droog jaar zoals dat maar eens per 25 jaar voorkomt). Met andere woorden, het “Trend sterk versnellen” scenario creëert een significant betere en meer klimaatrobuuste omgeving in vergelijking met vandaag. Dit wordt ook geïllustreerd in de figuren hieronder, die kaarten tonen met het aantal droogtedagen voor het grondgebied Mechelen.

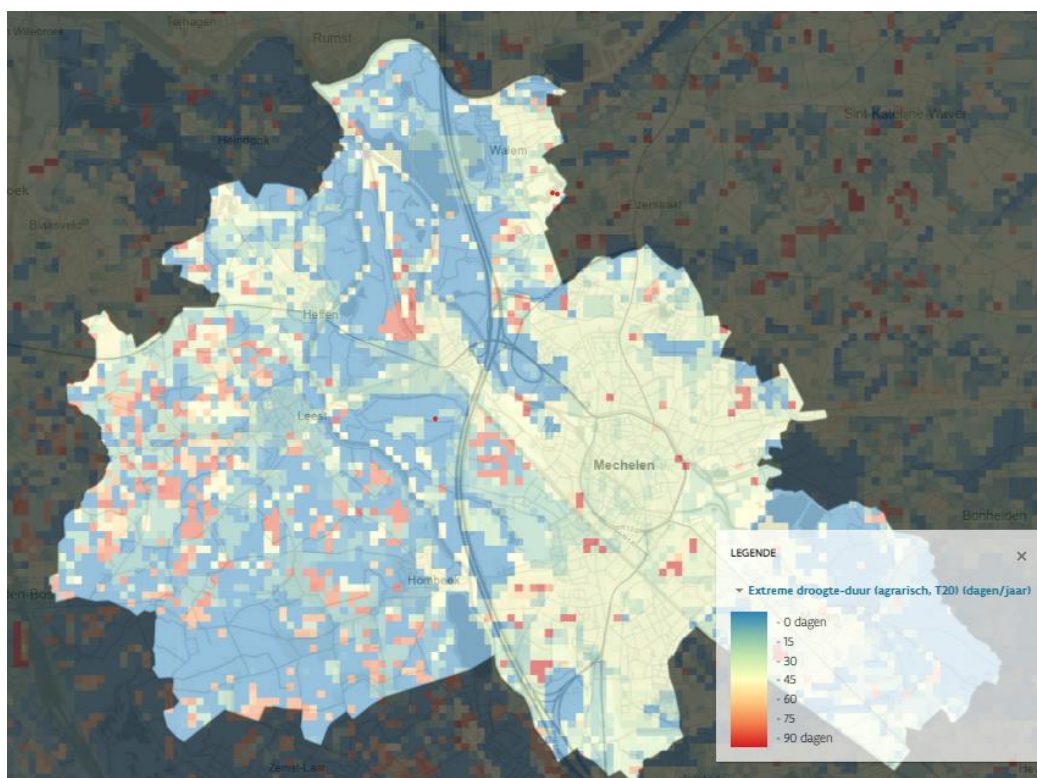
Belangrijk om hierbij op te merken is wel dat er een zeer groot verschil is tussen het stedelijk en landelijk gebied. De verbetering (dus vermindering van het aantal droogtedagen) vindt vooral plaats in stedelijk gebied. In het landelijk gebied is de afname véél beperkter. Dit betekent dat de kwetsbaarheid voor landbouwpercelen en ecotopen niet noodzakelijk in dezelfde mate afneemt als het gemiddeld aantal droogtedagen voor gans het grondgebied. Daarom dat de impact op landbouwpercelen en ecotopen ook apart wordt gekwantificeerd.



Figuur 17: Extreme droogte-duur agrarisch [droogtedagen] in Mechelen voor een T25 droogte event in het huidige klimaat – Scenario “Geen bijkomende acties”



Figuur 18: Extreme droogte-duur agrarisch [droogtedagen] in Mechelen voor een T25 droogte event in 2050 – Scenario “Geen bijkomende acties”

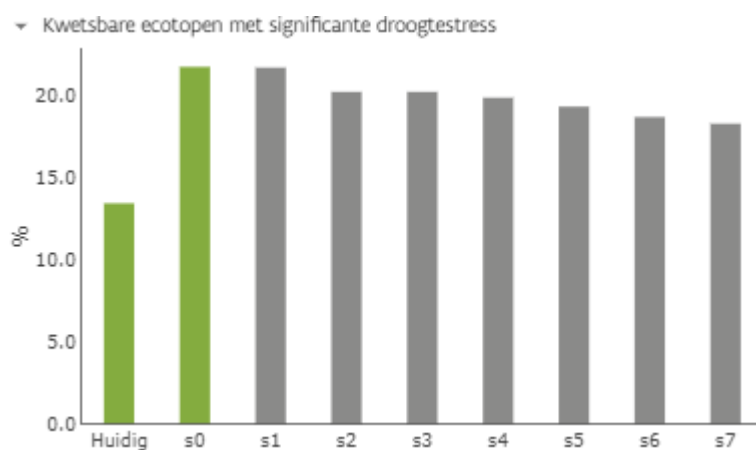


Figuur 19: Extreme droogte-duur agrarisch [droogtedagen] in Mechelen voor een T25 droogte event in 2050 – Scenario “Maximum”

Naast de extreme droogteduur agrarisch wordt ook de extreme droogteduur “hydrologisch” gesimuleerd (eveneens een event dat zich slechts eens om de 25 jaar voordoet – T25). Dit is het aantal droogtedagen in de waterlopen, waarbij dus het debiet van de waterloop onder een drempelwaarde valt. De extreme droogteduur hydrologisch neemt niet toe tussen het huidige klimaat en klimaat 2050 bij een scenario zonder bijkomende maatregelen. De droogteduur hydrologisch neemt zelfs beperkt af van 142 naar 140 droogtedagen. Deze afname is echter niet significant en moet ook niet als afname geïnterpreteerd worden, maar wordt veroorzaakt door het (toevallig) samenspel van wijzigende verdamping en neerslag in het klimaatscenario. De meer extreme scenario’s met maatregelen zoals het “maximum” scenario zijn in staat deze gemiddelde droogteduur te reduceren tot ongeveer 100 droogtedagen. Dit betekent dus zelfs als men veel inzet op maatregelen (diegene die opgenomen zijn in de scenario’s) de debieten in de onbevaarbare waterlopen in zeer droge jaren (hier met terugkeerperiode van 25 jaar) zullen terugvallen tot onder hun kritische drempelwaarden.

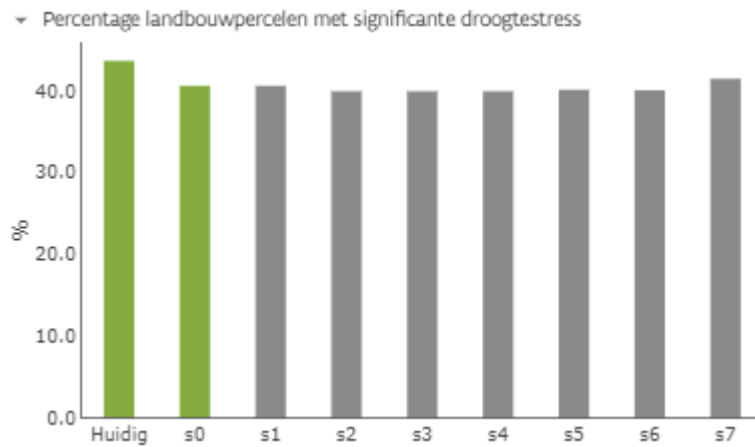
11.3.2. KWETSBAARHEDEN

Hoewel de extreme droogteduur sterk kan gereduceerd worden door de maatregelen in de verschillende scenario’s bevestigt onderstaande figuur dat dit vooral in een stedelijke context is gerealiseerd en minder nabij de kwetsbare receptoren. Onderstaande figuur bevestigt dat de maatregelen niet volstaan of niet gericht genoeg zijn opgezet om de droogtestress voor kwetsbare ecotopen in belangrijke mate te reduceren en te reduceren tot onder het niveau van 2019 voor een T20 terugkeerperiode.



Figuur 20: Percentage kwetsbare ecotopen met significante droogtestress in een T25 in Mechelen voor verschillende scenario’s

Ook voor landbouwpercelen geldt dezelfde conclusie. Het eigenaardige is weliswaar dat specifiek voor Mechelen het percentage landbouwpercelen met significante droogtestress beperkt daalt tussen het huidige en 2050 scenario. Als we dit bekijken op specifieke landelijke wijken neemt de droogteduur in het algemeen toe op de meeste plaatsen. De genomen maatregelen hebben ook quasi geen effect op dit percentage. Het is duidelijk dat er nog meer of andere maatregelen genomen moeten worden in het landelijk gebied dan verondersteld in het “maximaal” scenario om echt een wezenlijke impact te hebben.

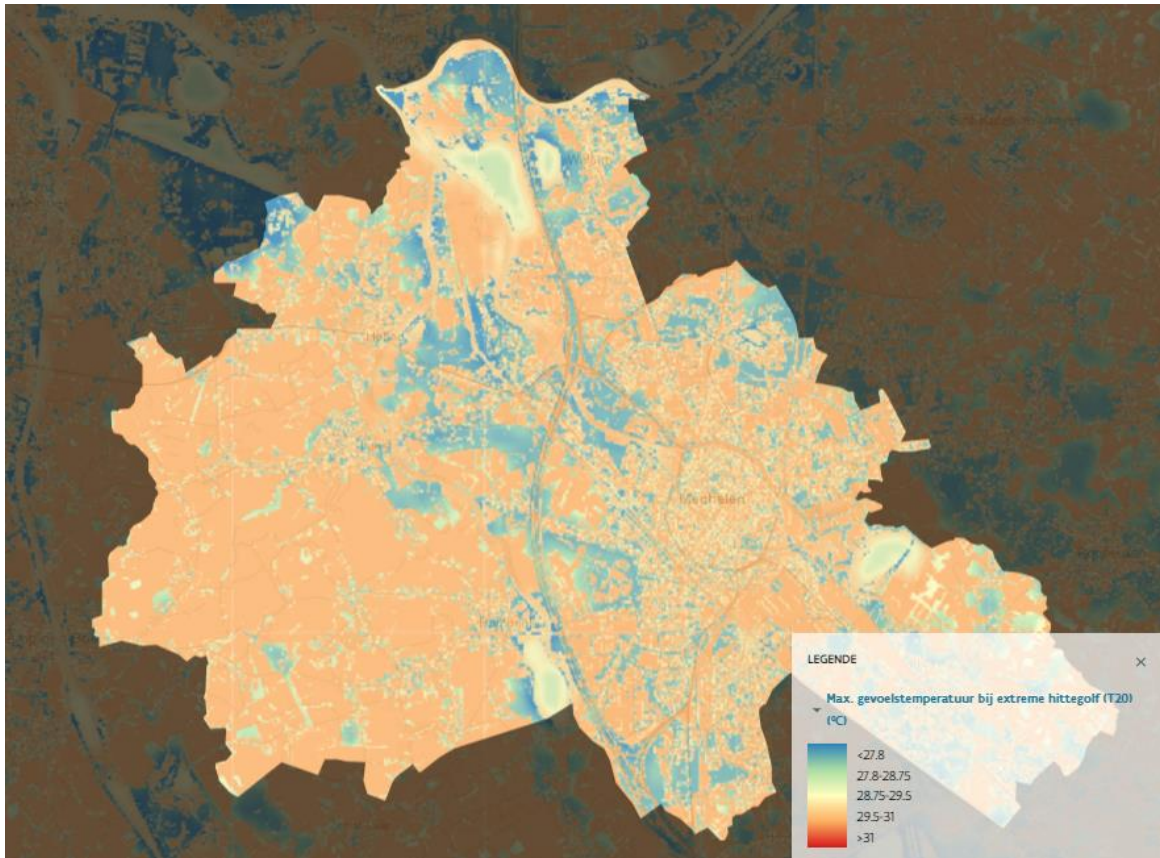


Figuur 21: Percentage landbouwpercelen met significante droogtestress in een T25 in Mechelen voor verschillende scenario's

11.4. HITTE

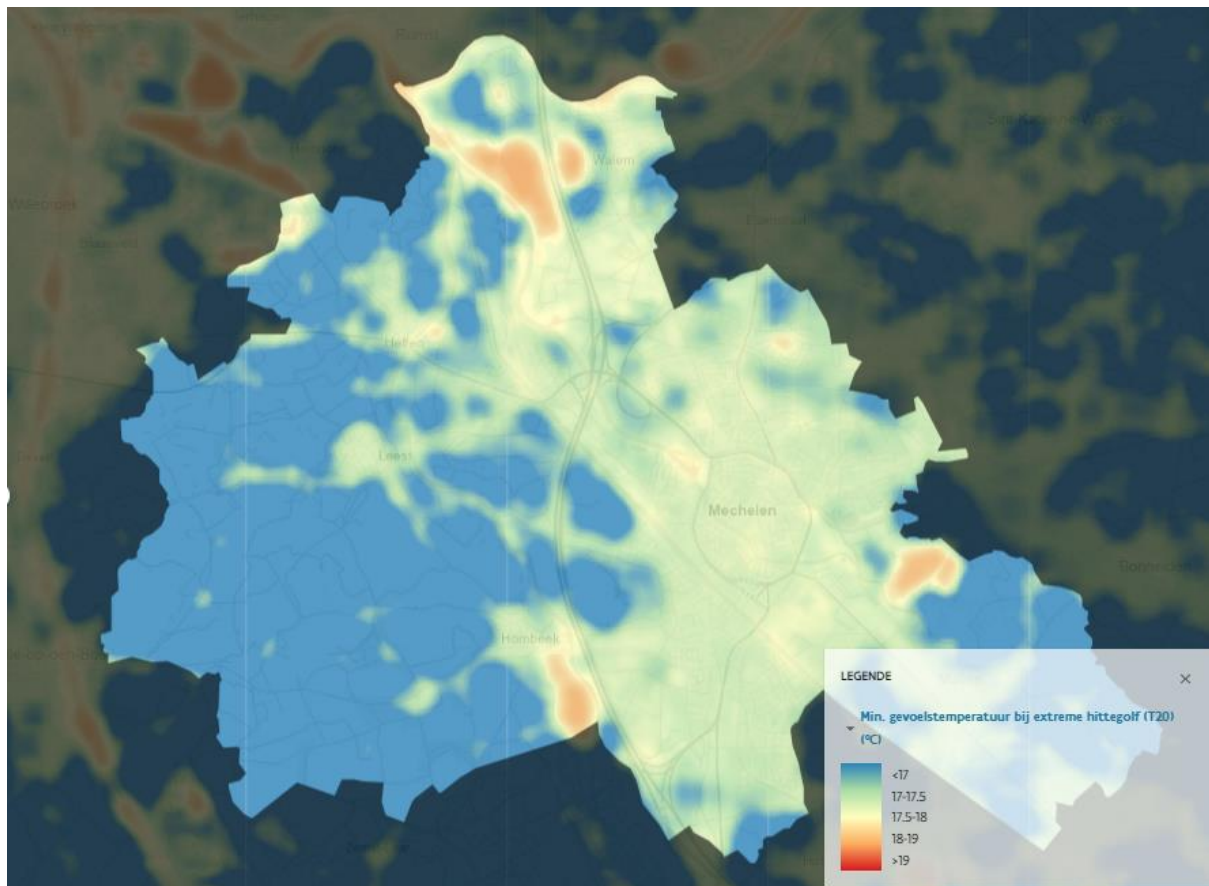
11.4.1. KLIMAATEFFECTEN

Voor het thema hittestress werd in dit project gekozen voor Mechelen als gevalstudie bij de ontwikkeling van de methodiek in deze studie. Zoals aangegeven in Hoofdstuk 5 van dit rapport wordt er voor hittestress gekeken naar zowel de dagmaximum als de dagminimum WBGT kaart voor een T20 hitte-event, en naar een samenvattende hitte-score indicator (1-5). Onderstaande figuur toont de dagmaximum WBGT kaart voor het huidige klimaat in Mechelen. De hoogste waarden liggen ruim boven de 31°C (drempelwaarde voor zeer sterke hittestress) en komen voor boven open, onbeschaduwde gebieden, die zowel verhard als onverhard kunnen zijn. Omdat dit T20-event (net zoals de meeste andere extreem hete dagen) in droge omstandigheden verliep, is er weinig verdamping en lopen de temperaturen ook op grasvelden en akkers hoog op tijdens de warmste momenten van de dag. In steden kan het op zo'n momenten zelfs wat koeler zijn omdat er meer schaduw aanwezig is. In de schaduw van gebouwen ligt de maximale WBGT enkele °C lager, net zoals boven of vlakbij grote wateroppervlakken die de lucht met enkele °C verkoelen. De koelste locaties op de kaart zijn de bosgebieden, waar de bomen voor schaduwvorming en evaporatie zorgen, en de WBGT waarden onder de drempelwaarde voor sterke hittestress (27.8°C) blijven.



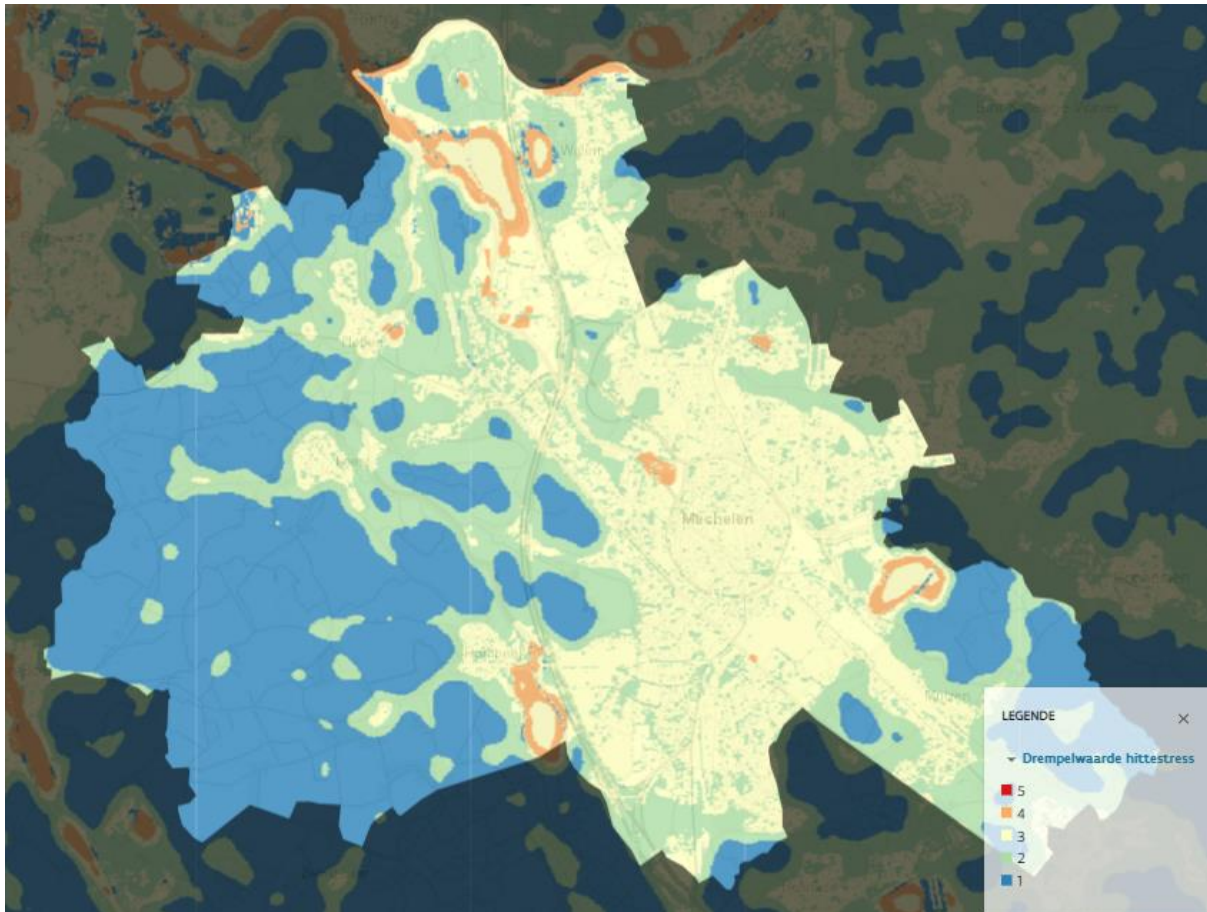
Figuur 22: Dagmaximum WBGT [°C] in Mechelen voor een T20 hitte event in het huidige klimaat

Onderstaande figuur toont de dagminimum WBGT-kaart voor het huidige klimaat in Mechelen. Er is duidelijk minder ruimtelijk detail aanwezig op deze kaart dan bij bovenstaande maximum WBGT kaart, en dat komt omdat schaduwvorming geen rol speelt tijdens de nacht. Dan domineren de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid het WBGT-patroon, en deze hebben een veel kleinere ruimtelijke variatie. De hoogste waarden op de kaart liggen boven 19°C en worden bereikt boven en vlak langs grote wateroppervlakken, die hun warmte lang behouden tijdens de nacht, en ook nog voor een hogere luchtvochtigheid zorgen. Daarnaast komt het stedelijke warmte-eiland ook duidelijk naar voren uit de kaart, in bebouwde gebieden blijven de WBGT waarden ook boven 18°C, de ondergrens voor hittestress. Open, niet-verharde landelijke gebieden koelen het sterkst af tijdens de nacht door een ongehinderde radiatieve afkoeling en daar liggen de WBGT waarden ruim onder de grens van 18°C. Het moet wel gezegd dat er zo goed als geen wind was tijdens de nacht van dit T20-event, moest dit wel zo zijn geweest dan zou het ruimtelijk patroon veel minder uitgesproken zijn.



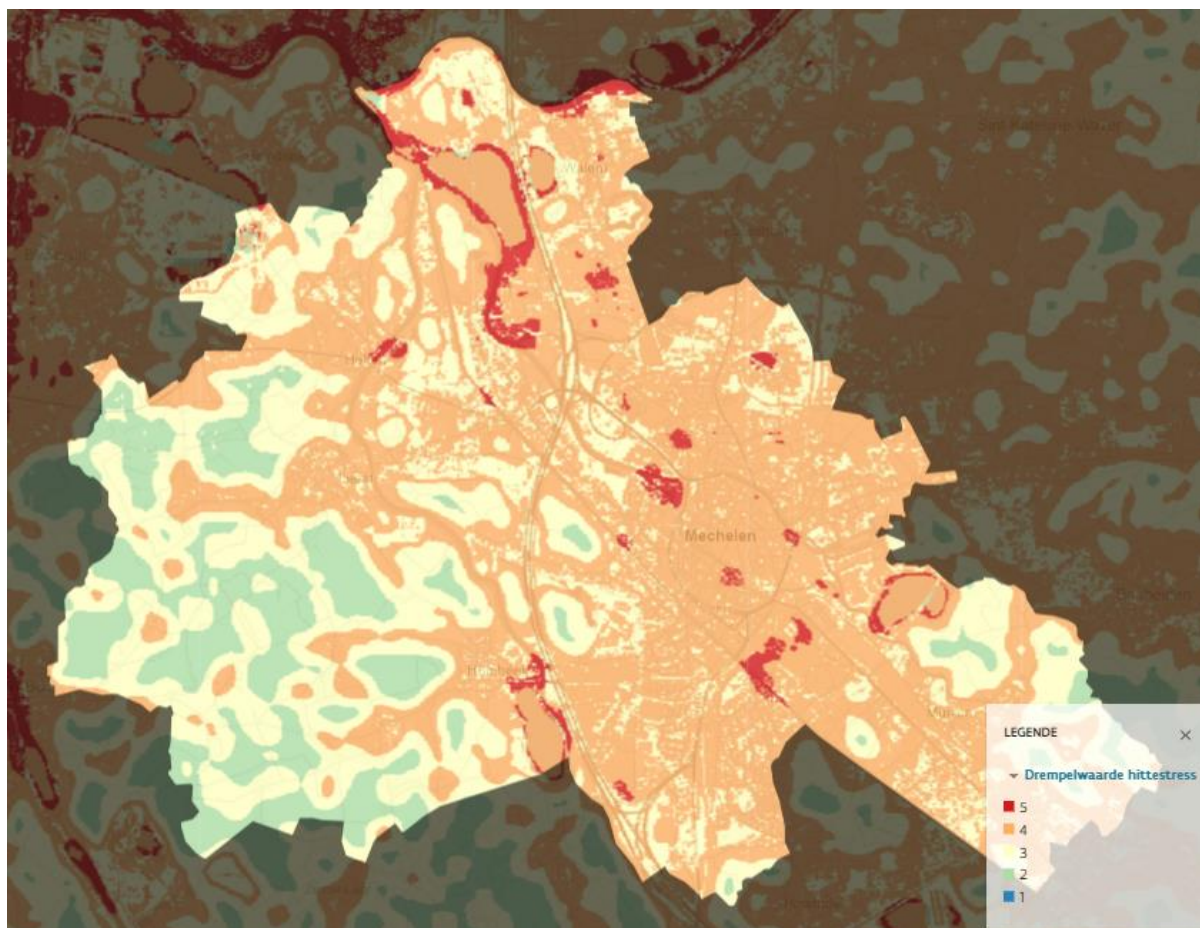
Figuur 23: Dagminimum WBGT [°C] in Mechelen voor een T20 hitte event in het huidige klimaat

Bovenstaande kaarten zijn vervolgens vertaald naar een eenvoudige en onderbouwde hittestress score-kaart (zie Hoofdstuk 5), die in onderstaande figuur wordt weergegeven. Op basis van de geselecteerde drempelwaarden is de hittestress situatie voor het huidige klimaat nog niet dramatisch. Bijna alle gebieden scoren lager dan 4, de drempel voor sterke hittestress. 2,2% van de oppervlakte van Mechelen heeft een score hoger of gelijk aan 4 (oranje en rood op de kaart). Zeker in de landelijke gebieden ligt de score laag, met dank aan de koele nachten waarin mensen kunnen recupereren. In de bebouwde gebieden gaat de score naar 3, nog steeds onder de drempel voor sterke hittestress. De gebieden met de slechtste score zijn gelegen aan de oevers van grote wateroppervlakken op plaatsen waar geen bomen staan, omdat de WBGT daar 's nachts het hoogst blijft en er overdag geen beschutting is tegen de zon. Dit zijn wel locaties waar weinig mensen wonen en die dus ook niet direct een probleem vormen.



Figuur 24: Hittestress score in Mechelen voor een T20 hitte event in het huidige klimaat

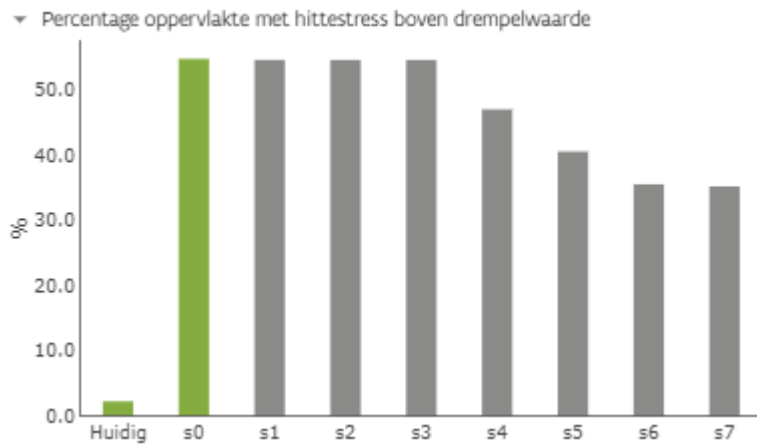
Als gevolg van de klimaatverandering (2050 hoog scenario) verandert dit beeld wel drastisch. De achtergrond lucht temperaturen stijgen tegen dan met ongeveer 2.2°C voor dit T20-event, en ook de luchtvochtigheid stijgt lichtjes. Dit vertaalt zich in een algemene stijging van de WBGT waarden met ongeveer 1.1°C. Dat lijkt weinig, maar voor de WBGT indicator is dat een aanzienlijke stijging. Aangezien het ruimtelijke patroon van de dagmaximum en de dagminimum kaarten nauwelijks afwijkt van bovenstaande kaarten zijn deze niet opnieuw opgenomen. Onderstaande figuur toont de resulterende hittestress score-kaart voor het klimaat in 2050, zonder dat er maatregelen zijn geïmplementeerd (S0). 55% van de oppervlakte van Mechelen heeft dan een score hoger of gelijk aan 4. Het aantal gebieden dat onder de score van 4 blijft is drastisch geslonken, enkel echte rurale gebieden en bosgebieden blijven over. Alle bebouwde gebieden, en ook de wateroppervlakken hebben een score van 4 of 5. Hitte wordt naar de toekomst toe dus zeker een veel groter probleem dan nu al het geval is, en er is een duidelijke nood aan actie om onze bebouwde kernen leefbaar te houden.



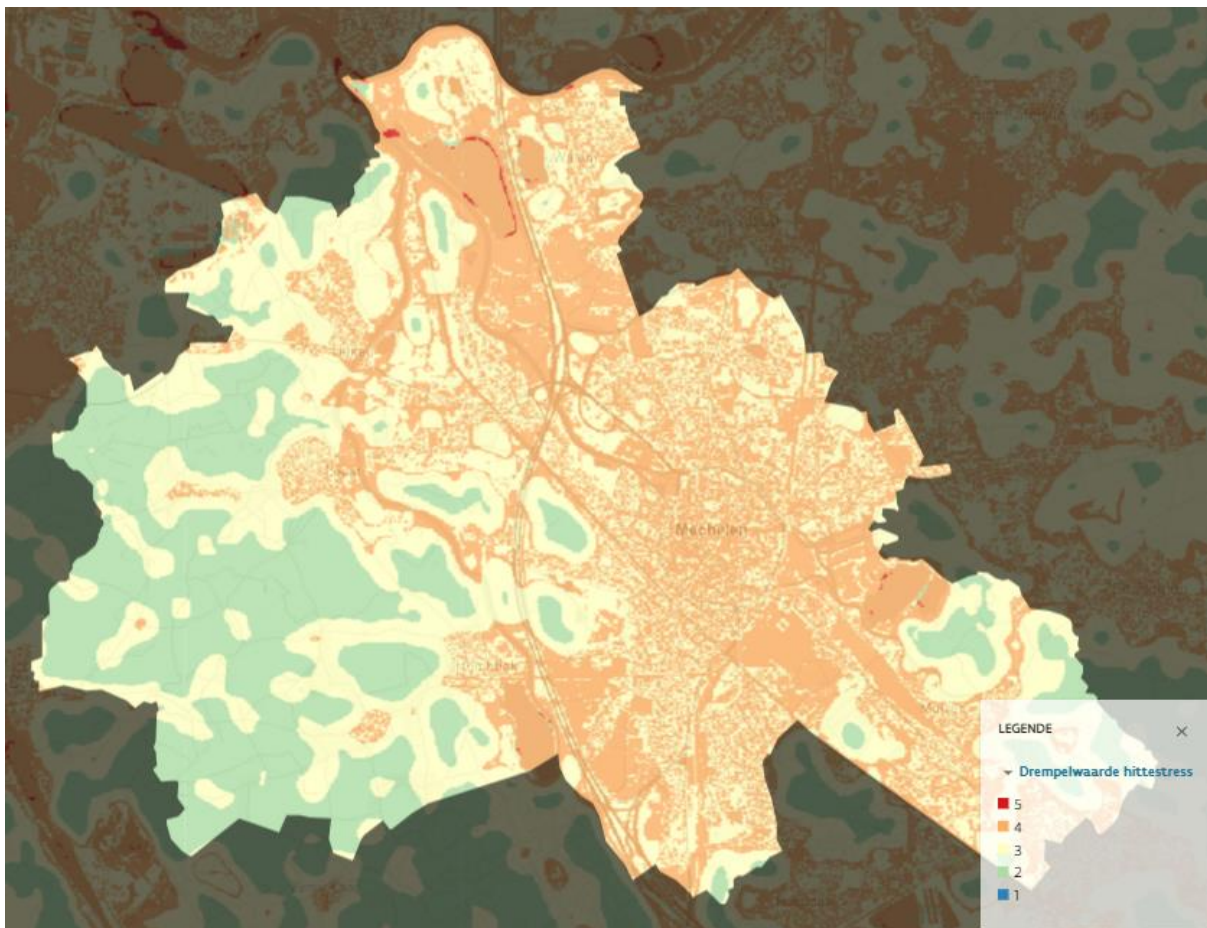
Figuur 25: Hittestress score in Mechelen voor een T20 hitte event in het 2050 hoog klimaat scenario zonder maatregelen (S0)

In dit project zijn een aantal scenario's gedefinieerd om de impact van grootschalige potentiële adaptatiemaatregelen in te schatten. Voor hittestress gaat het daarbij vooral om het planten van bomen (natuurlijk hittedeksel) en het ontharden (waar ook groendaken onder vallen). De eerste maatregel heeft vooral effect op de maximum WBGT, die sterk verlaagd wordt (tot 3°C) door boomschaduw en evaporatie. Dit effect is wel erg lokaal. Ontharden heeft vooral een impact op de minimum WBGT (en het stedelijke warmte-eiland). Dit effect is iets minder sterk (tot 1°C) maar heeft wel een ruimere impact op de gebieden er rond.

Onderstaande figuur toont de hittestress score-kaart voor het scenario waarin de maatregelen maximaal worden toegepast (S7). Het is duidelijk dat dit scenario de hittestress situatie gevoelig verbetert ten opzichte van de situatie zonder adaptatie. 35% van de oppervlakte van Mechelen heeft dan nog een score hoger of gelijk aan 4. De gebieden met een score van 2 breiden ruimtelijk uit, en in de bebouwde kernen duikt de score onder 4 op de locaties waar er maatregelen genomen worden. Ook de gebieden met een score van 5 verdwijnen bijna volledig. Toch zijn er nog grote gebieden waar de score 4 of meer blijft, dit zijn locaties waar er geen maatregelen zijn genomen.



Figuur 26: Percentage oppervlakte met hittestress boven drempelwaarde (score 4 of 5) in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's

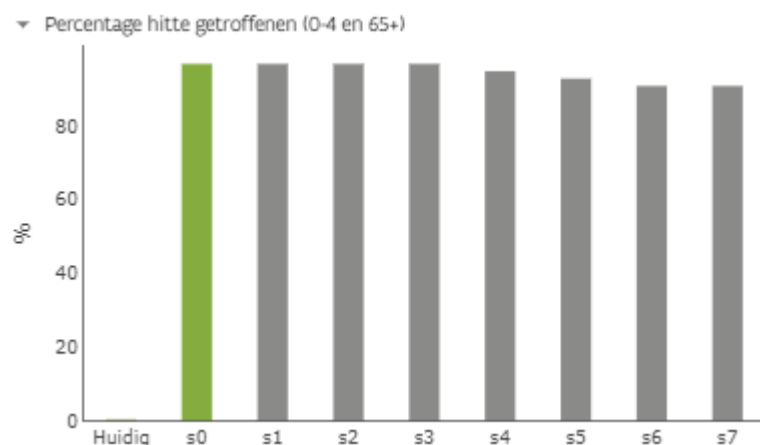


Figuur 27: Hittestress score in Mechelen voor een T20 hitte event in het 2050 hoog klimaat scenario met een maximum aan maatregelen (S7)

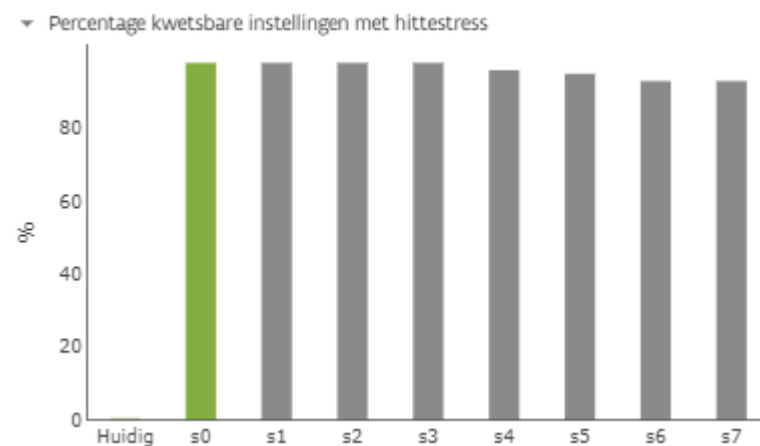
Wat hittestress betreft is de conclusie dus dat de situatie naar 2050 toe sterk zal verslechteren. Het is mogelijk om met grootschalige maatregelen een significante impact te hebben, maar die impact is wel sterk lokaal en kan er dus niet voor zorgen dat de toestand overall aanvaardbaar wordt. Er zullen dus overal verspreid maatregelen nodig zijn en de toename van het klimaateffect zal niet volledig kunnen opgevangen worden met maatregelen.

11.4.2. KWETSBAARHEDEN

Kwetsbaarheden voor hitte worden bepaald door het percentage kwetsbare personen (0-4 en 65+) en kwetsbare instellingen in hittestress-gevoelige zones. Onderstaande figuren geven aan dat deze percentages maar zeer beperkt reduceren en in mindere mate dan de oppervlakte boven de drempelwaarde (vorige figuur). Dit komt omdat met name in de dichtst bevolkte gebieden, waar ook de meeste instellingen gelegen zijn, we er niet in slagen met de gesimuleerde maatregelen de temperatuur in dergelijke mate te reduceren dat ze onder de hittestressdrempel vallen. De gebieden die door maatregelen onder de hittestressdrempel vallen, situeren zich aan de rand van de stand en in het buitengebied. Dit betekent weliswaar niet dat er geen effect is. De temperatuur wordt wel degelijk gereduceerd in de kernen maar onvoldoende om tot onder de gehanteerde drempelwaardes voor belangrijke hittestress te geraken.



Figuur 28: Percentage kwetsbare inwoners getroffen door hittestress in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's

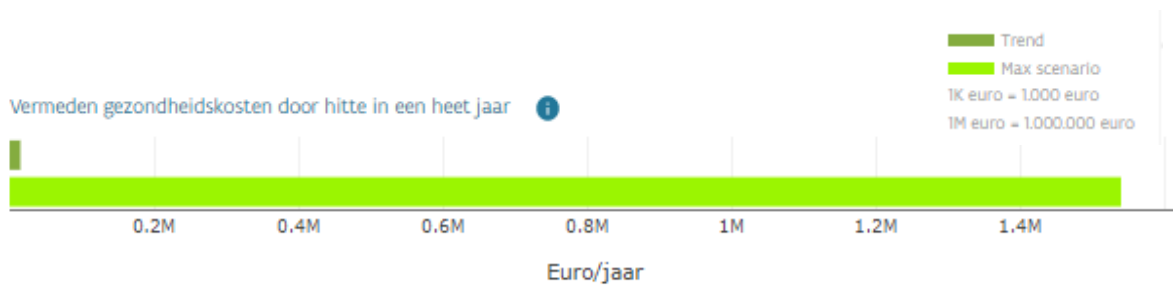


Figuur 29: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door hittestress in een T20 in Mechelen voor verschillende scenario's

11.4.3. VERMEDEN SCHADE AAN GEZONDHEID

Onderstaande figuur bevestigt dat het onderscheid in vermeden gezondheidskosten groot is tussen het trend en het maximum scenario. Deze analyse geeft iets meer nuance dan werken met een drempelwaarde zoals gebeurt in vorige paragraaf. Ondanks het feit dat de temperatuur niet in

dergelijke mate daalt dat ze onder de drempelwaardes geraakt, geeft onderstaande figuur aan dat de gerealiseerde temperatuursreductie door maatregelen wel degelijk een impact heeft op vermeden sterfte en gerelateerde gezondheidskosten. Deze vermeden kost loopt op tot 1,5 miljoen € op het grondgebied van Mechelen in een heet jaar.



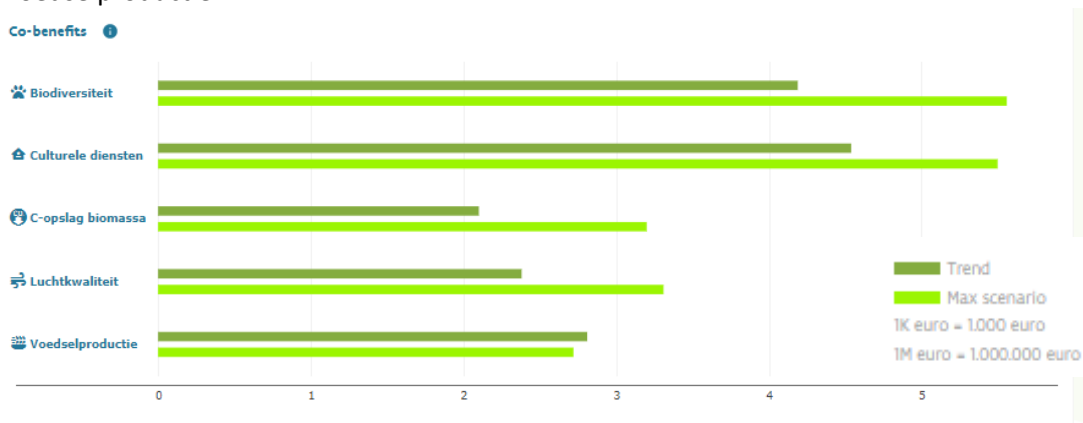
Figuur 30: Vermeden gezondheidskosten door reductie van vroegtijdige sterftes in een extreem heet jaar (T20) in Mechelen voor het trend en maximum scenario

11.5. KOSTEN

De bijkomende investeringen voor klimaatadaptieve ingrepen variëren naargelang het scenario tussen 6 miljoen euro en 530 miljoen euro over een periode van 30 jaar. De bijkomende jaarlijkse uitgaven variëren tussen ongeveer 0,4 en 32 miljoen € per jaar. De gemiddelde jaarlijkse uitgaven gedurende een realisatie-periode van 30 jaar worden berekend als 1/30 van de totale investeringskosten van een scenario en 50% van de totale jaarlijkse operationele kosten omdat we uitgaan van een gefaseerde realisatie gedurende deze periode (en dus gemiddeld gezien de helft geïmplementeerd is binnen deze periode).

11.6. CO-BENEFITS

De co-benefit scores variëren relatief beperkt tussen scenario's. De score voor biodiversiteit, culturele diensten, biomassa en luchtkwaliteit verhoogt vooral door het voorzien van bijkomende boomkruinen en natte groenvormen zoals wadi's. Ook ontharden doet deze score verhogen. Voedselproductie verlaagt beperkt door het opzetten van infiltratiepoelen, die niet combineerbaar zijn met voedselproductie.



Figuur 31: Co-benefits van scenario's in Mechelen voor het trend en maximum scenario

HOOFDSTUK 12. RESULTATEN VOOR VLAANDEREN

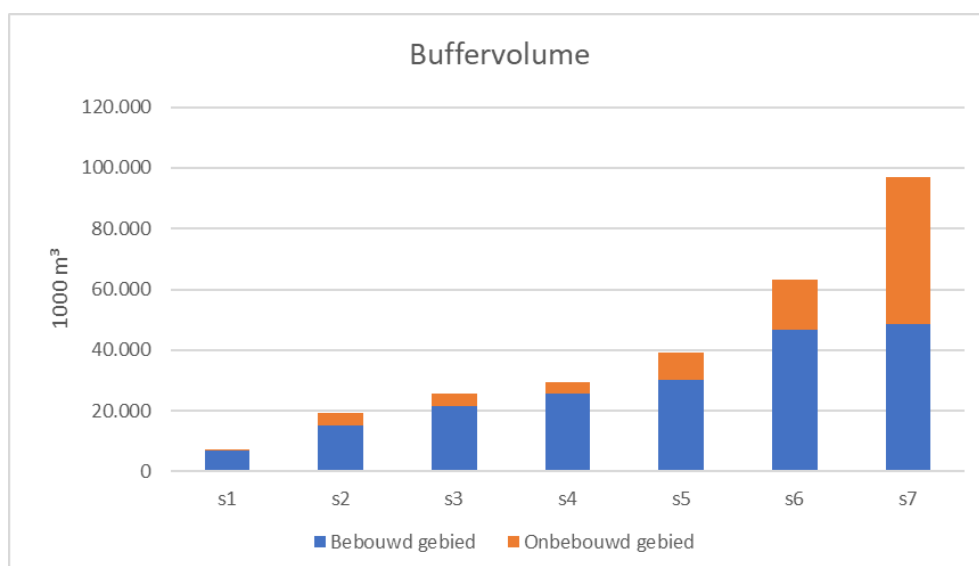
12.1. SCENARIO'S

Onderstaande tabel vat de oppervlaktes samen aan maatregelen die voorzien zijn in de verschillende scenario's. T.o.v. de trend s2 veranderen deze oppervlaktes weinig in s3. Er worden in bebouwd gebied wat bijkomende buffermaatregelen voorzien. Vanaf s4 gaan met name de oppervlaktes van verschillende maatregelen sterk verhogen, vooral inzake vergroening en buffering in onbebouwd gebied. Als we s4 vergelijken met s3 zien we wel dat berging en infiltratie in onbebouwd gebied en vermindering van drainage en aanleg stuwen iets afneemt. Ook ontharden heeft geen stijgend patroon altijd naarmate scenario's ambitieuzer worden. Door de prioritaire volgorde van maatregelen en het verlagen van de bovengrenzen in de potentieelkaarten kunnen in sommige randgebieden de buffervolumes gerealiseerd worden door bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied. In het maximum scenario s7 installeren we quasi op alle landbouwpercelen infiltratiepoelen, waardoor vermindering van drainage en aanleg stuwen niet meer voorkomt in dit scenario. Dit verklaart ook waarom s7 niet overal een verbetering is inzake droogte in vergelijking met s6.

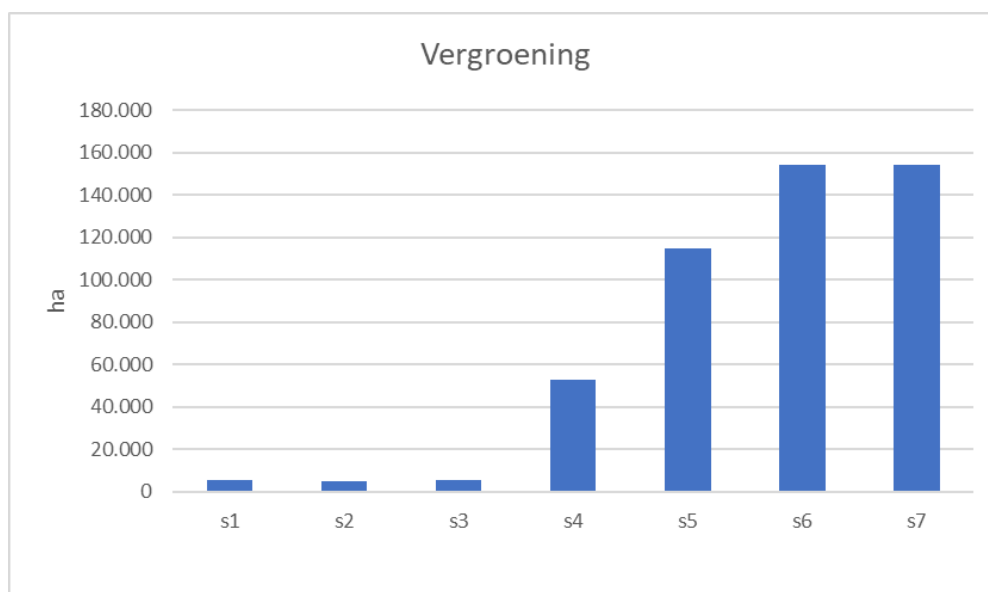
De figuren op de volgende pagina beschrijven het totale buffervolume en de vergroening die voorzien is in de scenario's. In de extremere scenario's wordt vooral bijkomende buffering voorzien in onbebouwd gebied. Het buffervolume in bebouwd gebied varieert maximaal een factor 3 in s7 t.o.v. het s2 scenario. De vergroening d.m.v. groendaken, ontharden en boomschaduw neemt wel heel sterk toe t.o.v. s2. Deze oppervlaktes zijn vrij dominant in de totale oppervlaktes maar noodzakelijk als we over grote oppervlaktes een daling van de gevoelstemperatuur (WBGT) willen realiseren.

Tabel 17: Oppervlaktes maatregelen in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen (ha)

Maatregel	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	3.046	7.397	10.439	11.655	14.129	22.112	22.820
Ontharden	1.424	868	1.011	8.396	15.064	7.342	7.558
Ondergrondse infiltratie en buffering in bebouwd gebied	129	85	165	482	398	500	564
Groendaken	751	751	751	4.297	6.973	8.775	8.775
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied	145	2.015	2.015	1.766	4.436	8.312	24.288
Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	318	6.093	6.093	5.902	16.584	9.129	0
Boomschaduw	3.621	3.621	3.621	40.386	92.999	137.948	137.948



Figuur 32: Buffervolume voorzien in de verschillende scenario's in bebouwd en onbebouwd gebied voor heel Vlaanderen (1000 m³)



Figuur 33: Vergroening voorzien in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen door groendaken, ontharding en boomschaduw (ha)

Tabel 18: Oppervlaktestatistieken voor de scenario's

Indicator	Eenheid	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
Buffering nabij bebouwd gebied *	m ³ /ha verhard	34,97	79,57	113,16	134,19	164,15	263,07	261,49
	m ³ /inwoner/jaar	0,03	0,08	0,11	0,13	0,15	0,24	0,25
Vergroening **	% totale oppervlakte	0,4%	0,4%	0,4%	3,9%	8,4%	11,3%	11,3%
	% ruimtebeslag	1,3%	1,2%	1,2%	11,7%	25,4%	34,0%	34,0%
Ontharding ***	% verharding	0,7%	0,5%	0,5%	4,4%	7,8%	3,8%	3,9%
	m ² /inwoner/jaar	0,07	0,04	0,05	0,43	0,76	0,37	0,38
Boomkruin ****	Aantal bomen /inwoner/jaar	0,01	0,01	0,01	0,08	0,19	0,28	0,28

* De buffering door stuwen en infiltratiepoelen in onbebouwde omgeving wordt niet beschouwd. De verharde oppervlakte wordt berekend als de verharde oppervlakte volgens de bbk 2019 – de oppervlakte ontharding voorzien in het scenario.

** Vergroening is de oppervlakte ingenomen door ontharding, groendaken en boomschaduw. Ruimtebeslag is het aandeel van de ruimte dat is ingenomen door onder meer huisvesting, industriële en commerciële doeleinden, transportinfrastructuur of recreatieve doeleinden. Dit bedraagt een derde van de oppervlakte in Vlaanderen (<https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/ruimtegebruik/ruimtebeslag>)

*** Oppervlakte onthard t.o.v. de bestaande verharding.

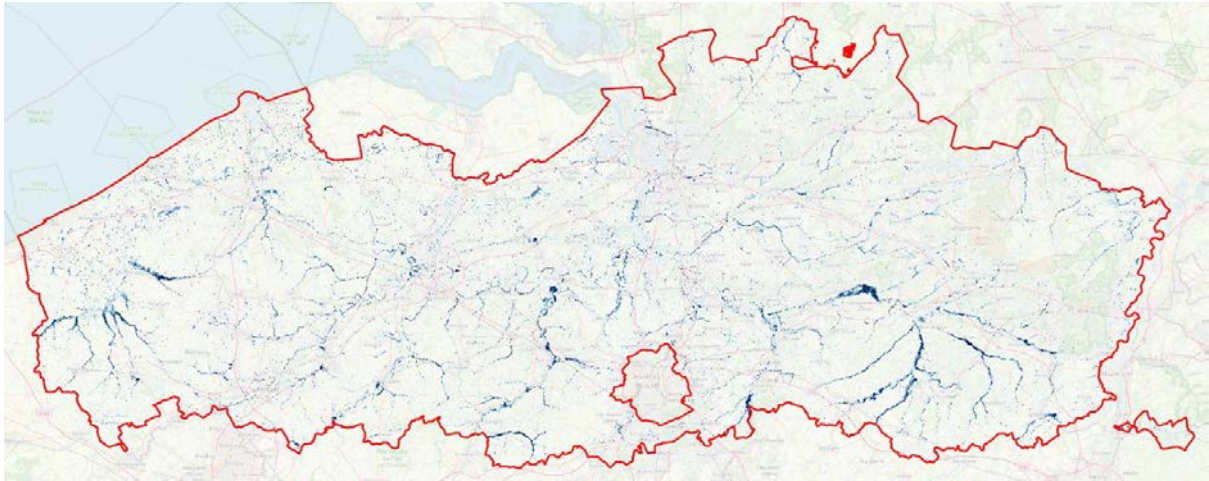
**** We beschouwen een oppervlakte van 25m² boomkruin per boom. Belangrijk is wel dat het LEKP niet specificeert dat deze bomen nabij bebouwde omgeving geplaatst moeten worden. Aanplant van bossen komt niet aan bod in de scenario's voor het klimaatportaal.

Bij de interpretatie van de resultaten is het belangrijk te duiden dat het niet de bedoeling is om een voorkeur-scenario voor Vlaanderen naar voor te schuiven bij de bespreking van deze resultaten. De resultaten tonen grote verschillen aan tussen gebieden (stedelijk versus landelijk, provincies, maar ook zeer specifieke straten kunnen grote verschillen tonen) en wijzen uit dat eerder locatiespecifiek geëvalueerd moet worden hoe vergaand maatregelen nodig zijn om klimaateffecten te reduceren en of klimaateffecten substantieel gereduceerd kunnen worden met de geselecteerde maatregelen.

12.2. WATEROVERLAST

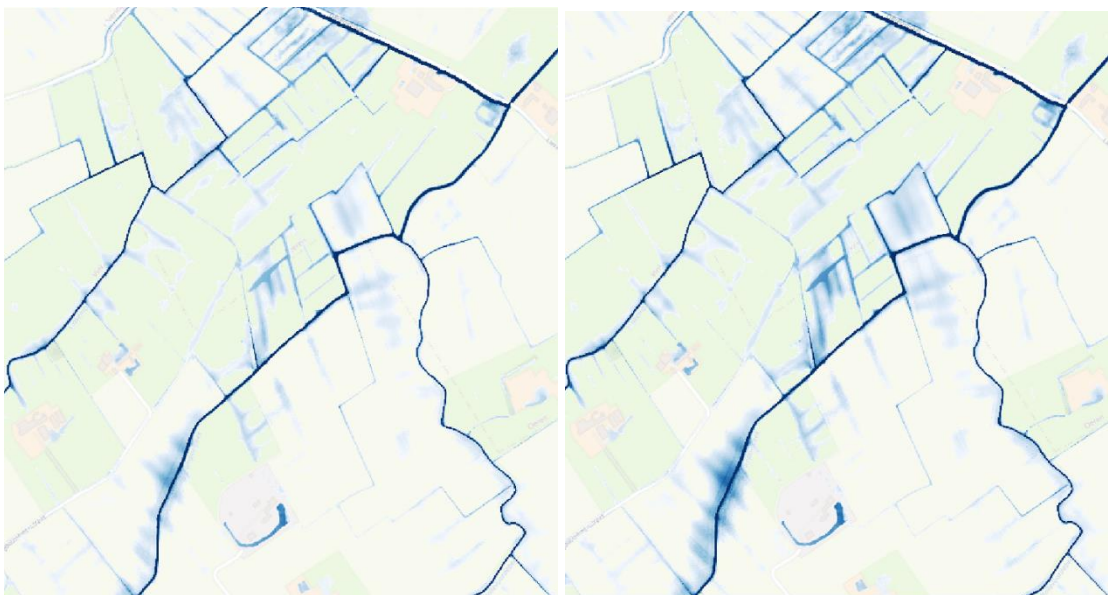
12.2.1. KLIMAATEFFECTEN

De modellering van de wateroverlast doorheen gans Vlaanderen resulteert voor elk scenario in een kaart met overstromingsdieptes. De overstromingskaarten voor geheel Vlaanderen (Figuur 34) zijn een samenstelling van de overstromingskaarten berekend voor elk van de 103 stroomgebieden. Omwille van presenteerbaarheid zullen het vervolg van dit hoofdstuk uitsneden uit deze overstromingskaarten worden getoond.



Figuur 34: Overstromingskaart Vlaanderen bij een bui met een terugkeerperiode van 20 jaar 2050

De simulaties tonen lokaal sterke toenames in overstromingsdieptes tussen de simulatie van de T20-bui in huidig klimaat en de T20-bui in het hoogimpact-scenario 2050. Daarbij gaat het niet alleen om een sterke toename in stedelijk gebied, maar is er over het algemeen ook een duidelijke toename zichtbaar in landelijk gebied (Figuur 35). Met name opwaarts van objecten met een gelimiteerde doorstroomcapaciteit, zoals duikers, nemen de overstromingsdieptes soms sterk toe (Figuur 36).

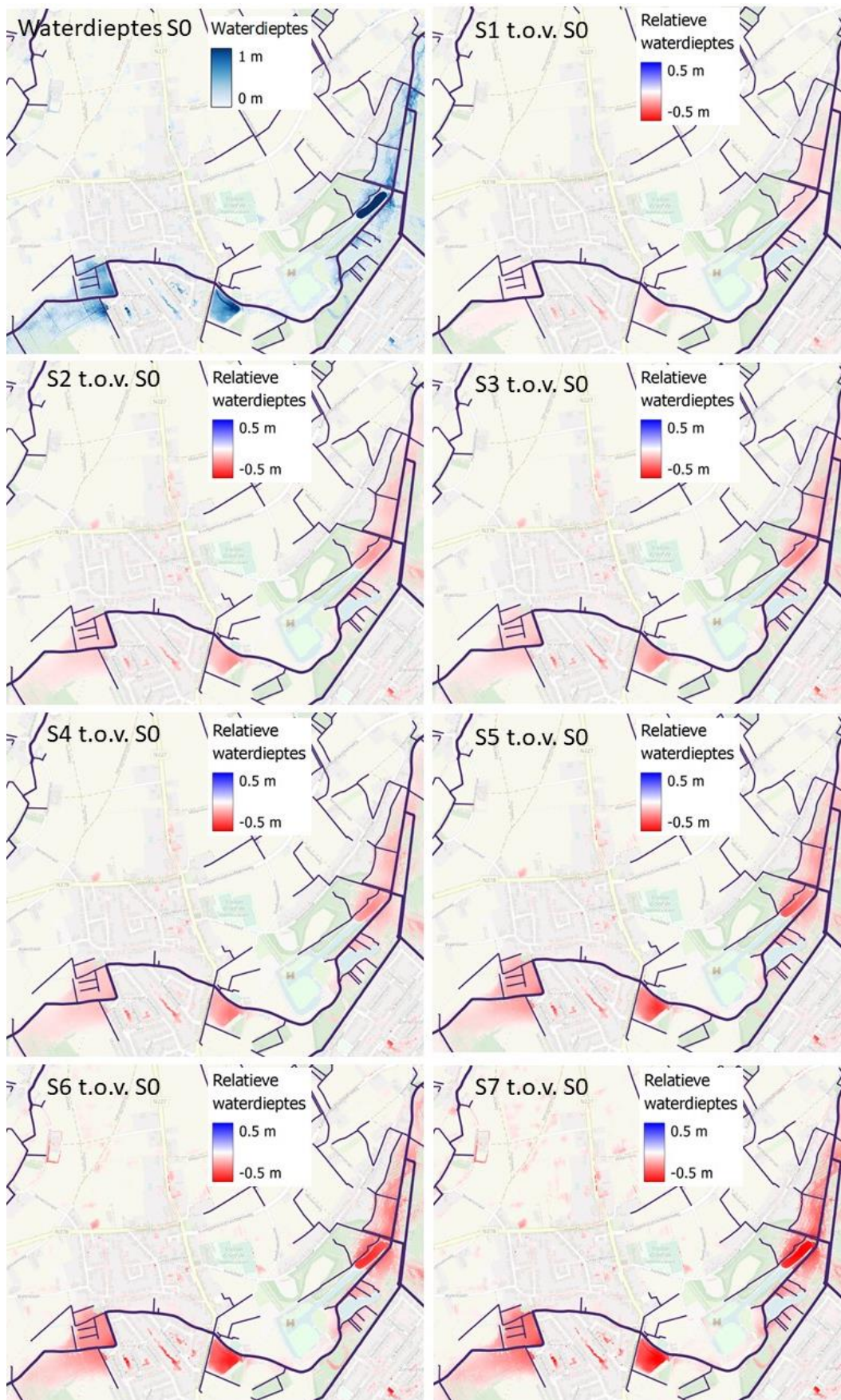


Figuur 35: Toename van overstromingsdieptes in landelijk gebied langs de Bampoelbeek nabij Oeren bij een T20-bui in huidig klimaat (links) en een T20-bui in het hoogzomer-scenario 2050 (rechts)



Figuur 36: Toename van overstromingsdieptes opwaarts van twee duikers in de Begijnebeek nabij Assen bij een T20-bui in huidig klimaat (links) en een T20-bui in het hoogzomer-scenario 2050 (rechts)

De zeven scenario's voor referentiejaar 2050, zijn eveneens voor heel Vlaanderen doorgerekend. Hierbij is duidelijk een trend waarneembaar van afnemende waterdieptes met een oplopend ambitieniveau van de scenario's (Figuur 37). Door verschillen in de definitie van de scenario's naar aftoppingsvolume, en het effect daarvan op de selectie van de maatregelen per modelcel na aftopping, worden lokaal/uitzonderlijk soms ook toenemende waterdieptes waargenomen wanneer het ambitieniveau van het scenario stijgt.

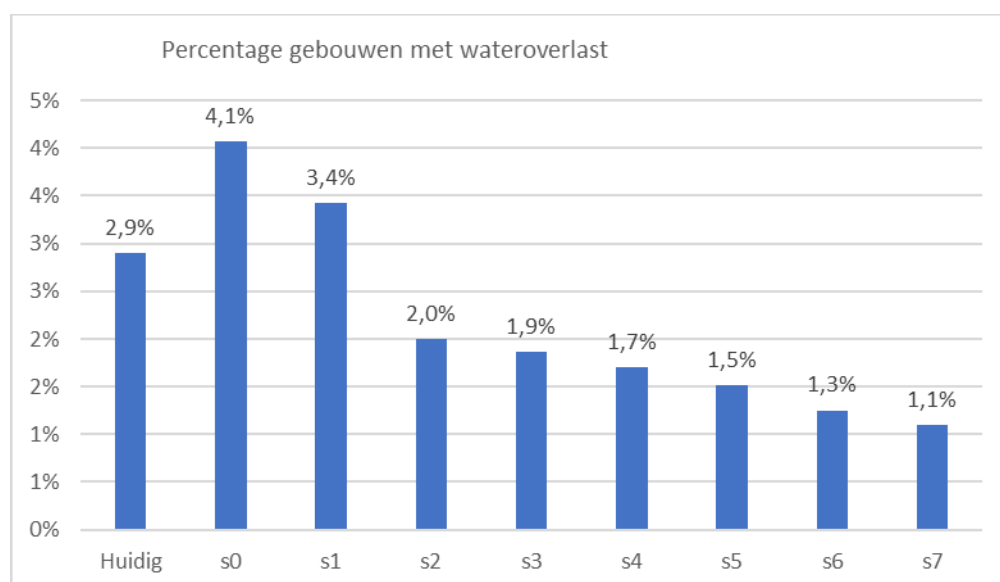


Figuur 37: Waterdieptes in No Action-scenario 2050 (S0) en relatieve dieptes van overige scenario's t.o.v. S0

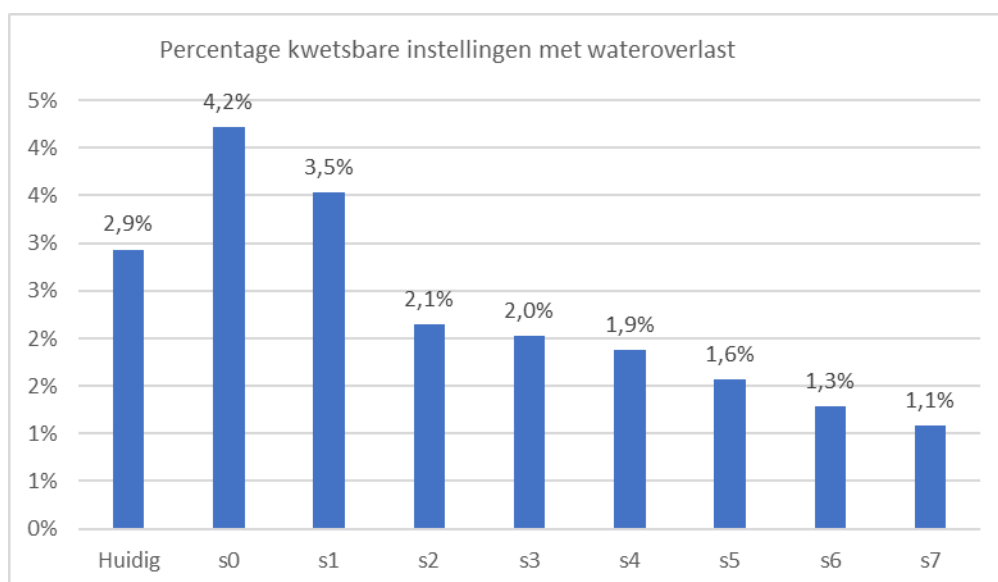
Ook doorheen Vlaanderen geldt dat in de meest ambitieuze scenario's de klimaatverandering tot 2050 doorgaans volledig kan worden gecompenseerd door sterk in te zetten op bronmaatregelen, zoals eerder waargenomen voor Mechelen. Wel is het zo dat ook doorheen heel Vlaanderen in het meest ambitieuze scenario nog altijd heel wat wateroverlast optreedt bij een bui met een terugkeerperiode van 20 jaar, maar wel heel wat minder dan in de huidige toestand. Met andere woorden, zelfs al maximaal wordt ingezet op bronmaatregelen zal tegen 2050 niet alle wateroverlast opgelost zijn.

12.2.2. KWETSBAARHEDEN

De trend in kwetsbaarheden voor gans Vlaanderen volgt de resultaten van Mechelen en van de waterdieptes. We stellen vast dat al relatief snel het percentage gebouwen en kwetsbare instellingen met wateroverlast tot onder het huidige percentage zakt. Het trend scenario volstaat om de bijkomende kwetsbaarheden door klimaatverandering tegen 2050 op te vangen. Verdergaande scenario's hebben nog wel een bijkomend effect maar dit is relatief beperkt t.o.v. het effect van het trend scenario. Het verhogen van de buffercapaciteit (s3 vs. s2) heeft bijvoorbeeld weinig bijkomend effect. Het areaal waarop bronmaatregelen bijkomend wordt toegepast (en dus het hoger buffervolume in de orde van factor 2, 2.5 tot 3, bij s4, 5, 6 vs. s2) heeft een groter effect in het reduceren van de kwetsbaarheid voor wateroverlast. Zelf onder het maximaal scenario blijkt het met de voorziene bronmaatregelen niet mogelijk om te komen tot geen kwetsbaarheid voor een T20 terugkeerperiode en zoals vooropgesteld binnen het waterbeleid. Wel is een reductie van het percentage gebouwen met wateroverlast t.o.v. de huidige kwetsbaarheid met een factor 3 mogelijk (en factor 4 voor de toekomstige kwetsbaarheid in 2050).



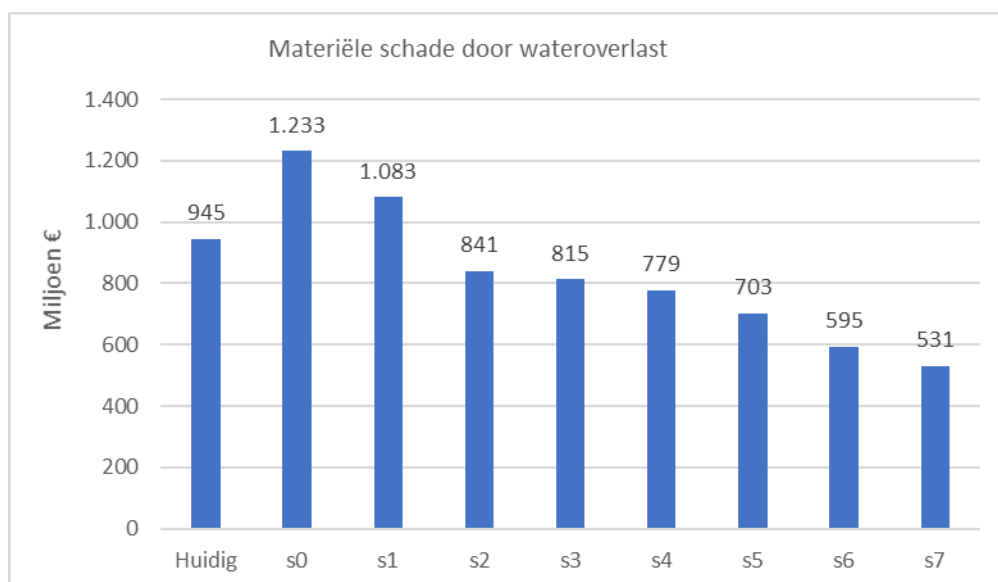
Figuur 38: Percentage gebouwen getroffen door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's



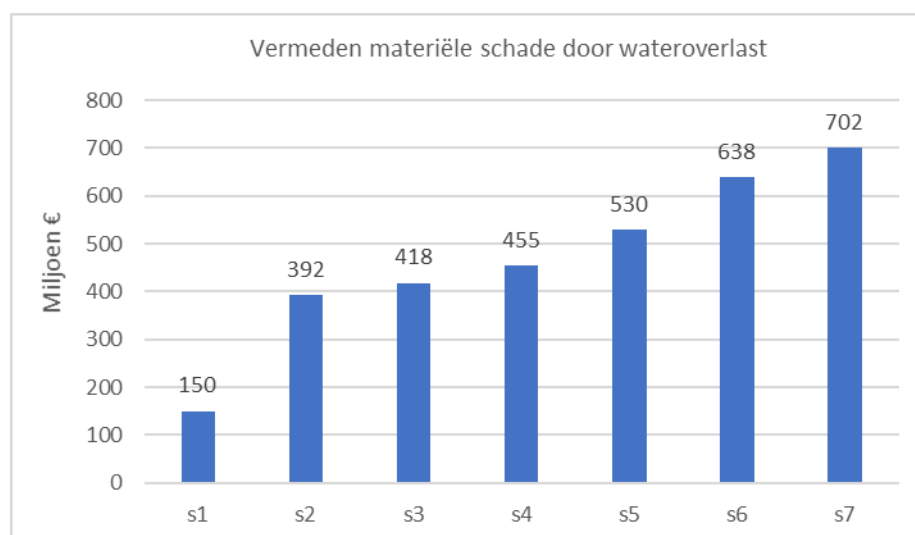
Figuur 39: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's

12.2.3. VERMEDEEN MATERIËLE SCHADE

De materiële schade door wateroverlast daalt bij de trend (S2) ook onder het niveau van de huidige situatie. De verhoging van de kwetsbaarheden en de reducties in de minder ambitieuze scenario's zijn wel iets minder uitgesproken als bij de kwetsbaarheden.



Figuur 40: Materiële schade door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's



Figuur 41: Vermeden materiële schade door wateroverlast in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's

12.3. DROOGTE

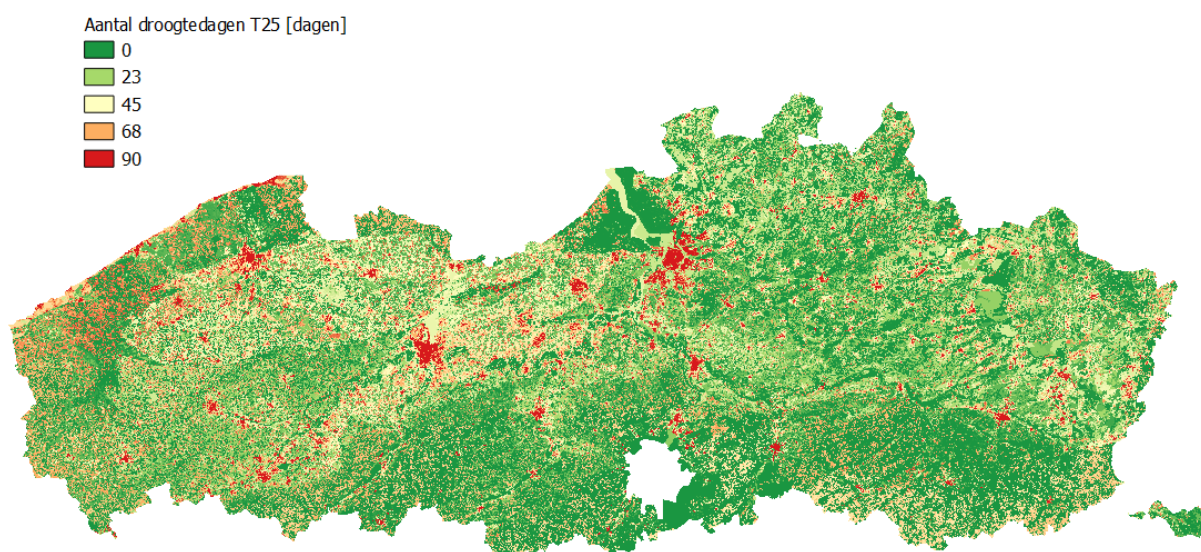
12.3.1. KLIMAATEFFECTEN

Onderstaande figuren tonen het aantal droogtedagen voor bodemvocht ("agrarische droogte") voor een jaar dat gemiddeld eens in de 25 jaar voorkomt. De verschillende figuren tonen het aantal droogtedagen in het huidig klimaat (Figuur 42), toekomstig klimaat 2050 zonder maatregelen (Figuur 43) en het toekomstig klimaat 2050 in het max scenario (scenario 7; Figuur 44).

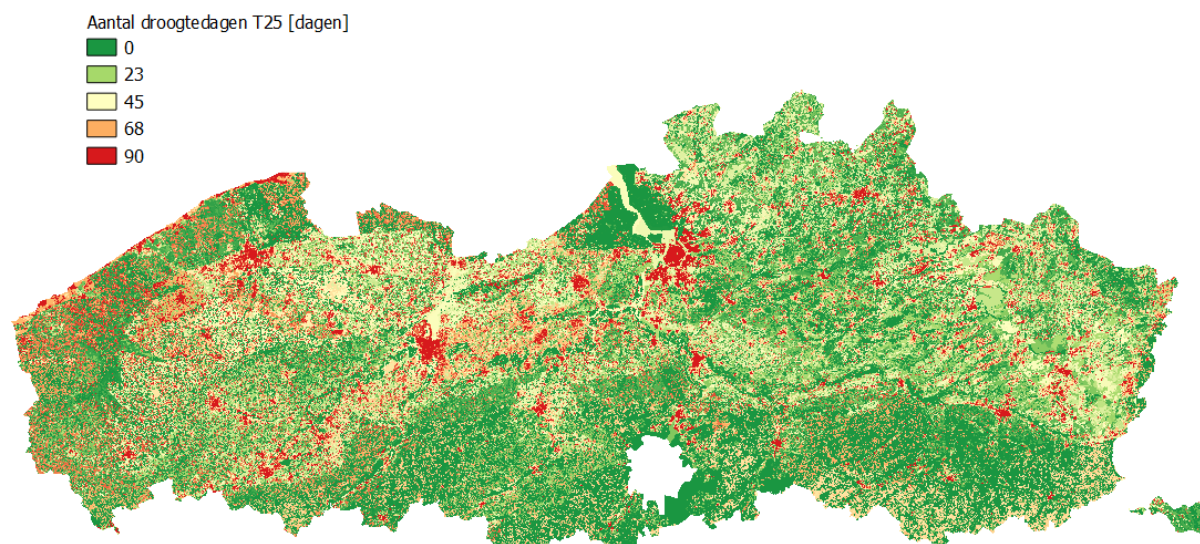
Op de figuren is te zien dat het aantal droogtedagen toeneemt van het huidig naar het toekomstig klimaat, maar over het algemeen is de toename niet zeer uitgesproken. Tegelijk is te zien dat in het max scenario het aantal droogtedagen sterk kan dalen, vooral in de stedelijke omgeving. Dit ligt ook in lijn met de resultaten voor het pilotgebied Mechelen. Ook daar was te zien dat het aantal droogtedagen zeer sterk reduceerde door het nemen van maatregelen in het stedelijk gebied. Dit is logisch te verklaren. In stedelijk gebied ligt het aantal droogtedagen erg hoog ten gevolge van de verharding. Vandaag infiltreert er relatief weinig in stedelijk gebied door de historische verharding. Wanneer er maatregelen genomen worden, kan hierdoor het infiltratievolume snel stijgen. Daardoor neemt het aantal dagen sterk af. Bij zeer doorgedreven scenario's waarbij quasi alle verharding afwatert naar infiltratievoorzieningen kan er zelfs netto meer infiltreren op jaarbasis dan in landelijk gebied, doordat de verdamping vanuit de bodem in stedelijk gebied beperkt is (door de verharding die de bodem afschermt). Daardoor ligt het aantal droogtedagen in stedelijk gebied in het max scenario lager dan in het landelijk gebied in de simulatieresultaten. Merk op dat het zeker niet de bedoeling is om verharding te stimuleren. De nadelen van veel verharding, o.a. op vlak van hittestress en de bijkomende en versnelde neerslagafvoer zijn groot, en worden ook duidelijk in de andere thema's van de plantool. Het verklaart louter het verschil in resultaten tussen stedelijk en landelijk gebied.

In landelijk gebied is de impact van maatregelen veel beperkter. Dat is ook logisch en te verwachten, aangezien er minder afgevoerd wordt dan in het stedelijk gebied vandaag. De Ausgangssituatie in het huidig klimaat is bijgevolg al beter, met meer infiltrerend volume dan in het stedelijk gebied. Bijkomend infiltratie realiseren kan enkel door extra water dat normaliter versneld zou afstromen vast

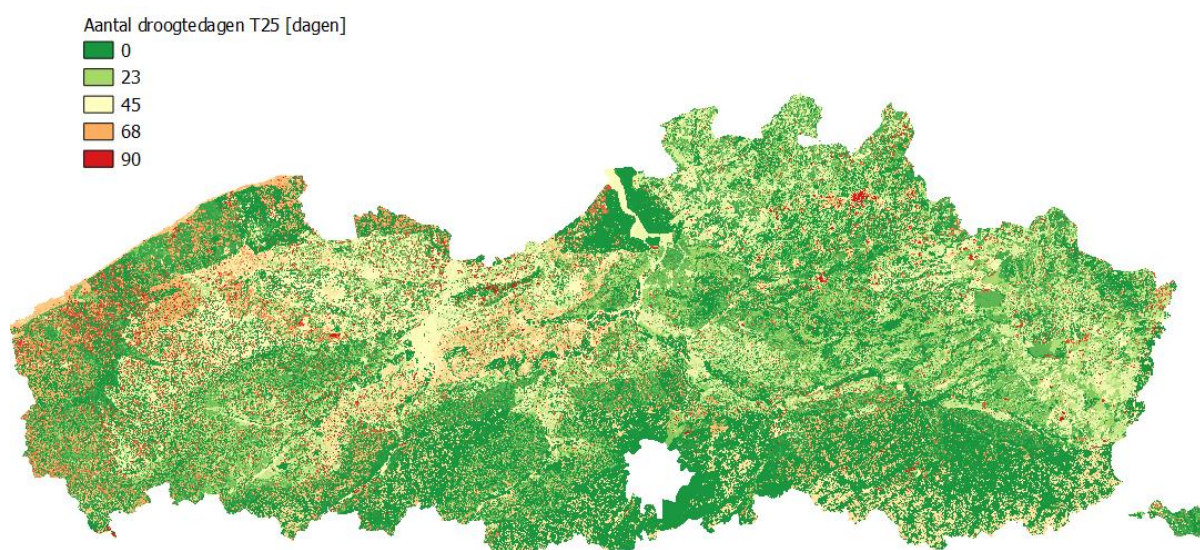
te houden. In sommige gebieden (zoals gebieden met grotere hellingen, weinig infiltrerende bodemcapaciteiten zoals klei, etc.) is er meer potentieel om bijkomend water te laten infiltreren. In vlakke zandgronden infiltreert vandaag echter al het merendeel van het water, waardoor bijkomend infiltratie realiseren moeilijk is. In het toekomstig klimaat nemen de totale buivolumes af (en valt de neerslag nog meer in hevige kortdurende buien, met een hogere afstroming tot gevolg), waardoor bijkomend infiltratievolume creëren moeilijk wordt. Het verminderen van drainage in het buitengebied door stuwtjes te plaatsen en dergelijke kan echter ook het aantal droogtedagen beperken. In gebieden met veel grachten schuilt daar vaak groot potentieel in. In de resultaten op niveau Vlaanderen zien we echter maar een beperkte verbetering op vlak van droogtedagen t.g.v. de genomen maatregelen. Dit heeft dus enerzijds te maken met de moeilijkheid om bijkomende infiltratie of verminderde drainage te realiseren, en anderzijds met de hoeveelheid ingerekende maatregelen in het buitengebied. Afhankelijk van de locatie wordt in het max scenario nog steeds maar 1 tot 5% van het gebied aangepakt. Dit verhogen zal ook het aantal droogtedagen wellicht beperken.



Figuur 42: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogteperiode in het huidig klimaat (zonder maatregelen)

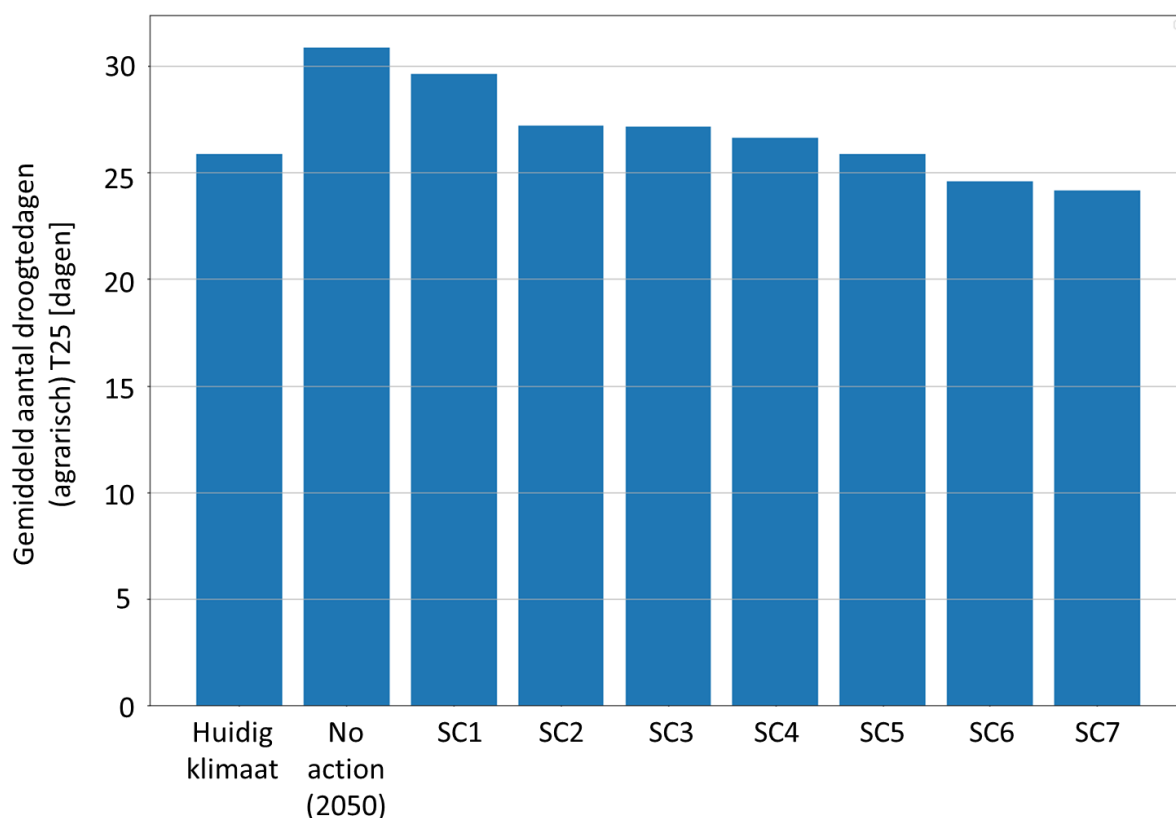


Figuur 43: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogteperiode in het toekomstig klimaat 2050 (zonder maatregelen)



Figuur 44: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogtejaar in het toekomstig klimaat 2050 in het maximale scenario (s7)

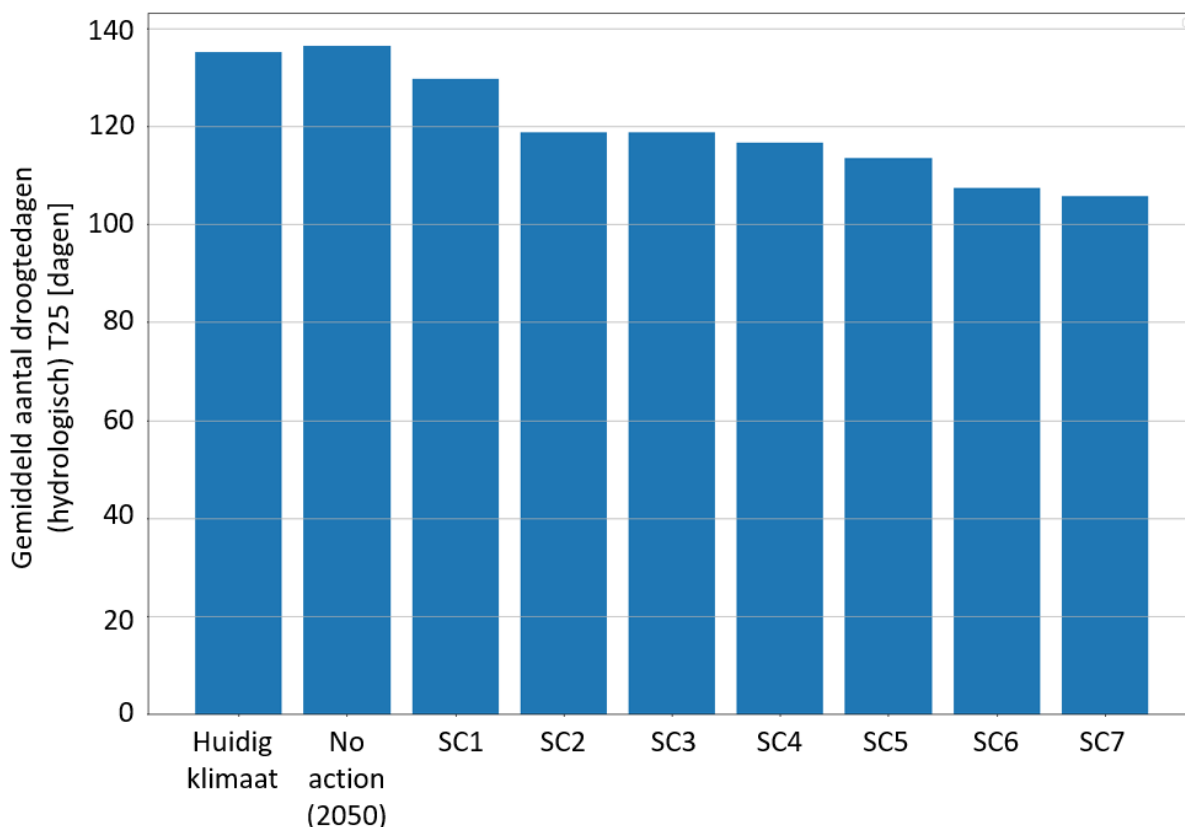
Figuur 45 toont tot slot de samenvatting van het aantal droogtedagen voor elk scenario. De scenario's werden hierbij gesimuleerd onder het toekomstig klimaat. Uit de resultaten blijkt dat de meer doorgedreven scenario's wel in staat zijn om droogte op te vangen op niveau Vlaanderen (dus gemiddeld in Vlaanderen, maar wel met grote lokale verschillen). In de max scenario's is er zelfs een lichte verbetering waarneembaar ten opzichte van het huidig klimaat. Deze verbetering wordt voor een zeer groot deel veroorzaakt door de bijkomende infiltratie in het stedelijk gebied.



Figuur 45: Aantal droogtedagen m.b.t. bodemvocht (agrarische droogte) voor een T25 droogtejaar in het huidig en toekomstig klimaat voor de verschillende onderzochte scenario's

Gelijkaardige analyses werden uitgevoerd voor het aantal droogtedagen op de waterlopen ("hydrologische droogte"). De kaarten op niveau Vlaanderen zijn moeilijk duidelijk weer te geven in een rapport wegens de fijne lijnen. In plaats daarvan verwijzen we naar de kaarten zoals opgenomen in het online Klimaatportaal Vlaanderen.

Figuur 46 toont evenwel de samenvatting van het aantal droogtedagen voor een jaar dat gemiddeld slechts eens in de 25 jaar voorkomt (T25) voor elk scenario. In tegenstelling tot het bodemvocht is de impact van maatregelen hier duidelijker. We zien dat de bijkomende infiltratie (en verminderde drainage) ten gevolge van maatregelen het basisdebiet verhogen, waardoor het aantal droogtedagen afneemt. Desalniettemin blijft het aantal droogtedagen ook in het max scenario hoog. Dit is ergens ook te verwachten, aangezien de analyse een extreem droog jaar beschouwt (T25). In dergelijke extreme jaargangen zijn wekenlange periodes zonder significante neerslag mogelijk (zoals in 2018, 2020 en 2022). De neerslag die dan valt verdampt veelal, of wordt zeer snel afgevoerd door waterlopen zonder een structureel herstel van de waterbalans in de bodem te creëren. Het is dan ook begrijpelijk dat het debiet in de waterlopen wekenlang onder hun drempelwaarden kunnen vallen.

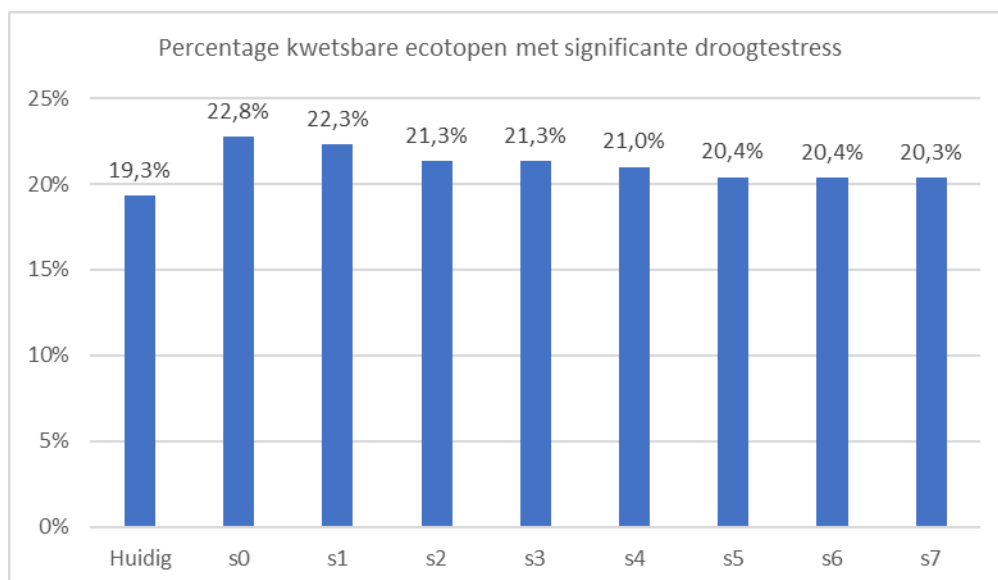


Figuur 46: Aantal droogtedagen m.b.t. waterlopen (laagwaterdebieten) voor een T25 droogtejaar in het huidige en toekomstig klimaat voor de verschillende onderzochte scenario's

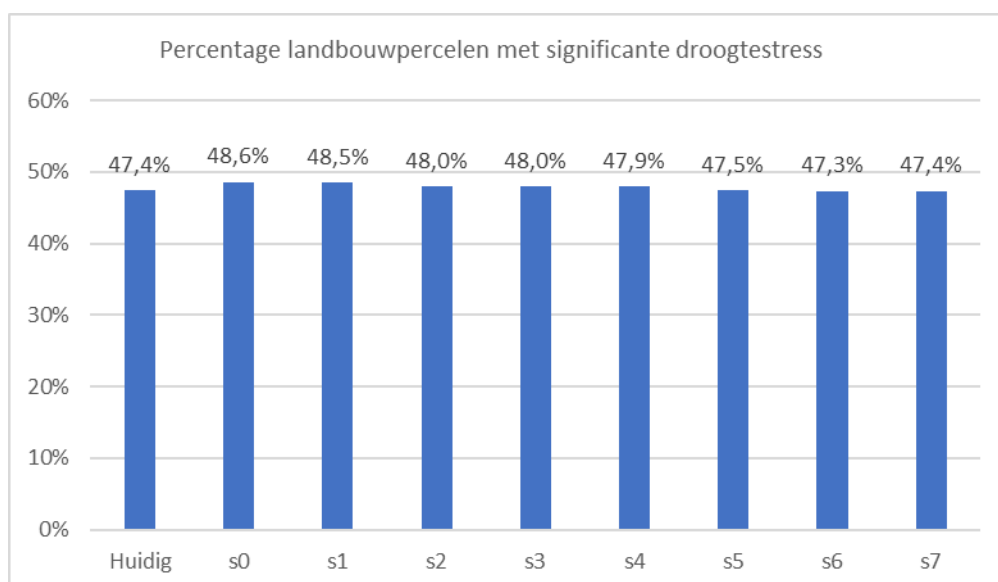
12.3.2. KWETSBAARHEDEN

De kwetsbaarheden, zowel voor ecotopen als voor landbouwpercelen veranderen relatief weinig overheen de verschillende scenario's. We stellen een beperkte stijging vast tussen de huidige situatie en s0, en deze stijging kan niet of maar net opgevangen worden door de maatregelen. Dit is in lijn met de uitleg gegeven in bovenstaande paragraaf voor het landelijk gebied. De minder voor de hand liggende evoluties die we vaststelden bij Mechelen worden voor Vlaanderen niet bevestigd.

Mogelijke verklaringen van dit beperkte effect kunnen gaan in twee richtingen. Enerzijds kan gesteld worden dat de berekeningswijze van kwetsbaarheden mogelijk relatief streng is opgesteld (vanaf dat een locatie op een perceel of binnen een ecotoop de drempelwaarde voor droogte-intensiteit overschrijdt, is het gehele perceel kwetsbaar, conform de aanpak die reeds was uitgewerkt voor het klimaatportaal in 2021). Anderzijds zijn maatregelen mogelijk niet gericht genoeg opgesteld om de droogteproblematiek in een landelijke omgeving aan te pakken.



Figuur 47: Percentage kwetsbare ecotopen met significante droogtestress in een T25 in Vlaanderen voor verschillende scenario's



Figuur 48: Percentage landbouwpercelen met significante droogtestress in een T25 in Vlaanderen voor verschillende scenario's

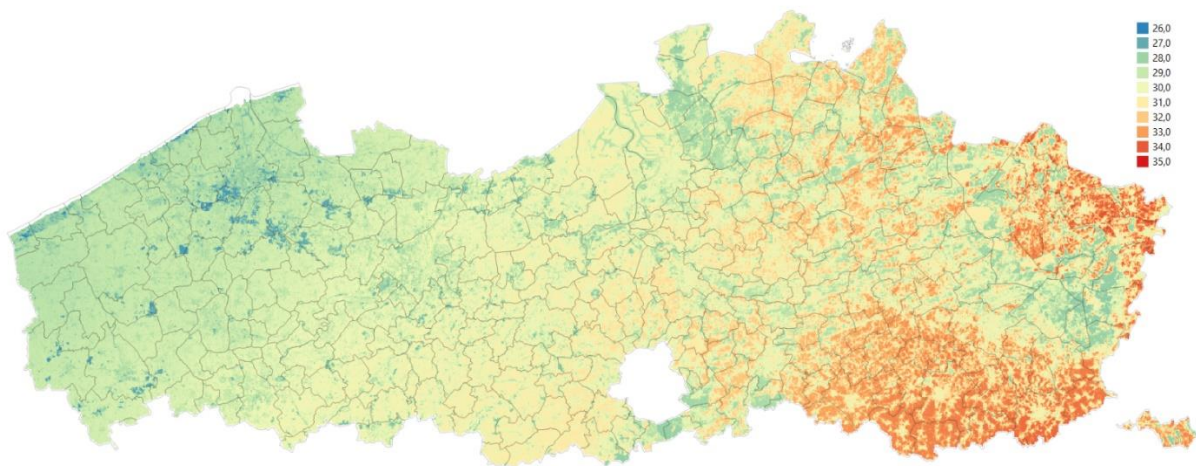
12.4. HITTE

12.4.1. KLIMAATEFFECTEN

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 5 van dit rapport wordt er voor hittestress gekeken naar zowel de dagmaximum als de dagminimum WBGT kaart voor een T20 hitte-event, en naar een samenvattende hitte-score indicator (1-5). Onderstaande figuur toont de dagmaximum WBGT kaart voor het huidige klimaat. De waarden variëren tussen 26 en 35°C (hetgeen extreem hoge waarden zijn aangezien de WBGT typisch een aantal °C lager is dan de luchttemperatuur) en er is een duidelijke oost-west gradiënt zichtbaar met lagere gevoelstemperaturen aan de kust en de hoogste gevoelstemperaturen

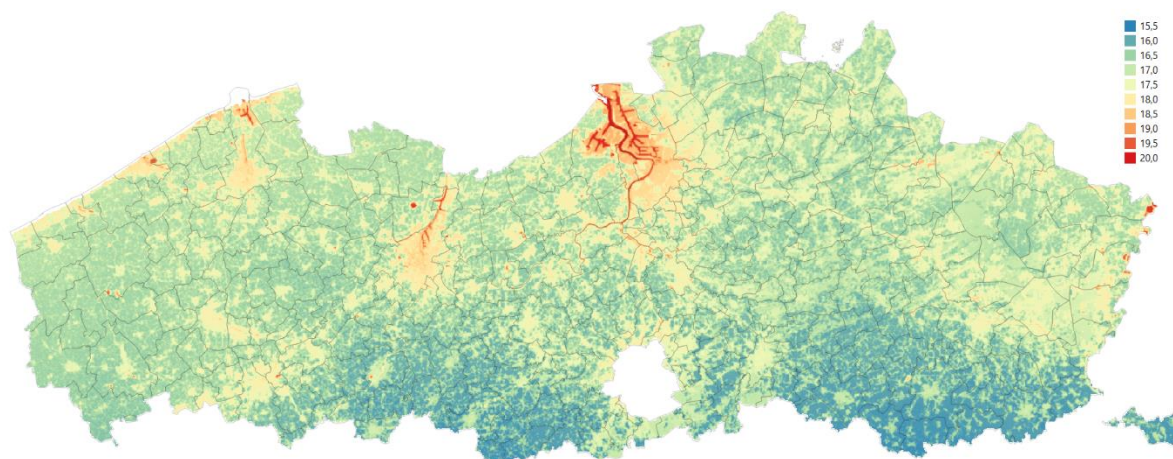
in de Limburgse Kempen en Zuid-Limburg. Dit is een typisch patroon dat veel voorkomt in Vlaanderen bij zuidwesten of westenwind, zoals het geval was bij dit T20-event. Dit is weliswaar niet altijd het geval bij extreem hete dagen: wanneer de wind uit het zuiden of het oosten komt kan het in West-Vlaanderen even heet zijn als in Limburg.

Tijdens de warmste momenten van de dag is de hittestress het hoogst boven open, onbeschaduwde gebieden, die zowel verhard als onverhard kunnen zijn. Het stedelijke hitte-eiland speelt dan minder een rol, in steden kan het op zo'n momenten zelfs wat koeler zijn omdat er meer schaduw aanwezig is. De koelste locaties op de kaart zijn duidelijk de Vlaamse bosgebieden, waar de bomen voor schaduwvorming en evaporatie zorgen, en de WBGT waarden ettelijke °C lager liggen dan in de gebieden er rond.



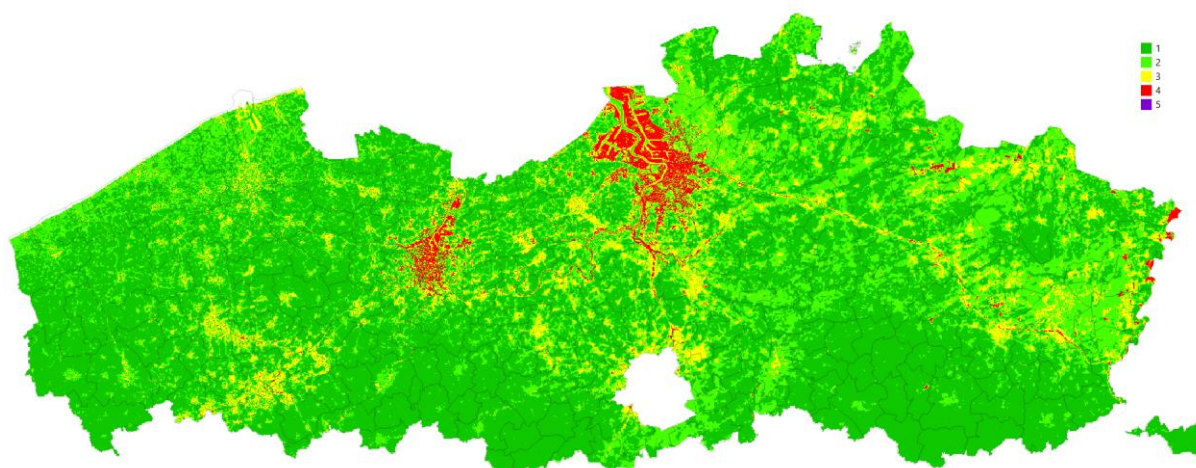
Figuur 49: Dagmaximum WBGT [°C] voor een T20 hitte event in het huidige klimaat

Onderstaande figuur toont de dagminimum WBGT kaart voor het huidige klimaat. Er is minder ruimtelijke differentiatie aanwezig op deze kaart dan bij bovenstaande maximum WBGT kaart, en dat komt omdat schaduwvorming geen rol speelt tijdens de nacht. Dan domineren de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid het WBGT-patroon, en deze hebben een kleinere ruimtelijke variatie. De waarden variëren tussen 15,5 en 20°C, hetgeen erg hoge waarden zijn voor nachtelijke minima, aangezien de WBGT ettelijke °C lager ligt dan de gewone luchttemperaturen. De hoogste waarden worden bereikt boven en vlak langs grote wateroppervlakken, die hun warmte lang behouden tijdens de nacht, en ook nog voor een hogere lucht vochtigheid zorgen. Daarnaast komt het stedelijke warmte-eiland ook duidelijk naar voren uit de kaart, in de grote steden liggen de minima een paar °C hoger dan in de landelijke gebieden buiten de stad. Open, niet-verharde landelijke gebieden koelen het sterkst af tijdens de nacht door een ongehinderde radiatieve afkoeling. Vooral de heuvelgebieden aan de zuidkant van Vlaanderen vallen op door hun lage minima tijdens dit T20-event. Het moet wel gezegd dat er zo goed als geen wind was tijdens de nacht van dit T20-event, moest dit wel zo zijn geweest dan zou het ruimtelijk patroon wat minder uitgesproken zijn.



Figuur 50: Dagminimum WBGT [$^{\circ}\text{C}$] voor een T20 hitte event in het huidige klimaat

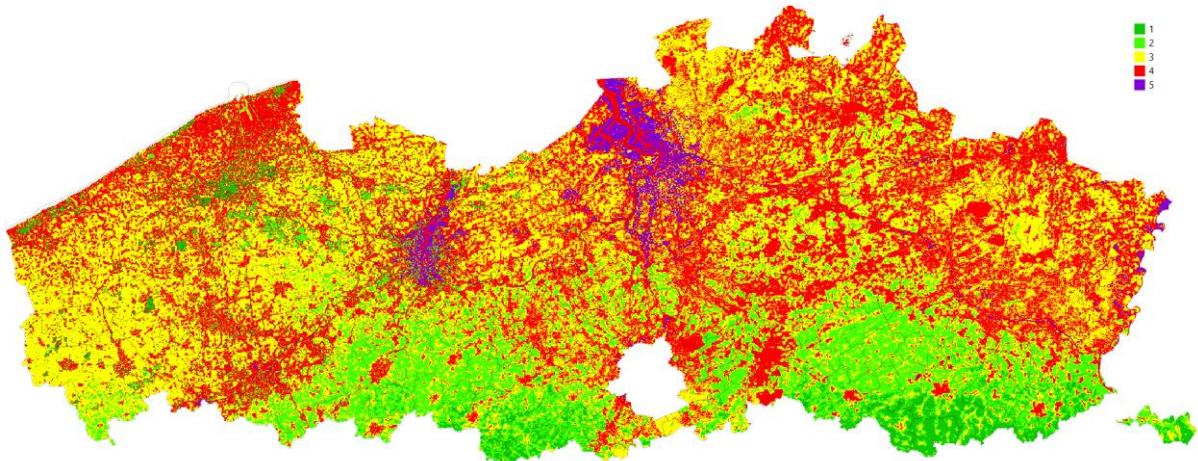
Bovenstaande kaarten zijn vervolgens vertaald naar een eenvoudige en onderbouwde hittestress score-kaart (zie Hoofdstuk 5), die in onderstaande figuur wordt weergegeven. Op basis van de geselecteerde drempelwaarden is de hittestress situatie voor het huidige klimaat enkel voor de grote steden Antwerpen en Gent een probleem, naast enkele kleinere gebieden in Limburg. Bijna alle gebieden in Vlaanderen scoren lager dan 4, de drempel voor sterke hittestress. Zeker in de landelijke gebieden ligt de score laag, met dank aan de koele nachten waarin mensen kunnen recupereren. In de meeste stedelijke kernen gaat de score naar 3, nog steeds onder de drempel voor sterke hittestress. Naast Antwerpen en Gent zijn de gebieden met de slechtste score gelegen aan de oevers van grote wateroppervlakken op plaatsen waar geen bomen staan, omdat de WBGT daar 's nachts het hoogst blijft en er overdag geen beschutting is tegen de zon. Dit zijn wel locaties waar weinig mensen wonen en die dus ook niet direct een probleem vormen.



Figuur 51: Hittestress score voor een T20 hitte event in het huidige klimaat

Als gevolg van de klimaatverandering (2050 hoog scenario) verandert dit beeld wel drastisch. De achtergrond lucht temperaturen stijgen tegen dan met ongeveer 2.2°C voor dit T20-event, en ook de luchtvochtigheid stijgt lichtjes. Dit vertaalt zich in een algemene stijging van de WBGT waarden met ongeveer 1.1°C . Dat lijkt weinig, maar voor de WBGT indicator is dat een aanzienlijke stijging. Aangezien het ruimtelijke patroon van de dagmaximum en de dagminimum kaarten nauwelijks afwijkt van bovenstaande kaarten zijn deze niet opnieuw opgenomen. Onderstaande figuur toont de hittestress score-kaart voor het klimaat in 2050, zonder dat er maatregelen zijn geïmplementeerd (S0).

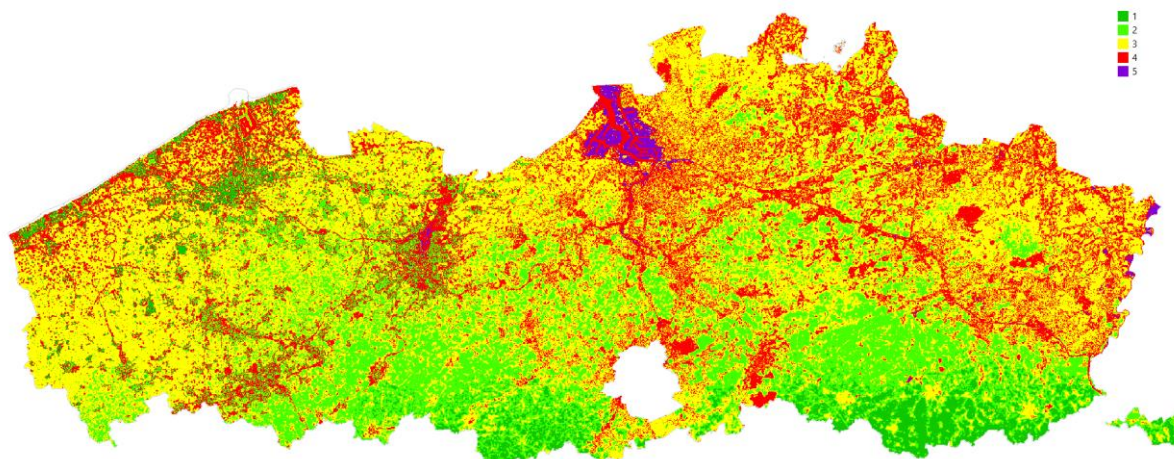
Het aantal gebieden dat onder de score van 4 blijft is drastisch geslonken, enkel de echte rurale gebieden en bosgebieden blijven over. Zo goed als alle bebouwde gebieden in Vlaanderen hebben dan een score van 4 of 5. Hitte wordt naar de toekomst toe dus zeker een veel groter probleem dan nu al het geval is, en er is een duidelijke nood aan actie om onze bebouwde kernen leefbaar te houden.



Figuur 52: Hittestress score voor een T20 hitte event in het 2050 hoog klimaat scenario zonder maatregelen (S0)

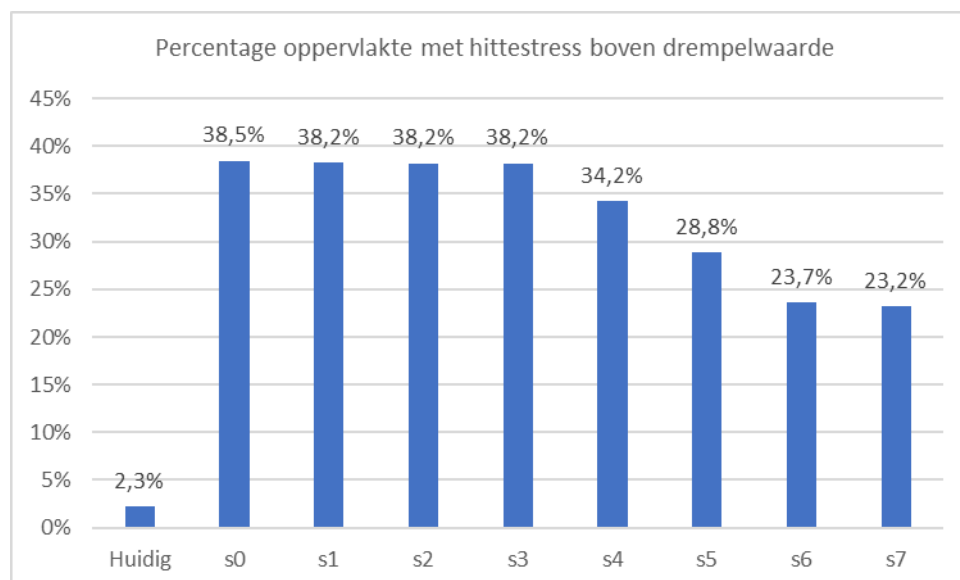
In dit project zijn een aantal scenario's gedefinieerd om de impact van grootschalige potentiële adaptatiemaatregelen in te schatten. Voor hittestress gaat het daarbij vooral om het planten van bomen (natuurlijk hittescherm) en het ontharden (waar ook groendaken onder vallen). De eerste maatregel heeft vooral effect op de maximum WBGT overdag, die sterk verlaagd wordt (tot 3°C) door boomschaduw en evaporatie. Dit effect is wel erg lokaal. Ontharden heeft vooral een impact op de minimum WBGT (en het stedelijke warmte-eiland) 's nachts. Dit effect is iets minder sterk (tot 1°C) maar heeft wel een ruimere impact op de gebieden errond.

Onderstaande figuur toont de hittestress score-kaart voor het scenario waarin de maatregelen ruimtelijk maximaal worden toegepast (S7). Het is duidelijk dat dit scenario de hittestress situatie gevoelig verbetert: de gebieden met een score van 2 en 3 breiden ruimtelijk sterk uit, en de gebieden met een score van 5 verdwijnen bijna volledig. Toch zijn er nog grote gebieden waar de score 5 blijft, dit zijn locaties waar er geen maatregelen zijn genomen, o.a. omdat voor deze gebieden weinig adaptatiepotentieel naar voor komt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij grote industrieterreinen waar geen bevolking woont en er volgens de gehanteerde indicator voor kwetsbaarheid geen kwetsbare bevolking aanwezig is.



Figuur 53: Hittestress score voor een T20 hitte event in 2050 voor het maximum scenario (S7)

Wat hittestress betreft is de conclusie dus dat de situatie naar 2050 toe sterk zal verslechteren. Het is mogelijk om met grootschalige maatregelen een significante impact te hebben, maar die impact is wel vrij lokaal en kan er dus niet voor zorgen dat de toestand overal aanvaardbaar wordt. Er zullen dus overal verspreid maatregelen nodig zijn. Dit wordt nog eens samengevat in onderstaande figuur, waarbij kan vastgesteld worden dat het percentage van de oppervlakte boven de drempelwaarde voor belangrijke hittestress stijgt van 2 naar 39% in 2050. Dit percentage kan gereduceerd worden tot 23% in het maximum scenario, maar dit vergt een grote hoeveelheid bijkomende maatregelen.

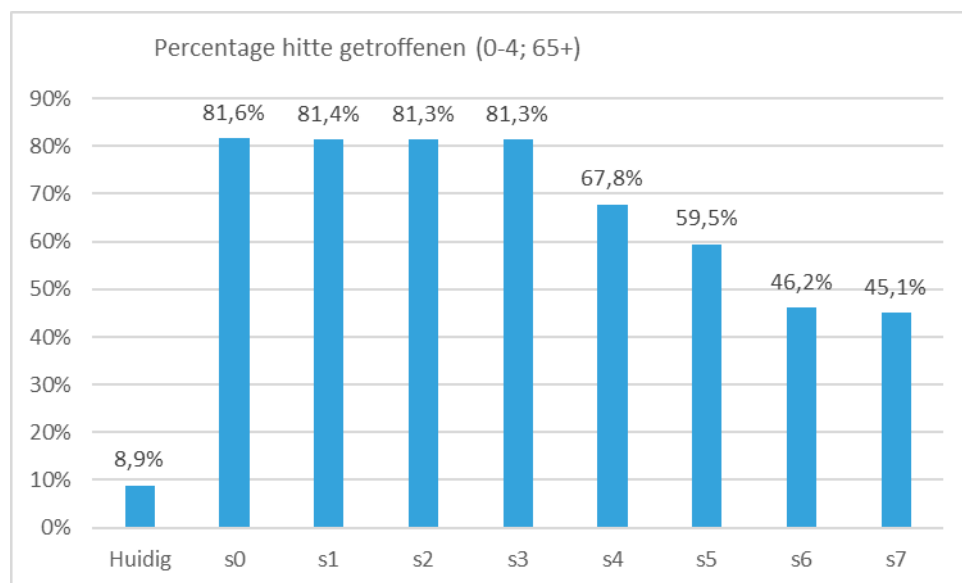


Figuur 54: Percentage oppervlakte met hittestress boven drempelwaarde in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's

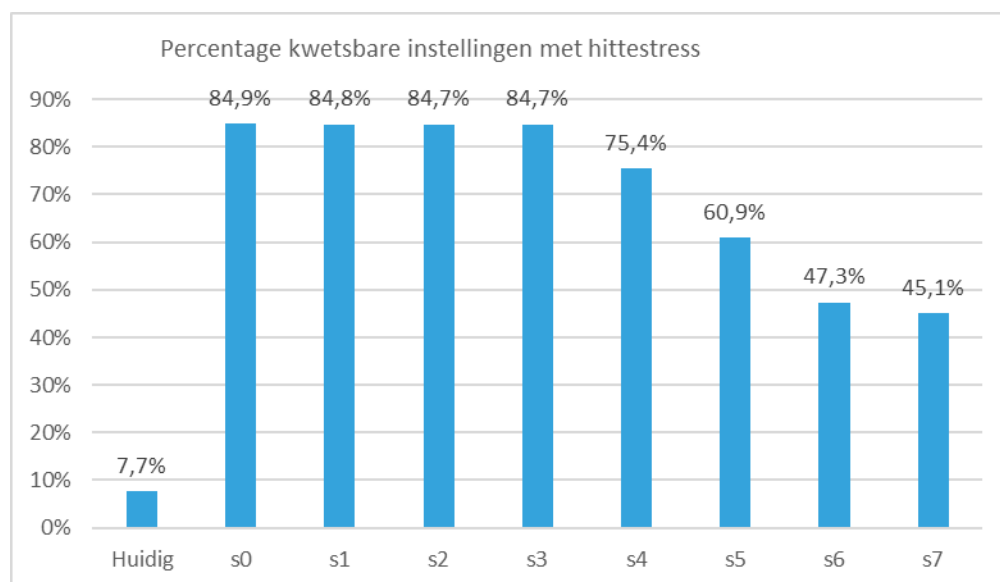
12.4.2. KWETSBAARHEDEN

De percentages kwetsbare inwoners en instellingen getroffen door hittestress volgen een gelijkaardig patroon. In de huidige situatie is dit nog laag, rond 8%, maar in 2050 stijgt dit sterk tot boven de 80%. De verschillende scenario's slagen er niet in om deze kwetsbaarheden terug tot het niveau van 2019 te reduceren. Wel daalt het percentage in veel belangrijkere mate in Vlaanderen, in vergelijking met

Mechelen in het vorige hoofdstuk. Het vergt wel vergaande scenario's om dit sterk te doen reduceren. De trend (S2) maakt weinig verschil.



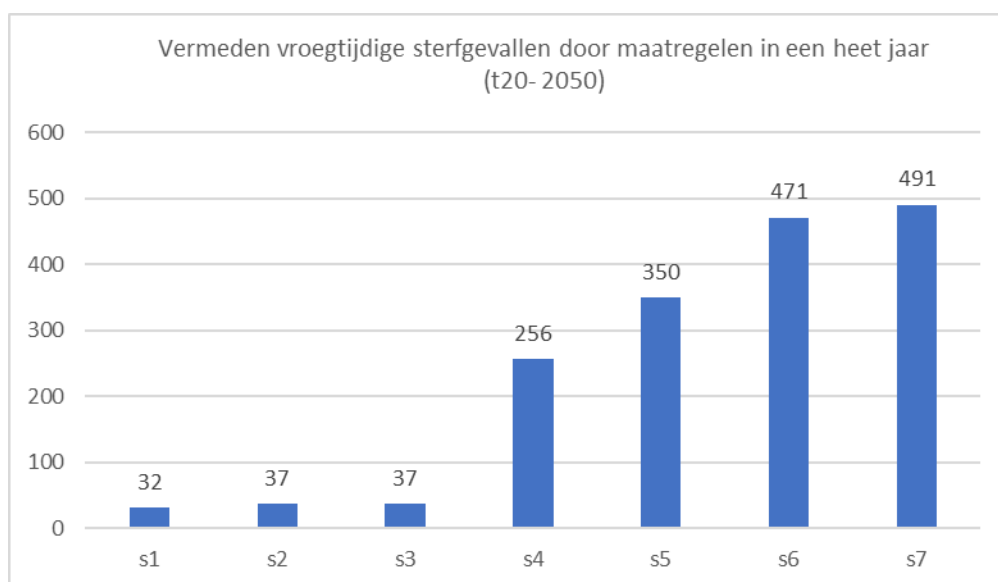
Figuur 55: Percentage kwetsbare inwoners getroffen door hittestress in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's



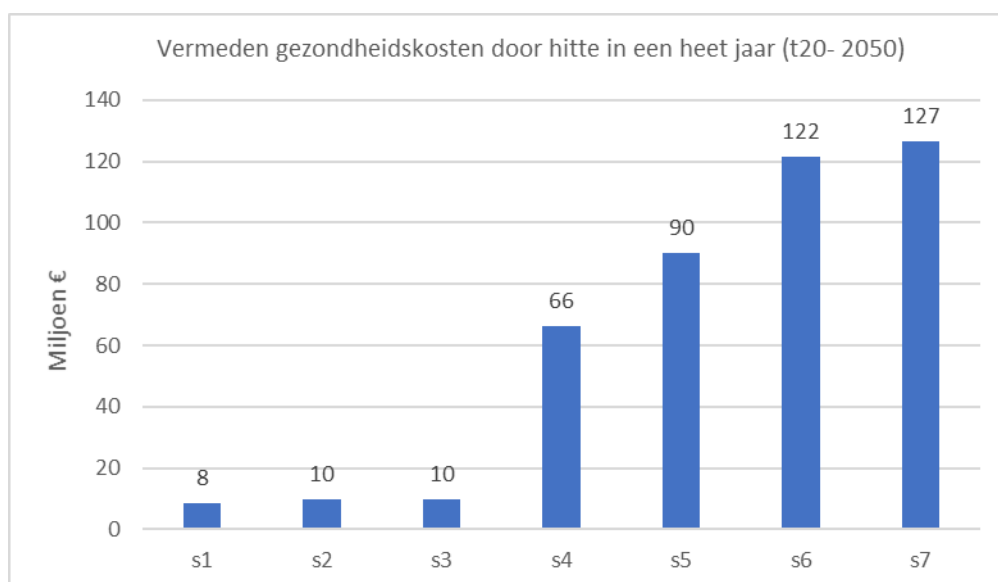
Figuur 56: Percentage kwetsbare instellingen getroffen door hittestress in een T20 in Vlaanderen voor verschillende scenario's

12.4.3. VERMEDEN SCHADE AAN GEZONDHEID

De onderstaande figuren geven eenzelfde evolutie weer als bij kwetsbaarheden. D.w.z. dat de vermeden schade aan gezondheid, uitgedrukt in vermeden vroegtijdige sterfgevallen sterk oploopt naarmate het scenario extremer wordt. Tot bijna 500 vroegtijdige sterftes kunnen vermeden worden in een extreem heet jaar.



Figuur 57: Vermeden vroegtijdige sterftes in een extreem heet jaar (T20) in Vlaanderen voor verschillende scenario's



Figuur 58: Vermeden gezondheidskosten door reductie van vroegtijdige sterftes in een extreem heet jaar (T20) in Vlaanderen voor verschillende scenario's

12.5. KOSTEN

De bijkomende investeringen van de verschillende maatregelen lopen op tot 24 miljard € voor het s7 scenario. Het gaat hier over meerkosten. We gaan er vanuit dat voor bovengrondse berging en infiltratie geen bijkomende investeringen nodig zijn, maar wel additionele onderhoudskosten.

Vandaar dat de jaarlijkse uitgaven wel een bijkomende uitgave zijn. Voor ondergrondse infiltratie en buffering rekenen we enkel de meerkost (10%) t.o.v. standaard renovaties van rioleringsystemen. Voor de andere maatregelen rekenen we wel de volledige kosten van aanleg door. Omwille van de grote oppervlaktes en hoge eenheidskosten voor groendaken stellen we vast dat ontharden, berging in onbebouwd gebied, groendaken en boomschaduw relatief grote kostenposten zijn. Ook het feit dat

we ervan uit gaan dat sowieso renovaties en investeringen gebeuren (vb. rioleringswerken) is een vrij belangrijke assumptie die ertoe leidt dat meerkosten relatief beperkt blijven voor blauwe maatregelen in bebouwd gebied.

Tabel 19: Bijkomende investeringen maatregelen in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen (miljoen €)

Maatregel	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	0	0	0	0	0	0	0
Ontharden	674	411	479	3.974	7.131	3.476	3.578
Ondergrondse infiltratie en buffering in bebouwd gebied	31	20	39	115	95	119	135
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied	24	332	332	291	732	1.371	4.007
Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	2	34	34	32	91	50	0
Groendaken	902	902	902	5.157	8.368	10.530	10.530
Boomschaduw	152	152	152	1.696	3.906	5.794	5.794
Totaal	1.784	1.851	1.938	11.266	20.323	21.341	24.044

Tabel 20: Bijkomende jaarlijkse uitgaven maatregelen in de verschillende scenario's voor heel Vlaanderen (miljoen €)

Maatregel	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
Bovengrondse berging en infiltratie in bebouwd gebied	9	21	29	33	40	62	64
Ontharden	25	15	18	148	266	129	133
Ondergrondse infiltratie en buffering in bebouwd gebied	1	1	2	4	4	5	5
Berging en infiltratie in onbebouwd gebied	2	21	21	19	47	88	258
Verminderen drainage en aanleg stuwen in onbebouwd gebied	0	1	1	1	3	2	0
Groendaken	53	53	53	301	488	614	614
Boomschaduw	15	15	15	170	391	579	579
Totaal	104	127	139	676	1.238	1.480	1.654

12.6. CO-BENEFITS

De co-benefit scores, uitgemiddeld over heel Vlaanderen variëren weinig. We stellen een beperkte toename vast voor luchtkwaliteit, C-opslag, culturele diensten en biodiversiteit omwille van de vergroeningsmaatregelen. Voedselproductie gaat beperkt achteruit omwille van het opzetten van infiltratiepoelen op landbouwpercelen en het verlies aan productie oppervlakte. We houden hierbij wel geen rekening met het feit dat deze maatregel bijdraagt aan het in stand houden van de voedselproductie in drogere periodes.

HOOFDSTUK 13. CONCLUSIES

13.1. ACHTERGROND

In 2018 lanceerde de VMM het Klimaatportaal-Vlaanderen (klimaat.vmm.be), waarbij informatie over de huidige en toekomstige toestand van klimaatverandering in Vlaanderen werd ontsloten voor lokale besturen en kennis- en adviesinstellingen. Deze informatie wordt gebruikt voor het opstellen van klimaatadaptatieplannen en te rapporteren volgens de vereisten van het burgemeestersconvenant (de SECAP). Een logische volgende stap die door lokale besturen als leemte wordt gesignaleerd in het klimaatportaal is dan ook ondersteuning bieden om locatie-specifiek geschikte adaptatie-maatregelen te identificeren en beoordelen.

In deze studie zijn:

- een inventarisatie uitgevoerd over mogelijke maatregelen, hun toepassingsgebied en impact in het reduceren van klimaatrisico's;
- modelsimulaties uitgevoerd voor heel Vlaanderen die toelaten de impact van maatregelen locatie-specifiek te evalueren;
- een evaluatiekader uitgewerkt dat toelaat maatregelen te vergelijken op basis van voorgaande informatie;
- tools ontwikkeld die toelaten om op planniveau (gemeenten, wijken, etc.) en op projectniveau (één of meerdere percelen) maatregelen te evalueren.

De focus van deze modelsimulaties en tools ligt op de klimaatthema's hitte, droogte (bodemvocht) en wateroverlast. Een andere belangrijke focus die gemaakt is, is dat we vertrekken van het landgebruik in 2019 en dat we kijken naar een planhorizon tot 2050.

Het Vlaams Adaptatieplan 2030 geeft aan dat Vlaanderen ernaar streeft om tegen 2050 klimaatbestendig te zijn en giet dit ook in concrete doelen voor wateroverlast, droogte en hitte, die vooral gericht zijn op het niet verder laten toenemen van de bestaande klimaatrisico's. Deze studie tracht beter in kaart te brengen welke inspanningen nodig zijn om deze doelstellingen te bereiken en waar deze moeten gebeuren. We brengen hierbij de bestaande klimaatimpacts in kaart en hoe deze evolueren bij een hoog-impact klimaatscenario in 2050.

Door informatie aan te bieden op verschillende schaalniveaus (gemeentes, statistische sectoren, waterlichamen in impact- en plantool; projecttool) wordt maximaal ingezet op het in rekening brengen van lokale omstandigheden die een invloed hebben op de toepasbaarheid van maatregelen en de effecten die je ermee kan bereiken.

13.2. IMPACTTOOL

De vorige versie van het klimaatportaal, gelanceerd in 2018, brengt de huidige en toekomstige toestand van klimaatverandering in kaart en vat dit samen in indicatoren op gemeenteniveau. De opbouw van dit onderdeel van het klimaatportaal is vernieuwd en bijkomende indicatoren werden toegevoegd.

Concreet kan de gebruiker indicatoren visualiseren en downloaden op schaal van gemeenten, wijken (statistische sectoren) en waterlichamen (lokale en Vlaamse waterlichamen). Ook kunnen waardes op kaart op specifieke locaties gevisualiseerd worden.

Daarnaast werden een aantal indicatoren geactualiseerd en toegevoegd. Voor grondwater werd informatie toegevoegd voor de volgende indicatoren voor de huidige situatie en hoog-impact klimaatscenario's in 2030, 2050, 2075 en 2100:

- Toename van het aantal droogtedagen van freatisch grondwater
- Frequentie van extreem lage grondwaterstanden
- Daling van de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand)
- Daling van de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand)
- Potentiële impact op GWATES (grondwater afhankelijke terrestrische ecosystemen)
- Potentiële impact op gewasopbrengst
- Gemiddelde grondwaterstand
- Kriticiiteit freatische winningen

Voorts werden voor hitte meer gedetailleerde modelsimulaties (1m schaal) uitgevoerd voor gevoelstemperatuur tijdens een extreme hittegolf (T20) in de huidige situatie en bij een 2050 hoog impact klimaatscenario. Ook de afgeleide impacts voor kwetsbare bevolking en kwetsbare instellingen werden op basis van deze informatie opnieuw berekend.

13.3. PLANTOOL

De plantool maakt duidelijk in welke mate scenario's met verschillende ambitieniveaus in staat zijn klimateffecten tussen nu en 2050 op te vangen en kwetsbaarheden te reduceren voor hitte, droogte en wateroverlast.

Op basis van een inventarisatie van mogelijke maatregelen werden voor een set van relevante maatregelen in bebouwde en onbebouwde omgeving adaptatiepotentieelkaarten samengesteld, die rekening houden met de potentiële impact (omvang van het klimateffect (hazard/gevaar) en de aanwezigheid van kwetsbare risico-receptoren in de nabije omgeving), toepasbaarheid (kan het op die locatie omwille van technische of juridische beperkingen) en randvoorwaarden m.b.t. de effectiviteit (hoe goed zal de maatregel daar werken). De adaptatiepotentieelkaarten waren het vertrekpunt om scenario's met verschillende ambitieniveaus op te stellen die zijn doorgerekend met klimateffectmodellen en waarvoor vervolgens de impacts zijn bepaald op kwetsbare receptoren. Ook werden kosten en co-benefits geraamd.

Op Vlaams niveau kunnen we besluiten voor wateroverlast dat de klimaatimpacts (gebouwen en kwetsbare instellingen met waterlast bij een T20 regenbui) toenemen tussen nu en 2050 bij een hoog impact klimaatscenario van ongeveer 2,9% naar 4,2%. Deze toename is op te vangen door in te zetten op lokale buffering- en infiltratiemaatregelen, ook met minder ambitieuze scenario's. Het bestaande trend-scenario reduceert dit percentage tot 2% in 2050, hetgeen volstaat om deze toename van impacts op te vangen. Meer ambitieuze scenario's zijn in staat deze impact verder te reduceren tot 1%, maar niet volledig weg te nemen.

Voor droogte stellen we vast dat het klimateffect (gemiddeld aantal droogtedagen) toeneemt van het huidige naar het toekomstig klimaat, maar over het algemeen is de toename niet zeer uitgesproken. Het percentage kwetsbare ecotopen neemt toe van 19,3% naar 22,8% en kwetsbare landbouwpercelen van 47,4% naar 48,6%. De toename van het gemiddeld aantal droogtedagen kan

opgevangen worden door de scenario's, ook de minder ambitieuze scenario's. Dit gebeurt vooral door maatregelen in de bebouwde omgeving waarbij het doen afnemen van verharding en inzetten op buffering en infiltratie de infiltratiepercentages in deze gebieden sterk toenemen en de droogtedagen verminderen. Vandaag infiltreert er relatief weinig in stedelijk gebied door de historische verharding. Wanneer er maatregelen genomen worden, kan hierdoor het infiltratievolume snel stijgen. Dit resulteert wel niet in een reductie van het aantal droogtedagen in onbebouwd gebied. Hier is de impact van maatregelen veel beperkter. De uitgangssituatie in het huidige klimaat is beter, met meer infiltrerend volume dan in het bebouwd gebied. Bijkomend infiltratie realiseren kan enkel door extra water dat normaliter versneld zou afstromen vast te houden. In het toekomstig klimaat neemt de totale seizoensneerslag in lente en zomer af, stijgt de verdamping en valt de neerslag nog meer in hevige kortdurende buien, met een hogere afstroming tot gevolg; waardoor bijkomend infiltratievolume creëren moeilijk wordt. Het verminderen van drainage in het buitengebied door stuwtjes te plaatsen en dergelijke kan het aantal droogtedagen beperken. In de resultaten op niveau Vlaanderen zien we echter maar een beperkte verbetering op vlak van droogtedagen t.g.v. de genomen maatregelen. Dit heeft enerzijds te maken met de moeilijkheid om bijkomende infiltratie of verminderde drainage te realiseren, en anderzijds met de hoeveelheid ingerekende stuw-maatregelen in het buitengebied. Gezien de receptoren (ecotopen, landbouwpercelen) zich in onbebouwd gebied bevinden zien we ook voor de klimaatimpacts een beperkt effect van de maatregelen. De toename van impacts tussen nu en 2050 is beperkt, maar toch zijn we niet in staat om deze toename met de scenario's op te vangen.

Voor hitte stellen we vast dat de hittestress bij een T20 hitte event en een hoog impact klimaatscenario in 2050 sterk toeneemt. De gevoelstemperatuur of WBGT stijgt algemeen ongeveer met 1,1°C. Dat lijkt weinig, maar voor de WBGT-indicator is dat een aanzienlijke stijging. Op basis van de gehanteerde drempelwaarden voor hittestress, waarbij zowel de minimum WBGT als maximum WBGT-grenswaarden van resp. 18° en 29,5° overschreden worden, neemt sterk toe van 2,3% in de huidige situatie naar 38,5% in 2050 bij een hoog-impact klimaatscenario. De toename situeert zich vooral in het bebouwd gebied. Gezien ook de meeste kwetsbare receptoren (inwoners tussen 0 en 4 jaar en ouder dan 65 jaar, kwetsbare instellingen) zich in deze gebieden bevinden nemen kwetsbaarheden sterk toe van onder 10% in de huidige situatie naar boven 80% in 2050. De gesimuleerde scenario's met maatregelen neem vrij vergaande maatregelen om deze temperatuur verder te verlagen. Voor hittestress gaat het daarbij vooral om het planten van bomen (natuurlijk hittescherm) en het ontharden (waar ook groendaken onder vallen). De eerste maatregel heeft vooral effect op de maximum WBGT overdag, die sterk verlaagd wordt (tot 3°C) door boomschaduw en evaporatie. Dit effect is wel erg lokaal. Ontharden heeft vooral een impact op de minimum WBGT (en het stedelijke warmte-eiland) 's nachts. Dit effect is iets minder sterk (tot 1°C) maar heeft wel een ruimere impact op de gebieden errond. Enkel in de ambitieuze scenario's die zijn doorgerekend neemt het aantal gebieden dat niet onder hittestress staat sterk af. In het maximale scenario daalt dit gebied van 38,5% naar 23,5% en halveert ongeveer het aantal kwetsbare inwoners getroffen door hittestress. We zijn echter niet in staat met de gesimuleerde scenario's om de toename van de klimaatimpact volledig op te vangen. Het aantal vroegtijdige overlijdens door hitte kan sterk afnemen maar niet tot op het huidige niveau. Hiervoor zijn andere, bijkomende maatregelen nodig zoals sensibiliseringscampagnes en isolatie of koeling in gebouwen.

De gekwantificeerde baten die in deze studie aan bod komen zijn beperkt tot vermelden materiële schade door wateroverlast en de gezondheidsbaten door het vermijden van vroegtijdige sterfte door hitte. De vermeden materiële schade bij een T20 regenbui in 2050 varieert tussen 400 (trend scenario) en 700 (maximaal scenario) miljoen € in heel Vlaanderen. De gezondheidsbaten door het vermijden van vroegtijdige sterfte door hitte bij een extreme hittegolf in 2050 varieert tussen 10 (trend-scenario) en 127 miljoen € in heel Vlaanderen. Deze baten zijn een zeer beperkte schatting omdat we enerzijds enkel de baten becijferen bij een extreem event (T20) in 2050. We houden m.a.w. geen rekening met

dezelfde baten die gerealiseerd worden door de maatregelen bij meer en minder frequente events. Daarnaast houden we bijvoorbeeld geen rekening met niet-materiële schade door wateroverlast (vb. sterftes) en de impact van hitte op ziektes (beperkt tot mortaliteit, morbiditeit wordt niet beschouwd). In een studie voor het departement Omgeving (De Nocker et al., 2022) wordt geschat dat de impacts in 2050 door klimaatverandering en dus ook mogelijke baten zich situeren tussen 2,5 tot 7,5 miljard € per jaar in 2050, in de orde van 1,6 % +/- 0,8 % van het BNP. Ook bij deze raming is de vertaling naar monetaire indicatoren nog onvolledig. De belangrijkste gekende kosten situeren zich op vlak van gezondheid en arbeidsproductiviteit. Dit wordt gedreven door oversterfte en morbiditeit door hitte. Hitte heeft ook invloed op de arbeidsproductiviteit. Daarnaast spelen ook gevolgen van overstromingen, droogte en hitte op infrastructuur een belangrijke rol, verlies aan productiviteit in landbouw en de impact op ecosysteemdiensten en biodiversiteit. De gevolgen van hitte op morbiditeit en arbeidsproductiviteit zijn volgens deze raming de belangrijkste mogelijke baten die niet aan bod komen in deze studie. Belangrijke kanttekening is dat deze baten groot kunnen zijn, maar dat de resultaten aantonen dat we maar deels in staat zijn om deze baten te realiseren door vergroening. Droogte, baten door fluviale overstromingen en materiële schade door hitte zijn andere belangrijke ontbrekende batencategorieën. De studie geeft ook aan dat klimaatadaptatie een zeer locatie-specifieke problematiek is. Dit heeft voor gevolg dat de kosten en baten van maatregelen moeilijk op een generiek niveau te beoordelen zijn. Een case-per-case evaluatie is noodzakelijk om goed voeling te krijgen met de efficiëntie van maatregelen en keuzes te maken in de selectie van acties. Vandaar ook de noodzaak naar gebiedsgerichte informatie over klimaatadaptatie die de plantool aanlevert.

13.4. PROJECTTOOL

De projecttool is er specifiek op gericht om op projectniveau te evalueren hoe klimaatbestendig de aanleg of heraanleg van een project is tegen 2050. Deze tool is parallel ontwikkeld aan de plantool en bouwt voort op modelresultaten en kengetallen die zijn gehanteerd voor de projecttool. De focus van de projecttool ligt op het evalueren van de impact van klimaatadaptatie-maatregelen op vlak van hitte, droogte en wateroverlast. We beschouwen kwalitatief ook een aantal co-benefits.

Specifiek berekent de tool het volgende:

1. De projecttool voert in eerste instantie een omgevingsanalyse uit waarmee de effecten en impacts van klimaatverandering binnen het projectgebied samenvattend getoond worden.
2. De tool geeft in tweede instantie een suggestie van mogelijke type-maatregelen die een gebruiker interactief zelf kan toevoegen en lokaliseren (o.b.v. punt, lijn of polygonen).
3. De tool berekent een adaptatiescore, totale investeringskosten en co-benefits van de ingetekende maatregelen.

Meer details over de projecttool en de resultaten van een aantal voorbeeldprojecten zijn terug te vinden in een bijkomend rapport (Broekx et al., 2023). De resultaten van deze voorbeeldprojecten tonen aan dat door gerichte maatregelen te nemen de toename van klimaateffecten tussen nu en 2050 kan opgevangen worden, maar dat vergaande maatregelen nodig zijn.

HOOFDSTUK 14. AANBEVELINGEN

Dit rapport beschrijft de achterliggende methodes die aan de basis ligt van de nieuwe plantool van Klimaatportaal Vlaanderen. We beschouwen de aanpak en de resultaten als een eerste stap naar de verdere uitbouw van deze tool. Binnen deze methodes zijn heel wat pragmatische keuzes gemaakt, die in vervolgotrajecten verder onderzocht en verbeterd kunnen worden. Bovendien is de scope beperkt tot een beperkte set van maatregelen waarvoor effecten (kunnen) worden bepaald. We sluiten dit rapport af met een reeks aanbevelingen voor verder onderzoek.

1) Bekijk de relevantie van de doorgerekende scenario's met de eindgebruikers

De doorgerekende scenario's zijn gebaseerd op adaptatiepotentieelkaarten en zijn opgesteld om een duidelijke gradatie in ambitieniveaus weer te geven. Dit maakt het voor de eindgebruiker niet altijd voor de hand liggend om zich in een praktische context te kunnen identificeren met deze scenario's. Beter aansluiten vanuit het standpunt van probleemsituaties of actoren (vb. type gebouwen, type verhardingen, type straten, etc.) en vertrekken van een beperkte set van streefdoelen maakt het mogelijk tastbaarder. Overweeg hierbij ook om niet met uniforme scenario's over thema's heen te werken. Dit maakt het mogelijk om gericht scenario's op te stellen kwetsbaarheden te reduceren.

2) Breng de effecten van meer maatregelen in kaart. Tracht hierbij op een kosteneffectieve manier scenario's op te stellen.

De doorgerekende scenario's zijn samengesteld uit een beperkte set van (type)maatregelen en zijn beperkt ook tot brongerichte maatregelen. Receptorgerichte maatregelen (floodproof bouwen, isolatie van gebouwen, verwijderen slecht gelegen woningen, etc.) zijn in specifieke situaties mogelijk meer efficiënt als ingreep. Bovendien zijn het soort ingrepen in landelijk gebied zeer beperkt beschouwd en weinig gericht. De informatie ontbreekt ook om gericht adaptatiepotentieelkaarten op te zetten (vb. grachten, bestaande drainages) voor dit soort maatregelen. Tracht betere informatie hieromtrent te verzamelen en gebruiken. Valleigerichte maatregelen (herstel van valleien, grotere buffering) komen ook niet aan bod in deze studie en zijn mogelijk een meer efficiënte ingreep voor scenario's.

3) Bekijk de relevantie van de doorgerekende indicatoren met de eindgebruikers. Stel waar nodig methodes bij.

Nieuwe methodes zijn ontwikkeld voor de bepaling van kwetsbaarheden door hitte. Deze methodes zijn gebaseerd op pragmatische keuzes inzake drempelwaarden voor gevoelstemperaturen en pragmatische keuzes voor het berekenen van gevoelstemperaturen in de omgeving van receptoren. Stel deze kritisch in vraag, overleg hierover met experts en stel deze waar nodig bij. Daarnaast is een aanbeveling om naast bewoning ook tewerkstelling mee te nemen als relevante receptor, zodat ook in industrieterreinen de mogelijke knelpunten worden geïdentificeerd en maatregelen worden voorzien. De impact van werkomstandigheden in de buitenlucht (is in principe in heel Vlaanderen relevant) is ook een relevant aspect om te beschouwen.

Voor droogte stellen we vast dat kwetsbaarheden relatief weinig veranderen door de genomen maatregelen. Dit heeft mogelijk te maken met de wijze waarop kwetsbaarheden worden bepaald. Een kritische evaluatie en sensitiviteitsanalyse van alternatieve berekeningswijzen, in overleg met experts is aangewezen en laat toe om meer reliëf te zien in de resultaten.

- 4) Overweeg om meer en vooral ook minder extreme terugkeerperiodes te simuleren.

De berekende indicatoren beschouwen per thema slechts 1 terugkeerperiode. Dit maakt het niet mogelijk om het vermeden risico (kans x schade over een reeks terugkeerperiodes) voldoende volledig te schatten. We verwachten dat de bestaande scenario's met name ook in kleinere terugkeerperiodes (T1, T5) effect hebben en dat deze effecten doorwegen in de berekening van het vermeden risico, zeker voor de thema's hitte en droogte.

- 5) Breng de vermeden gezondheidskosten door hitte beter in kaart.

De bestaande schatting van de vermeden gezondheidskosten door hitte is beperkt tot mortaliteit bij 65-plussers. We nemen dus maar een beperkt deel van de totale gezondheidsschade in rekening. We houden bijvoorbeeld geen rekening met andere leeftijdscategorieën, morbiditeit (ziekte) en verlies van arbeidsproductiviteit. Morbiditeit is een mogelijk nog belangrijker effect en dus grotere vermeden schade die gerealiseerd wordt door het verkoelend effect van maatregelen. Hiervoor ontbreken momenteel nog de nodige relaties en kennis om dit toe te passen in deze studie, maar we verwachten dat op relatief korte termijn een aantal van deze kennislacunes worden opgelost. Stem hiervoor af met lopende initiatieven bij het Agentschap Zorg & Gezondheid.

- 6) Breng de vermeden kosten door droogte (beter) in kaart.

Er werden in deze studie geen inschattingen gemaakt van vermeden kosten t.g.v. droogte door het nemen van maatregelen. Omtrent dergelijke kosten is in Vlaanderen nog weinig informatie beschikbaar. In reactieve context werden inschattingen opgemaakt binnen Vlaanderen (buiten deze studie), maar deze zijn niet altijd transponeerbaar naar proactieve context. Bovendien zijn ook daar de kosten onvolledig ingeschat. Keteneffecten op voedselvoorziening en industrie zijn bijvoorbeeld nog niet beschouwd (maar er zal binnenkort een studie opgestart worden door de Vlaamse Overheid om deze in kaart te brengen). Stem hiervoor af met de verschillende betrokken overheidsdiensten.

- 7) Beschouw meer klimaateffecten en andere indicatoren

De bestaande analyse beschouwt drie klimaateffecten. Het valt te overwegen om bijvoorbeeld ook te kijken naar grondwaterstanden, effecten op overstortwerking en resulterende waterkwaliteit, etc.

Voor droogte is het ook aan te bevelen om infiltratiepercentage mee te nemen als indicator. Deze indicator is voor gebruik bij lokale besturen iets tastbaarder dan droogtedagen en vat ook beter de problematiek in bebouwd gebied.

- 8) Tracht de aanwezigheid van bestaande maatregelen beter in kaart te brengen en mee te nemen in de effectberekening.

We gaan er in de berekeningen vanuit dat er nog geen maatregelen geïmplementeerd zijn, hoewel er al systematisch meer wordt ingezet op het infiltreren en vasthouden van water. Tracht werk te maken van een betere opvolging van realisaties van adaptatie-maatregelen zowel op publiek als privaat domein en tracht dit op een manier te doen die toelaten de effecten ervan mee in rekening te brengen in de adaptatietools.

- 9) Overweeg om ruimtelijke ontwikkelingsscenario's mee in rekening te brengen.

We gaan in de berekening ervan uit dat er geen bijkomende ruimtelijke ontwikkelingen plaatsvinden tussen nu en 2050 om vooral het effect van klimaatverandering duidelijk in beeld te krijgen (impacttool) en specifiek remediërend effecten van maatregelen (plantool) te begroten. Dit is uiteraard een sterke vereenvoudiging en leidt tot een onderschatting van de inspanningen die nodig zijn om de toename van de klimaateffecten en kwetsbaarheden op te vangen.

- 10) Verbeteren van de methode op bedrijventerreinen (amper maatregelen aldaar, bv. geen groendaken, boomschaduw, ...).

De huidige methodes vertrekken vooral van kwetsbaarheden van de woonomgeving (overstroomde gebouwen, kwetsbare inwoners bij hittestress) en bekijken minder de kwetsbaarheden voor infrastructuur en tewerkstelling. Dit is een belangrijk hiaat dat ook doorwerkt in de verdere bepaling van locaties met hoge scores op de adaptatiepotentieelkaarten, de locatie van maatregelen in de scenario's en het effect van deze maatregelen. Tracht ook te werken aan indicatoren die voor bedrijventerreinen relevant zijn en neem dit mee in de hele rekenketen.

- 11) Ontwikkel en verfijn scenario's voor overstromingen en droogte in het buitengebied

De huidige maatregelscenario's zijn gebaseerd op bronmaatregelen en daardoor ook het meest effectief in meer verstedelijkte gebieden. Er zijn ook wel brongerichte maatregelen in het buitengebied zoals infiltratiepoelen en grachten. Hierbovenop zullen echter ook bijkomende maatregelen dienen te worden genomen m.b.t. berging in valleien om wateroverlast op te lossen in bepaalde stedelijke gebieden langsheen waterlopen. In bepaalde stedelijke kernen zal deze wateroverlast niet volledig opgelost geraken t.g.v. bronmaatregelen, omdat ook de natuurlijke afwatering door de klimaatverandering zal toenemen en bepaalde stedelijke kernen nu eenmaal in valleien liggen die van nature overstroombaar zijn. Het zoeken naar compenserende valleiberging opwaarts van deze stedelijke kernen kan een oplossing bieden. Daarnaast toonden de analyses een beperkte impact van de onderzochte scenario's op droogte in landelijk gebied. Deze scenario's kunnen verder verfijnd worden met meer maatregelen (hoeveelheid en gericht).

- 12) Verfijn de kwetsbaarheidsberekening van landbouwpercelen t.g.v. droogte

De berekeningen op de pilotgebieden op niveau Vlaanderen toonden weinig impact ten gevolge van maatregelen op de kwetsbaarheid geïmpacteerde landbouwpercelen. Nochtans is in sommige gebieden wel een merkbare daling te zien in het aantal gesimuleerde droogtedagen t.g.v. maatregelen, toch veranderen in die gebieden het aantal geïmpacteerde landbouwpercelen amper. Mogelijks zijn de criteria die gebruikt worden om het aantal droogtedagen te vertalen naar getroffen landbouwpercelen te streng gekozen. Een bijkomende validatie en zo nodig verfijning is aangewezen.

- 13) Werk met ranges voor de kostenraming

In de huidige versie van de plantool worden enkel gemiddelde kosten gerapporteerd, hoewel de onzekerheid groot is. Een minimum en maximum schatting toevoegen in de rapportage is aan te bevelen.

- 14) Verbeter de meerkosten-berekening

In de bestaande versie wordt ervan uit gegaan dat er overal waar maatregelen genomen worden sowieso een renovatie zal plaats vinden de komende 30 jaar. Enkel de expliciete meerkost om die (her)inrichting klimaatadaptief te doen is dan beschouwd. Dit is een optimistische assumptie. Een

standaard levensduur van projecten voor bijvoorbeeld riolering varieert tussen 50 en 75 jaar. Als we dus sneller gaan dan de trend in meer ambitieuze scenario's, is het realistisch te veronderstellen dat infrastructuur vroeger wordt heraangelegd dan oorspronkelijk voorzien. Dit heeft een grote impact op de te beschouwen/betalen meerkosten. Door gebrek aan gegevens over de leeftijd van bestaande infrastructuur, reeds genomen maatregelen, etc. is deze schatting echter zeer moeilijk te maken.

Bespreek de evolutie van scenario's met stakeholders en verbeter op deze basis de kostenschatting.

15) Verbeter de co-benefits schatting

De schatting van de co-benefits is relatief belangrijk als we de batenkosten verhouding van adaptatiemaatregelen en dan met name kleinschaligere bronmaatregelen goed willen schatten. In zijn huidige vorm draagt deze berekening weinig bij aan het resultaat. Ook omdat we een gemiddelde score berekenen voor het hele gebied, zijn er weinig grote verschuivingen vast te stellen tussen scenario's.

In absolute hoeveelheden kunnen dit wel heel belangrijke baten zijn. In sommige omstandigheden kunnen deze co-benefits negatief zijn (vb. impact bomen in street canyons op luchtkwaliteit). Deze baten zijn vaak minstens even belangrijk als de baten die gerealiseerd worden op vlak van adaptatie. Het verbeteren van deze schatting is niet zo eenvoudig en onzeker, zeker indien we willen overgaan naar kwantitatieve (biofysische indicatoren) en monetaire schattingen. Leg hiervoor de link naar bestaande initiatieven als de natuurwaardeverkenner, ecoplan of natural capital accounting.

LITERATUURLIJST

Agentschap Binnenlands Bestuur, 2022. Op naar een Lokaal energie- en klimaatpact 2.0 tussen de Vlaamse Regering en de Vlaamse lokale besturen. Beschikbaar op: https://lokaalbestuur.vlaanderen.be/sites/default/files/public/thema/andere/LEKP_2_0.pdf

Antea, 2016. Modellerings van de sedimentaanvoer naar de waterlopen, het effect van erosiebestrijdingsmaatregelen en het transport van sediment in de onbevaarbare waterlopen. Studie in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij.

Bodemkundige Dienst van België, KU Leuven, Universiteit Gent, SADL, 2001. Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument: N-(eco)²-studie. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij.

Broekx Steven, De Roo Lieven, Lefebvre Filip, Lauwaet Dirk, Beckx Carolien, Verachtert Els, Wolfs Vincent, Schoeters Kato, Cauwenberg Peter, Hilgersom Koen, Gabriëls Karen, Vaes Guido, Lemeire Els, Raman Maud, Caeyers Denis, 2023. Uitbreiding van het Klimaatportaal-Vlaanderen met klimaatadaptatietools. Projecttool. Studie uitgevoerd in opdracht van: VMM Afdeling Operationeel Waterbeheer (Bestek nr. WAT L 2020 S 0014 X)

Craninx, M., Hilgersom, K., Dams, J., Vaes, G., Danckaert, T., Bronders, J., 2021. Flood4castRTF: A Real-Time Urban Flood Forecasting Model. Sustainability, 13, 5651.

Departement Omgeving, 2018. Strategische visie: Beleidsplan Ruimte Vlaanderen. Depot nummer D/2018/3241/262, 120 p.

Departement Omgeving, 2019. Het uitwerken van een efficiënt monitoringsysteem met indicatoren om de voortgang te meten van de adaptatiemaatregelen zoals beschreven in het klimaatadaptatieplan 2021-2030. Eindrapport, 26.06.2019. 116 p.

Departement Omgeving, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Vlaamse Milieumaatschappij, 2021. Opbouw grondwaterstandindicator. Beschikbaar op Databank Ondergrond Vlaanderen: <https://www.dov.vlaanderen.be/page/opbouw-grondwaterstandindicator>

De Nocker Leo, Broekx Steven, De Ridder Koen, Vanuytrecht Eline, Liekens Inge, Couderé Koen, 2022. Verkenning kosten en baten van klimaatadaptatie in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van: Beleidsdomein Omgeving Departement Omgeving/Afdeling Energie, Klimaat en Groene economie. 2022/RMA/R/2676

De Ridder K., Maiheu B., Wouters H., van Lipzig N. 2015b. Indicatoren van het stedelijk hitte-eiland in Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2015/05, VITO en KU Leuven.

De Ridder K., Lauwaet D. and Maiheu B. 2015a. UrbClim - a fast urban boundary layer climate model. Urban Climate, 12, 21-48.

Djuric D., Topalic M. J., 2019. Thermal comfort in the city of Bijeljina for the period 2009-2018 defined by WBGT. Archives for Technical Sciences, 21(1), 69-74.

Hendrix R., Liekens I., De Nocker L., Vranckx S., Janssens S., Lauwaet D., Brabers L., Broekx S., 2015. Waardering van ecosysteemdiensten in een stedelijke omgeving: een handleiding.

HydroScan, 2018. Aanmaak van een afstromingsgevoelige kaart voor Vlaanderen. In opdracht van VMM. Maart 2018.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

ISO, 1989: Hot Environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). ISO Standard 7243. Geneva: International Standards Organization.

Lauwaet, D., K. De Ridder, B. Maiheu, H. Hooyberghs, en F. Lefebvre, 2018. *Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect*. Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA, Milieurapport Vlaanderen Onderzoeksrapport MIRA/2018/01, 137 pp.

Lauwaet D., De Nijs T., Liekens I., Hooyberghs H., Verachtert E., Lefebvre W., De Ridder K., Remme R., Broekx S., 2018. A new method for fine-scale assessments of the average urban heat island over large areas and the effectiveness of nature-based solutions. *One Ecosystem* 3: e24880, doi: 10.3897/oneeco.3.e24880.

LNE, 2013. Het Milieukostenmodel, naar een kosteneffectief milieubeleid. Brochure uitgegeven door LNE. Beschikbaar op: <https://publicaties.vlaanderen.be/download-file/13075>

Ntegeka, V., Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., 2014. Developing tailored climate change scenarios for hydrological impact assessments. *Journal of Hydrology*, 508, 307-321

Ntegeka, V., Willems, P., 2015. Tailored precipitation and evapotranspiration scenarios for hydrological climate change impact analysis. *Geophysical Research Abstracts*, 17, Art.No. EGU2015-4246.

Rebel en Mint, 2013. Standaardmethodiek voor MKBA van transportinfrastructuurprojecten. Studie in opdracht van Vlaamse Overheid Departement Mobiliteit en Openbare Werken Afdeling Haven- en Waterbeleid

Stad Antwerpen, 2020. Onderzoek naar droogte en waterschaarste in Antwerpen. Studie uitgevoerd door IMDC i.o.v. Stad Antwerpen.

Stad Brugge, 2020. Klimaatadaptatieplan voor de historische binnenstad met focus op water. Studie uitgevoerd door Sumaqua i.o.v. Stad Brugge. 146 p.

Stad Brugge, 2021. Risico- en kwetsbaarheidsanalyse Stad Brugge onder klimaatsverandering. Studie uitgevoerd door Sumaqua i.o.v. Stad Brugge. 114 p.

Stad Brugge, 2021. Klimaatadaptatieplan Stad Brugge. Studie uitgevoerd door Sumaqua i.o.v. Stad Brugge. 151 p.

Stad Leuven, 2020. Opmaak waterbalansmodel en droogtestudie Leuven. Studie uitgevoerd door Sumaqua i.o.v. Stad Leuven. 168 p.

Smets J., Stevens M., 2019. Gobelin rapport N° 2: Groenblauwe netwerken in Vlaanderen - Methode voor monitoring, uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2019 (46). INBO, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Smets J., Wanner S., De Blust G., Turkelboom F., 2020. Gobelin rapport N° 3: Groenblauwe netwerken in Vlaanderen - Leren uit praktijkvoorbeelden: BIJLAGE 1: Review van 15 GBN cases. Uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2020., INBO Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Smets J., Turkelboom F., De Blust G., Wanner S., Verhaeven M., Boulanger A., De Blust S., Devisch O., Verhoestraete D., 2020. Gobelin rapport N°3: Groenblauwe netwerken in Vlaanderen - Leren uit de praktijk. BIJLAGE 2 - GBN case studie: de Mechelse binnenstad. Uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (5). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Smets J., Turkelboom F., De Blust G., Wanner S., Delbecke L., Heylen P., De Blust S., Devisch O., Verhoestraete D., 2020. Gobelin rapport N°3: Groenblauwe netwerken in Vlaanderen - Leren uit de praktijk. BIJLAGE 3 - GBN case studie: Groenblauwe spoorinfrastructuur in Dilbeek. Uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (5), Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Smets J., Turkelboom F., Wanner S., De Blust G., Davadan M., Bilsen I., De Blust S., Devisch O., Verhoestraete D., 2020. Gobelin rapport N°3: Groenblauwe netwerken in Vlaanderen - Leren uit de praktijk. BIJLAGE 4 - GBN case studie: de Molenbeekvallei nabij Landen. Uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (5). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Turkelboom F., Smets J., Wanner S., De Blust G., De Blust S., Devisch O., Verhoestraete D., Van Acker M., 2019. Gobelin rapport N° 3: Groenblauwe netwerken in Vlaanderen - Leren uit praktijkvoorbeelden. Uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving, Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (5). INBO, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Vandekerckhove B., Van Hulle M., Vanhaeren R., Foré P., Zwerts E., 2021. Onthardingswinst: Afwegingskader en kanskaart, deel 2. Depotnummer D/2021/3241/113. Beschikbaar op: https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/2022-01/20210426_Onthardingswinst_Rapport_Fase2_update20210505.pdf

van der Bolt, F., Cornelis, W., de Pue, J., Hendriks, R., van den Akker, J., Massop, H., Joris, I., Dams, J., Vos, J., 2016. Bodemverdichting in Vlaanderen: Gevolgen van bodemverdichting op het watertransport door een bodem. Studie uitgevoerd door Alterra Wageningen UR, Universiteit Gent en VITO in opdracht van het Vlaams Departement Leefmilieu, Natuur en Energie.

Verheyden W., Turkelboom F., De Blust G., Smets J., 2020. Gobelin rapport N° 1: Groenblauwe Netwerken in Vlaanderen - Van breed concept naar uitvoering op het terrein. Uitgevoerd in opdracht

van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (7) INBO, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Vlaamse Milieumaatschappij, 2016. Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen. Studie uitgevoerd door IMDC en Bodemkundige Dienst van België i.o.v. VMM., 423 pp.

Vlaamse Milieumaatschappij, 2018. Kosten voor riolering - Een blik vooruit. Beschikbaar op: <https://www.vmm.be/publicaties/kosten-voor-riolering-een-blik-vooruit>

Vlaamse Milieumaatschappij, 2019. Opmaak van een kaart met pluviale overstromingsgebieden Vlaanderen.

Vlaamse Milieumaatschappij, 2021. Kwantificering en kartering van droogte in Vlaanderen met hydrologische modeltoepassingen. Eindrapport. Rapportreferentie I/RA/11541/20.074/BPA met bestelnummer L 2017 S 0006 X. Studie uitgevoerd door IMDC, Sumaqua, Alterra en KU Leuven in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij.

Vrebos D., Staes J., Bennetsen E., Broeckx S., De Nocker L., Gabriels K., Goethals P., Hermy M., Liekens I., Marsboom C., 2017. ECOPLAN-SE: ruimtelijke analyse van ecosysteemdiensten in Vlaanderen, een Q-GIS plugin, versie 1.0.

Willems, P., Coninx, I., Lokers, R., 2017. Data-kruisingen gebruikt bij klimaatimpactanalyses Voorstudie uit wetenschappelijke studies en online praktijken. Bijlage 2 bij het rapport 'Klimaatportaal Vlaanderen – Kompas voor een klimaatbestendig en weerbaar Vlaanderen' (september 2018). **BESCHIKBAAR OP:** <https://www.milieurapport.be/publicaties/2018/2018-02-bijlage2-klimaatportaal-vlaanderen-def-met-cover.pdf>

Wolfs, V., Ntegeka, V., Willems, P., 2018a. Impact van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen op rioleringen. Studie uitgevoerd door Sumaqua en KU Leuven i.o.v. VLARIO. 86 p.

Wolfs, V., Ntegeka, V., Willems, P., 2018b. Impact van klimaatverandering op rioleringen. Studie uitgevoerd door Sumaqua i.o.v. VLARIO, 42 p.

Wolfs, V., Willems, P., 2019. Analyse historische droogte en ontwerprichtlijnen bronmaatregelen onder klimaatverandering. Studie uitgevoerd door Sumaqua i.o.v. VMM, 50 p.