

Risico- en kwetsbaarheidsanalyse Waasland



Datum: April 2021

Opdrachtgever: Provincie Oost-Vlaanderen

Opdrachthouder: Sweco Belgium

Opmaak door: Jos Van Winckel, Kevin Vandeputte, Jasmijn Eeckhout

Foto omslag: Oude Durme, Sigmaplan.be

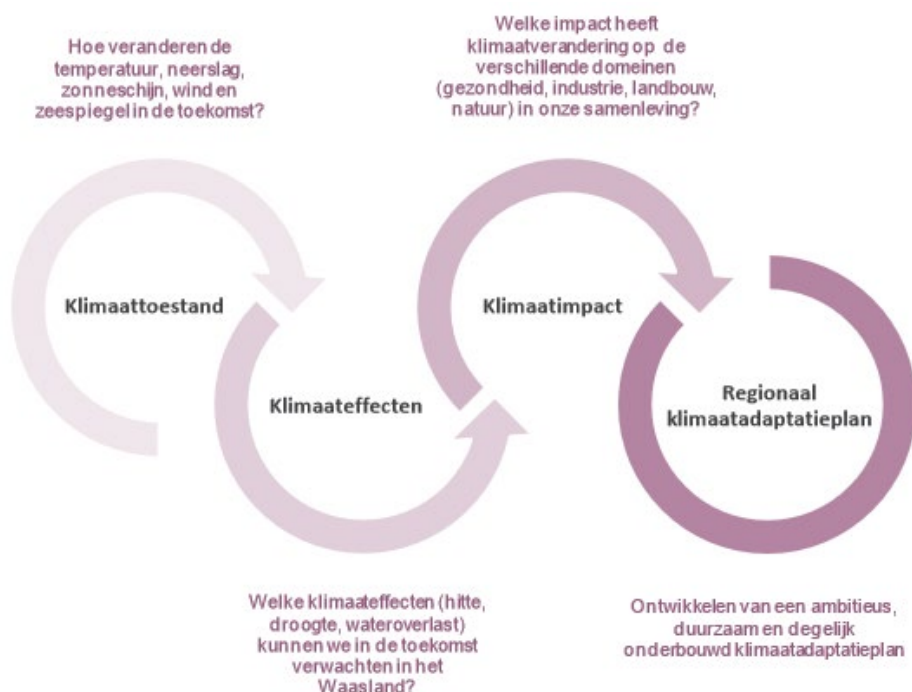
Inhoud

Inhoud	2
Samenvatting	4
Verklarende woordenlijst	6
Introductie	7
Klimaatverandering	7
Klimaatmitigatie versus klimaatadaptatie	8
Opbouw analyse	9
Klimaatverandering in het Waasland	11
Introductie tot klimaatmodellen en klimaatscenario's	11
Klimaattoestand Waasland: klimaatverandering doorheen de 20e en 21e eeuw	14
Temperatuur	14
Neerslag	18
Zonneschijn	21
Wind	22
Zeespiegel	22
Klimaat effecten	26
Systeembeschrijving	26
Landschap en geologie	26
Watersysteem	28
Grondwater	30
Ruimtegebruik	33
Hitte en temperatuurstijging	34
Methodologie	34
Klimaat effect	35
Droogte	40
Inleiding	40
Methodologie	40
Effecten	41
Wateroverlast	50

Pluviale overstromingen	50
Fluviaal.....	56
Klimaatimpact	67
Inleiding	67
Gezondheid en welzijn	69
Schade door overstromingen	69
Blootstellingsrisico hitte	72
Schade aan gebouwen.....	79
Schade door overstromingen	79
Schade door hitte.....	81
Infrastructuur en transport.....	82
Schade door overstromingen	82
Schade door hitte.....	82
Industrie en economie	83
Overstromingen	83
Hitte.....	84
Landbouw	86
Overstromingen	86
Hitte.....	88
Droogte	89
Natuur en milieu	93
Overstromingen	93
Hitte en temperatuurstijging	97
Droogte	100
Bibliografie	103
Kaartenlijst.....	109

Samenvatting

Voorafgaand aan de opmaak van het regionaal klimaatadaptatieplan voor het Waasland wordt een risico- en kwetsbaarheidsanalyse uitgevoerd. In een eerste deel van deze analyse wordt er ingezoomd op de klimaattoestand: de evolutie van het klimaat in het Waasland tot nu toe, op basis van veranderingen in temperatuur, neerslag, wind, zonneschijn en zeespiegel. In een tweede deel worden voor het Waasland de te verwachten trends voor de belangrijkste klimaateffecten besproken. Het gaat daarbij om hitte, droogte en wateroverlast vanuit rivieren of vanuit hevige neerslag. Tot slot werd de impact van deze klimaateffecten op de verschillende domeinen van onze maatschappij nagegaan.



De belangrijkste conclusies voor de **klimaattoestand** in het Waasland zijn dat het steeds warmer wordt, dat hittegolven niet alleen steeds frequenter voorkomen, maar ook langer duren en intenser zullen zijn. Er valt meer (hevige) neerslag, vooral in natter wordende winters. Zomers worden dan weer steeds droger; de frequentie en lengte van extreme droge periodes neemt sterk toe. Verder wordt verwacht dat er 'swinters steeds minder sneeuwval is, dat de zon meer schijnt en dat het waterpeil van de zee en dus ook de Schelde toeneemt, met sterkere schommelingen in het Scheldepeil tot gevolg.

De belangrijkste **klimaateffecten** voor het Waasland zijn hitte, droogte en wateroverlast. Op het vlak van hitte is er een duidelijke toename in hittegolven

en hittegolfdagen. Dit effect is vooral te voelen in stedelijk gebied en wordt het hitte-eilandeffect genoemd. Op het vlak van droogte zijn er steeds meer en langere periodes van droogte doordat er minder neerslag valt in de zomer. Deze droogte zorgt voor lagere grondwaterstanden, verzilting en een beperktere beschikbaarheid van zoet water. Op het vlak van wateroverlast neemt het overstroombaar gebied in het Waasland toe, leidend tot meer overstromingsrisico's bij springtij door de zeespiegelstijging.

De toenemende relevantie van deze klimaateffecten leidt tot **klimaatimpact** op het Waasland

Op het vlak van gezondheid en welzijn hebben overstromingen vooral een impact op kwetsbare instellingen zoals scholen en zorgt hittestress voor gezondheidsproblemen bij het jongste en oudste deel van de bevolking. Schade aan gebouwen is vooral te wijten aan wateroverlast. Op het vlak van infrastructuur en transport spelen vooral overstromingen en hittegolven een belangrijke rol. Binnen de industrie en de economie is de impact van overstromingen en hittestress het grootst. De landbouwsector voelt vooral de impact van overstromingen, droogte en hittestress. De dalende grondwatertafel en de verzilting in poldergebieden zorgt ervoor dat er minder water beschikbaar is en dat de opbrengst lager ligt. Op het vlak van natuur en milieu zorgt de toename van de getijdendynamiek ervoor dat er minder ruimte is voor oevernatuur, de temperatuurstijging zorgt voor de migratie van soorten naar het noorden en de droogte leidt tot een daling in biodiversiteit. In het Waasland leidt de droogte op vandaag reeds tot verzwakking en afsterven van het bosbestand. Dalende (grond)waterbeschikbaarheid doet ook de vegetatierijkdom in moerasnatuur achteruitgaan.

Verklarende woordenlijst

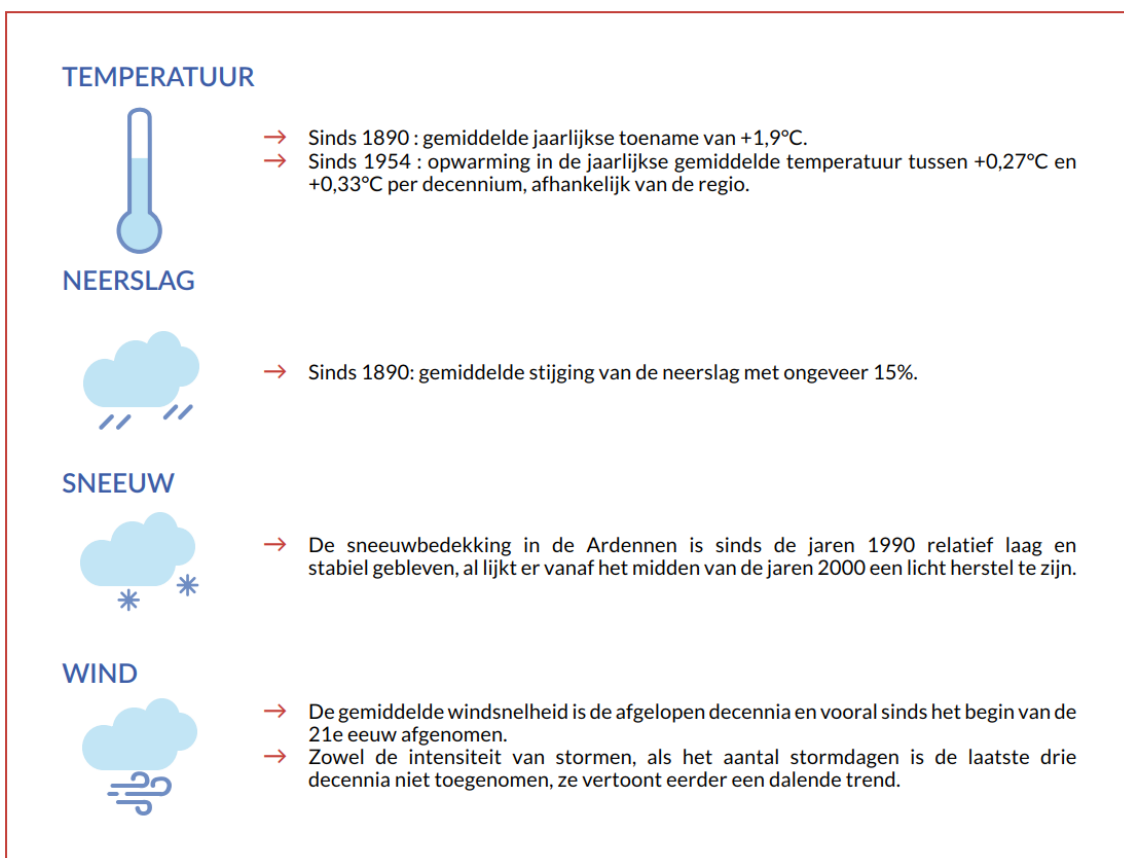
Alluviaal	Het alluvium zijn losse deeltjes of sedimenten afgezet door overstromende rivieren. Alluviale natuur zijn daarop bos- en graslandtypes die langs rivieren voorkomen aangepast aan deze bodemtypes.
Composietbui	Theoretische buien waarin alle buiduren tussen 10 minuten en de maximale buiduur zitten vervat.
Coulissenlandschap Estuarium	Een estuarium is de monding van een grote rivier in zee. In een estuarium speelt getijdenwerking een belangrijke rol, en is er een overgang van zoet rivierwater naar zout zeewater.
Freatisch grondwater	Freatisch grondwater is grondwater waarvan de stijghoogte of waterdruk enkel afhankelijk is van de hoogte van de waterkolom; het waterpeil wordt met andere woorden niet belemmerd door ondoorlaatbare bodemlagen. De freatische grondwaterlaag is dus doorgaans de eerste grondwaterlaag die men aantreft vanaf het maaiveld
GOG GGG	Gecontroleerd overstromingsgebied Gecontroleerd overstromingsgebied met gereduceerd getij; hier overstroomt het gebied onder invloed van de getijdenwerking, deze wordt gereduceerd doordat de in- en uitstroomopeningen van de overlooppdijk op een andere hoogte liggen
m TAW	Tweede Algemene Waterpassing, de referentiehoogte (zeeniiveau bij laag water te Oostende) waartegenover hoogtemetingen in België worden uitgedrukt.
Maaiveld	Maaiveld: (de hoogte van) het plaatselijk grondoppervlak. De hoogte van het maaiveld wordt meestal uitgedrukt in meter ten opzichte van het zeeniveau.
VEN/IVON	Beschermde natuurgebieden van het Vlaams Ecologisch Netwerk/Integraal Verwevings- en Ondersteunend Netwerk

Introductie

Klimaatverandering

Het Vlaams Klimaatportaal van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) definieert klimaatverandering als de verandering van de gemiddelde weersomstandigheden op aarde als rechtstreeks gevolg van de stijgende concentraties aan broeikasgassen in de atmosfeer. Broeikasgassen laten zonnestralen door, maar houden de warmte die de aarde terugkaatst tegen. Dit wordt het broeikaseffect genoemd. De belangrijkste broeikasgassen zijn koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Deze gassen zijn van nature aanwezig in de atmosfeer, maar de laatste decennia worden ze massaal vrijgesteld door menselijke activiteiten, zoals het gebruik van fossiele brandstoffen en ontbossing.

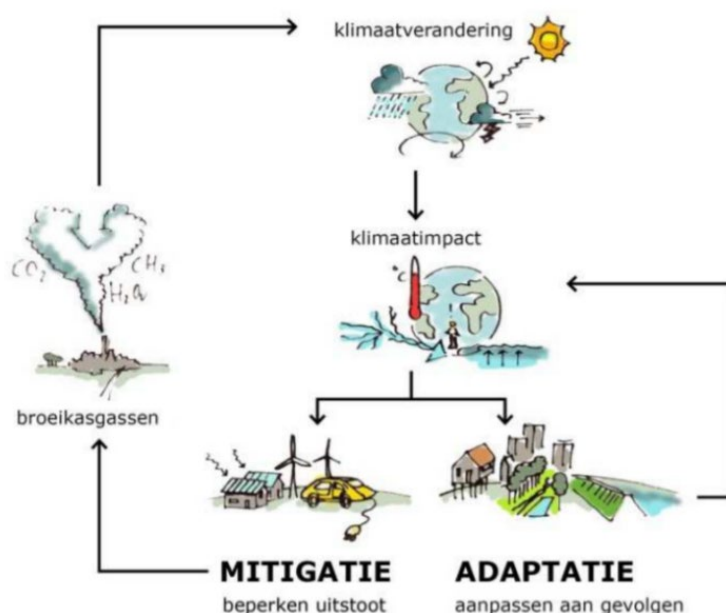
De broeikasgasconcentraties nemen toe sinds het begin van het industriële tijdperk en de laatste decennia is deze toename nog versneld. Dit leidt tot klimaatopwarming, één van de grootste mondiale risico's voor mens en maatschappij. Naast een stijging van de temperatuur zorgt de klimaatverandering ook voor zeespiegelstijging, wijzigende weerspatronen en extremere weersomstandigheden. In Vlaanderen zorgt klimaatverandering voor meer hittegolven, drogere zomers, nattere winters en een stijgend zeeniveau. In het Klimaatrapport van het KMI uit 2020 werden de voornaamste klimatologische trends opgelijst (Figuur 1).



Figuur 1: Klimatologische trends waargenomen in België (KMI, 2020).

Klimaatmitigatie versus klimaatadaptatie

Om de maatschappij weerbaar te maken tegen klimaatverandering bestaan er twee aanpakken: klimaatmitigatie en klimaatadaptatie (Figuur 2). **Klimaatmitigatie** verwijst naar maatregelen die er voor zorgen dat de opwarming van de aarde minder snel gaat en extreme gevolgen van klimaatverandering in de toekomst vermeden of getemperd worden. Dit aspect heeft m.a.w. vooral betrekking op het reduceren van de uitstoot van broeikasgassen en de transitie naar een koolstofarme of koolstofvrije samenleving. **Klimaatadaptatie** daarentegen verwijst naar maatregelen die een antwoord bieden op de effecten van klimaatverandering die op vandaag reeds optreden, of in de nabije toekomst zullen optreden zoals verdroging, wateroverlast, hitte, verlies aan biodiversiteit...



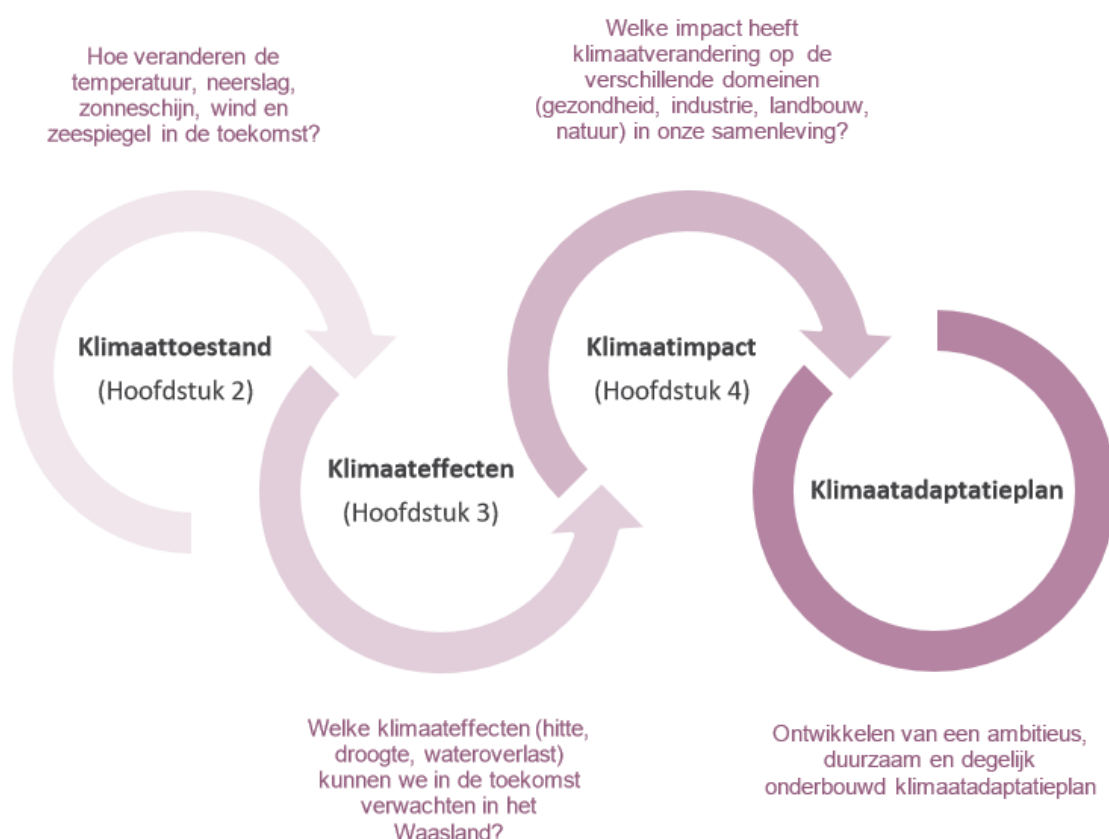
Figuur 2: Begrippen klimaatmitigatie versus klimaatadaptatie.

Op lokaal en regionaal niveau worden klimaatmitigatie en -adaptatie ondersteund door het **Europese Burgemeestersconvenant**. Het Burgemeestersconvenant werd in 2008 gelanceerd door de Europese Commissie met als doelstelling het mobiliseren van lokale en regionale partijen om 20% minder CO_2 uit te stoten tegen 2020 ten opzichte van 2011. Er werd voor het Waasland reeds een klimaatmitigatieplan opgesteld in 2016. Ondertussen is er ook een tweede Burgemeestersconvenant met als doelstelling 40% minder CO_2 uit te stoten tegen 2030 ten opzichte van 2011 en de verplichting om ook een adaptatieplan op te maken. In het Waasland werd "**Waasland Klimaatland**" opgericht, een samenwerking tussen alle tien Wase gemeenten, de gemeente Hamme, de Provincie Oost-Vlaanderen en Interwaas. Alle gemeenten van Waasland Klimaatland engageren zich om de klimaat- en energiedoelstellingen van de Europese Unie te behalen. Hiervoor zal een gezamenlijk klimaat- en energieactieplan opgemaakt worden.

Opbouw analyse

Deze risico- en kwetsbaarheidsanalyse situeert zich binnen het klimaatadaptatieplan voor het Waasland en is onderverdeeld in drie delen: de huidige klimaattoestand, de verwachte klimaateffecten en de voorspelde klimaatimpact (Figuur 3). De **klimaattoestand** omvat bestaande en te

verwachten trends in atmosferische-meteorologische variabelen zoals temperatuur, neerslag, verdamping, relatieve vochtigheid, windsnelheid, zeeniveau en zonneshijn. **De klimaateffecten** zijn de effecten van de wijzigende klimaattoestand op droogte, hitte en wateroverlast, en de kwetsbaarheid van het Waasland voor deze effecten. Tot slot bestaat de **klimaatimpact** uit de socio-economische gevolgen van de veranderende klimaattoestanden en -effecten. Het zijn dus de gevolgen van de klimaateffecten hitte, droogte en wateroverlast op verschillende sectoren binnen de maatschappij en het ecosysteem.



Figuur 3: Schematisch overzicht van de opbouw van de risico- en kwetsbaarheidsanalyse, resulterend in het regionaal klimaatadaptatieplan.

Klimaatverandering in het Waasland

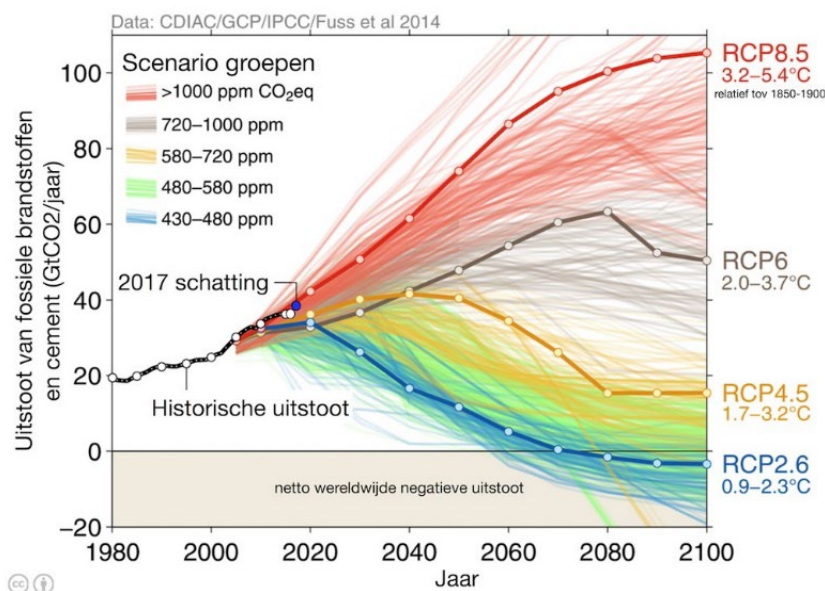
Introductie tot klimaatmodellen en klimaatscenario's

Klimaatmodellen vormen een belangrijke tool om klimaatverandering in kaart te brengen. Ze reproduceren de waargenomen patronen en trends in oppervlaktetemperatuur tijdens verschillende decennia, inclusief de versnelde opwarming sinds het midden van de 20^e eeuw. Op basis van deze klimaatmodellen rapporteert het **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)** elke 5 jaar de stand van zaken omtrent de waargenomen klimaatverandering, de effecten ervan op fysische, biologische en menselijke systemen, de toekomstige risico's en de mogelijke adaptatie- en mitigatiemaatregelen.

Klimaatmodellen bezitten echter steeds een bepaalde onzekerheid, waardoor ze niet 100% betrouwbaar zijn in hun voorspellingen. Enerzijds zijn de toekomstige bevolkingsgroei en de economische, technologische en sociale ontwikkelingen die een impact hebben op de uitstoot van broeikasgassen een onzekere factor. Anderzijds zijn sommige complexe processen in het klimaatsysteem, zoals de invloed van waterdamp, wolken, sneeuw en ijs op de stralingshuishouding en de temperatuur, nog niet (volledig) wetenschappelijk uitgeklaard. Om met deze onzekerheden om te gaan werden verschillende mondiale en regionale klimaatscenario's ontwikkeld, die mogelijke toekomstscenario's voorspellen.

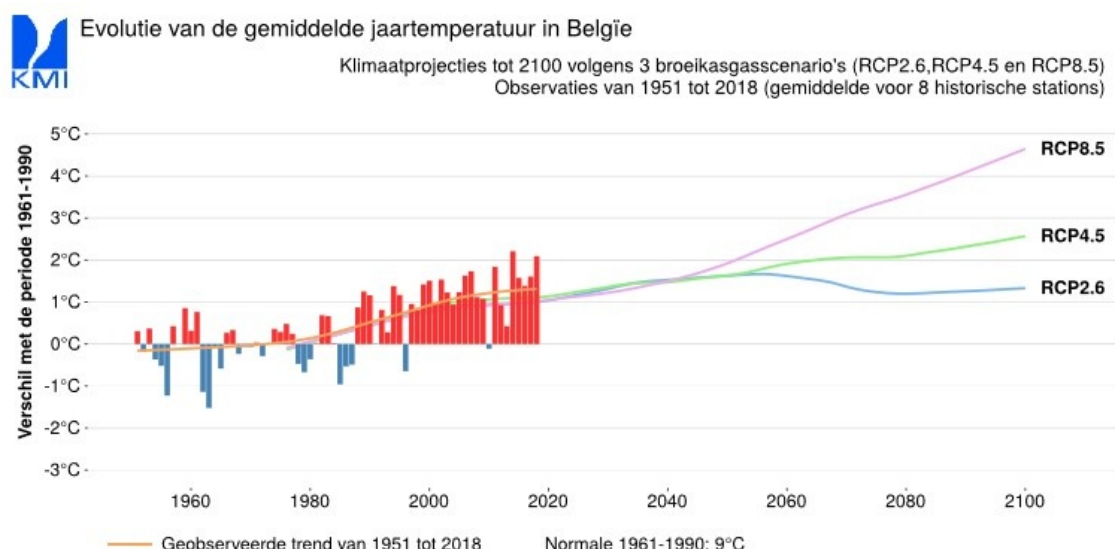
In het vijfde IPCC-rapport werden vier mondiale klimaatscenario's of **Representative Concentration Pathways (RCP)** gedefinieerd die de ontwikkeling van broeikasgassen tegen 2100 voorspellen, rekening houdend met potentiële sociaal-economische ontwikkelingen (Figuur 4). Het onderscheid tussen deze scenario's wordt veroorzaakt door verschillende ambitieniveaus in het beleid. **RCP 8.5** is het meest pessimistische scenario waarin weinig maatregelen worden getroffen en weinig technologische doorbraken plaatsvinden, terwijl de stijgende trend in uitstoot van broeikasgassen zich verder doorzet. Dit scenario voorspelt een sterke exponentiële toename in broeikasgasconcentraties en zou op mondiaal vlak kunnen leiden tot een gemiddelde temperatuurstijging tussen +3,2 °C en +5,4 °C ten opzichte van de periode 1850-1900. **RCP 6.0** is een iets minder extreem scenario dat een geleidelijke stijging in broeikasgassen en een temperatuurtoename van +2,0 °C tot +3,7 °C voorspelt. In het **RCP 4.5** scenario worden er veel maatregelen getroffen, wat leidt tot een geleidelijke toename in broeikasgassen en een stabilisatie tegen 2100. In dit scenario zou de temperatuur met +1,7 °C tot +3,2 °C stijgen. Het meest optimistische scenario, **RCP 2.6**, is het gevolg van een zeer ambitieus klimaatbeleid. Dit scenario voorspelt een lichte

stijging in broeikasgasconcentraties tot 2040, gevolgd door een daling tegen het einde van deze eeuw. In dit scenario zou de gemiddelde temperatuurstijging beperkt kunnen blijven tussen +0,9 °C en +2,3 °C.



Figuur 4: Mondiale klimaatscenario's van het IPCC: RCP8.5, RCP 6.0, RCP 4.5 en RCP 2.6 (Klimaatportaal VMM, 2020).

Het **Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI)** simuleert klimaatverandering in België a.d.h.v. het regionaal klimaatmodel ALARO-0. De parameters die in beschouwing worden genomen zijn onder andere luchttemperatuur, neerslag, zonnestraling, vochtigheid en wind. Het model gaat uit van drie van de vier broeikasgasscenario's beschreven in het vijfde IPCC-rapport (Figuur 5). Het KMI schat dat het werkelijke klimaatscenario in 2100 tussen RCP 2.6 en RCP 8.5 zal liggen in België. Dit betekent dat de werkelijke temperatuurstijging in het meest optimistische scenario +0,9 °C en in het meest pessimistische scenario +5,4 °C zal bedragen.



Figuur 5: Regionale klimaatscenario's van het KMI op basis van RCP8.5, RCP 4.5 en RCP 2.6 (Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI), 2020).

In deze risico- en kwetsbaarheidsanalyse worden de klimaateffecten vooral gebaseerd op de data uit het **Vlaams Klimaatportaal van de VMM** (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2020). De klimaatscenario's in Vlaanderen zijn gebaseerd op berekeningen uit wereldwijde klimaatmodellen, regionale (Europese) en lokale (Belgische) klimaatmodellen en de mondiale RCP-scenario's die hierboven reeds besproken werden. In Vlaanderen worden drie varianten gebruikt: het laag-, midden- en hoog-impactsceario. Deze omvatten de bestaande onzekerheden in de klimaatmodellen en de RCP-scenario's zo goed mogelijk.

- **Hoog-impactsceario:** Het hoog sceario vormt de bovengrens van mogelijke klimaatveranderingen in Vlaanderen tegen 2100. Het is een pessimistisch klimaatsceario dat binnen de huidige set aan mogelijke klimaatmodelprojecties voor de toekomst valt.
- **Midden-impactsceario:** Het midden sceario komt overeen met de mediaan van alle klimaatmodelprojecties.
- **Laag-impactsceario:** Het laag sceario vormt de ondergrens van klimaatverandering in Vlaanderen tegen 2100 en is eerder een optimistische klimaatprojectie.

In het Vlaams Klimaatportaal wordt enkel het hoog-impactsceario weergegeven, dat overeenkomt met het internationaal gehanteerde RCP 8.5 'worst-case'-sceario. Het Vlaams Klimaatportaal definieert dit als het 'business-as-usual'-sceario, waarin er van uitgegaan wordt dat er in de toekomst niks verandert aan de huidige uitstoot van CO₂. In werkelijkheid zal de klimaatverandering 'met hoge

waarschijnlijkheid' gelegen zijn tussen het huidige klimaat en het hoog-impacts scenario uit het Vlaams Klimaatportaal.

Het hoog-impacts scenario kan verder opgesplitst worden in het **hoogzomer- en hoogwinter-scenario**. Deze scenario's duiden het verschil in neerslagintensiteit en natte dagen tussen het zomer- en winterseizoen. Het is namelijk zo dat winters in de toekomst natter zullen worden, terwijl zomers droger zullen worden maar wel hogere neerslagintensiteiten zullen kennen. Bijgevolg toont het hoogwinterscenario de impact van hoge piekafvoeren in de winter en toont het hoogzomerscenario de impact van hoge piekafvoeren veroorzaakt door zomeronweders.

Klimaattoestand Waasland: klimaatverandering doorheen de 20e en 21e eeuw

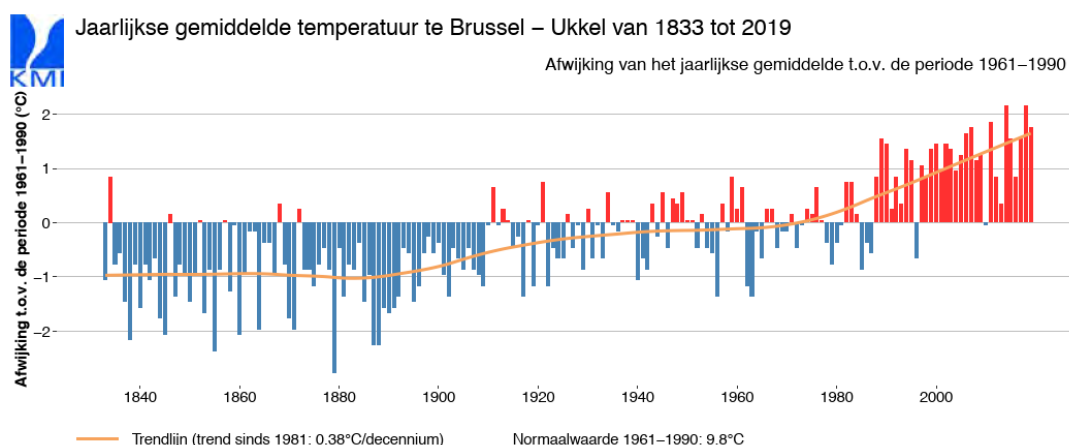
Een risico- en kwetsbaarheidsanalyse bestaat uit 3 onderdelen: de huidige klimaattoestand en verwachte klimaatverandering, de mogelijke klimaateffecten en de geassocieerde klimaatimpact. De bespreking van de klimaattoestand is gebaseerd op data en kaartmateriaal uit het VMM Klimaatportaal, het MIRA Klimaatrapport uit 2015 (VMM, 2015) en het Klimaatrapport van het KMI uit 2020 (Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI), 2020). De voornaamste klimaatverandering in Vlaanderen situeert zich rond wijzigingen in **temperatuur, neerslag, zonneschijn, wind** en **zeespiegelniveau**.

TEMPERATUUR

De evolutie in temperatuur is van belang voor verschillende domeinen in onze samenleving, zoals de landbouw-, energie- en gezondheidssector, en voor de geografische spreiding van de fauna. Zowel de gemiddelde jaartemperatuur, als de frequentie, duur en intensiteit van hittegolven en koudegolven zijn veranderd over de jaren heen. Het Klimaatrapport van het KMI uit 2020 voorspelt een temperatuurstijging tussen 0,9 °C (in het laag-impacts scenario) en 5,4 °C (in het hoog-impacts scenario) tegen 2100.

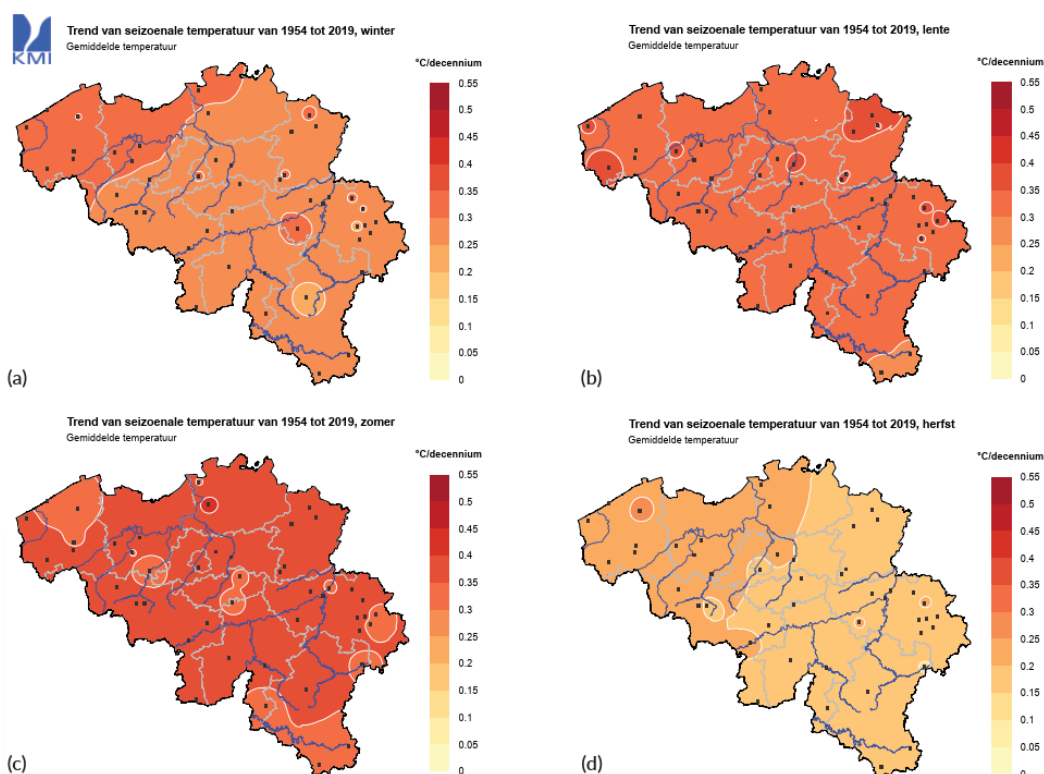
De temperatuur is sinds de pre-industriële periode (1850-1900) toegenomen met 2,1 °C (Figuur 6). Sinds 1981 spreekt men van een significante gemiddelde opwarming van +0,38 °C per decennium. Deze jaarlijkse gemiddelde opwarming wordt vooral veroorzaakt door een toename van lente- en zomertemperatuur. De gemiddelde, maximum- en minimumtemperatuur namen in de periode 1954-2019 niet gelijkmatig toe. De gemiddelde jaartemperatuur neemt per decennium toe

met 0,27 °C tot 0,33 °C. De maximale temperatuur stijgt elk decennium met +0,27 °C tot +0,38 °C en de minimale temperatuur neemt per decennium +0,23 °C tot 0,32 °C toe. Dit komt neer op een gemiddelde jaarlijkse opwarming van +0,30 °C per decennium in de gemiddelde temperatuur, +0,33 °C in de maximale temperatuur en +0,27 °C in de minimale temperatuur. De ruimtelijke verschillen in België zijn relatief klein op het vlak van de gemiddelde temperatuur en iets groter voor de maximum- en minimumtemperatuur.



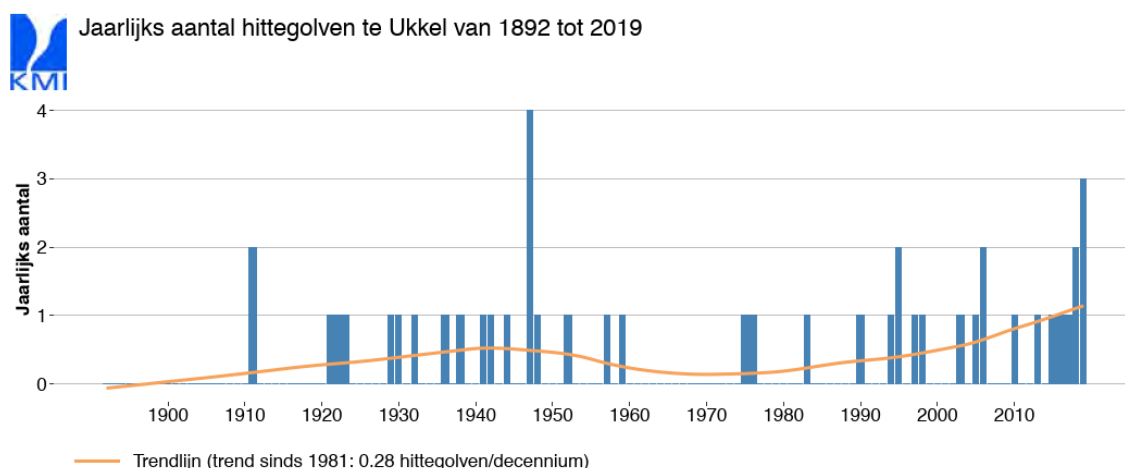
Figuur 6: Evolutie van de jaarlijkse gemiddelde temperatuur van 1880 tot vandaag verkregen door de meetgegevens van 8 historische stations in Oostende, Jalhay, Sint-Truiden, Ukkel, Antwerpen, Leopoldsburg, Gembloux en Stavelot te combineren (Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI), 2020).

De opwarming van de gemiddelde temperatuur verschilt per seizoen (Figuur 7). De opwarming is het grootst in de lente en de zomer, gemiddeld stijgt de temperatuur in de lente met +0,34 °C per decennium en in de zomer met +0,36 °C. De opwarming is het kleinst in de herfst en in de winter, met respectievelijk een toename van +0,20 °C en +0,29 °C per decennium. Ook het jaarlijks aantal zomerdagen stijgt en er is een significante opwaartse trend in zomerintensiteit met een gemiddelde stijging van +9,2 °C per decennium sinds 1981. De 22 warmste jaren deden zich voor na 1988, de 6 warmste jaren situeerden zich na 2005. Juli 2019 was de warmste maand sinds het begin van de waarnemingen in Vlaanderen.

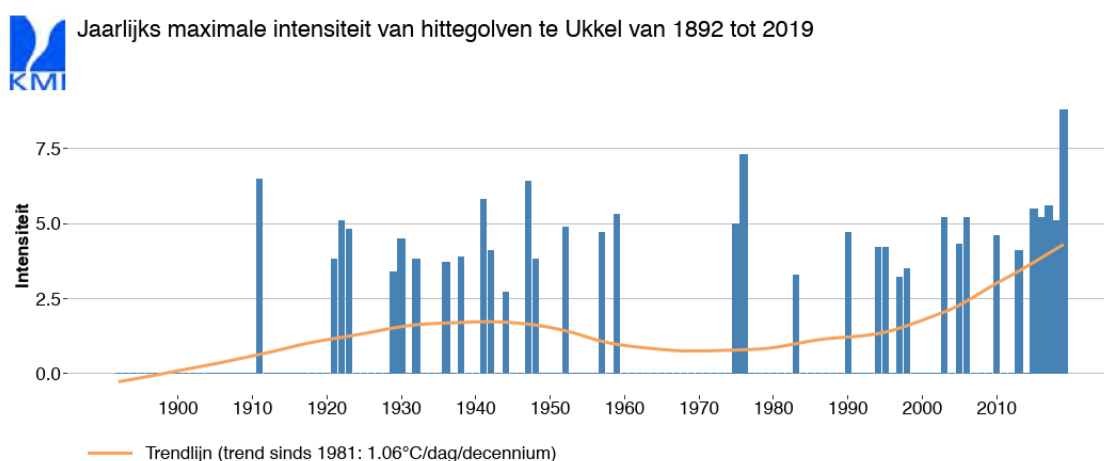


Figuur 7: Seizoenale trends van de gemiddelde temperatuur (T_m) in $^{\circ}\text{C}$ per decennium voor de periode 1954-2019 met (a) winter, (b) lente, (c) zomer en (d) herfst (KMI; Bodemkundige Dienst van België, 2012).

Hittegolven komen in België steeds vaker voor (Figuur 8) en ze zijn ook intenser (Figuur 9). Een hittegolf wordt gedefinieerd als een periode van minstens 5 opeenvolgende dagen waarvoor de maximumtemperatuur iedere dag 25° bereikt of overschrijdt én de maximumtemperatuur gedurende minstens 3 dagen 30°C bereikt of overschrijdt tijdens die periode. Gemiddeld is er in België een toename in hittegolven van 2 dagen per decennium. Zo was er een extreme hittegolf in West-Europa tijdens de laatste week van juli 2019 waarbij de temperaturen opliepen tot boven 40°C . Deze hoge maximumtemperaturen hebben belangrijke gevolgen voor de gezondheid van risicogroepen. Hier wordt verder in deze analyse op ingegaan.



Figuur 8: Evolutie van het jaarlijkse aantal hittegolven in Ukkel voor de periode 1892-2019. De gemiddelde waarde van de parameter voor deze periode is 0,34 hittegolven per jaar (KMI, 2020).

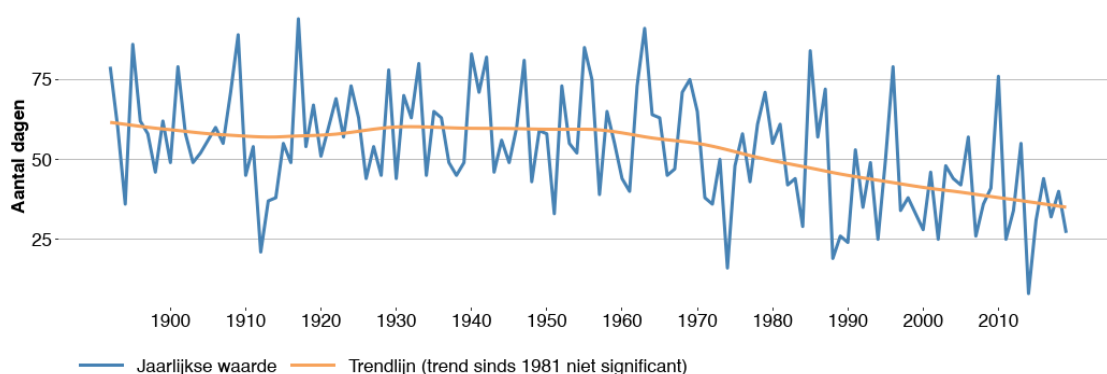


Figuur 9: Evolutie van de jaarlijkse maximale intensiteit van de hittegolven in Ukkel voor de periode 1892-2019 (KMI, 2020).

Er is een dalende trend waar te nemen in het aantal vorstdagen, dit zijn het aantal dagen per jaar waarvoor de minimumtemperatuur lager is dan 0 °C (Figuur 10). Het algemene koudenniveau van de 5 koudste maanden van het jaar (november-maart) is gemiddeld gedaald met 11,8 °C per decennium sinds 1981. Een koudegolf wordt gedefinieerd als een periode van minstens 5 opeenvolgende dagen waarvoor de maximumtemperatuur elke dag gedurende de hele dag negatief is en de minimumtemperatuur gedurende minstens 3 dagen lager is dan -10 °C in die periode.



Jaarlijks aantal dagen met minimumtemperatuur onder 0°C te Ukkel van 1892 tot 2019

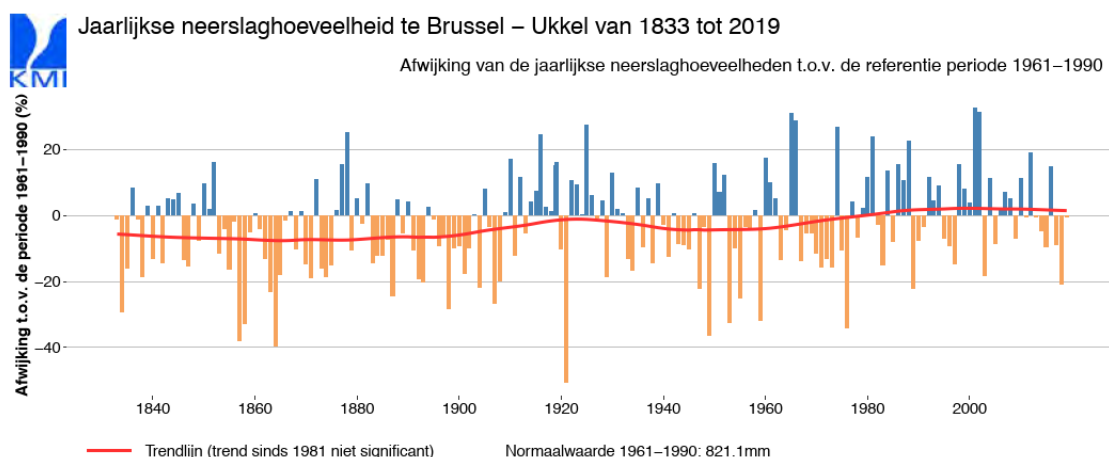


Figuur 10: Evolutie van het jaarlijks aantal vorstdagen in Ukkel voor de periode 1892-2019 (KMI, 2020).

NEERSLAG

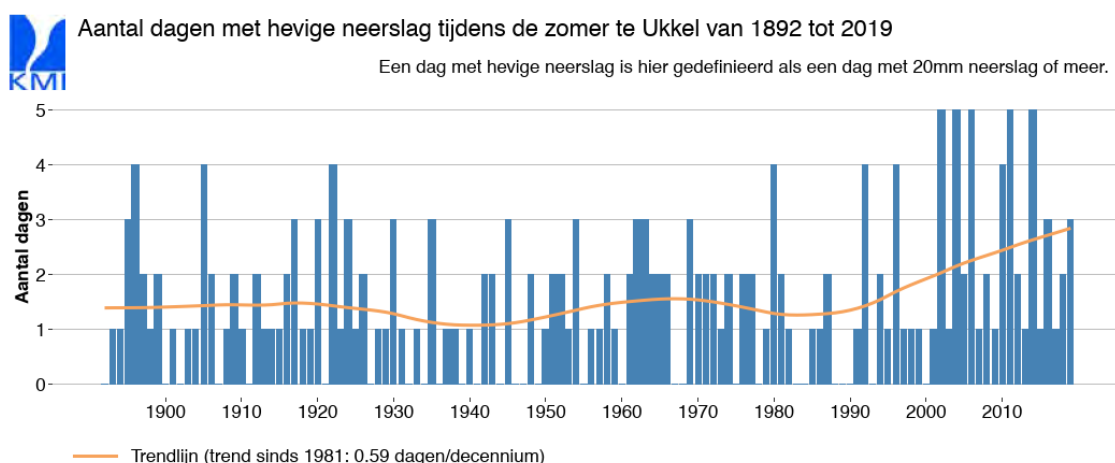
De evolutie in de neerslaghoeveelheid is voor verschillende sectoren van belang, zoals instanties die verantwoordelijk zijn voor de preventie en opvolging van hoog- en laagwaterstanden in rivieren, het ontwerp van rioleringsstelsels en de voorziening van drinkwater en water voor de landbouw. Over het algemeen zijn de trends in neerslag veel minder uitgesproken dan de trends in temperatuur door de grote variabiliteit in onze regio's.

Sinds 1890 is de gemiddelde neerslaghoeveelheid met ongeveer 15% gestegen (Figuur 11). De jaarlijkse neerslagtotalen namen in de periode 1981-2019 toe met 6%, vooral door een toename in winterneerslag. Sinds 1981 toont de neerslag tijdens de lente een significante neerwaartse trend van ongeveer 9 mm per decennium. Dit kan verklaard worden door relatief natte lentes in de jaren '80 en vervolgens door meestal droge en soms zeer droge lentes sinds '90. De neerslag in de herfst is over het algemeen stabiel over de jaren heen.



Figuur 11: Evolutie van de jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Ukkel voor de periode 1833-2019 (KMI, 2020).

Sinds 1981 is er een significante gemiddelde toename in dagen met hevige neerslag met 0,6 dagen per decennium (Figuur 12). Een dag met hevige neerslag is een dag waarop minstens 20 mm neerslag valt. In de zomer wordt hevige neerslag meestal veroorzaakt door intense onweersbuien op korte tijd.

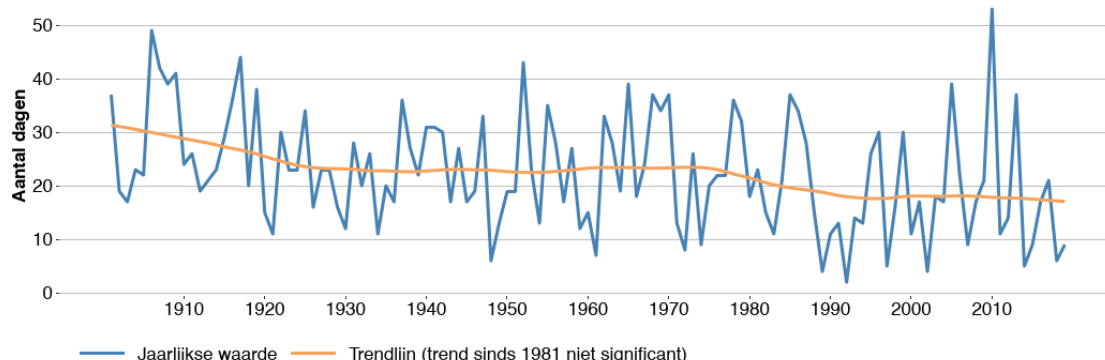


Figuur 12: Evolutie van het aantal dagen tijdens de zomer waarop de dagelijkse hoeveelheid neerslag in Ukkel ten minste 20 mm bedroeg voor de periode 1892-201 (KMI, 2020).

In het begin van de 20^e eeuw was er een zeer duidelijke daling in het aantal sneeuwdagen. Vanaf het begin van de 21^e eeuw is er veel meer jaarlijkse variatie en relatief veel sneeuwval. De laatste 6 jaar is er echter weinig sneeuw gevallen (Figuur 13).



Jaarlijks aantal dagen met sneeuwval te Ukkel van 1901 tot 2019



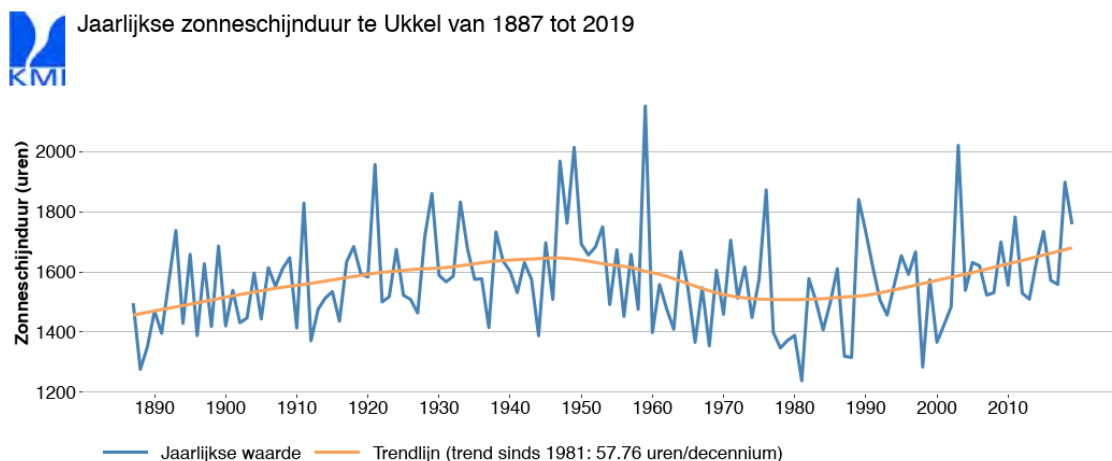
Figuur 13: Evolutie van het jaarlijkse aantal dagen met sneeuwval in Ukkel voor de periode 1901-2019 (KMI, 2020).

Periodes van droogte nemen in de lente en de zomer gemiddeld toe met 1,5 dagen per decennium. Periodes van (meteorologische) droogte kunnen leiden tot een neerslagtekort. Dit tekort wordt gedefinieerd als het verschil tussen de hoeveelheid neerslag en verdamping en is de oorzaak van droogtestress bij planten. Tijdens de winter kan dit neerslagtekort de grondwatervoorziening verstoren en tijdens de lente en de zomer kan dit lage landbouwopbrengsten veroorzaken. In de lente kunnen langdurige periodes van droogte bosbranden veroorzaken. Ook de intensiteit van droogte neemt toe. In de wintermaanden is er wel een afname van 1,3 dagen per decennium.

Het IPCC voorspelt tegen 2100 op basis van het hoog-impactscenario nattere winters en geen of een lichte daling in neerslag tijdens de zomers. Het aantal dagen met ten minste 10 mm neerslag zal ook toenemen tegen 2100. In het midden- en hoog-klimaatscenario wordt er binnen 100 jaar een neerslagtoename (tot +38%) verwacht in de wintermaanden, zowel van gemiddelde als van extreme neerslag. Dichterbij de kust wordt ook een toename van winterneerslag voorspeld. De hoeveelheid winterneerslag stijgt doordat het klimaat warmer wordt, de neerslag op hogere breedteligging toeneemt en de veranderende luchtstromingspatronen de warmere zuidwestenwinden versterken in de winter. De frequentie van winterneerslag daalt echter. Het laag- en midden-impactscenario voorspellen binnen 100 jaar een neerslagafname (tot -52%) in de zomermaanden. Deze afname neemt toe in zuidelijke richting en wordt veroorzaakt door een sterke afname in het aantal gemiddelde en extreem natte dagen. In de zomermaanden zullen er meer en intensere uitzonderlijke regenbuien zijn. Er is geen significant effect op het neerslagtekort.

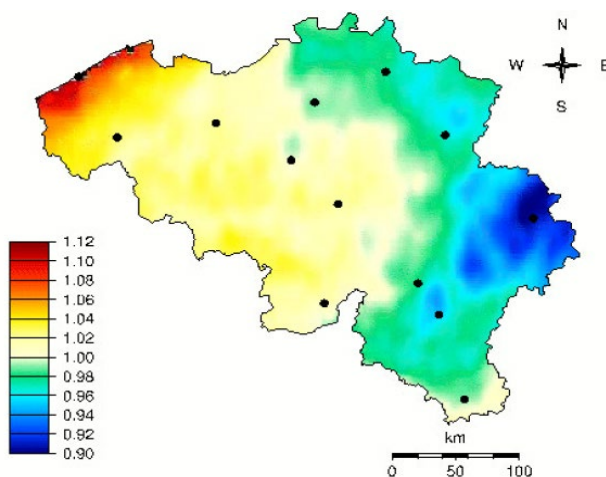
ZONNESCHIJN

Sinds 1981 is er een toenemende trend in jaarlijkse zonneshijnduur, zo'n 58u per decennium (Figuur 14). Tijdens de lente neemt de zonneshijnduur toe met 35u per decennium en tijdens de zomer 20u per decennium.



Figuur 14: Evolutie in jaarlijkse zonneshijnduur in Ukkel voor de periode 1887-2019 (KMI, 2020).

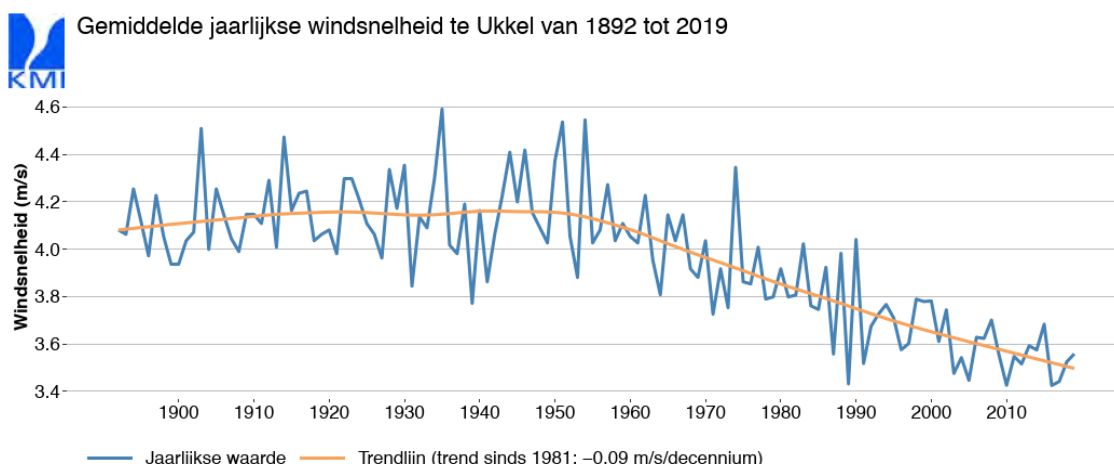
Er is ook een toename van 42 kWh/m² zonne-energie per decennium die het aardoppervlak bereikt. Dit wordt deels veroorzaakt door allerlei inspanningen om de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen te verminderen en de luchtkwaliteit in onze regio's te verbeteren. De jaarlijkse globale straling in het Waasland is, net als in de rest van Oost-Vlaanderen, ongeveer 1000-1020 kWh/m² (Figuur 15). In het winterhalfjaar worden geen grote veranderingen in uren zonneshijnduur verwacht. In het zomerhalfjaar kan het aantal uren zonneshijnduur toenemen of gelijk blijven.



Figuur 15: Jaarlijkse globale straling in de huidige situatie. Het referentiestation in Ukkel had in 2009 een jaarlijkse straling van 1083 kWh/m² gemeten (KMI; Bodemkundige Dienst van België, 2012).

WIND

De gemiddelde windsnelheid is de afgelopen decennia, en vooral sinds het begin van de 21^e eeuw, afgenomen (Figuur 16). Sinds 1981 neemt de gemiddelde jaarlijkse windsnelheid elk decennium af met 0,1 m/s. De intensiteit van stormen en het aantal stormdagen zijn de laatste drie decennia niet toegenomen, ze vertonen eerder een dalende trend.

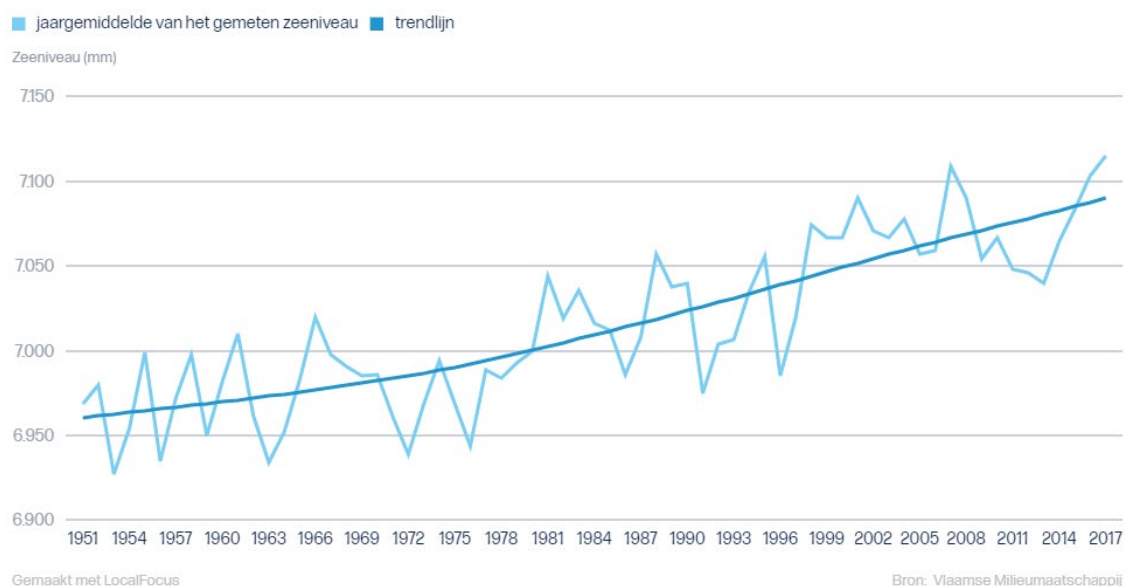


Figuur 16: Evolutie in gemiddelde jaarlijkse windsnelheid in Ukkel voor de periode 1892-2019 (KMI, 2020).

In België is de gemiddelde windsnelheid in de winter hoger dan in de zomer. De windsnelheid is ook groter langs de kust dan landinwaarts. De gemiddelde windsnelheid in de zomer zal niet veranderen, maar in de winter zal deze tijdens sterke stormen waarschijnlijk wel tot +30% toenemen. In België komt de wind meestal uit het zuidwesten. Er worden de komende 100 jaar geen significante veranderingen verwacht in de gemiddelde windrichtingen in België. De daggemiddelde windsnelheid in de winter zal veranderen met -8% tot +3% binnen 30 jaar, met -14% tot +6% binnen 50 jaar en met -28% tot +11% binnen 100 jaar.

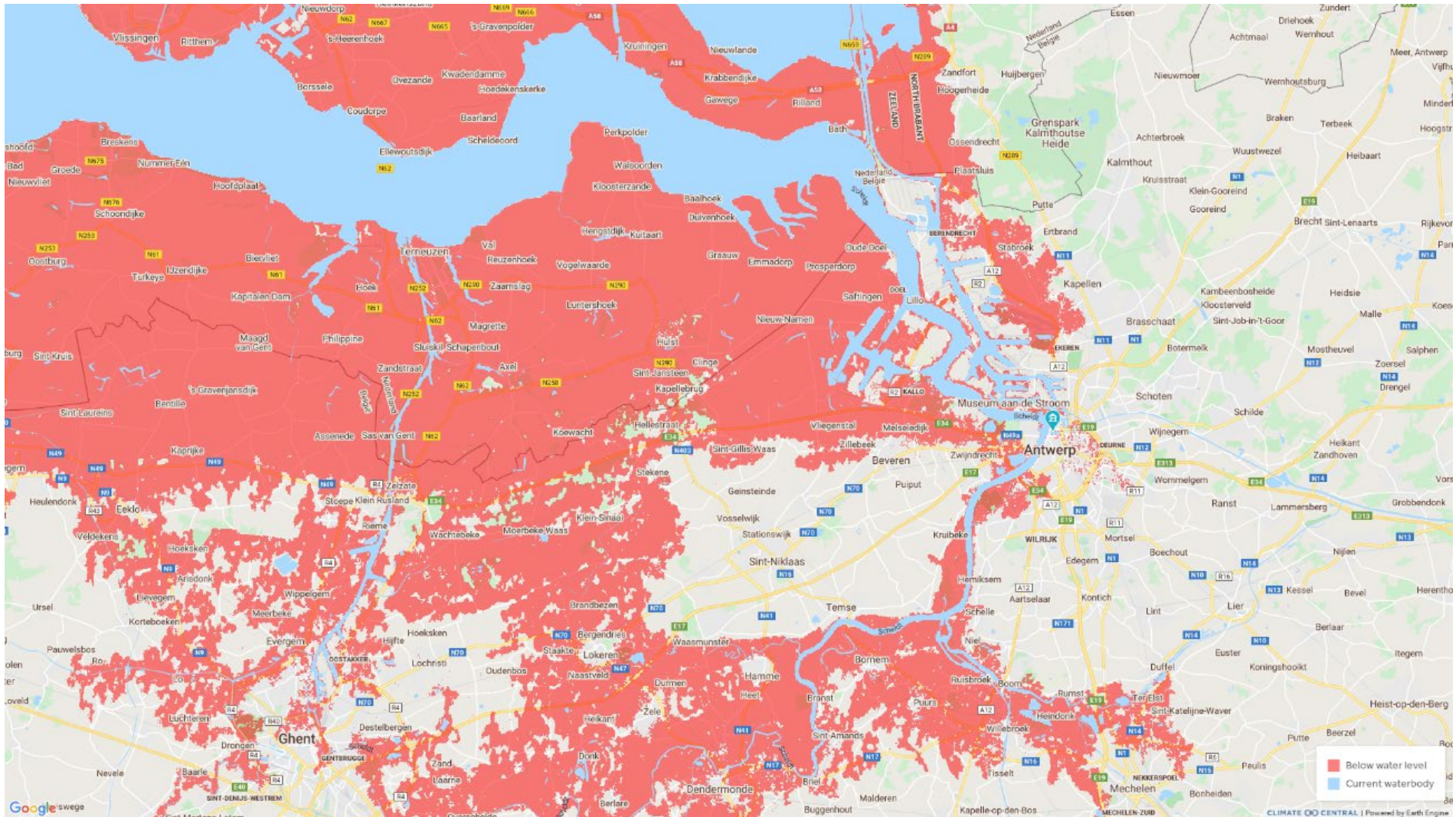
ZEESPIEGEL

Klimaatverandering zorgt voor een versnelde zeespiegelstijging. Het gemiddelde zeeniveau steeg de voorbije eeuw wereldwijd met 1,7 mm/j en sinds begin jaren '90 met 3,0 mm/j. Hierdoor is het zeeniveau van de Noordzee nu al 20 cm hoger dan in 1925 (Figuur 17). Zeespiegelstijging is een relatief langzaam proces omdat het reageert op het afsmelten van ijskappen en gletsjers en de opwarming van de zeeën (+0,034 °C/j). Daardoor is het mogelijk dat zeespiegelstijging zal aanhouden tot lang na de stabilisatie van de temperatuur op aarde.



Figuur 17: Evolutie van het zeeniveau aan de Belgische kust voor de periode 1951-2017 (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2020).

Volgens het Vlaams Klimaatportaal zal het stormvloedniveau tegen 2100 stijgen met 80 cm in het midden-impactscenario en met 240 cm in het hoog-impactscenario. De data op het Vlaams Klimaatportaal zijn vooral gebaseerd op de waterstanden bij een 1000-jarige storm volgens het midden-impactscenario. Door de zeespiegelstijging nemen de hoogste waterstanden, die optreden bij stormvloed, toe. Dit kan leiden tot meer kusterosie en het onderlopen van laaggelegen gebieden door de zee wanneer de zeewering onvoldoende bestand is. De overstromingsrisico's worden dus groter door klimaatverandering (Figuur 18).



Figuur 18: Gebieden in het Waasland die risico lopen om te overstromen tegen 2100 (indien er geen rekening wordt gehouden met maatregelen zoals dijken en overstromingsgebieden) (Climate Central, 2020).

De zeespiegelstijging heeft niet enkel invloed op de kustregio, maar ook op de Scheldevallei. Het Geactualiseerd Sigmaplan voorspelt een zeespiegelstijging van 35 cm tot 100 cm tegen 2100 op basis van verschillende schattingen voor zeewaterexpansie, smelten van de ijskap en gletsjers en klimaatgevoeligheid (Waterwegen en Zeekanaal NV, 2005). Deze voorspelling ligt in lijn met die van het Europese project Life Sparc¹, dat uitgaat van een zeespiegelstijging van 60 cm in de Schelderegio tegen 2100 op basis van data uit internationale klimaatstudies (Life Sparc). Indien de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer zou stabiliseren, zou de stijging van het zeeniveau nog enkele honderden jaren kunnen doorgaan, tot een peil van 1,50 m boven het huidige zeeniveau. Naast het gemiddeld zeeniveau neemt ook de getijdenamplitude (niveauverschil tussen hoog en laag water) toe, wat kan resulteren in een stijging van 90 cm in het hoogwaterpeil van het Schelde-estuarium.

¹ In het Europees project Life Sparc (Space for Adapting the River Scheldt to Climate Change) worden 8 Sigmagebieden langs Schelde en Durme verder vormgegeven en ontwikkeld om het Sigmaplan nog robuuster te maken tegen klimaateffecten op biodiversiteit en waterveiligheid, en extreme weersomstandigheden.

Klimaat effecten

Systeembeschrijving

Om na te gaan welke effecten de veranderende klimaattoestand, beschreven in het vorige hoofdstuk, heeft op het Waasland, loont het de moeite om het Waasland als complex en divers ruimtelijk systeem te beschrijven. De schaal, ernst en impact van de klimaat effecten beschreven in dit hoofdstuk zijn immers in belangrijke mate afhankelijk van de omgeving waarin ze plaatsvinden. Zo heeft droogte een meer relevante impact op natuurwaarden en landbouwpraktijk in het buitengebied, en wordt hittestress vergroot in een stedelijke omgeving met veel bebouwing. In volgende passages wordt het Waasland als ruimtelijk systeem kort beschreven, om zo de specifieke kwetsbaarheden van het Waasland voor de verschillende klimaat effecten duidelijker te kunnen omschrijven. De systeembeschrijving wordt geïllustreerd met enkele systeemkaarten voor de hele regio, die achteraan dit rapport terug te vinden zijn.

LANDSCHAP EN GEOLOGIE

Het Waasland is een licht golvend, hoofdzakelijk open gebied in de zandstreek van de Vlaamse Vallei. Op basis van topografie en bodemopbouw (zie Kaart 2) en landschappelijke structuur met het bodemgebruik, landbouwgebruik en voornaamste natuurgebieden (zie Kaarten 4 tot 7) zijn volgende relevante zones te onderscheiden, die onderstaand worden beschreven aan de hand van de opgemaakte systeemkaarten en informatie uit de AGNAS rapportage, de gewenste ruimtelijke structuur uit het RSV (Vlaamse Overheid, 2008).

- **Poldergronden en zware kleibodems van de Benedenschelde.** De polders van de linker-Scheldeoever bestaan uit zeer zware klei en natte zandleembodems. Voornamelijk te Sint-Gillis-Waas en Beveren maar ook in het noorden van Moerbeke zijn poldergronden met oude kreken gelegen. Het gebied is zeer open en vlak, en is voornamelijk in landbouwgebruik. Rond de Antwerpse zeehaven is uiteraard ook een belangrijke industriële component aanwezig. Door de aanwezigheid van de Zeeschelde als getijdengebied is er ook verzilt grondwater aanwezig. Lage depressies, kreken, vaarten en sloten worden er sterk beïnvloed door brak (grond)water, wat tot uiting komt in plant- en diersoorten die er voorkomen, maar ook in de beschikbaarheid van zoet grondwater. De verzilting is vooral relevant tussen Doel en Kieldrecht met verzilt grondwater 2-5 m onder maaiveld

- **Dekzandrug Maldegem Stekene:** In het noorden van het Waasland langs de Nederlandse grens loopt een iets hoger gelegen dekzandrug vanuit Maldegem in het Meetjesland door naar het Waasland in Stekene. Deze dekzanden steken maar enkele meter uit boven het omliggende landschap en zijn landschappelijk allen op kleine schaal waarneembaar. Wel bestaat deze uit droge tot zeer droge zandgronden. Deze eerder arme gronden hebben een verleden als bos- en heidelandschap, het Koningsforeest. Landbouwpercelen waren kleinschalig. Ook op de Ferrariskaart (zie Kaart 4) is dit verleden als bos-en heidegebied te zien. Het Heidebos en het Stropersbos zijn grotere boskernen die momenteel herinneren aan dit verleden.
- **Moervaartdepressie.** Ten zuiden van de Dekzandrug tussen de Moervaart en de Zuidlede is de Moervaartdepressie gelegen. Deze depressie kent een unieke geologische samenstelling voor Vlaanderen; de depressie werd gevormd door het ontstaan van een binnenmeer. Dit leidde tot ophoging van kalkrijke sedimenten en opstapeling van veengronden (gliede of zeepklei). Door winterse overstromingen stapelde zich hier een laag klei en zand op. Vandaag is de Moervaartdepressie een vlakke depressie met een microreliëf bestaande uit ruggen en lage oeverwallen. De bodem bestaat uit natte kalkrijke kleigronden. Het ruimtegebruik is de laatste decennia vooral toegespitst op de landbouw waarbij via pompgemalen de hoge vochtigheidsgraad wordt beheerd. Verspreid zijn natte bosjes en moerasvegetatie te vinden. Aan de oostrand van de depressie en langs de Zuidlede liggen waardevolle natuurgebieden, waaronder de Fondatie van Baudelo. Opwellend grondwater (kwel) zorgt hier voor zeer waardevolle natte bossen en graslanden (dotterbloemgraslanden en blauwgraslanden).
- **Het land van Waas.** Deze centrale zone in het Waasland bestaat uit voornamelijk zandgronden. Door de licht golvende topografie is er veel variatie in de vochtigheidsgraad van de bodem. Gelijkaardig aan de dekzandrug Maldegem Stekene is ook hier een stuifzandrug gelegen (tussen Waasmunster en Beveren) met vooral droge zandbodems en veel bossen. In een gevarieerd landschap worden deze bosfragmenten afgewisseld met eerder kleine landbouwpercelen (bolle akkers, kenmerkend voor de regio) en een coulissenlandschap² verder naar het noorden, met nog vrij veel kleine landschapselementen: bomenrijen, houtkanten,... Ook kenmerkend echter is de opvallende lintbebouwing langs steenwegen tussen woonkernen (zie ook de bodembedekkingskaart, Kaart 8).
- **Alluviale valleigronden langs Durme en Schelde.** De Benedenschelde en haar zijrivier de Durme zijn de voornaamste rivieren doorheen het gebied. Deze staan beiden nog onder getijdenwerking. De Zeeschelde en

² Landschap dat wordt gekenmerkt door een mozaïek of lapjesdeken van kleine onregelmatige landbouwpercelen begrensd of afgezoomd door kleine landschapselementen zoals hagen, bomenrijen of houtkanten.

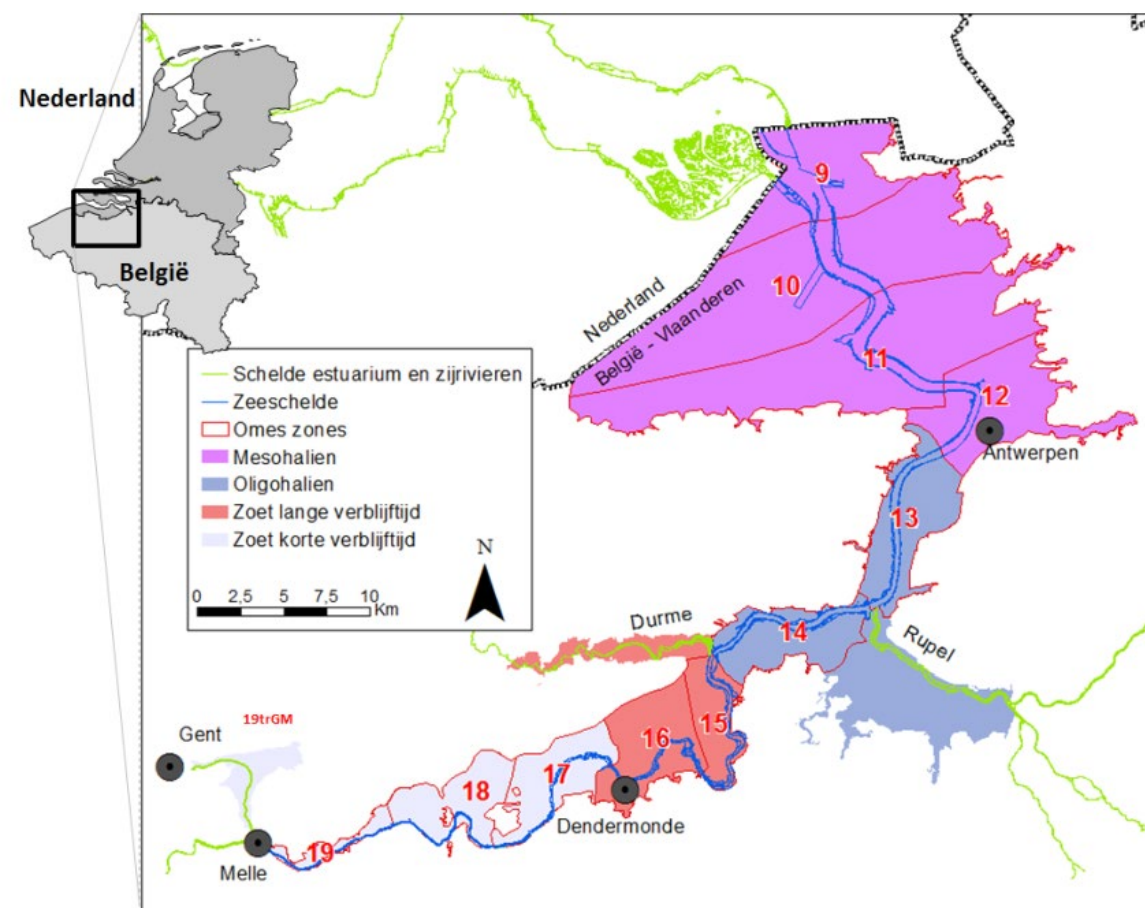
de Durme en hun valleien werden reeds in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen samen met hun sterk vertakt netwerk van beekvalleien geselecteerd als structuurbepalend voor het buitengebied. Ze zijn van doorslaggevend belang voor de waterhuishouding van het Waasland, en zijn ook de drager van een aanzienlijk deel van de ecologie en recreatieve structuur in het landschap. Langs deze systemen zijn dan ook natte tot zeer natte zware kleigronden en zandleemgronden gelegen. In dit valleisysteem zijn meerdere wetlands gelegen: natte weilanden, moerassen en oeverbossen met belang voor natuur en waterberging. Langs de oevers van de rivieren zelf is ook getijdennatuur te vinden. Het zeetij is hier dus ver landinwaarts actief en heeft grote invloed op de afwatering van beide rivieren. Verschillende van deze getijdengebieden, en ook voormalige polders langs de rivier, worden met het oog op waterveiligheid en natuurontwikkeling in kader van het Sigmaphan ontwikkeld als moerasgebied, waterbergingsgebied en/of gecontroleerd overstromingsgebied (GOG). Voorbeelden zijn de polder van Kruibeke langs de Schelde, en het Groot en Klein broek en de Bunt langs de Durme.

- **Cuesta van het Waasland.** In Waasmunster, Kruibeke, Temse en het zuiden van Beveren loopt de Cuesta van het Waasland. Deze asymmetrische heuvelrug bestaat uit een meer graduele helling van noordoost naar zuidwest en een steile zuidrand (het cuestafront) langs de valleien van de Schelde en Durme. Lokaal is hier een hoogteverschil van meer dan 30 m te merken. De cuesta wordt gevormd door een omvangrijke ondergrondse kleilaag (Formatie van Boom) met daarboven zand- en zandleemgronden. Deze zandleemgronden zijn voornamelijk droger, maar houden water beter vast dan de zandgronden in de rest van de regio. Op die manier behoren ze tot de meest geschikte gronden voor landbouw in de Vlaamse zandstreek. Het landschap wordt gekenmerkt door typische bolle akkers, en watert voornamelijk af via de Barbierbeek. Omwille van zijn natuurlijke loop met vele meanders (vrij uniek voor de regio) heeft de beek verder ook een grote ecologische en landschappelijke waarde. De Barbierbeek is zo ook relevant als landschappelijk en ecologisch dragend element in dit deel van het Waasland. De regio van Melsele (Beveren) werd verder in het verleden geselecteerd als regio waar zich men kon specialiseren in serrelandbouw.

WATERSYSTEEM

Kaart 3 geeft het hydrologisch systeem in de regio Waasland weer. De voornaamste dragers op grote schaal zijn uiteraard de Schelde en haar zijrivier de Durme. De Schelde betreft de Zuid- en Oostgrens van het Waasland en is hier een estuarium: de monding van de rivier in de Noordzee. Dit betekent dat de Schelde

onder getijdenwerking staat tot aan de sluis te Gent, ook de Durme staat tot en met Lokeren onder invloed van het zeetij. Hierdoor is er bijzondere dagelijkse en seizoenale variatie in het debiet, peil, stroomsnelheid én zoutgehalte in dit systeem (Figuur 19).



Figuur 19: Schelde estuarium van de Nederlandse Grens tot Gent, met aanduiding van verschillende saliniteitszones. De cijfers betreffen de nummering van de segmenten in het oorspronkelijk rapport (Van Ryckegem, 2019).

De hoeveelheid water die de rivieren afvoeren in combinatie met het laaggelegen landschap en de trage afwatering van de rivier bij opkomend tij maken dit systeem zeer gevoelig voor overstromingen. Hoe deze op heden worden bestreden wordt verder in dit rapport samengevat.

GRONDWATER

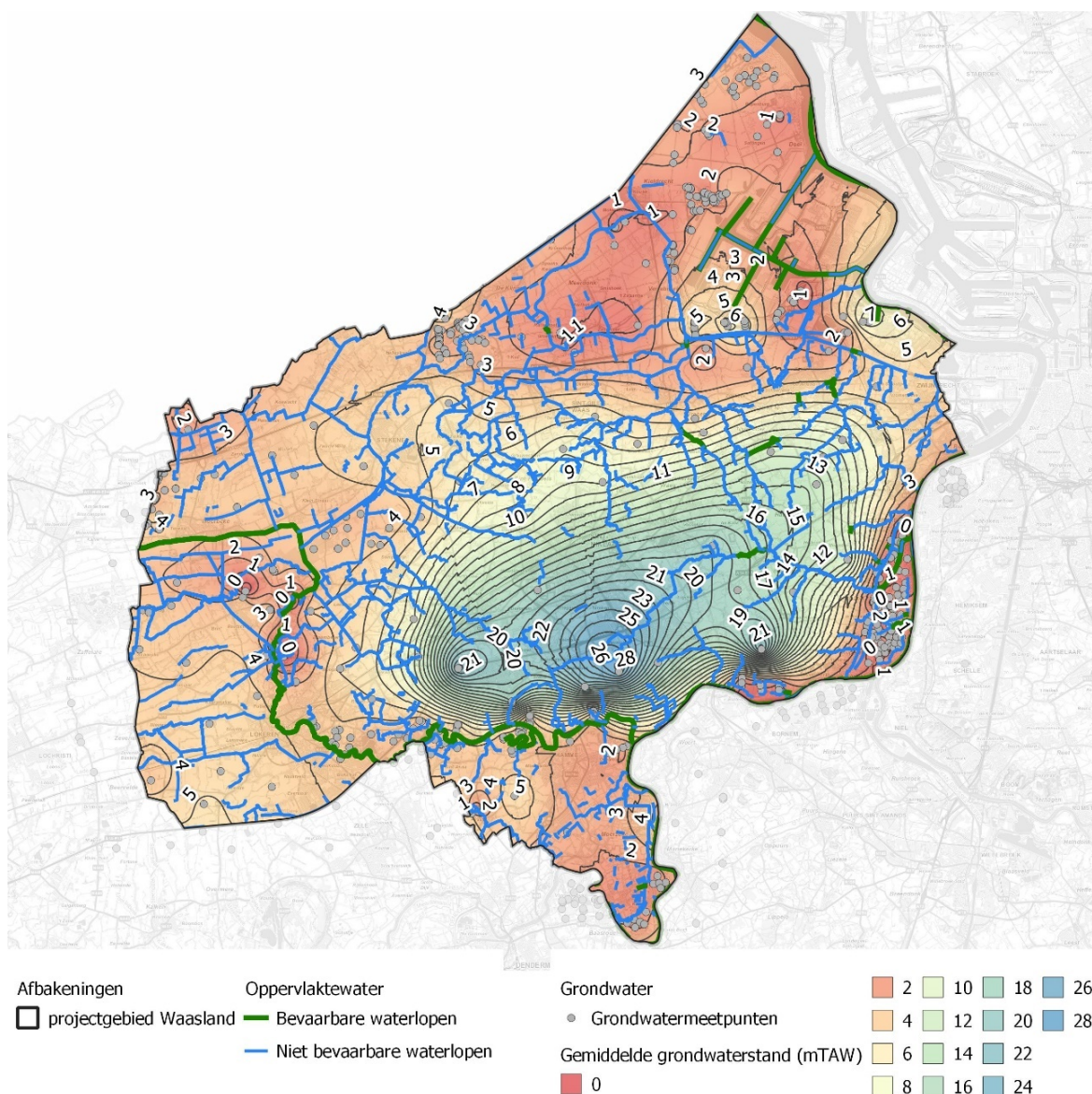
Grondwaterstand en -stromingsrichting

Aan de hand van peilgegevens beschikbaar via DOV werd onderstaande grondwaterstandskaat (zie ook Kaart 11) opgebouwd (Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV), 2020). Figuur 20 toont de gemiddelde grondwaterstand uitgedrukt ten opzichte van de vaste referentie (in mTAW).

De kaart met grondwaterstanden uitgedrukt in m TAW³ toont de 'hoogtelijnen' of isohypsen. Gezien de stroomrichting van het grondwater loodrecht op de isohypsen staat, geven deze een duidelijke weergave van de grondwaterstroming.

De grondwaterstandkaarten tonen belangrijke informatie, maar zijn slechts een ruwe benadering van de realiteit. De kaarten werden immers opgebouwd door de grondwaterstanden gemeten in verschillende punten te interpoleren en niet op basis van een grondwatermodel getoetst en afgesteld met lokale metingen. Dit heeft belangrijke consequenties voor de nauwkeurigheid van de kaart. De meetpunten die gebruikt werden om grondwaterstanden in te schatten zijn aangeduid in Figuur 20. Deze grondwaterstandkaart is dus een zeer ruwe indicatie van de feitelijke grondwaterstand en kan zeker niet op kleine schaal gebruikt worden. Lokaal kunnen grondwaterstanden immers afwijken door factoren die de grondwaterstand beïnvloeden zoals pompen, waterlopen, drainagestructuren,... Lokale peilmetingen blijven steeds noodzakelijk om de grondwaterstand exact in te schatten.

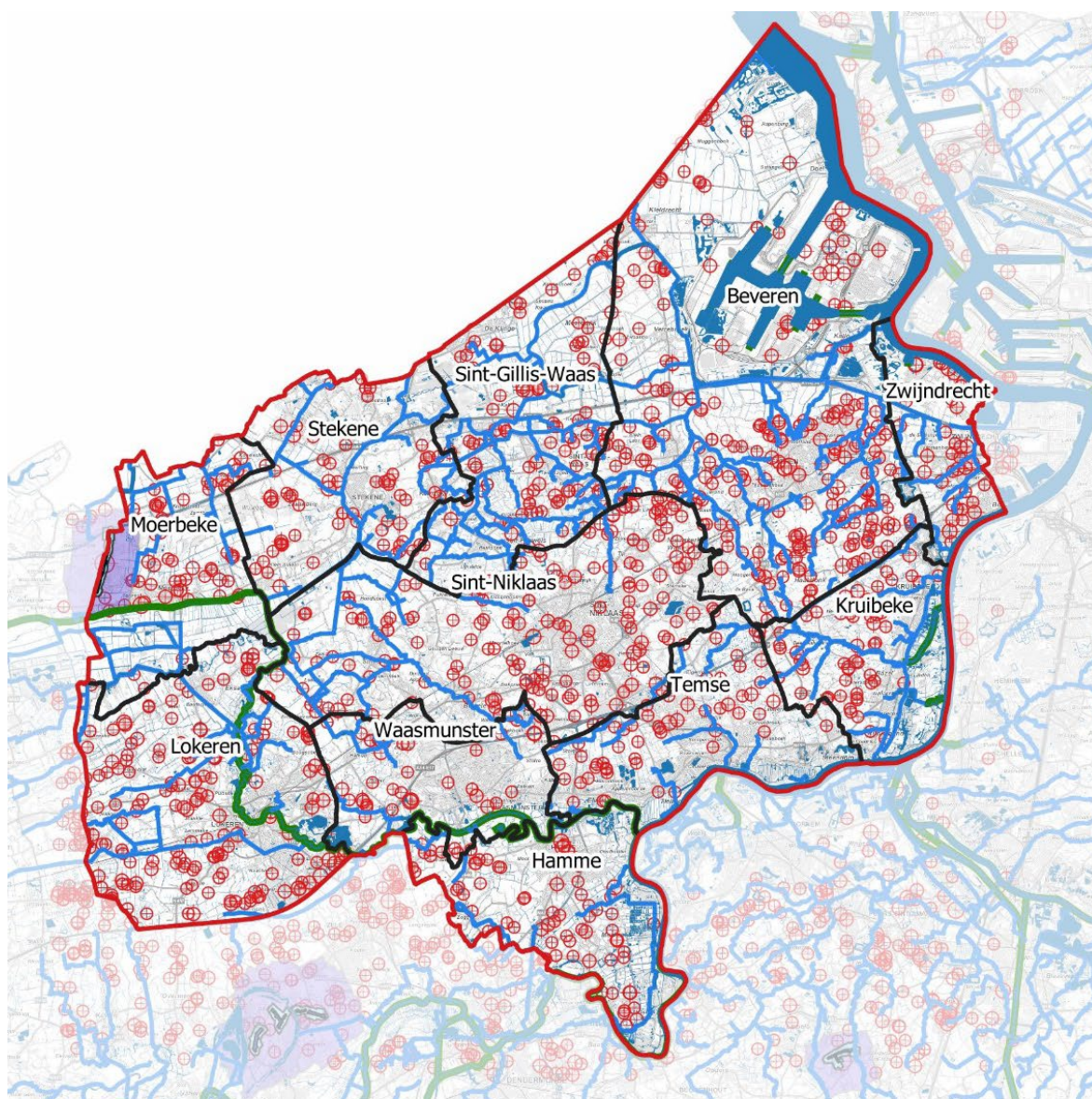
³ TAW= Tweede Algemene Waterpassing; een referentiehoogte waarmee hoogtemetingen in België worden uitgedrukt. Het nulpeil betreft het gemiddelde zeeniveau bij laag water te Oostende.



Figuur 20: Gemiddelde grondwaterstand in mTAW op basis van geïnterpoleerde gegevens van peilmetingen (Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV), 2020).

Grondwaterwinningen

In het Waasland zijn er 1090 vergunde grondwaterwinningen die zijn aangegeven in Figuur 21 (toestand januari 2021) (Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV), 2020).



Afbakeningen	Grondwaterwinningen - vergund jaardebiet	Grondwaterwingebiede en beschermingszones
 Waasland	⊕ 0 - 5.000 m ³ /jaar	 Beschermingszone type I
 Gemeentegrenzen	⊕ 5.000 - 30.000 m ³ /jaar	 Beschermingszone type II
	⊕ 30.000 - 250.000 m ³ /jaar	 Beschermingszone type III
	⊕ 250.000 - 1.000.000 m ³ /jaar	
	⊕ >1.000.000 m ³ /jaar	

Figuur 21: Locaties van de vergunde grondwaterwinningen (toestand januari 2021) met de grondwaterwingebieden en beschermingszones (Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV), 2020).

Er is een duidelijke vraag naar water in de regio. Afhankelijk van de situatie kan worden ingezet om deze watervraag in te vullen door hergebruik van regenwater in plaats van hoog kwalitatief grondwater.

In Moerbeke is een grondwaterwingebied met beschermingszones gelegen. Binnen deze zones gelden maatregelen voor de grondwaterbescherming. Er worden hier 3 types in onderscheiden:

- Type I: De 24 hr grens. Dit is de zone waar binnen 24hr water uit wordt onttrokken om drinkwater van te maken. Binnen deze zone mag niet geïnfiltreerd worden om risico's op verontreiniging van het drinkwater te beperken
- Type II: De 'bacteriologische' zone wordt begrensd door de 60-dagenlijn met een maximum van 150 m voor artesische lagen en van 300 m voor de andere lagen. Dit is de grens waarvan water binnen 60 dagen onttrokken wordt door de drinkwaterwinning. Ook binnen deze zone is het verboden om te infiltreren.
- Type III: De 'chemische' zone komt overeen met het voedingsgebied, het hele gebied waaruit water wordt onttrokken, van de waterwinning, beperkt tot een lijn gelegen op 2000 m van de grens van het waterwingebied voor het geval van freatische waterwinningen. Voor artesische winningen wordt een zone III niet afgebakend. Binnen deze zone is infiltratie van niet-verontreinigd regenwater mogelijk. Dit gebeurt dan best via een open en bovengrondse, visueel inspecteerbare, voorziening.

RUIMTEGEBRUIK

Het Waasland kent een gedifferentieerd ruimtegebruik met nog veel open ruimte met een belangrijke landbouwfunctie (zie Kaarten 5 tot 9). Op basis van de meest recente ruimtegebruikskarten bestaat het Waasland voor zo'n 16% uit permanente verharding of bodemafdekking. Het gaat daarbij om woonkernen, steden, maar ook bedrijventerreinen. Ook het Waasland ontsnapt hierbij niet aan de voor Vlaanderen typische lintbebouwing, veel verharding is gesitueerd buiten de steden en woonkernen langs wegen.

Toename van de verharding is er vooral in de Antwerpse Haven en in bedrijventerreinen in de stadsranden (zie Kaart 9). Industriegebieden maken ca. 5 % van de totale oppervlakte uit en situeren zich voor al in de havengebieden op Linkerscheldeoever en langs de E17 te Lokeren, Temse en Sint-Niklaas.

De resterende open ruimte heeft voornamelijk een landbouwfunctie. De landbouwgebruikskart (2019, zie Kaart 7) toont het belang van de regio voor veeteelt: 36% van de landbouwgebruikspcelen betreffen grasland, 32,5% mais. Verder is de groenteteelt en aardappelteelt van belang. In de Poldergebieden is er de teelt van sierplanten. Veel van de graslanden hebben naast landbouwgebruik ook een belangrijke natuurwaarde, in het bijzonder in de valleigebieden

(Daknamse Meersen, Scheldevallei,...). Verder valt, een voor Oost Vlaanderen bijzonder, bosareaal op: meer dan 6% van het oppervlak van het Waasland bestaat uit bos, een deel daarvan heeft een recreatieve bestemming.

Hitte en temperatuurstijging

De jaarlijkse gemiddelde temperatuur in ons land is sinds het einde van de 19^{de} eeuw sterk toegenomen. De gemiddelde jaartemperatuur ligt in Ukkel momenteel 2,5°C hoger dan 200 jaar geleden. Niet alleen de gemiddelde temperatuur stijgt, we krijgen ook meer tropische dagen (warmer dan 30°C) en hittegolven komen frequenter voor. In het verleden was er in Vlaanderen een hittegolf om de drie jaar. Nu gebeurt dit jaarlijks.

Dit zal zich vooral in dicht bebouwde gebieden laten voelen. Het **stedelijk hitte-eilandeffect** zorgt er mede voor dat het temperatuurverschil tussen een stad en haar landelijke omgeving verder kan oplopen. Omwille van verharding en hoge bebouwing zullen hittegolven intenser optreden in steden, waar de concentratie aan (kwetsbare) personen groter is, waardoor ze vatbaarder zijn voor dit klimaateffect.

METHODOLOGIE

In het kader van het VMM-MIRA Hittekaartproject ontwikkelde VITO het stedelijk klimaatmodel UrbClim (Lauwaet, et al., 2018). In dit model worden temperaturen berekend voor heel Vlaanderen voor elke warme periode van 2000 tot 2016, in een raster met cellen van 100 m bij 100 m. Het model simuleert het lokale klimaat om een onderscheid te maken tussen stedelijke en landelijke gebieden en maakt hiervoor gebruik van grootschalige meteorologie en detailkaarten van landgebruik. Op basis van de resultaten van dit model kunnen dan inschattingen gemaakt worden van onder andere het aantal hittegolven, het aantal hittegolfdagen, maandgemiddelde temperaturen en hittegolfgraaddagen.

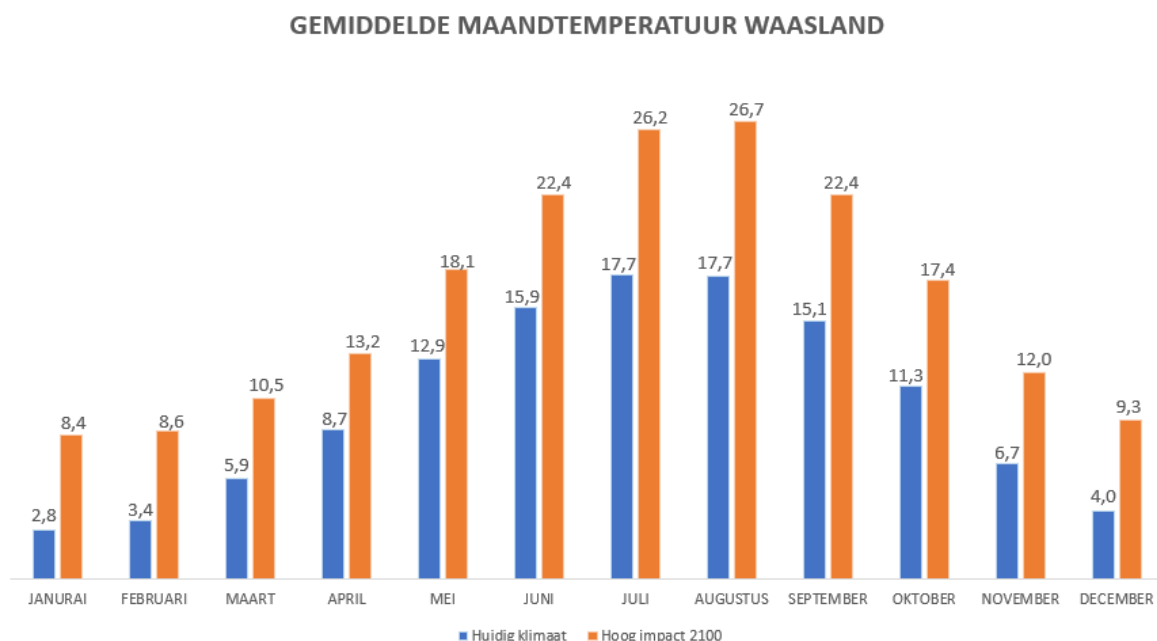
In dit rapport wordt gebruik gemaakt van de definitie van het KMI voor hittegolven: vijf opeenvolgende dagen met een maximumtemperatuur boven 25 °C, waarvan er minstens twee een maximumtemperatuur boven de 30 °C hebben.

Er wordt ook gebruik gemaakt van de definitie van FOD volksgezondheid voor 'hittegolfgraaddagen': som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximum- en minimumtemperaturen boven de drempelwaarden van respectievelijk 29,6 °C en 18,2 °C, voor de hittegolfdagen (volgens de definitie van de Federale Overheidsdienst Volksgezondheid) in de periode 1 april tot 30 september in een jaar.

De resultaten van deze modellen worden landelijk ter beschikking gesteld via het Vlaams Klimaatportaal (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2020). Op basis van deze gegevens worden de klimaateffecten met betrekking tot hitte voor de regio van het Waasland in kaart gebracht.

KLIMAATEFFECT

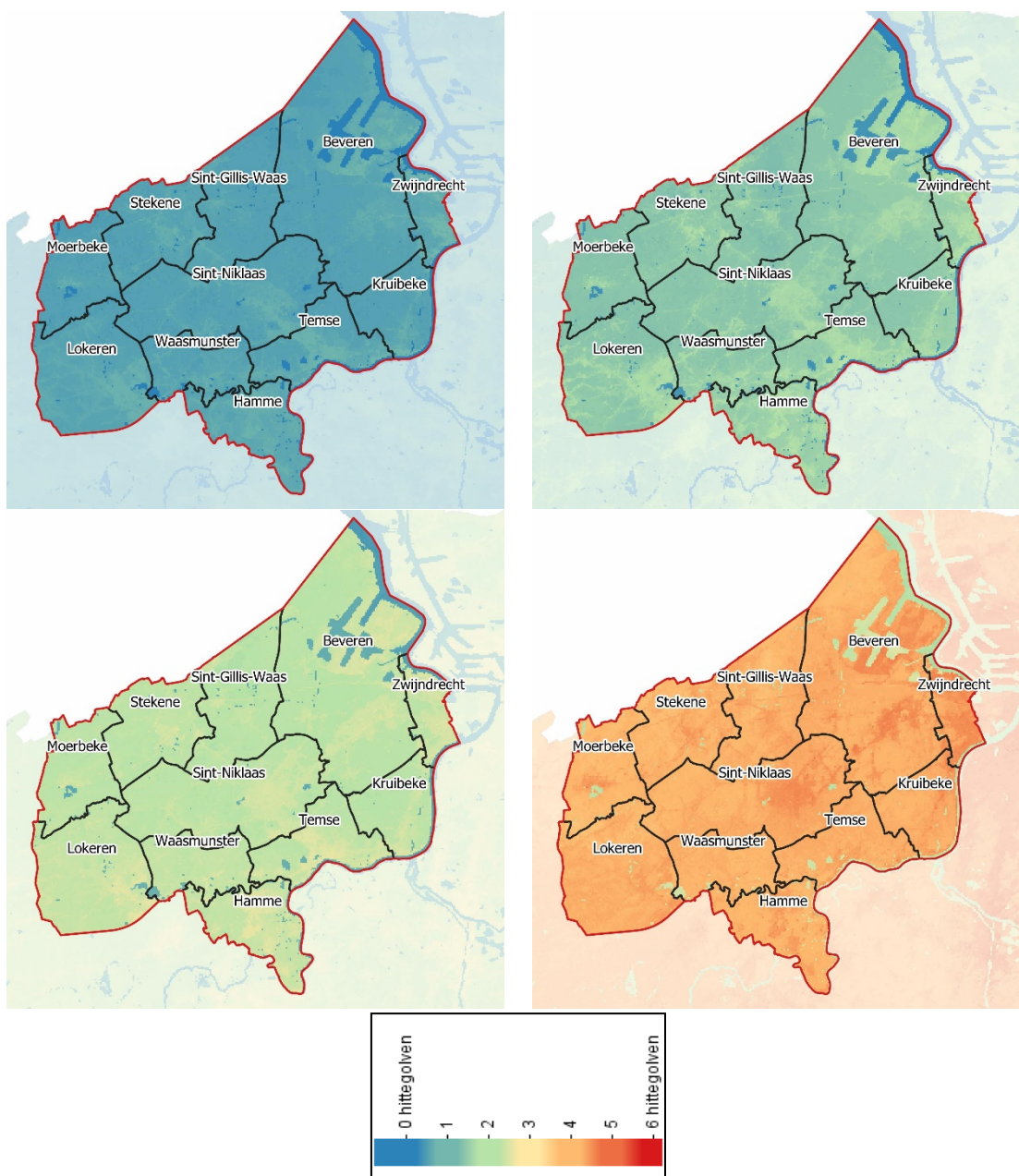
Onderstaande grafiek (Figuur 22) geeft de gemiddelde maandtemperatuur weer voor het Waasland in het huidig klimaat en het hoog-impactscenario 2100. De gemiddelde stijging in maandtemperatuur bedraagt 6,1°C. Er is echter een verschil in stijging tussen de winter- en zomermaanden. Zo zien we in de wintermaanden een stijging van ongeveer 5-6°C en in de zomermaanden loopt de gemiddelde maandtemperatuur op tot 26,2 – 26,7°C, wat een stijging is van de gemiddelde maantemperatuur van 8,5 – 9°C tegen 2100.



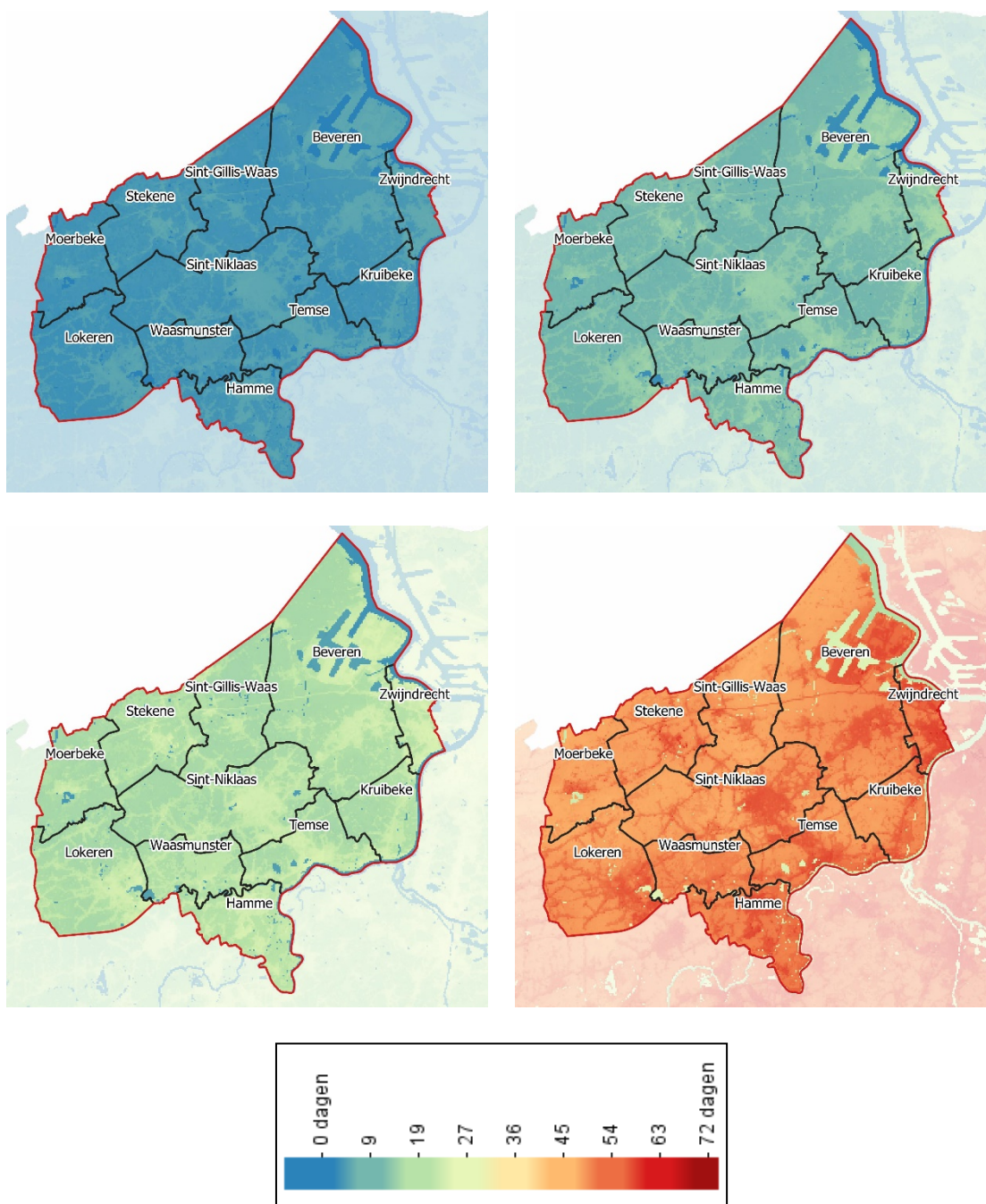
Figuur 22: Gemiddelde maandtemperatuur in het Waasland voor het huidig klimaat en het hoog impact scenario 2100.

Hogere temperaturen zullen zich vaker vertalen naar hittegolven. Figuur 23 toont het overzicht van het gemiddeld aantal hittegolven en hittegolfdagen voor het huidige klimaat en toekomstig klimaat in 2030, 2050, en 2100. De verschillen tussen de stedelijke gebieden zijn merkbaar. In de verstedelijkte gebieden zullen hittegolfdagen vaker voorkomen omwille van het stedelijk hitte-eilandeffect dat ervoor zorgt dat steden 's nachts minder afkoelen waardoor temperaturen vaker zullen stijgen boven de drempelwaarden.

Daarnaast is een toename van het aantal hittegolven en hittegolfdagen voor de hele regio zichtbaar. Waar er in het huidige klimaat gemiddeld 0,5 tot 1 hittegolf en gemiddeld 4 hittegolfdagen per jaar worden gesimuleerd voor de regio van het Waasland, stijgt dit tot gemiddeld 1-1,5 hittegolven en 11 hittegolfdagen voor het 2030 scenario. Voor 2050 stijgt dit gemiddelde verder tot 2 hittegolven en 18 hittegolfdagen per jaar. **In het 2100 hoog-zomerscenario stijgt dit gemiddelde zelfs tot 4-4,5 hittegolven en 50 hittegolfdagen per jaar voor het Waasland.**



Figuur 23: Gemiddeld aantal hittegolven per jaar, voor het huidige klimaat (linksboven), het 2030 scenario (rechtsboven), het 2050 scenario (linksonder), en het 2100 scenario (rechtsonder).

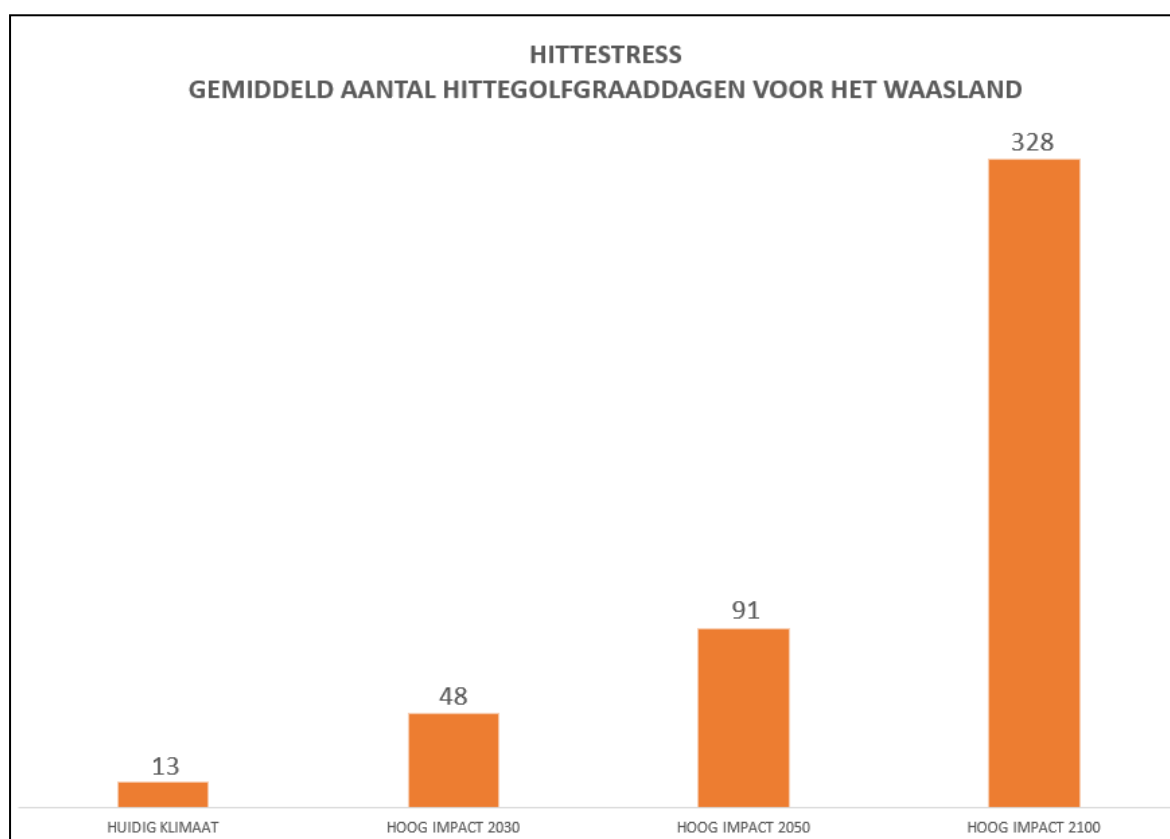


Figuur 24: Hittekaarten voor huidig en toekomstig klimaat. Gemiddeld aantal hittegolfdagen per jaar, voor het huidige klimaat (linksboven), het 2030 scenario (rechtsboven), het 2050 scenario (linksonder), en het 2100 scenario (rechtsonder).

Het Vlaams Klimaatportaal gebruikt hittegolfgraaddagen als indicator voor hittestress (zie Kaart 14). Hiermee wordt de som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximum- en minimumtemperaturen boven de drempelwaarden van

respectievelijk 29,6 °C en 18,2 °C, voor de hittegolfdagen (volgens de definitie van de Federale Overheidsdienst Volksgezondheid) in de periode 1 april tot 30 september in een jaar weergegeven en is dit een indicator voor de luchttemperatuur. Naast de luchttemperatuur spelen ook windsnelheid, luchtvochtigheid, globale en thermische straling (globale straling is de som van de directe zonnestraling rechtstreeks van de zon en diffuse zonnestraling, afkomstig uit andere richtingen doordat zonlicht wordt weerkaatst), maar hier wordt in de huidige indicator geen rekening mee gehouden.

Voor het Waasland zien we dat er gemiddeld 13 hittegolfgraaddagen voorkomen in het huidig klimaat en dat dit in de toekomstige scenario's zal stijgen tot 48, 91, en zelfs 328 hittegolfgraaddagen voor respectievelijk het 2030-, 2050-, en 2100-klimaatsscenario (Figuur 25).



Figuur 25: Gemiddeld aantal hittegolfgraaddagen voor huidig en toekomstige klimaatscenario's.

Droogte

INLEIDING

Als gevolg van aanhoudende neerslagtekorten en verdamping van vocht in de bodem en uit vegetatie (evapotranspiratie) kan droogte optreden. Droogte wordt hierbij dan gedefinieerd als structurele tekorten aan waterbeschikbaarheid, zowel in het oppervlaktewater als in het grondwater. In Vlaanderen en dus ook in het Waasland traden in het recenter en verder verleden reeds extreme periodes van droogte en bijhorende waterschaarste op, met name in 1976, 2011 2017 en 2018. Droogte en waterbeschikbaarheid zijn voor Vlaanderen zeer belangrijke thema's. Immers, Vlaanderen is ondanks zijn ligging aan de monding van verschillende riviersystemen één van de regio's met de laagste waterbeschikbaarheid per inwoner in heel Europa (Vlaamse Overheid, 2008). De hoofdoorzaken hiervan betreffen:

- Hoge bevolkingsdichtheid
- Het beperkte aandeel beschikbaar oppervlaktewater afkomstig van lokale neerslag: het merendeel stroomt af uit buurregio's
- Grote grondwateronttrekkingen en beperkte beschikbaarheid van dit grondwater
- Hoge verstedelijkingsgraad en (toenemende) verhardingsgraad; deze versnelt afstromen van hemelwater en vermindert mogelijkheden van infiltratie en het aanvullen van waterreserves

Ook voor het Waasland schetst de beschikbare kennis rond de effecten van klimaatverandering op droogteproblematiek geen rooskleurig beeld.

METHODOLOGIE

Momenteel ontbreekt een gebiedsdekkende ruimtelijke effectkaart voor droogte voor het Waasland. Het Vlaams Klimaatportaal (VMM) werkt aan een kaart die op basis van hydrologische modellering en de neerslagtekorten uit de klimaatmodellen de droogtegevoeligheid van Vlaanderen in kaart moet brengen. Voor dit rapport worden de effecten van droogte in kaart gebracht op basis van:

- De droogtegevoeligheidskaart uit het Vlaams Klimaatportaal: deze kaart maakt op basis van de bodemtyperingskaart van Vlaanderen een opdeling in vier droogtegevoeligheidsklassen. Deze worden onderscheiden op basis van het infiltrerend vermogen van het bodemtype en zijn vochtgehalte, en is vooral een indicator voor de potentiële impact van droogte op landbouw en natuur in deze verschillende zones;

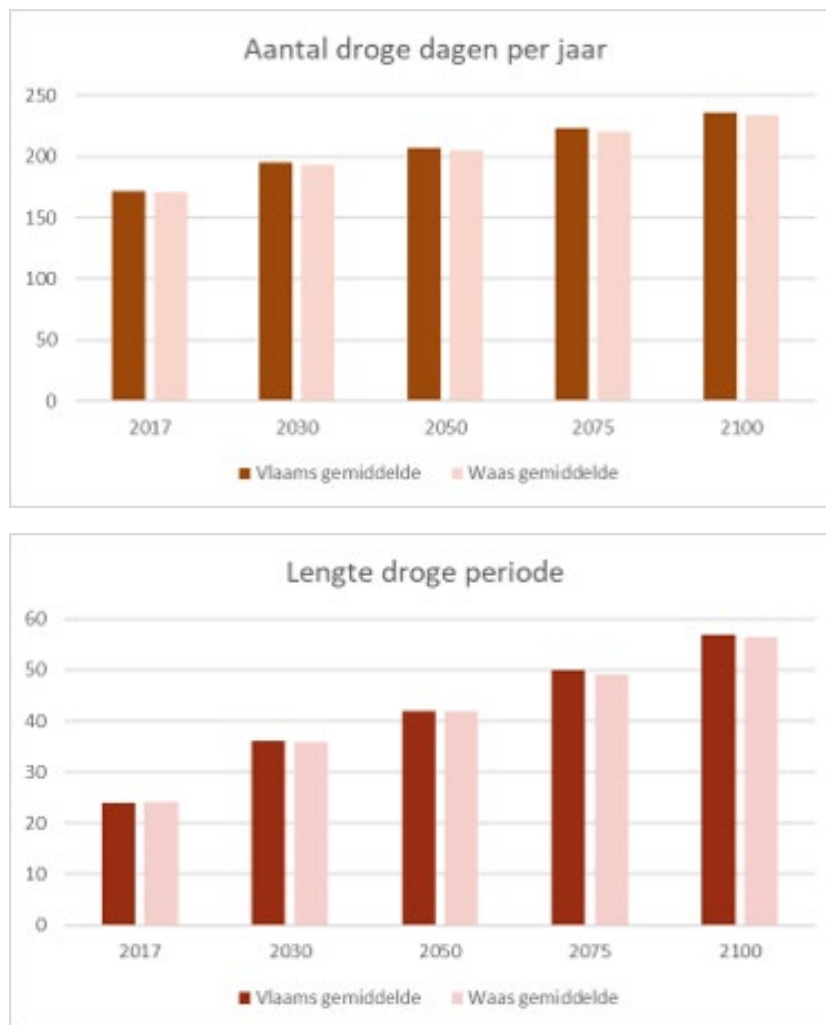
- Aantal droge dagen per jaar, zijnde het aantal dagen per jaar met nauwelijks of geen neerslag (minder dan 0.1 mm/dag) van vandaag tot in 2100, volgens het hoge impact scenario;
- De lengte van een droge periode, op basis van het Vlaams Klimaatportaal is dit de langste periode van opeenvolgende dagen met neerslag < 0,5 mm, voor een terugkeerperiode van 20 jaar.

Verder worden ook gegevens gebruikt uit de analyse van droge jaren 2017 en 2018 van de Coördinatiecommissie Integraal waterbeheer.

EFFECTEN

Toename in duur, ernst en frequentie van extreme droogte

Zoals beschreven in het eerste hoofdstuk resulteert klimaatwijziging in Vlaanderen in een wijziging van het neerslagpatroon. In de zomer zal het minder regenen, terwijl winters iets natter worden. Meer nog, er wordt een sterke stijging verwacht van het aantal dagen zonder neerslag. De neerslag die valt, zal dit dus gedurende kortere periodes doen, waardoor neerslagvolumes tot 52 % kunnen afnemen tegen 2100, en het aantal droge dagen kan stijgen van 173 nu tot 236 droge dagen in 2100. Dit steeds bij het hoog-impactscenario, zoals gemodelleerd door de VMM. Deze prognoses van klimaateffecten rond droogte verschillen voor het Waasland weinig tot niet met het Vlaams gemiddelde op basis van de klimaatscenario's uitgewerkt voor Vlaanderen (zie Figuur 26).



Figuur 26: Toename van aantal droge dagen per jaar (boven) en de lengte van droge periodes (onder) gemiddeld voor Vlaanderen en specifiek voor het Waasland. Dit op basis van het Hoog impact klimaatscenario (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2020).

Meer nog dan een toename in aantal droge dagen en de lengte van droge periodes verhoogt ook de frequentie of kans op voorkomen van extreme droogte door lange periodes zonder regenval. In een studie van 2018 onderzocht de VMM hiertoe de impact van klimaatverandering op de frequentie, duur en intensiteit van meteorologische droogte tegen 2030, 2050 en 2100. Hierbij werden meteorologische data van een referentieperiode (1901 tot 2000) vergeleken met de klimaatprojectie gemaakt in de klimaatmodellen gebruikt voor het MIRA2015 klimaatrapport, beschreven eerder in dit rapport. Op basis van de huidige beschikbare gegevens en kennis zal de reële situatie met hoge waarschijnlijkheid ergens liggen tussen de huidige klimaatcondities en de hoge-impactvariant van de klimaatscenario's.

Uit de analyse van de Vlaamse Milieumaatschappij blijkt dat de kans en frequentie dat dergelijke extremen zich voordoen onder het hoog-impactscenario gevoelig zullen toenemen. Waar extreme droogte in het huidige klimaat ca. 1-2 procent van de tijd voorkomt tijdens de zomer, kan dit tegen 2100 oplopen tot ca. 20 procent van de tijd volgens het hoog-impactscenario. Dit duidt erop dat periodes met extreme droogte niet alleen langer en droger worden, maar ook vaker zullen voorkomen. Om dit te illustreren wordt het jaar 1976 in de studie als referentiejaar gebruikt voor een zomer met extreme droogte. Dit jaar was het meest droge in de voorbije 100 jaar in Vlaanderen, en doet zich onder huidige klimatologische omstandigheden hoogstens tweemaal elke 100 jaar voor. Voor de toekomstscenario's tot 2100 toont de analyse van VMM aan dat een vergelijkbare periode van extreme droogte tot tweemaal vaker kan voorkomen in een scenario met gemiddelde klimaatimpact, en tot 15 maal vaker in het hoog-impactscenario: één keer elke 4 à 5 jaar dus.

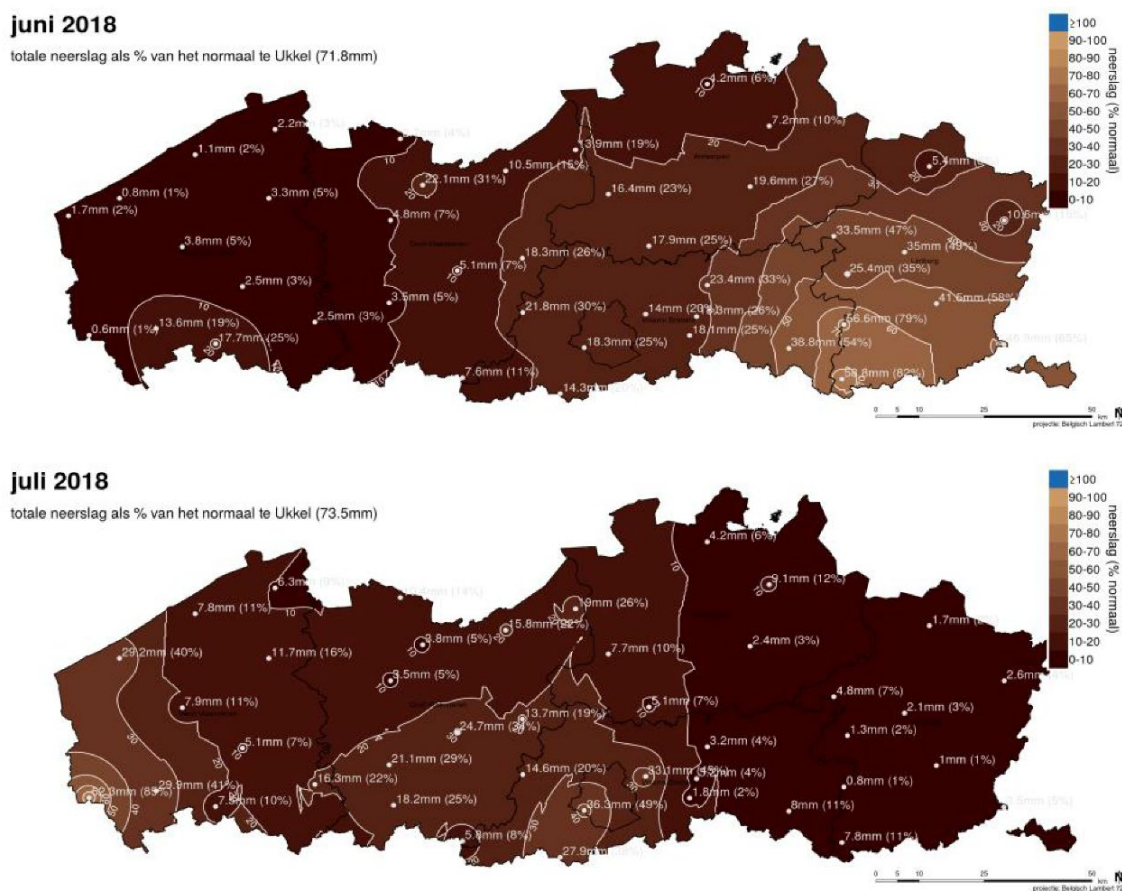
Toegenomen neerslag in de winterperiode zou deze neerslagtekorten in de zomer deels kunnen compenseren. Wanneer echter ook de invloed van toegenomen evapotranspiratie (verdamping) door de temperatuurstijging mee in rekening wordt genomen, verslechteren de prognoses doordat de temperatuur gedurende het hele jaar toeneemt, stijgt ook het aandeel van de neerslag dat verdampt en niet door het grondwatersysteem wordt opgenomen. Neerslagoverschotten in de winter zullen op langere termijn dus in meer beperkte mate langdurige droge periodes in het zomerhalfjaar compenseren.

In het meer recente verleden is de impact van extreme droogte opnieuw geïllustreerd. Zowel het jaar 2017 als het jaar 2018 waren historisch droog met neerslagtekorten over heel Vlaanderen, vooral in de periode mei-november (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, 2017) (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, 2018). Vanaf de winter van 2016 tot de winter van 2019 wordt in onderstaande tabel een overzicht gegeven van het aantal maanden met neerslagtekorten ten opzichte van normale omstandigheden. Vooral het zeer droge voorjaar van 2017 (na reeds een droge winter) en het uitzonderlijk droge voorjaar van 2018 vallen daarbij op.

Maand 2016-2017	Neerslagtotaal (mm)	Karakterisering	Maand 2017-2018	Neerslagtotaal (mm)	Karakterisering	Normaal (mm) (karakterisering)
September 2016	18.3	Zeer abnormaal weinig	September 2017	77.5	Normaal	68.9
Oktober 2016	50.7	Normaal	Oktober 2017	43.1	Abnormaal weinig	74.5
November 2016	93.2	Normaal	November 2017	105.9	Abnormaal veel	76.4
December 2016	22.7	Uitzonderlijk weinig	December 2017	130.1	Zeer abnormaal veel	81.0
Januari 2017	63.7	Normaal	Januari 2018	80.8	Normaal	76.1
Februari 2017	40.9	Normaal	Februari 2018	21.7	Abnormaal weinig	63.1
Maart 2017	47.7	Normaal	Maart 2018	70.5	Normaal	70.0
April 2017	15.2	Zeer abnormaal weinig	April 2018	66.3	Normaal	51.3
Mei 2017	45.1	Normaal	Mei 2018	13.9	Uitzonderlijk weinig	66.5
Juni 2017	50.8	Normaal	Juni 2018	15.8	Uitzonderlijk weinig	71.8
Juli 2017	58.3	Normaal	Juli 2018	49.7	Normaal	73.5
Augustus 2017	70.8	Normaal	Augustus 2018	69.2	Normaal	79.3
September 2017	77.5	Normaal	September 2018	65.3	Normaal	68.9
Oktober 2017	43.1	Abnormaal weinig	Oktober 2018	48.3	Normaal	74.5
November 2017	105.9	Abnormaal veel	November 2018	54.9	Normaal	76.4
December 2017	130.1	Zeer abnormaal veel	December 2018	93.2	Normaal	81.0
Januari 2018	80.8	Normaal	Januari 2019	71.5	Normaal	76.1
Februari 2018	21.7	Abnormaal weinig	Februari 2019	69.1	Normaal	63.1

Figuur 27: Neerslagtotaal voor Vlaanderen te Ukkel, voor periode 2016-2019. In de tweede kolom wordt per maand het neerslagtotaal vergeleken met het voorgaande jaar (linkerkolom) en normale omstandigheden (rechter blauwe kolom) (KMI).

Specifiek voor het Waasland viel in de zomer van 2018 slechts 7-22% van de neerslag die onder normale omstandigheden wordt verwacht (Figuur 28).



Figuur 28: Neerslagtotalen voor de maanden juni en juli 2018 met percentages ten opzichte van het normaal te Ukkel (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2020).

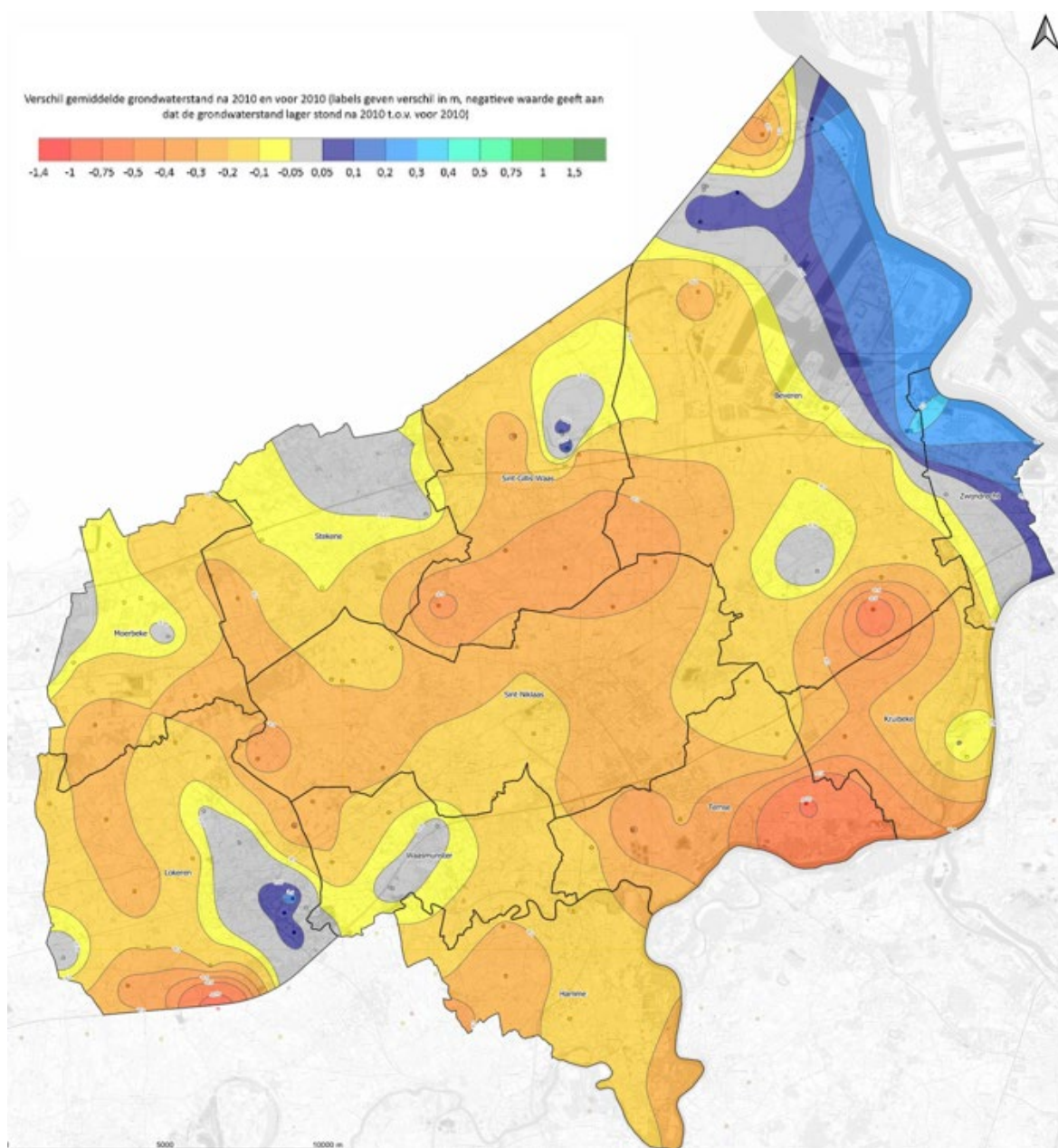
Droogtegevoeligheid

Hoe kwetsbaar de regio Waasland is voor deze verwachte toename van de duur, ernst en frequentie van droogte is in doorslaggevende mate afhankelijk van de erg diverse bodemsamenstelling en complexe waterhuishouding van de regio. Deze gevoeligheid wordt bepaald door de topografie en de bodemsamenstelling. Klei- en leembodems houden water immers beter vast, en zeker laaggelegen gebieden langs rivieren en valleisystemen zijn van nature vochtig. In zandgrond infiltreert het water dan weer erg snel in de ondergrond, hoger gelegen zandgronden met een dieper gelegen grondwatertafel zijn dus extra gevoelig voor periodes van droogte, aangezien de waterbeschikbaarheid voor vegetatie en in oppervlaktewater zeer snel afneemt wanneer er geen regenval is. **Het Waasland**

bestaat voor 50% uit bodems die kwetsbaar tot erg kwetsbaar zijn voor droogte (zie de droogtegevoeligheidskaart, Kaart 17). Zoals te verwachten valt, zijn dit vooral de centrale zandgronden en de dekzandrug Maldegem-Stekene in het noorden. De polders van Beveren en Sint-Gillis-Waas, De Moervaartdepressie en de riviervalleien van de Schelde en Durme zijn minder gevoelig voor verdroging, alsook de zandleemgronden op de cuesta van het Waasland. **Van belang te vermelden is verder dat maar liefst 16% van de regio op vandaag bestaat uit verhard verstedelijkt gebied, waarbij water afstroomt van verhardingen naar het rioleringsstelsel** en dus doorgaans meteen wordt afgevoerd naar het waterlopensysteem zonder in de ondergrond te kunnen infiltreren.

Grondwaterbeschikbaarheid

De effecten van de droogte van de voorbije jaren en de invloed van verharding op de waterbeschikbaarheid zijn op vandaag al merkbaar op de grondwaterstand van het Waasland: deze is in duidelijk dalende lijn (Figuur 29). Voor dit rapport worden de grondwaterpeilen uit de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) vergeleken voor de periode 2007-2012 tot en met 2019 (zie Kaart 12).



Figuur 29: vergelijking van de grondwaterstand in het Waasland voor de periode voor 2010 en 2010. Gebaseerd op grondwaterpeilen uit de Databank ondergrond Vlaanderen voor meetpunten met meetreeksen vanaf minstens 2007 tot en minstens 2012.

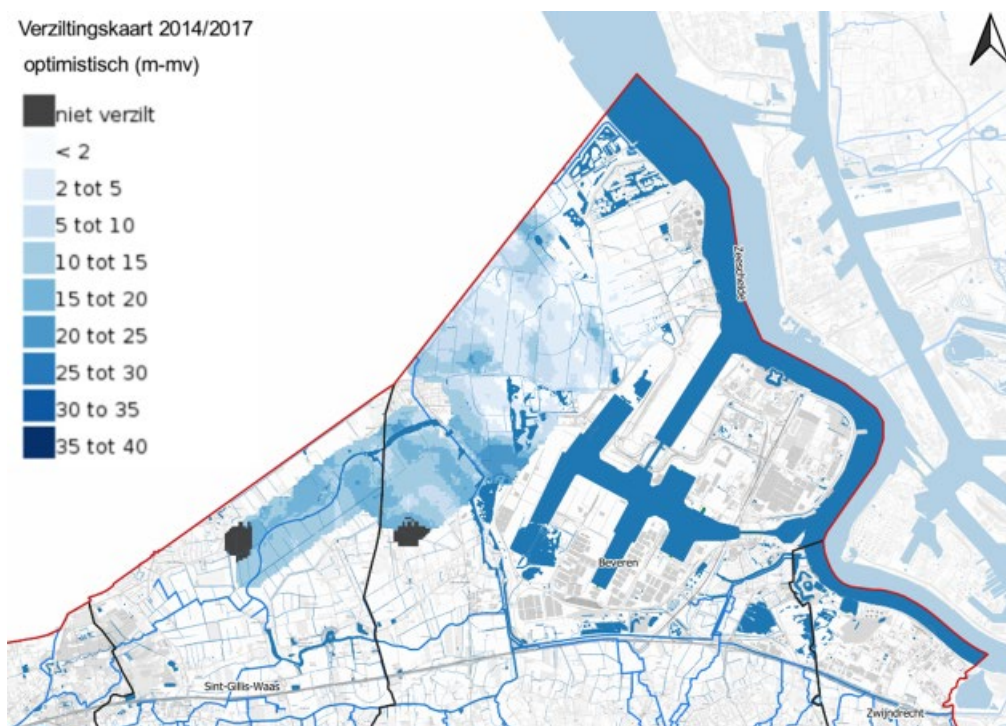
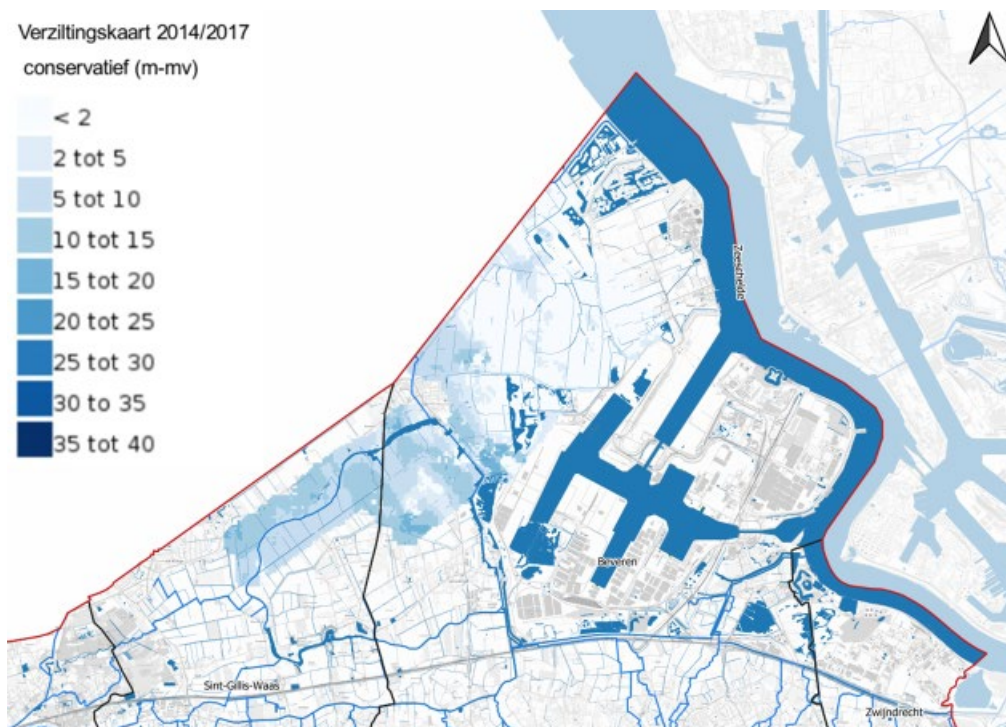
Hieruit blijkt een daling van de gemiddelde grondwaterstand tussen de periode voor en na 2010 in vrijwel heel de regio. Deze daling varieert van 10 cm tot meer dan 75 cm en situeert zich hoofdzakelijk langsheen de zandgronden die centraal doorheen de regio lopen, maar ook op de cuesta in het zuidoosten van het gebied (regio Temse en Beveren-Kruibeke) wijzen de peilgegevens op een aanzienlijke daling van de grondwaterstand. Dit

grondwater is zo in mindere mate beschikbaar voor zowel landbouw als natuurlijke vegetatie. De impact van deze daling aan waterbeschikbaarheid wordt verderop in deze analyse besproken.

Verziltting

In de polders van Beveren op de linker Scheldeoever lijkt op basis van een analyse van peilgegevens de daling van het grondwaterpeil beperkt. Er zijn zelfs stijgingen meetbaar, in het bijzonder ter hoogte van de havengebieden en de omgeving van Doel. Van belang hier is echter te duiden op de beperkte beschikbaarheid van zoet water in de bovenste grondwaterlagen. Door de aanwezigheid van de Schelde en de getijdennatuur erlangs en de ligging van de dokken op de linker Scheldeoever (deze liggen boven grondwaterpeil, waardoor lekverliezen van zout Scheldewater naar het omliggend grondwatersysteem ontstaan) treedt er op zowel natuurlijke als minder natuurlijke wijze verziltting op: het voorkomen van zout of brak water in de grondwatertafel. De verziltingskaart opgemaakt door het Interreg project Topsoil (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019) toont het voorkomen van zilt grondwater tot op minder dan 2 m onder maaiveld⁴ (zie Figuur 30). Deze metingen zijn consistent met de voorheen gebruikte historische kaarten uit 1960-1970. In deze zilte grondwaterlagen komen zoetwaterbellen voor: reservoirs van zoet grondwater. Deze worden in hoofdzaak gevoed door infiltrerend regenwater, en zijn een belangrijke zoetwaterbron voor de plaatselijke landbouw. **Bij langdurige periodes van droogte dreigt de beschikbaarheid van zoet water in deze regio dus sterk in het gedrang te komen.**

⁴ Maaiveld: (de hoogte van) het plaatselijk grondoppervlak. De hoogte van het maaiveld wordt meestal uitgedrukt in meter ten opzichte van het zeeniveau.



Figuur 30: Verziltingskaarten 2017 met ligging zilte lagen ten opzichte van maaiveld. boven: worst case (conservatieve) resultaten, onder optimistischer resultaten (Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2020).

Wateroverlast

In Vlaanderen veranderen de neerslagpatronen. Sinds het begin van de metingen in 1833 is er een langzame maar significante toename van de jaarlijkse gemiddelde hoeveelheid neerslag, veroorzaakt door nattere winters met meer natte dagen. In de zomer neemt de neerslag niet toe, maar zijn er wel steeds meer en intensere zomeronweders. Zomeronweders met zware neerslag (minstens 20 mm/dag) zijn bijna verdubbeld t.o.v. de jaren '50. Bij zo'n onweer valt er steeds meer neerslag. De gewijzigde neerslag heeft een invloed op het watersysteem, naast de toename van verharding en waterbeheersingsprojecten op de waterlopen. De piekdebieten zijn de voorbije decennia toegenomen en ook de kans op overstromingen is gestegen. In sommige gebieden richten die nu al vaker dan één keer in de tien jaar schade aan.

De gemeenten in het Waasland zijn gelegen in de rivierbekkens van de Gentse kanalen en Beneden-Scheldebekken. Beide bekkens worden gekenmerkt door een complexe interactie van bevaarbare en onbevaarbare afvoerwegen, in combinatie met een groot aantal hydraulische constructies. Daarnaast zijn er verschillende poldergebieden te vinden waar kleine waterlopen zorgen voor de afwatering van deze laaggelegen, moeilijk te ontwateren gebieden waar, door menselijk ingrijpen, het watersysteem snel verandert.

Er wordt bij het bekijken van de klimaateffecten onderscheid gemaakt tussen overstromingen van uit rivieren (fluviale overstromingen) en ten gevolge van afstroming van intense neerslag (pluviale overstromingen).

PLUVIALE OVERSTROMINGEN

Pluviale overstromingen zijn overstromingen die rechtstreeks veroorzaakt worden door overvloedige neerslag, zoals overstroming vanuit de riolering of door stagnatie van afstromend regenwater. Pluviale overstromingen treden vooral op door kort intense piekbuien. Piekbuien, die zich voornamelijk in de zomerperiodes voordoen, zullen in de toekomst intenser worden. Naast de piekintensiteit zal het totaal volume van de buien toenemen. Hierdoor zullen ook pluviale overstromingen vaker voorkomen en in omvang toenemen wanneer het huidige landgebruik, de bodembedekking en het afwateringsstelsel ongewijzigd blijft.

Rioleringsoverstromingen

Het grootste aandeel van piekbuien stroomt rechtstreeks af naar het afwateringsstelsel. Wanneer de afstroomdebieten te groot zijn voor de capaciteit van het systeem, dat in stedelijk gebied vaak nog uit een gemengd rioleringsstelsel bestaat, zal het stelsel het water niet voldoende snel kunnen

afvoeren en kan dit resulteren in wateroverlast. Enerzijds zal water op lagergelegen zones stagneren wanneer het niet meer via het stelsel afgevoerd kan worden. Daarnaast kan water het overbelast stelsel terug uitstromen wanneer deze sterk onder druk komt te staan.

Methodologie

Voor de dimensionering van afvoerstelsels gelden op heden specifieke ontwerpregels, gerelateerd aan de voorkomingskans van overstromingen. Zo dienen stelsels robuust te zijn voor een composietbui met een terugkeerperiode van 20 jaar. In het verleden bedroeg dit slechts 5 jaar, waardoor oudere aangelegde stelsels op heden niet aan de huidige ontwerprichtlijnen voldoen. Aangezien de frequentie van deze piekbuien zal toenemen, zullen oudere en nieuwere afvoerstelsels in de toekomst niet meer dezelfde veiligheid bieden als vandaag.

Om na te gaan in welke mate rioleringsoverstromingen zullen toenemen, wordt gebruik gemaakt van de beschikbare rioleringsmodellen van de Wase gemeenten (Rioolmodellen aangeleverd door Aquafin). Deze modellen werden doorgerekend in de huidige toestand van het rioleringsstelsel en dit voor een composietbui met een terugkeerperiode van 20 jaar, dit wil zeggen voor een bui die eens in de 20 jaar voorkomt. Het model geeft weer waar er bij dergelijke bui water op straat voorkomt. Door zowel de modellen voor het huidige klimaat weer te geven als die voor toekomstige klimaatscenario's laat dit ons toe een inschatting te maken van de toename in overstromingsfrequentie, en de kritieke locaties binnen het stelsel weer te geven (geperturbeerde buien voor het hoogzomerscenario 2050 en 2100, zie eerder) (Ntegeka & Willems, CCI-HYDR Perturbation Tool: a climate change tool for generating perturbed timeseries for the Belgian climate, Manual version January 2009, KU Leuven, 2009) (Willems, Actualisatie van de extreme-waarden-statistiek van stormvloeden aan de kust, 2014) (Willems, De impact van de klimaatwijziging op de waterhuishouding in het Scheldebekken: Wat staat ons te wachten? Lezing Symposium 'De Schelde in 2050', 2014) (Ntegeka, Willems, Roulin, & Baguis, 2014).

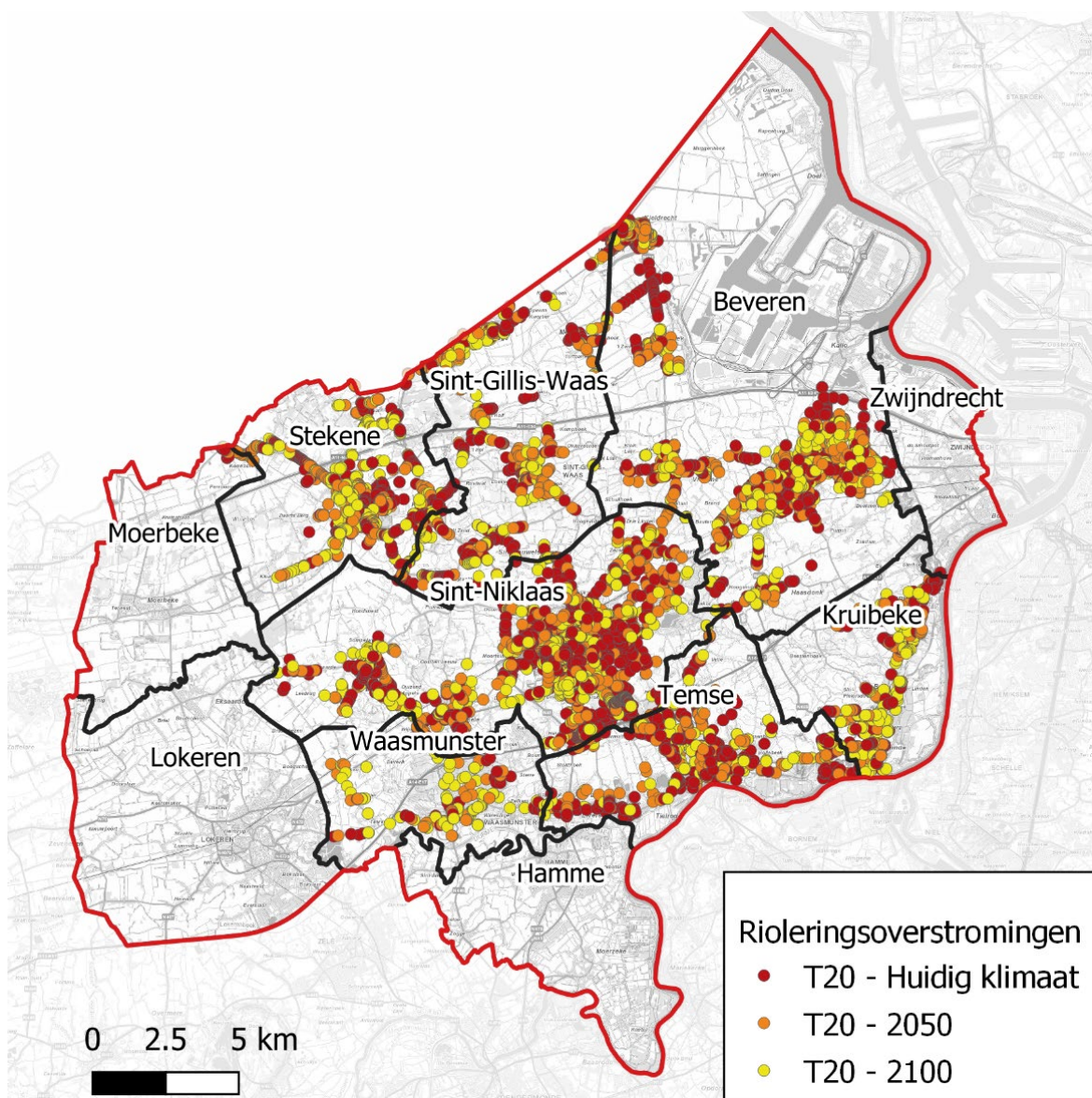
Van volgende zuiveringsgebieden werden de huidige rioleringsmodellen aangeleverd in kader van deze studie: Beveren, Burcht, De Klinge, Kieldrecht, Kruibeke, Sinaai, Sint-Niklaas, Stekene, Temse en Waasmunster. Een aantal modellen werden (nog) niet aangeleverd waardoor de huidige analyse niet gebiedsdekkend is voor heel het Waasland. Toch kan verwacht worden dat de resultaten voor het volledige projectgebied reeds een goede inschatting geven van de te verwachten effecten en dat de conclusies geëxtrapoleerd kunnen worden voor het gehele projectgebied.

Klimaatteffect

Tabel 1 geeft een indicatie van de toename van overstromingen vanuit het stelsel, zowel in aantal knopen als overstromingsvolume. Deze cijfers mogen niet als absoluut geïnterpreteerd worden maar geven louter een indicatie van grootteorde en relatieve toename. **Zo kan worden verwacht dat het totaal overstromingsvolume vanuit de riolering zal toenemen met 132% tegen 2050 en met 304 % tegen 2100. Het aantal knopen van waaruit overstroming kan plaatsvinden neemt toe met respectievelijk 80% en 151% in 2050 en 2100.** Daarnaast geeft Figuur 31 de locaties weer waar rioleringsoverstromingen te verwachten zijn. Deze figuur toont louter de locaties waar water het stelsel kan verlaten, maar dit toont nog niet noodzakelijk aan waar ook daadwerkelijk water zal stagneren en overlast kan veroorzaken. Hiervoor dient bijkomend het plaatselijke reliëf en landgebruik geëvalueerd te worden of 2D modellen opgemaakt te worden. Een beeld van de 'kwetsbare' locaties wordt wel gegeven in de pluviale overstromingskaarten, waar afstroming over het maaiveld werd gemodelleerd. Er kan verwacht worden dat ook water dat het rioleringsstelsel verlaat dezelfde afstroompaden volgt en op dezelfde locaties zal stagneren.

Tabel 1: Toename rioleringsoverstromingen.

	Aantal knopen	Totaal overstromingsvolume (m ³)
T20-H	3478	153350
T20-2050	6277 (toename van 80%)	355519 (toename van 132%)
T20-2100	8713 (toename van 151%)	6192159 (toename van 304%)



Figuur 31: Rioleringsoverstromingen bij een T20 bui in het huidige klimaat, 2050 en 2100 (Rioolmodellen aangeleverd door Aquafin).

Naast een toename in omvang van de rioleringsoverstromingen, zal ook de frequentie van overstromingen toenemen. Dit wordt aangetoond voor het projectgebied in Figuur 29. Daarnaast toont ook een studie aan dat een kleine overstroming (met een frequentie van 2 maal per jaar in het huidige klimaat), tegen 2050 reeds om de 8 maanden en in 2100 om de 7 maanden kan voorkomen. Een extreme overstroming (huidige frequentie van 1 maal per 100 jaar) kan tegen 2050 om de 5,5 jaar en 2100 om de 3,5 jaar voorkomen (Sumaqua, 2018).

Pluviale overstromingskaarten

Methodologie

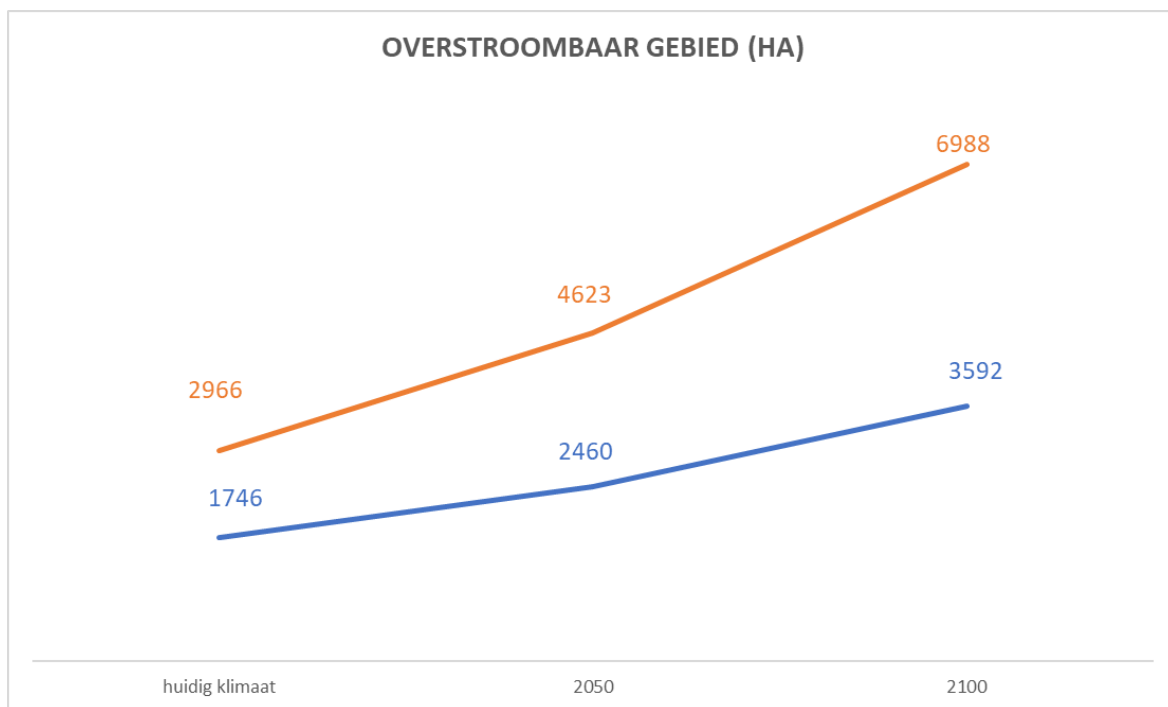
In opdracht van de VMM werden pluviale overstromingskaarten voor Vlaanderen opgemaakt (VMM, 2019). Deze tonen de afstroming van regenwater over het maaiveld na intense neerslagbuien en identificeren stroompaden en locaties waar water accumuleert. Deze pluviale overstromingskaarten werden gemodelleerd gebruik makend van composietbuien met verschillende terugkeerperiodes en voor zowel het huidige als het toekomstige klimaat. Voor het toekomstige klimaat wordt het hoogzomerscenario verondersteld, waarbij zomerse piekbuien, die aanleiding geven tot pluviale overstromingen, intenser worden.

In deze gebiedsdekkende kaarten wordt het rioleringsstelsel vereenvoudigd in rekening gebracht, waardoor deze kaarten een meer integraal beeld geven van de te verwachten overstromingslocaties door pluviale overstromingen.

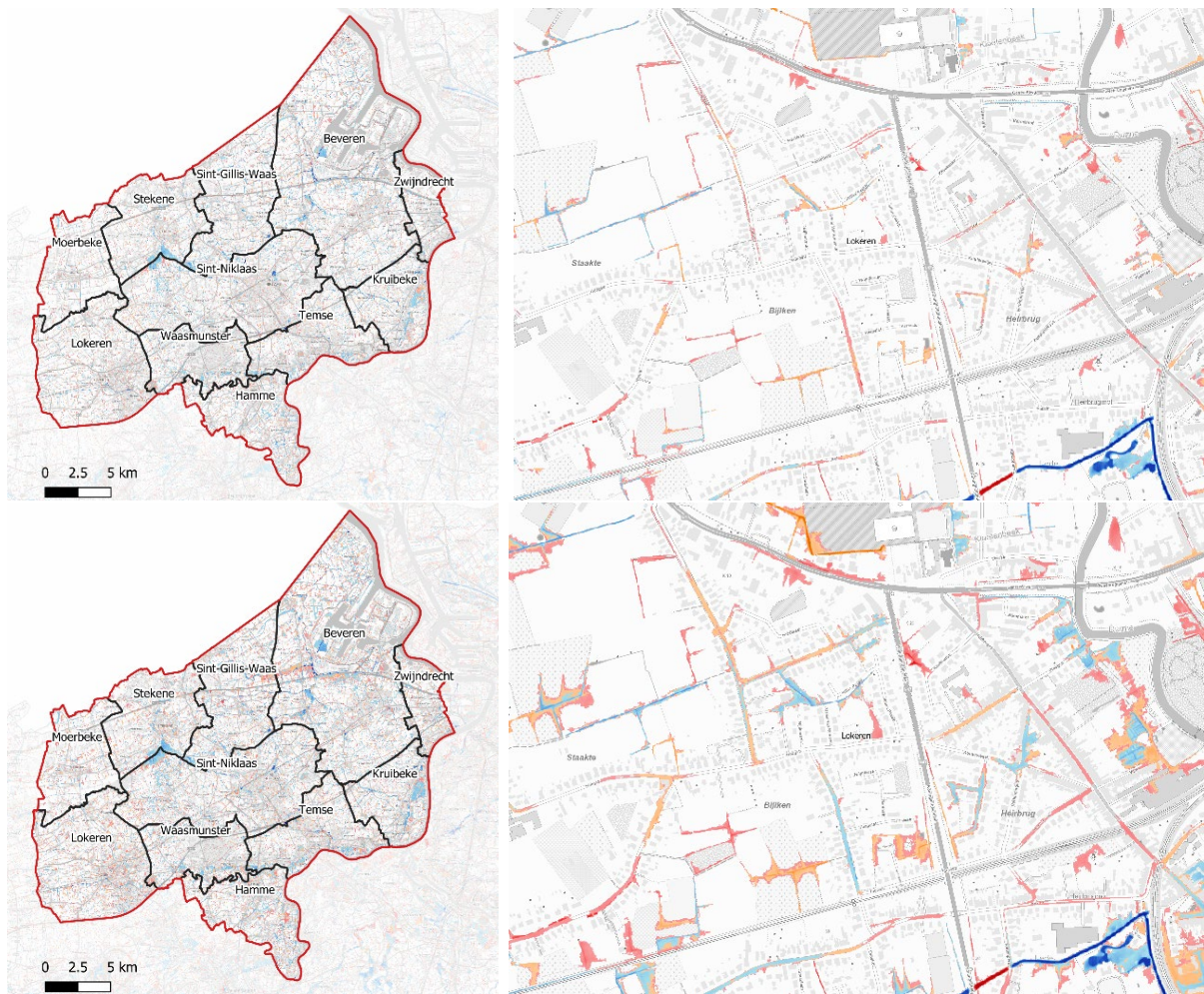
Aan de hand van de beschikbare kaarten voor buien met een terugkeerperiode van 10 en 100 jaar, wordt de totaal overstroombare oppervlakte in het huidige en toekomstige klimaat berekend.

Klimaatteffect

Figuur 32 en Figuur 33 geven de toename in overstroombaar gebied door pluviale overstromingen weer. In het huidige klimaat bedraagt het overstroombaar gebied bij een 10-jaarlijkse en 100-jaarlijkse bui respectievelijk 1746 ha en 2966 ha. **Tegen 2050 zal het overstroombaar gebied toenemen met 41% bij een 10-jaarlijkse en 56% bij een 100-jaarlijkse bui. Tegen 2100 bedraagt deze toename reeds respectievelijk 106% en 136%.**



Figuur 32: Toename overstroombaar gebied door pluviale overstroming.



Figuur 33: Pluviale overstromingen in het Waasland (links) en een detailgebied in Lokeren (rechts) voor een T10 (boven) en T100-bui (onder). Blauw; huidig overstroombaar gebied, oranje: Toename overstroombaar gebied in 2050; Rood: Toename overstroombaar gebied in 2100 (VMM, 2019).

FLUVIAAL

Inleiding

Met fluviale wateroverlast wordt wateroverlast bedoeld die vanuit beken en rivieren ontstaat. Bij hevige neerslag ontvangen deze veel water en kunnen deze buiten hun oevers treden. Deze fluviale wateroverlast is in het Waasland in het bijzonder relevant langs de Schelde en de Dender.

Methodologie

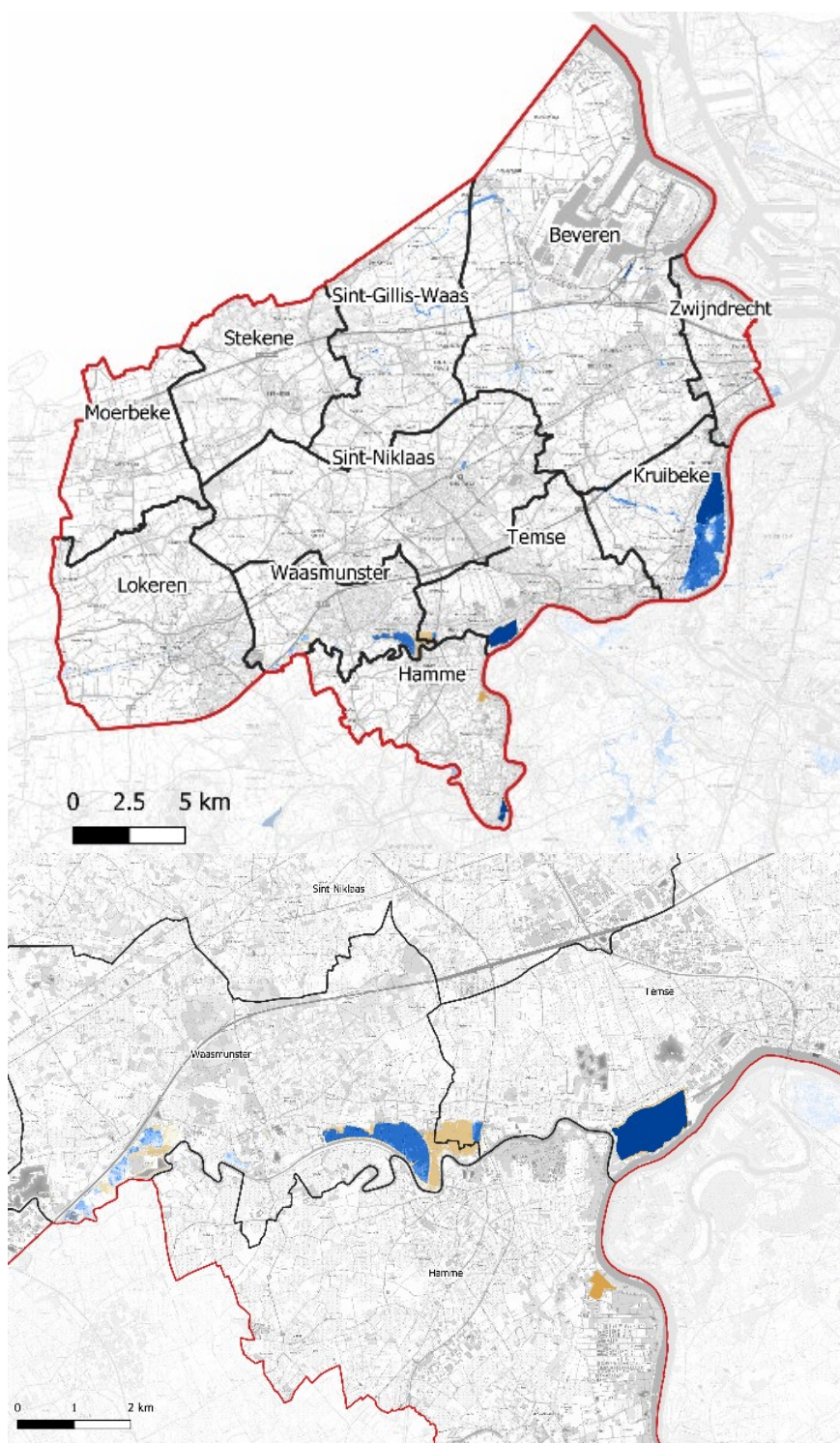
De toename van de fluviale overstromingen werd via de overstromingsgevaarkaarten reeds deels in kaart gebracht (Vlaamse Overheid, 2019). Deze kaarten werden opgemaakt door/in opdracht van de VMM, De Vlaamse Waterweg, Maritieme Dienstverlening en Kust in samenwerking met lokale waterbeheerders en geven fluviale overstromingen weer. Dit gebeurt door het doorrekenen van beschikbare hydrodynamische waterloopmodellen voor verschillende (klimaat)buien. Zo werden de zogenaamde overstromingsgevaarkaarten opgemaakt voor een T10, T100 en T1000 bui, overeenkomstig met respectievelijk een grote, middelgrote en kleine kans van voorkomen. Deze werden opgemaakt voor zowel het huidige klimaat, als het toekomstige klimaat in 2050 (hoogwinter-klimaatsscenario) (Vlaamse Overheid, 2019) (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, 2020). Niet alle modellen die voor het huidige klimaat werden doorgerekend, werden ook doorgerekend voor het toekomstige klimaat. Hierdoor zijn de overstromingsgevaarkaarten voor het huidige en toekomstig klimaat niet één op één vergelijkbaar. Bovendien bestaat ook niet voor elke waterloop een bruikbaar model. De analyse van het klimaateffect op fluviale overstromingen is daardoor niet gebiedsdekkend voor het gehele Waasland. Enkel voor het gebied rondom de Durme (zie Figuur 32) zijn zowel resultaten voor het huidige als het toekomstige klimaat beschikbaar, en kan weergegeven worden wat het klimaateffect op de fluviale overstromingen is. Voor meer info betreffende de opmaak van deze kaarten wordt verwezen naar de methodologie van het CIW (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, 2020).

Het fluviale overstromingsrisico vanuit Schelde en Durme werd verder op Vlaams niveau ondervangen en onderzocht, en vertaald in grootschalige veiligheidsingrepen; het Sigmaplan. De impact van klimaatverandering op dit overstromingsrisico wordt kwalitatief beschreven op basis van het studiewerk dat plaatsvond in het kader van de opmaak van het Geactualiseerd Sigmaplan (2005) en het Life Sparc project. In Life Sparc (Space for Adapting the River Scheldt to Climate Change) worden 8 sigmagebieden langs Schelde en Durme verder vormgegeven en ontwikkeld om het Sigmaplan nog robuuster te maken tegen klimaateffecten op biodiversiteit en waterveiligheid, en extreme weersomstandigheden. Specifiek met betrekking tot de natuurwaarden en -doelstellingen werd voor het Schelde estuarium verder reeds een klimaatadaptatieplan uitgewerkt (Van Ryckegem, 2019). In een apart tekstkader worden klimaateffecten op de overstromingsdynamiek van de Schelde, en de impact van het Sigmaplan hierop geduid.

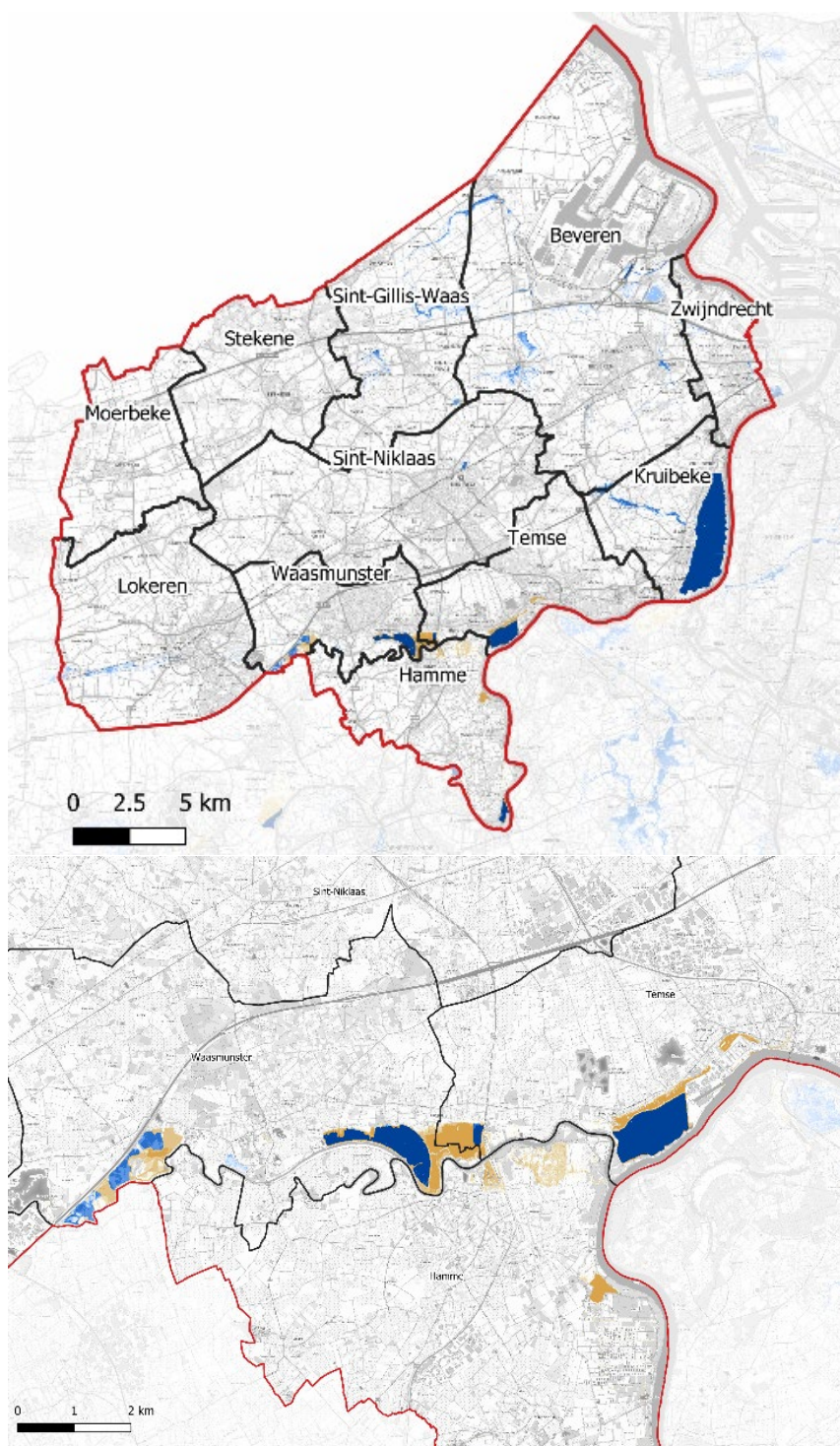
Effecten

Toename overstroombaar gebied door fluviale overstroming

Figuur 34 toont een visuele weergave van de toename in fluviale overstromingen. Merk op dat slechts voor een deel van het projectgebied gegevens beschikbaar zijn voor zowel het huidige als het toekomstige klimaat. Op heden is het dus niet mogelijk om een inschatting van de toename van fluviale overstromingen te geven voor het gehele Waasland. Wel leren de resultaten van het gebied rondom de Durme ons dat er wel degelijk een toename van het overstroombaar gebied te verwachten is en dit in alle waarschijnlijkheid voor het gehele projectgebied zo zal zijn.



Figuur 34: Toename in fluviale overstromingen (blauw: huidig klimaat; oranje: 2050 hoogwinter scenario) voor een T10-bui), zowel voor het gehele Waasland (boven) als een detail voor het gebied rondom de Durme te Hamme (onder) (Vlaamse Overheid, 2019).



Figuur 35: Toename in fluviale overstromingen (blauw: huidig klimaat; oranje: 2050 hoogwinter scenario) voor een T100-bu, zowel voor het gehele Waasland (boven) als een detail voor het gebied rondom de Durme te Hamme (onder) (Vlaamse Overheid, 2019).

Toename frequentie extreme waterpeilen langs Schelde

Het waterpeil in de Schelde is bijzonder dynamisch. Het wordt niet alleen bepaald door de afvoer van water uit hoger gelegen gebieden en zijrivieren, maar ook door de getijdenwerking van de Noordzee dat via het Schelde-estuarium de Schelde binnenkomt. In het gehele Zeescheldebekken staan zo'n 235 km aan rivieren en zijrivieren onder getijdenwerking. In het Waasland gaat het om de Schelde en de Durme. Hoe groter de afstand tot de monding, hoe sterker het waterpeil van de rivier wordt bepaald door haar eigen debiet en hoe minder de getijdenwerking speelt. Voor de Schelde is er zo een verschil tussen hoog en laag water van 2 m te Gent tot maar Liefst 5 m bij Antwerpen, wat een enorm verschil is.

Dit zorgt langs de Scheldevallei voor een gevaarlijke combinatie. Immers, stormweer op zee vanuit het noordwesten of westen kan leiden tot stormtij: een verhoging van het hoogwaterpeil op de schelde met 3 m. Door dit opkomend tij kan regenwater niet langer via de Schelde worden afgevoerd en verhoogt het overstromingsrisico. Historische stormen in 1953 en 1976 zetten zo de Scheldevallei blank, met onmetelijke schade en slachtoffers in Nederland en Vlaanderen. Om deze overstromingen in de toekomst te vermijden en hun ernst te milderen, werd in 1977 het Sigmaplan ontwikkeld. Het plan werd geactualiseerd in 2005.

Het Sigmaplan uit 1977 beoogde:

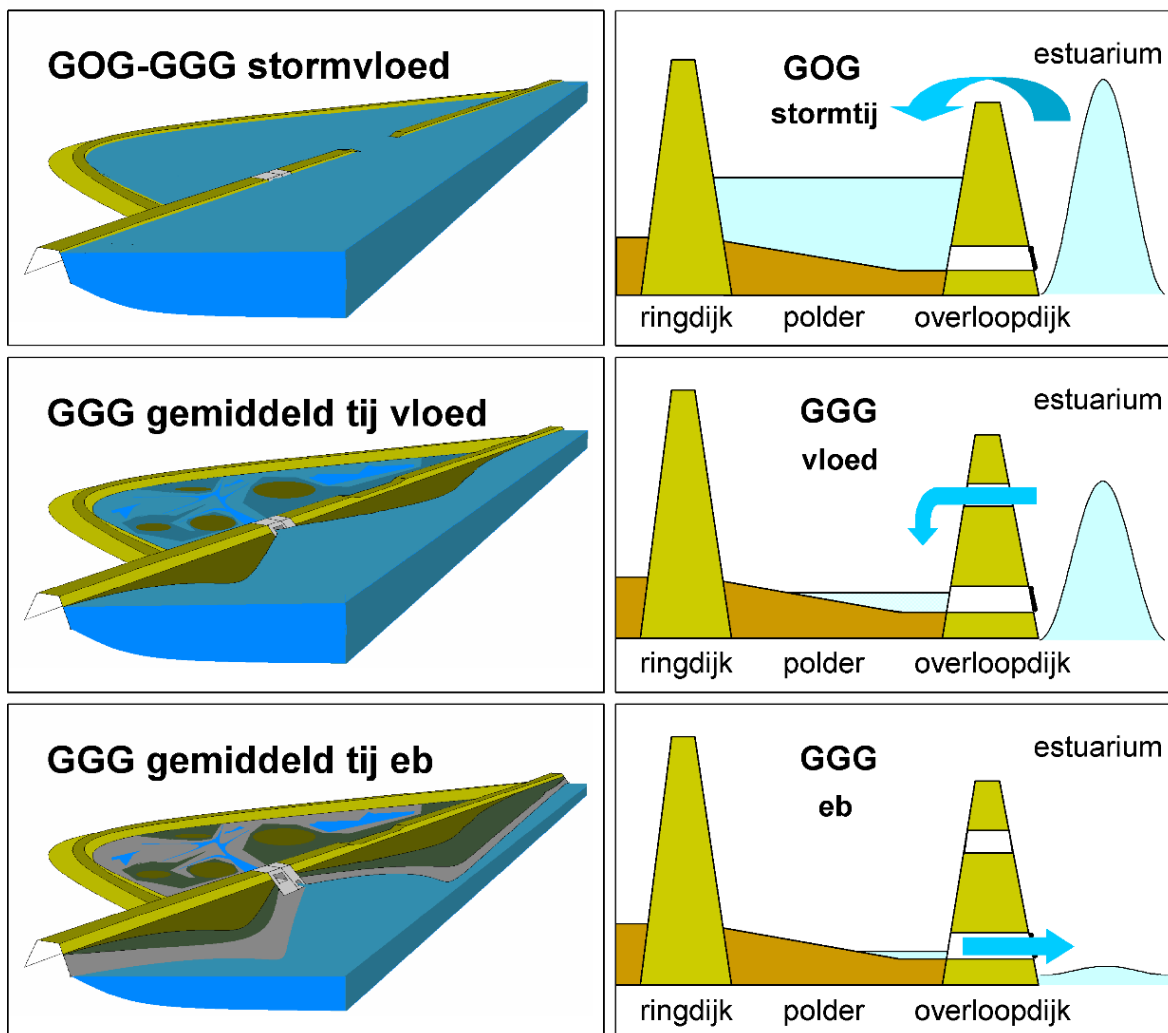
- Een verhoging en verzwaring van de dijklichamen langs de Schelde
- Het aanleggen van 13 gecontroleerde overstromingsgebieden met een totale oppervlakte van 1133 ha aan natuur en landbouwgebied dat op gecontroleerde wijze kon overstromen.
- Een stormvloedkering te Oosterweel (Antwerpen). Die laatste werd omwille van de kostprijs nooit uitgevoerd.

De dijkverhogingen en de aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG's) zouden volgens de toenmalige berekeningen de bescherming garanderen tot waterstanden van ca. 7,50 m TAW. Met de realisatie van de overstromingsgebieden van Kruibeke-Basel-Rupelmonde (een overstromingsgebied van 600 ha) zijn de werken van het eerste plan grotendeels voltooid. De inschatting destijds was dat wateroverlast met een terugkeerperiode van eens in de 70 jaar kon worden teruggebracht naar eens in de 350 jaar. Dijken in die mate verhogen dat overschrijding ervan werd uitgesloten was niet mogelijk door de vele woonkernen langsheen het gebied.

Echter, klimaatverandering zoals beschreven in het eerste hoofdstuk van dit rapport haalde het Sigmaplan snel in. Door de zeespiegelstijging stijgt ook het stormvloedpeil langs de Schelde verder. Verder is aangetoond dat de frequentie van stormvloeden toeneemt. Meer nog, onderzoek wijst uit dat de weersomstandigheden waarbij extreem stroomopzet kan optreden dezelfde zijn

als die waarin veel neerslag wordt verwacht, die van de Schelde moet worden afgevoerd (Willems, 2014). De kans op overschrijding van de waterkeringen uit het Sigmaplan werden begroot op eenmaal elke 350 jaar. **Door klimaatverandering zou dit terug kunnen toenemen naar eenmaal elke 70 jaar tegen 2050, en eenmaal elke 25 jaar tegen 2100. In 2004 werd de toename van de schadekost door overstromingen geraamd op een stijging van 6 miljoen euro op jaarbasis in de jaren 2000 tot 50 miljoen euro per jaar tegen 2100 (Life Sparc). Vooral de bebouwde zones vlakbij de rivier (bijvoorbeeld te Hamme en Temse) liepen verhoogd risico.**

Hiertoe werd het Sigmaplan in 2005 geactualiseerd. Voor dit geactualiseerd Sigmaplan werd besloten dat overstroming uit de Schelde in extreme weersomstandigheden niet te vermijden is. Er werd beslist om meer ruimte te geven aan natuurlijke processen langs de rivier. Het geactualiseerd plan werd daarom ontworpen om zoveel mogelijk bijkomende ruimte te geven aan de rivier, en meer ruimte te voorzien voor dynamische riviernatuur waar water op een gecontroleerde manier in kon worden geborgen. De rivier krijgt meer ruimte door ontpolderingen, en de aanleg van Gecontroleerde Overstromingsgebieden (GOG's) en Gecontroleerde Overstromingsgebieden met Gereduceerd Getij (GGG). Deze laatste zijn uniek in het voorzien van getijdennatuur in het overstromingsgebied. Het eerste GGG werd ontworpen en gemonitord in het Lippensbroek te Hamme. Deze ingrepen creëren ruimte waar overstromingen mogelijk zijn en waar dus water kan worden geborgen bij extreme weerssituaties, zodat omliggende ruimte wordt gevrijwaard.



Figuur 36: Schematische voorstelling verschil tussen GOG en GGG. Bij een GOG overstroomt de overloopdijk enkel bij extreem springtij en wordt water in de polder tussen de ring- en overloopdijk geborgen en uiteindelijk terug afgevoerd naar de rivier. Bij een GGG is er door een instroomopening in de overloop dijk dagelijks getijdenwerking en bijhorende natuurontwikkeling in het gebied tussen Ringdijk en overloopdijk. Doordat de instroomopening hoger ligt dan het normale rivierpeil is de getijdenwerking gereduceerd (De Vlaamse Waterweg nv; Natuur en Bos, 2020).

De functionaliteit van de ontpolderingen en overstromingsgebieden in het controleren van overstromingen in het Waasland werd in recente jaren met succes geïllustreerd tijdens extreme storm events (De Vlaamse Waterweg nv; Natuur en Bos, 2020):

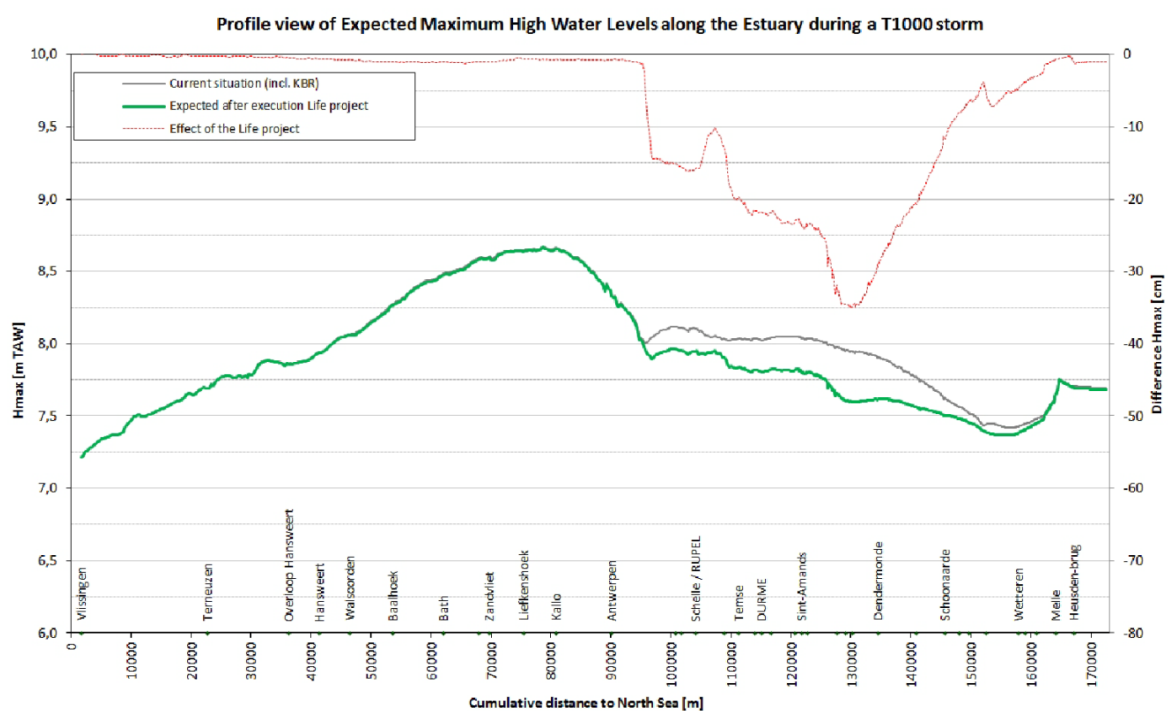
- “Sinterklaasstorm” op 5 en 6 december 2013: Combinatie van springtij en noordwesterstorm. Watersnood in binnendijks gebied werd voorkomen, twaalf sigmagebieden traden succesvol in werking.
- 3 januari 2018: Combinatie van een westerstorm op de Noordzee en springtij zorgde voor sterk verhoogde waterpeilen. Vijftien van de zestien GOG’s van

het Sigmaplan bufferden overtollig rivierwater: Tielrodebroek (Tielrode), Groot Schoor (Hamme), Uiterdijk (Dendermonde), Anderstadt I en II (Lier), Polder van Lier (Lier), Lippenbroek (Hamme), Scheldebroek (Berlare), Potpolder I (Waasmunster), Potpolder IV (Waasmunster), Bovenzanden (Heindonk), Zennegat (Mechelen), Paardeweide (Berlare), Bergenmeersen (Wichelen) en de Polders van Kruibeke. Die laatste liepen voor de allereerste keer onder.

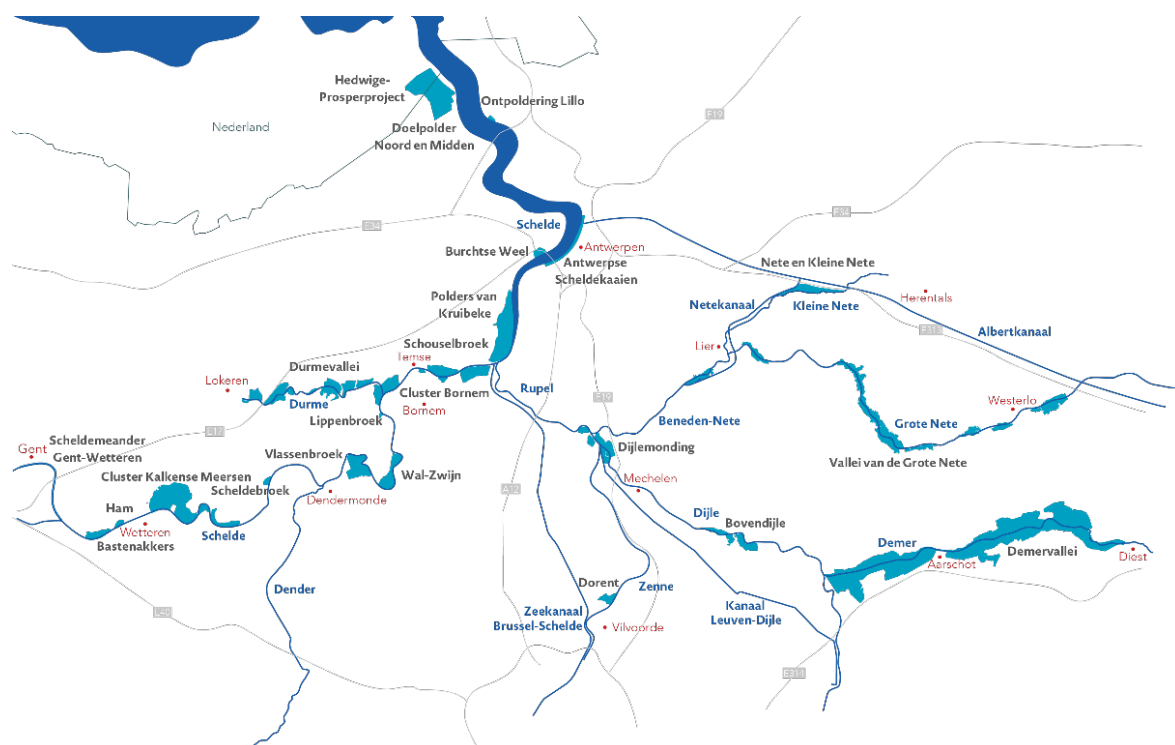
De inrichtingswerken voor de actualisatie dienen afgerond te zijn tegen 2030, intussen wordt continu onderzocht hoe het plan beter kan worden aangepast aan de veranderende prognoses tot de fluctuaties in het Scheldepeil. Specifiek voor enkele van de Sigmagebieden in het Waasland is momenteel het Life Sparc (Space for Adapting the River Scheldt to Climate Change) project lopende. In dit Europees project worden volgende Sigmagebieden ingericht als klimaatbuffer in en rond de regio Waasland:

- Ontpolderen van vijf zones: Uiterdijk, Groot Schoor te Hamme, Groot Schoor te Hinghene (Bornem), Groot Broek (Waasmunster-Temse) en Klein Broek (Temse)
- Aanleg van een GOG en GGG van in De Bunt, tussen de Schelde en de Durmemonding
- Aanleg van een GGG te Vlassenbroek (Dendermonde)
- Aanleg van GGG te Walzwijn (Temse)

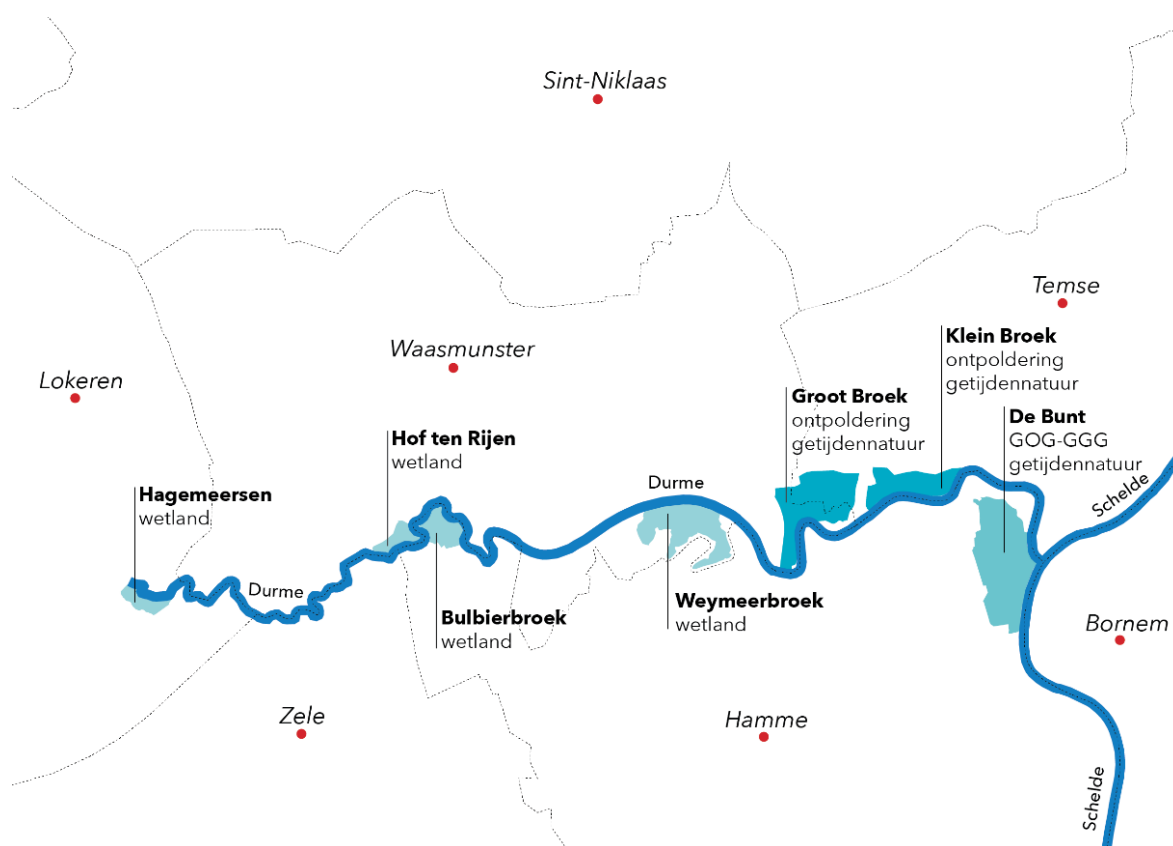
Ten opzichte van het huidig gerealiseerde Sigmaplan moeten deze ingrepen het maximale tijt tijdens een 1000-jarige storm langs de Schelde verder verlagen tussen Antwerpen en Wetteren (zie Figuur 37, Figuur 38 en Figuur 39).



Figuur 37: Profieldoorsnede van het verwachte maximale waterpeil tijdens een 1000 jarige storm (T1000) langs De Schelde, met verschillen tussen de huidige situatie en de situatie na realisatie Life Sparc.



Figuur 38: Overzicht Sigmagebieden (De Vlaamse Waterweg nv; Natuur en Bos, 2020)



Figuur 39: Detail sigmaplan voor de Durme (De Vlaamse Waterweg nv; Natuur en Bos, 2020)

Klimaatimpact

Inleiding

De veranderde klimaateffecten zullen een invloed hebben op de maatschappij, ecosystemen, en biodiversiteit in het Waasland. Dit zijn de zogenaamde **klimaatimpacts**, of de socio-economische en ecologische gevolgen van het veranderende klimaat. In dit hoofdstuk worden verschillende kwetsbaarheden en risico's in kaart gebracht voor het Waasland.

Deze impactanalyse houdt in dat de ruimtelijke kaarten met klimaateffecten, zoals beschreven en afgeleid in het eerste hoofdstuk, gecombineerd worden met geografische data van verschillende domeinen en sectoren. Er wordt hierbij uitgegaan van kaarten en datasets die onze huidige samenleving weergeven. Projecties over toekomstige veranderingen, zoals landgebruik en bevolkingsdichtheid worden buiten beschouwing gelaten. Het doel van deze analyse is immers om de gevolgen van de klimaatverandering in kaart te brengen indien er niets gedaan zou worden om ons te wapenen tegen de gevolgen van klimaatverandering. Dus zonder de implementatie van klimaatadaptieve maatregelen.

Dit wordt aangevuld met bijkomende informatie die werd bekomen via overleg met betrokken stakeholders waarbij gepeild werd naar hoe de klimaatimpact vandaag de dag al wordt ervaren op het terrein.

De bespreking van de impact van de klimaatverandering op maatschappij en ecosysteem wordt gedaan voor deze geselecteerde sectoren:

- Gezondheid en welzijn
- Schade aan gebouwen
- Infrastructuur
- Industrie
- Landbouw
- Natuur en milieu

Voor iedere sector worden één of meerdere indicatoren geselecteerd. Aan de hand van deze indicatoren wordt de impact van één of meerdere klimaateffecten op die bepaalde sector geschetst. Waar mogelijk wordt deze beschrijving verder gekwantificeerd met cijfermateriaal, indien onvoldoende gegevens beschikbaar zijn voor een kwantitatieve onderbouwing wordt de beschrijving beperkt tot een kwalitatieve analyse van de mogelijke impact. Voor elk onderdeel word aangegeven op basis van welke data de analyse is gebeurd. Ook werd nagegaan

welke impact van klimaateffecten zoals extreme droogte of hitte op vandaag in het Waasland gevoeld worden. In dit kader werden in het najaar van 2020 enkele gesprekken gevoerd met stakeholders uit het waasland, met expertise op het terrein. Hun input werd in deze analyse verwerkt. Het gaat om input vanuit :

- De boerenbond
- Polderbesturen
- Vzw Durme
- Natuurpunt vzw
- Bosgroepen Oost Vlaanderen Noord
- Regionaal landschap Schelde Durme
- De Vlaamse Waterweg en ANB (in kader van het Sigmaplan)

Methodologie - impact overstromingen (fluviaal + pluviaal)

Pluviale en fluviale overstromingen overlappen in vele gebieden. Een afzonderlijke impactanalyse van beiden zou daarom een vertekend beeld geven. Om de impact van toenemende overstromingen te becijferen worden de pluviale en fluviale overstromingskaarten gecombineerd voor de buien met terugkeerperiodes T100 (middelgrote kans) en T10 (grote kans) zodat integrale en gebiedsdekkende overstromingskaarten bekomen worden.

Voor het huidig klimaat worden de verschillende kaarten voor eenzelfde terugkeerperiode samengevoegd. Voor het toekomstig klimaat zijn de fluviale overstromingskaarten (Vlaamse Overheid, 2019) niet gebiedsdekkend (zie eerder). Om toch een zo volledig mogelijk beeld van de klimaatimpact op overstromingen weer te geven, combineren we voor een analyse op het toekomstig klimaat de pluviale overstromingskaarten voor het toekomstige klimaat met de fluviale overstromingen voor het toekomstige klimaat én deze voor het huidig klimaat (Tabel 2). Deze laatste bevatten immers meer info (breder gebied) dan die voor het toekomstige klimaat, die enkel overstromingen langs de grotere waterlopen weergeven. Aangezien kleinere waterlopen niet meegenomen worden voor het toekomstige klimaat zal het resultaat van de analyse dus een onderschatting van de werkelijkheid geven m.b.t. de toename van overstromingen vanuit de waterlopen.

Tabel 2: Methodologie opmaak integrale overstromingskaarten door combinatie van de pluviale en fluviale overstromingskaarten.

Integrale overstromings-kaarten	Input pluviale overstromings-kaarten	Input fluviale overstromings-kaarten *	Opmerking	
Huidig klimaat	T10-huidig klimaat	T10-huidig klimaat		
2050	T10-2050	T10-huidig klimaat	Onderschatting overstromingen	toename door

		T10-2050	ontbreken data fluviale overstromingen 2050 langsheen alle waterlopen
2100	T10-2100	T10-huidig klimaat T10-2050	Underschatting toename overstromingen door ontbreken data fluviale overstromingen 2050 langsheen alle waterlopen en voor het tijdsvak 2100

* Fluviale overstromingskaarten niet beschikbaar voor 2100

Door deze gecombineerde overstromingskaarten te combineren met de lagen die data bevatten met betrekking tot locatie van gebouwen, adrespunten, kunstwerken, natuurgebieden, kwetsbare instellingen... kan de klimaatimpact door overstromingen op verschillende sectoren nagegaan worden.

Gezondheid en welzijn

De klimaateffecten zullen onvermijdelijk een impact hebben op de samenleving. Aangezien extreme situaties (overstromingen, droogte, hittegolven, ...) steeds vaker en extremer zullen voorkomen, zullen steeds meer personen getroffen worden.

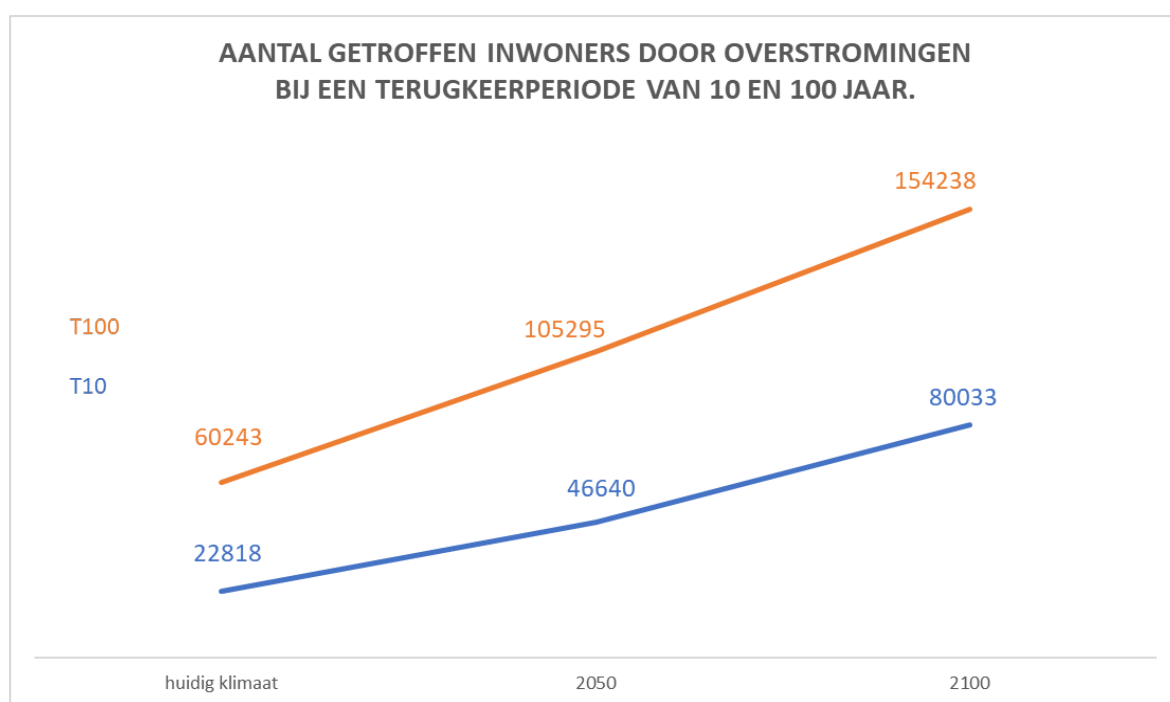
SCHADE DOOR OVERSTROMINGEN

Om een inschatting te maken van het aantal inwoners dat last kan ondervinden van overstromingen, werd aan de hand van de adrespunten (CRAB) aan elk gebouw een aantal inwoners toegewezen. Zo werd met behulp van de risicoanalyse van de gebouwen bepaald hoeveel inwoners getroffen kunnen worden en overlast kunnen ondervinden doordat hun woningen overstromen. Hierbij werd aangenomen dat elk adrespunt 2,5 inwoners vertegenwoordigt. Op deze manier wordt de variatie in impact op aantal inwoners, afhankelijk van het type gebouw, meegenomen in de analyse. Er zullen immers meer inwoners overlast ondervinden wanneer een meergezinswoning getroffen wordt, ten opzichte van een getroffen eengezinswoning.

Een meer nauwkeurige analyse van de getroffen personen zou kunnen gemaakt worden op basis van de inwonerslijsten waarbij per straat of per gebouw het aantal inwoners gekend is.

De berekeningen tonen aan dat het aantal inwoners dat getroffen kan worden door overstromingen met 104% en 251% toeneemt in 2050 en 2100 voor T10 en met 75% en 156% toeneemt voor T100. Het risico vergroot dus feller voor een overstroming met grote kans van voorkomen dan voor een overstroming met middelgrote kans van voorkomen. Relatief meer inwoners zullen dus in de toekomst overlast kunnen ondervinden

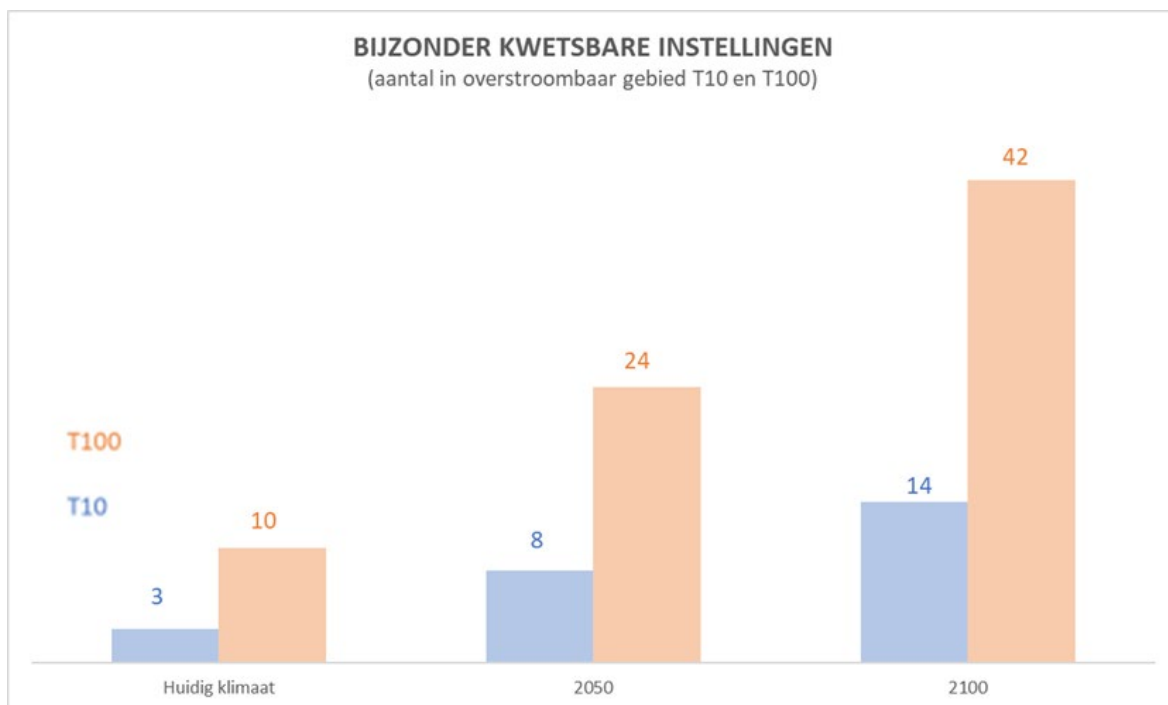
van kleinere overstromingen in vergelijking met inwoners die in de toekomst bijkomende last zullen ondervinden van grotere overstromingen.



Figuur 40: Impactanalyse getroffen inwoners door overstromingen.

Naast een impactanalyse voor de gebouwen en inwoners werd ook meer in detail gekeken naar kwetsbare instellingen die bij noodweer moeilijk te evacueren zijn zoals gevangenissen, rusthuizen, scholen en ziekenhuizen. Info omtrent de locaties van deze instellingen is beschikbaar via Waterinfo (Vlaamse Overheid, 2019). Gelijkaardig aan de analyse voor gebouwen, werd deze data gecombineerd met de integrale overstromingskaarten om het risico op overstroming te evalueren voor elk type van kwetsbare instelling. De analyse toont een toename van het aantal kwetsbare instellingen door klimaatverandering (Figuur 41). Daarnaast toont Tabel 3 dat voornamelijk ziekenhuizen en scholen getroffen zullen worden door overstromingen. De klimaatimpact op het aantal getroffen instellingen is het

grootst voor de scholen, waarbij in 2100 meer dan 200% meer scholen getroffen zullen worden door een 100-jarlijkse bui ten opzichte van het huidige klimaat.

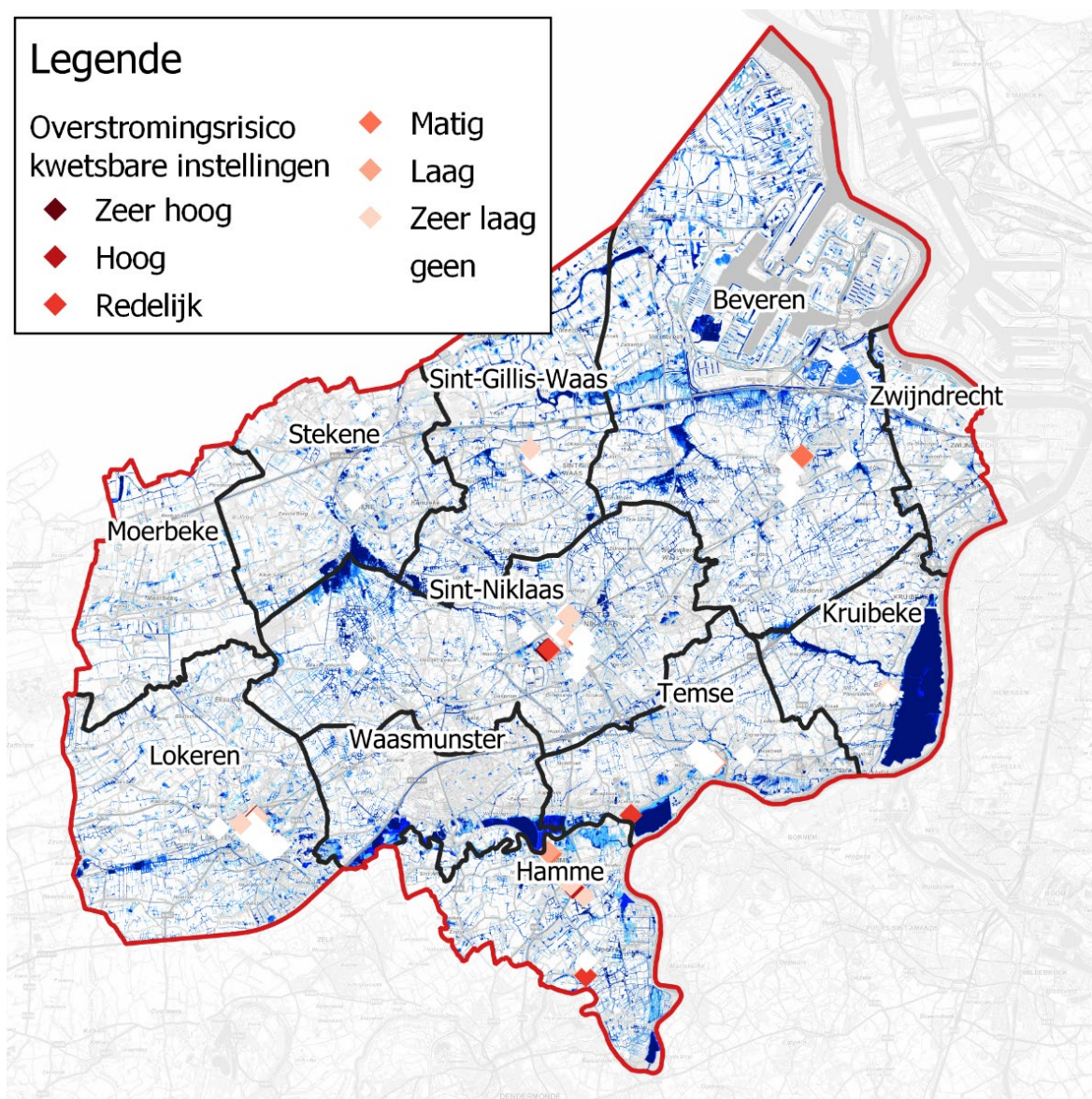


Figuur 41: Toename in het aantal overstroombare kwetsbare instellingen in het Waasland voor T10 en T100 in huidig en toekomstig klimaat.

Tabel 3: Aantal overstroombare kwetsbare instellingen per type.

	T10			T100		
	Huidig klimaat	2050	2100	Huidig klimaat	2050	2100
Ziekenhuis	2	3	5	3	8	9
School	1	5	9	6	14	29
Rusthuis	0	0	0	1	2	4

Gelijkaardig aan de gebouwenimpactanalyse (zie verder) werd voor elke kwetsbare instelling het overstromingsrisico bepaald. Een visuele weergave van dit risico wordt gegeven in Figuur 42.



Figuur 42: Overstromingsrisico bijzonder kwetsbare instellingen in het Waasland.

BLOOTSTELLINGSRISICO HITTE

Zoals aangegeven in het eerste hoofdstuk zorgen stijgende temperaturen voor een toename van het aantal hittegolven en het aantal hittegolfdagen. Dit zorgt voor een toename in hittestress. Hittestress ontstaat als er onbalans is van aan- en afvoer van warmte vanuit het menselijk lichaam (Heusinkveld, et al., 2017). Het Vlaams Klimaatportaal gebruikt momenteel, zoals eerder beschreven, hittegolfgraaddagen als indicator voor hittestress. Deze indicator is een indicatie van de luchttemperatuur.

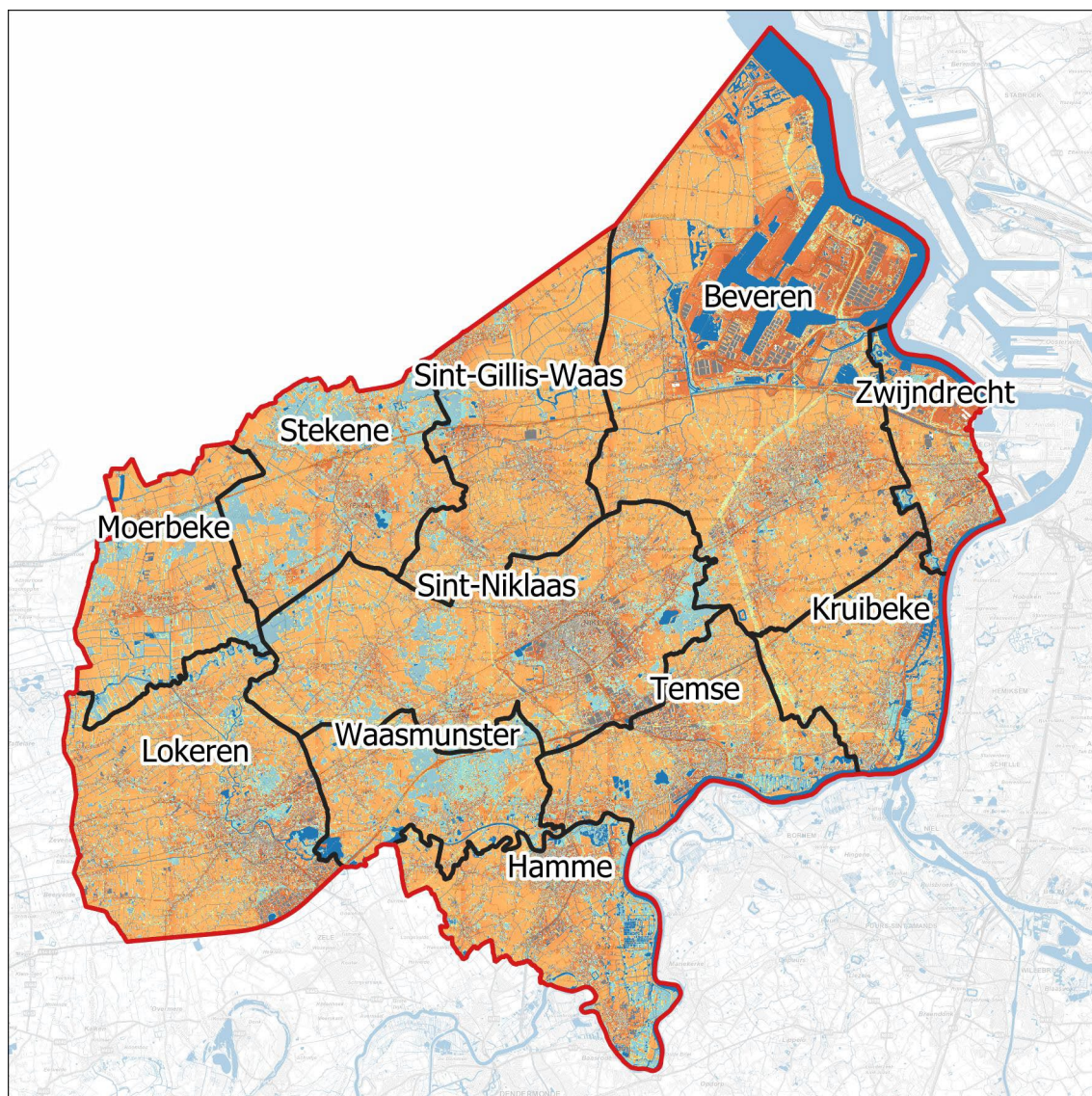
Omdat luchttemperatuur alleen niet voldoende is om te beschrijven welk thermisch comfort mensen ervaren op een bepaalde locatie werd in het kader van deze studie een PET-kaart opgemaakt. PET (Physiological Equivalent Temperature) is een indicator die de gevoelstemperatuur weergeeft waarbij rekening wordt gehouden met volgende parameters:

- Luchttemperatuur
- Luchtvochtigheid
- Windsnelheid
- Globale en thermische straling
- Kledingisolatie
- Inspanning (metabolisme)

De mate van warmte-uitwisseling tussen de mens en zijn omgeving wordt naast kleding door een aantal meteorologische factoren bepaald. Zo worden we buiten blootgesteld aan luchttemperatuur, luchtvochtigheid, wind en straling. Deze componenten beïnvloeden de warmtebalans van het lichaam. Als deze niet in balans zijn, dit wil zeggen dat de warmteproductie niet in evenwicht is met de warmteafgifte, ontstaat er koude- of warmtestress. De mate van onbalans kan uitgerekend worden via een energiebalansmodel van de mens. Met zo'n model kunnen we een equivalente temperatuur bepalen voor een complexe buitenomgeving, dit noemen we de fysiologische equivalente temperatuur. Hierbij worden 4 variabelen aangenomen voor een gestandaardiseerd persoon: man, 1,75 m, 75 kg, vaste kleding factor, en een inspanningsniveau gelijk aan wandelen aan 4km/hr. Stel dat de luchttemperatuur 30°C zou bedragen en dat er weinig wind staat met een felle zon dan zou de fysiologische equivalente temperatuur hoger liggen dan de luchttemperatuur.

Het PET-model werd gevoed met waarnemingen van het VMM weerstation te Melsele (Vlaamse Overheid, 2019) op een warme dag (12 augustus 2020). Deze dag valt midden in de landelijke hittegolf die duurde van 5 tot en met 16 augustus waarin er acht opeenvolgende tropische dagen werden opgemeten (Paelinck, 2020). Daarnaast werden openbare datasets zoals de hoogtekaart, GRB (Grootschalig Referentie Bestand of Basiskaart Vlaanderen), vegetatiekaarten en bomenkaart toegevoegd aan het model. Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methodologie wordt verwezen naar de 'Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte' (de Nijs, 2020). Hierin wordt de methodologie beschreven waarmee de Nederlandse PET-kaarten werden opgemaakt die beschikbaar zijn in de Nederlandse Klimaat-effectatlas (Stichting Climate Adaptation Services, 2020). Deze methodologie werd vertaald naar de Vlaamse context en toegepast op Vlaamse data. Dit resulteert in onderstaande PET-hittekaart (Figuur 43) overdag

voor een hete zomermiddag voor het huidige klimaat in het Waasland met een raster van 1 m op 1 m (zie Kaart 13).



Legende

Afbakeningen

Projectgebied

Gemeentegrenzen

Oppervlaktewater

Watervlakken

PET - Waasland (°C)

28°C

29°C

30°C

31°C

32°C

33°C

34°C

35°C

36°C

37°C

38°C

39°C

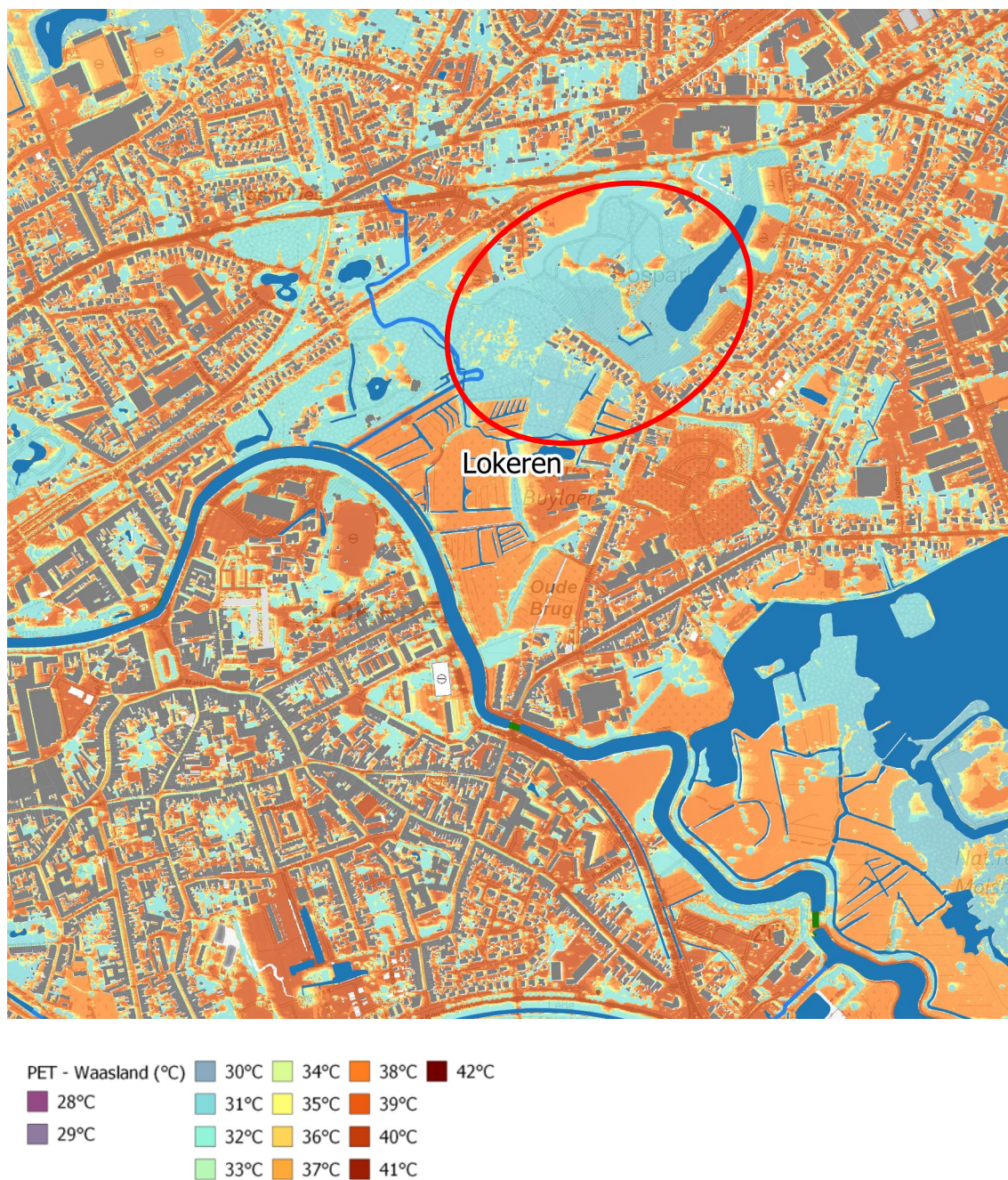
40°C

41°C

42°C

Figuur 43: PET-hittekaart overdag voor een hete zomermiddag in het Waasland.

Deze kaart laat ons toe om gedetailleerd te kijken waar er zich koelteplekken bevinden en waar de warmste plekken in een gemeente voorkomen. Zo is op Figuur 44 bijvoorbeeld het centrum Lokeren te zien waar de gevoelstemperatuur gevoelig hoger ligt dan ter hoogte van het Bospark. Ook de lokale koelteplekken in de stad worden zichtbaar.



Figuur 44: PET-hittekaart overdag voor een hete zomermiddag (12-08-2020) omgeving van Lokeren. Zwarte cirkel is het Bospark, waar het merkkelijk koeler is dan de omliggende woonwijken en onbeschutte weilanden langs de Durme.

Fysiologische studies hebben PET uitgedrukt in klassen van thermische perceptie en het stressniveau (Tabel 4).

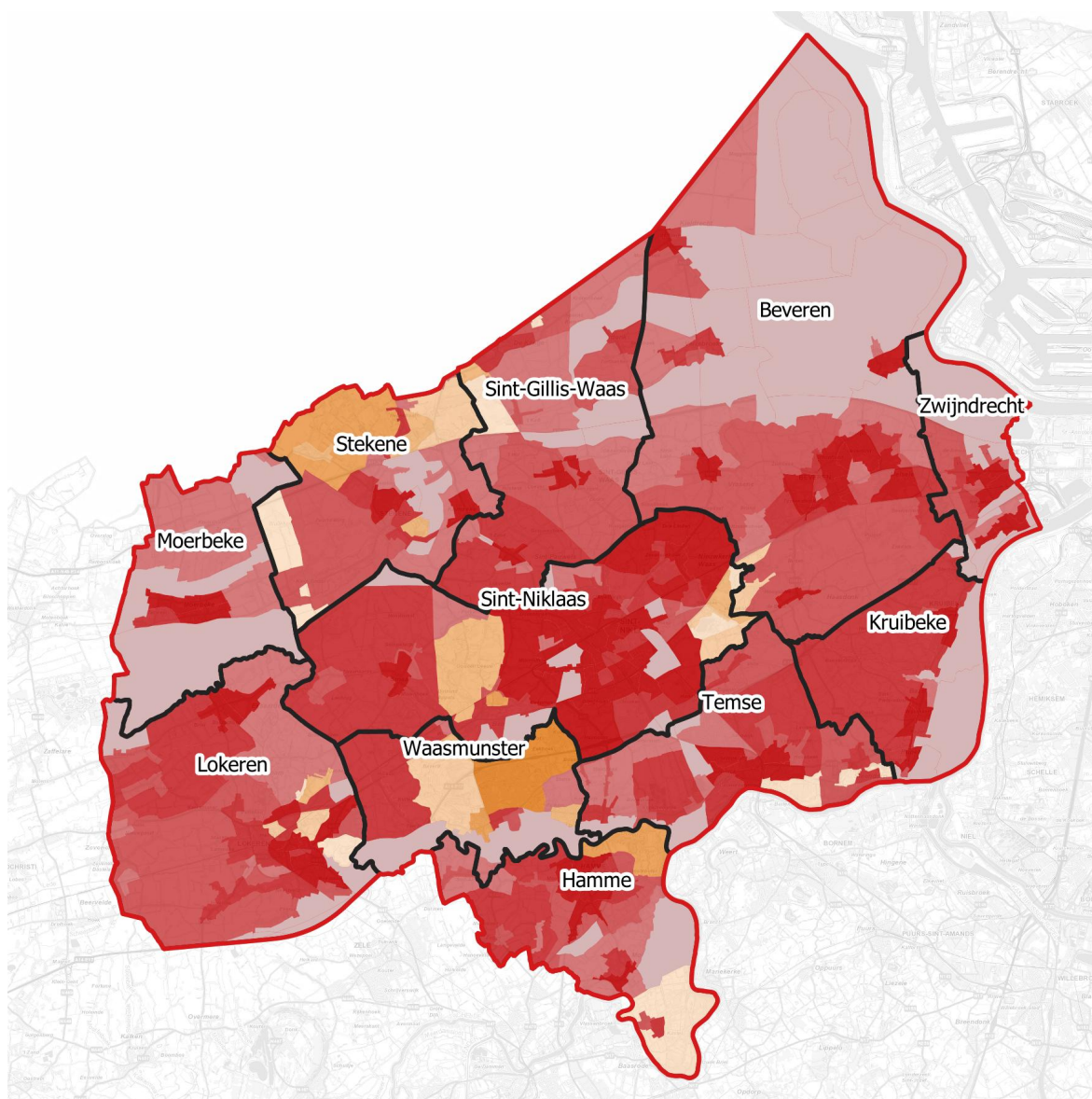
Tabel 4: Klassen van thermische perceptie en stressniveau voor PET.

Gevoelstemperatuur (°C)	Ervaring	Fysiologisch stressniveau
18 – 23	Comfortabel	Geen stress
23 – 29	Beetje warm	Lichte hittestress
29 – 35	Warm	Matige hittestress
35 – 41	Heet	Grote hittestress
>41	Zeer heet	Extreme hittestress

De mogelijke gevolgen van hittestress op de bevolking zijn onder andere thermisch ongemak, benauwdheid, slapeloze nachten, toename van het aantal allergieklachten en luchtweginfecties. Hitte zorgt ook voor een oversterfte en stijging van ziekenhuisopnames. Sommige groepen van mensen zijn extra kwetsbaar. Vooral oudere mensen zijn vatbaarder voor deze risico's. Ook jonge kinderen en mensen met mentale problemen zijn extra kwetsbaar omdat deze afhankelijk zijn van anderen om voldoende vocht op te nemen.

Er werd per statistische sector bepaald welke van mate van hittestress voorkomt. Deze werd berekend op basis van de gemiddelde PET-waarde per statistische sector. Aan deze sectoren werden vervolgens de demografische gegevens gekoppeld om te bepalen hoeveel procent van de bevolking aan een bepaald fysiologisch stressniveau blootgesteld wordt. Hieruit volgde dat momenteel reeds **94% van de bevolking wordt blootgesteld aan grote hittestress en dat slechts 6% matige hittestress ondervindt. Gezien de meteorologische voorspellingen (zie eerste hoofdstuk) en de te verwachten stijging van de temperaturen (zie eerste hoofdstuk) is te verwachten dat tegen 2100 94% van de bevolking die nu blootgesteld wordt aan grote hittestress dan blootgesteld zal worden aan extreme hittestress.**

Voor het visualiseren van het blootstellingsrisico voor kwetsbare groepen werd gebruik gemaakt van de statistische sectoren en demografische informatie van het Waasland. Voor iedere statistische sector werd de gemiddelde PET-waarde berekend en hieraan werd de demografische informatie van kwetsbare personen gekoppeld. Op die manier kan een onderverdeling gemaakt worden van sectoren waar er grote hittestress heerst maar waar het risico groter is omwille van de hogere kwetsbare groepen die aanwezig zijn in deze sector. Onderstaande figuur (Figuur 45) geeft dit blootstellingsrisico weer voor een warme dag in het huidige klimaat. In het toekomstig klimaat stijgt het aantal hittegolfdagen met een factor 12,5 in het 2100-scenario, dat wilt zeggen dat het blootstellingsrisico frequenter zal voorkomen.



Legende:

Afbakeningen

□ Waasland

□ Gemeentegrenzen

Blootstellingsrisico
per statistische sector
met matige hittestress

□ Zeer laag

□ Laag

□ Gemiddeld

□ Hoog

□ Zeer hoog

Blootstellingsrisico
per statistische sector
met grote hittestress

□ Zeer laag

□ Laag

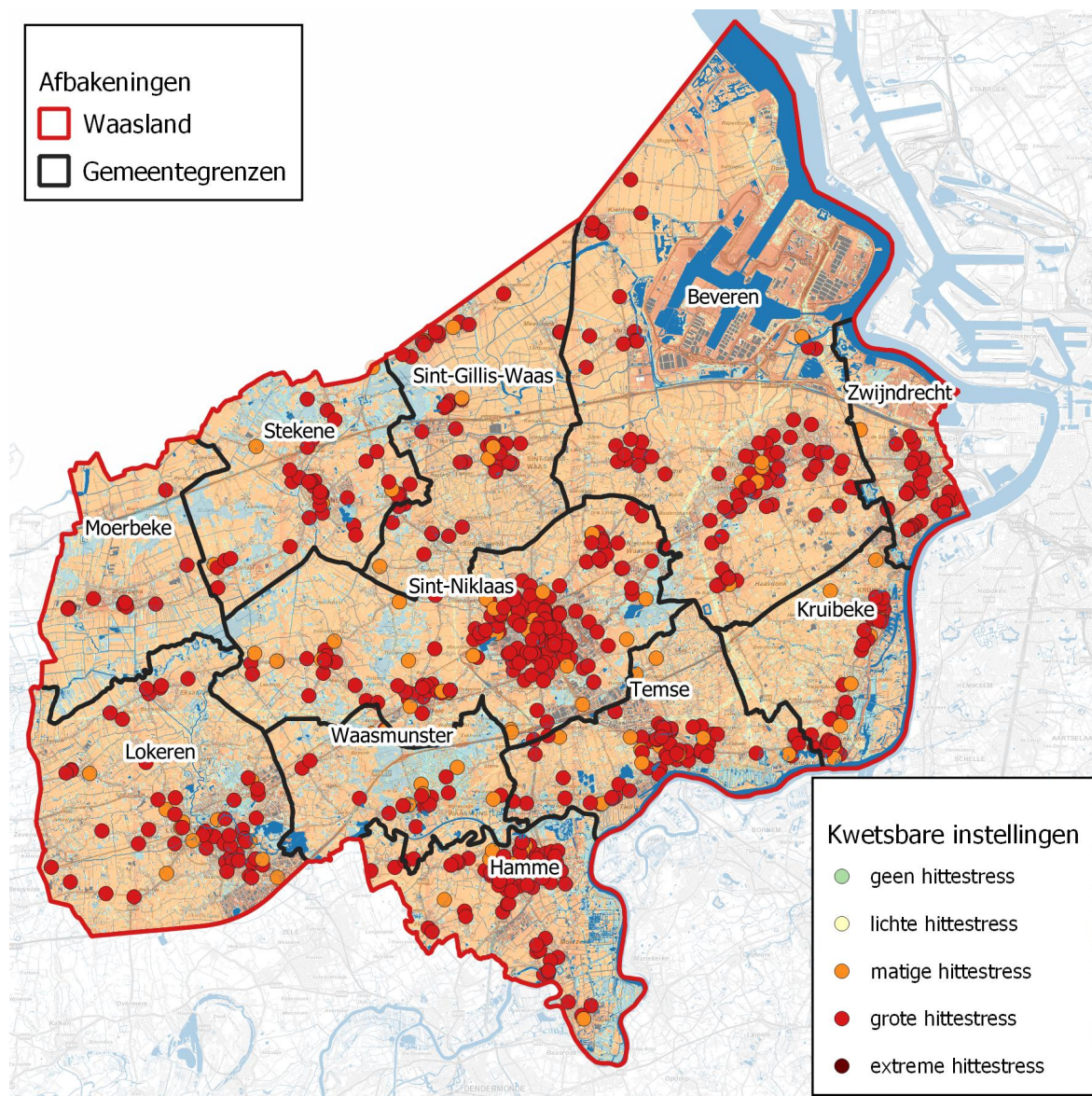
□ Gemiddeld

□ Hoog

□ Zeer hoog

Figuur 45: Blootstellingsrisico voor kwetsbare personen per statistische sector.

Naast het blootstellingsrisico van kwetsbare personen werd ook nagegaan waar er zich kwetsbare instellingen bevinden. Dit zijn instellingen of gebouwen waar grote concentraties bij elkaar komen. Het gaat om zorgcentra voor ouderen zoals bijvoorbeeld woonzorgcentra en assistentiewoningen, opvang voor kinderen zoals groepsopvang en crèches, alsook zorginstelling voor mentaal zieken. Er werd per locatie bepaald welke mate van hittestress deze instellingen in de nabije omgeving ondervinden (Figuur 46).



Figuur 46: Fysiologisch stressniveau in de omgeving van kwetsbare instellingen (ouderenzorg, kinderopvang, psychiatrische zorg, ...).

Er kan worden vastgesteld dat op een hete zomerdag ongeveer 15% van de zorginstellingen een matige hittestress ervaart in de nabije omgeving. De overige kwetsbare instellingen hebben onvoldoende schaduw of koelende elementen en ervaren een grote hittestress in de nabije omgeving van de zorginstelling. Deze mate van hittestress zal in de toekomst niet alleen frequenter voorkomen, maar ook toenemen in stressniveau omwille van de stijgende temperaturen en vaker voorkomende hittegolfdagen.

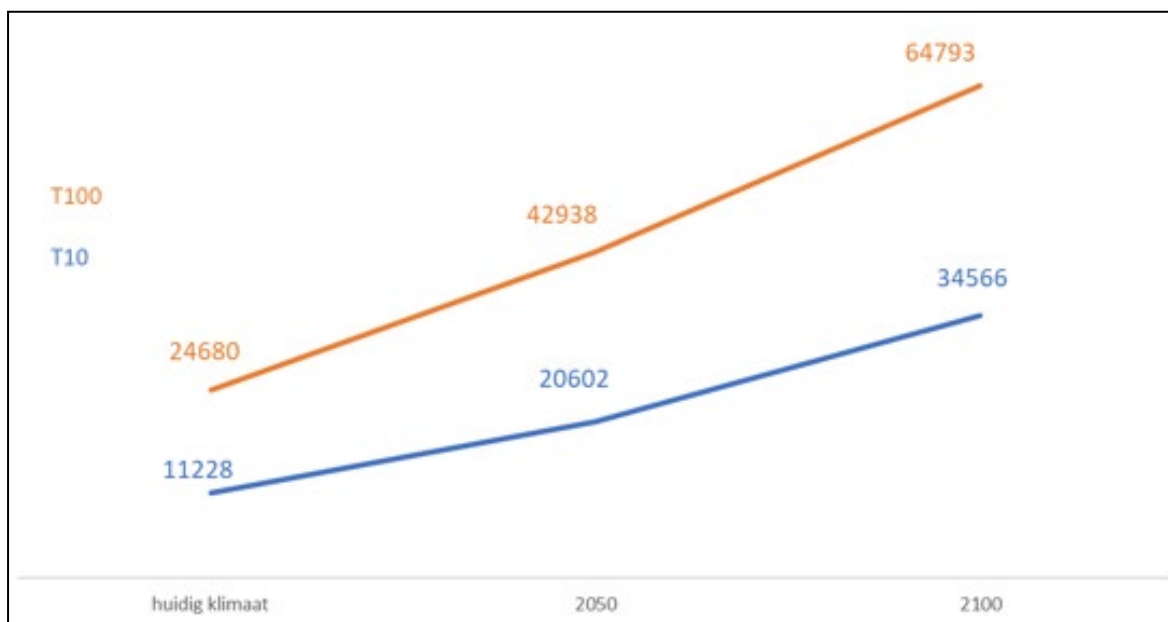
Schade aan gebouwen

SCHADE DOOR OVERSTROMINGEN

Het aantal gebouwen dat bijkomend schade door wateroverlast kan ondervinden wordt bepaald door een analyse van de locatie van gebouwen uit het GRB ten opzichte van het overstroombaar gebied uit de integrale overstromingskaarten.

Alle gebouwen die omringd worden door stagnerend water bij een overstroming of die op maximaal 5 m van de overstroming gelegen zijn, worden beschouwd als mogelijk getroffen woningen. Zo kunnen er immers problemen met de bereikbaarheid en/of toegang van het gebouw optreden, of kunnen ondergrondse garages en kelders onderlopen. Wanneer het water boven het dorpelpeil stijgt, kan ook binnenshuis op het gelijkvloers niveau schade veroorzaakt worden.

De analyse toont aan dat tegen 2050 en 2100 het aantal getroffen gebouwen kan toenemen met respectievelijk 73,5 % en 176 % voor T10, en 84,8% en 211,7% voor T100 (Figuur 47).



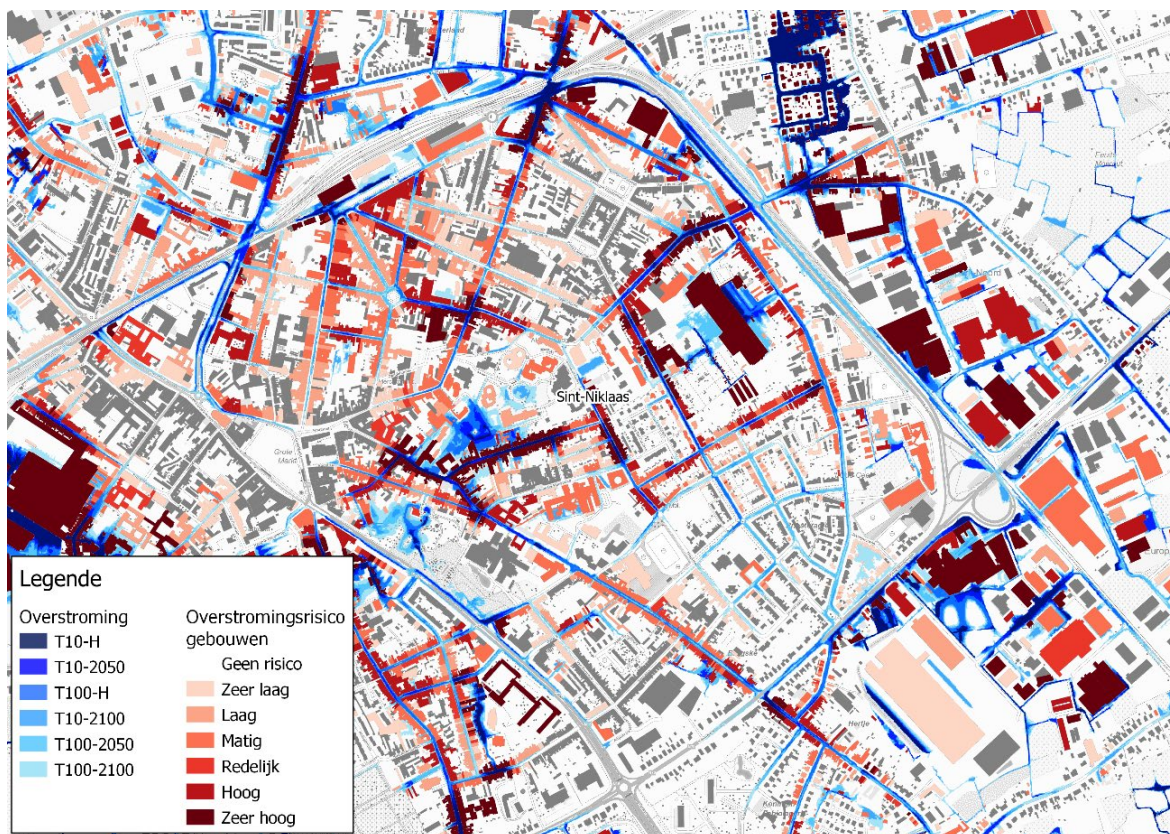
Figuur 47: Aantal getroffen gebouwen door overstromingen bij een terugkeerperiode van 10 en 100 jaar.

Figuur 48 geeft een detailvoorbeeld van de gebouwenimpactanalyse. Per gebouw wordt weergegeven wat het overstromingsrisico is. Het overstromingsrisico is gelinkt aan de terugkeerperiode en het tijdvenster waarbij het betreffende gebouw getroffen kan worden door overstromingen. Gebaseerd op de totale omvang van het overstroombaar gebied bij buien met verschillende terugkeerperiodes (T10 en T100) in het huidige klimaat en het toekomstige klimaat (2050 en 2100) worden risico's toegekend aan de overstromingen en worden deze doorvertaald naar het overstromingsrisico voor gebouwen (Tabel 5) .

Tabel 5: Overstromingsrisico gerelateerd aan omvang overstromingen bij de verschillende (klimaat)buien.

Risico	Bui	Overstroombaar gebied (ha)
Zeer hoog	T10 – huidig klimaat	2608
Hoog	T10 – 2050	3416
Redelijk	T100 – huidig klimaat	4066
Matig	T10 – 2100	4451
Laag	T100 – 2050	5889
Zeer laag	T100 – 2100	8014

Figuur 48 geeft voor elke gebouw binnen het projectgebied weer wat de kwetsbaarheid is voor overstromingen en bijgevolg waar schade eerst te verwachten is. De gebouwen met een zeer hoog risico kunnen reeds bij een bui met een terugkeerperiode T10 in het huidige klimaat overlast door overstroming ondervinden. Uiteraard zullen deze gebouwen ook kwetsbaar zijn bij minder frequente buien.



Figuur 48: Detailvoorbeeld overstromingsrisicoanalyse gebouwen (omgeving centrum Sint-Niklaas).

Ook rioleringsoverstromingen kunnen schade veroorzaken aan gebouwen. Om echter juist in te schatten welke locaties en gebouwen specifiek door overstromingen vanuit het rioleringsstelsel kunnen worden geïmpacteerd dient een verregaande analyse van de lokale topografie meegenomen te worden. Het is immers niet zo dat de locatie waar water uit het stelsel kan treden, ook daar overlast van ondervindt. De plaats van impact hangt af van hoe het overstromingswater zich verder beweegt. Hiervan wordt wel een indicatie gegeven door de pluviale overstromingskaarten, aangezien deze de locaties weergegeven waar water stagneert bij oppervlakkige afstroming. Er kan dus aangenomen worden dat ook het water uit het rioolstelsel zich richting deze locaties verplaatst. Bovendien is bij de opmaak van deze kaarten rekening gehouden met de aanwezigheid van de riolering (zie eerder).

SCHADE DOOR HITTE

Klimaat, wisselingen van het weer (temperatuur en vocht), is de belangrijkste oorzaak van schade aan gebouwen. Extremer weer betekent dat de veroudering

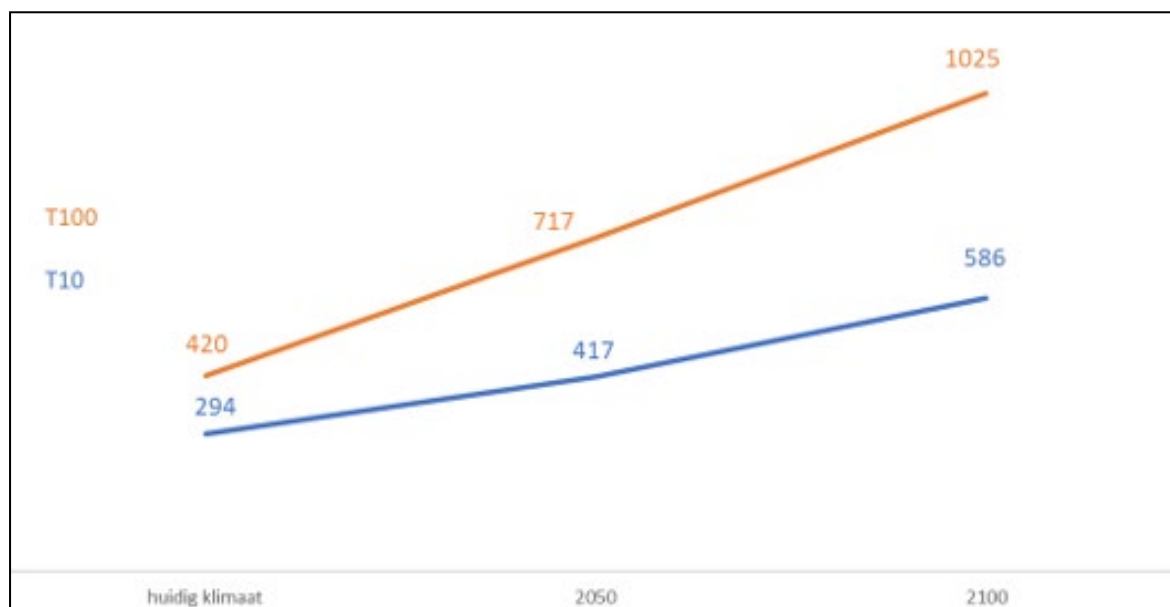
van gebouwen zal versnellen. Hierdoor zal **vaker en meer onderhoud** gepleegd moeten worden.

Het is zeer moeilijk om deze effecten te kwantificeren. Het effect op gebouwen zal niet alleen afhangen van de ouderdom van de woning, maar ook van wanneer het laatst gerenoveerd werd, de gebruikte materialen en constructie, en onderhoud van het gebouw.

Infrastructuur en transport

SCHADE DOOR OVERSTROMINGEN

Infrastructuur gelegen in gebieden die onder het huidige klimaat en in het verwachte toekomstige klimaat getroffen kunnen worden door wateroverlast wordt geïdentificeerd door het kruisen van de laag met kunstwerken met de integrale overstromingskaarten. Figuur 49 geeft de aantallen van getroffen infrastructuur weer door overstromingen binnen het Waasland.



Figuur 49: Getroffen infrastructuur door overstromingen bij een terugkeerperiode van 10 en 100 jaar.

SCHADE DOOR HITTE

Een deel van onze infrastructuur is niet voorzien op lange periodes van hitte. Als gevolg van hogere temperaturen kan bepaalde infrastructuur onbruikbaar worden.

Zo kan bijvoorbeeld de toplaag van wegen smelten, kunnen wegen opstuiken door de hitte indien deze bestaat uit betonplaten, kunnen beweegbare bruggen vastzitten. Ook spoorwegen kunnen last ondervinden van extreme hitte (Infrabel, 2020). Dit alles kan ervoor zorgen dat er vertragingen optreden en meer onderhoud nodig is.

De impact van hitte op onze infrastructuur is moeilijk te kwantificeren aangezien deze impact zal afhangen van de toestand en de gebruikte materialen.

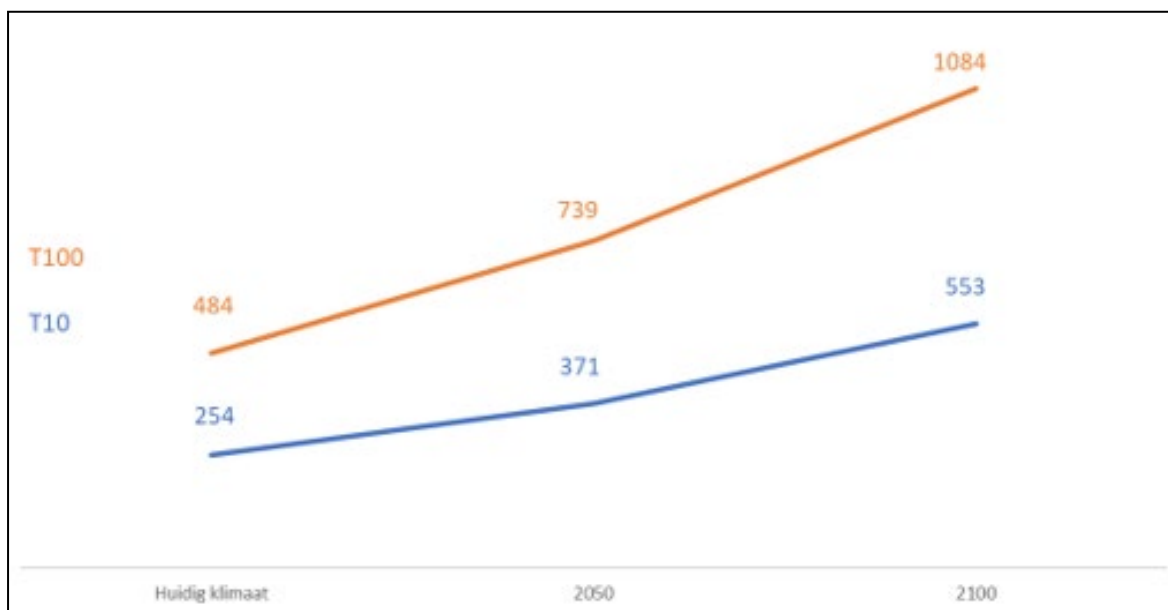
Industrie en economie

OVERSTROMINGEN

Wateroverlast op bedrijven- en industrieterreinen kan leiden tot problemen met de werking of productiviteit van een bedrijf, door het uitvallen van technische installaties, het onbereikbaar zijn van gebouwen of het aantasten van aanwezig materiaal en goederen. Het is dus van belang dat kwetsbare bedrijventerreinen geïdentificeerd worden en maatregelen genomen worden om economische schade te beperken.

Het aantal bedrijventerreinen binnen het Waasland dat te maken kan krijgen met overstromingen is weergegeven in Tabel 6. Elk bedrijventerrein waar bij een bepaalde bui een overstroming voorkomt, wordt hier geïdentificeerd als een bedrijventerrein met een overstromingsrisico. Uiteraard hangt het werkelijke risico ook samen met de locatie van de overstroming. Indien deze voorkomt op een braakliggend terrein zal deze immers voor minder overlast zorgen dan wanneer deze voorkomt op de wegenis of aan een gebouw. Dit werd in deze analyse echter buiten beschouwing gelaten. De impactanalyse van de gebouwen geeft echter ook nog voor elk gebouw afzonderlijk, ook voor de gebouwen aanwezig op de bedrijventerreinen, weer wat het individueel overstromingsrisico is. Door deze te combineren met onderstaande analyse kan voor elk bedrijventerrein afzonderlijk het risico meer in detail bepaald worden.

Het totaal overstroombaar oppervlak binnen alle bedrijventerreinen in het Waasland is weergegeven in Figuur 50. **Het totaal overstroombaar oppervlak bij een T10-bui neemt met 46% toe tegen 2050 en met 118% tegen 2100. Voor een T100-bui bedraagt de toename respectievelijk 53% en 114%.**



Figuur 50: Overstroombaar oppervlak (in ha) binnen bedrijventerreinen bij een terugkeerperiode van 10 en 100 jaar.

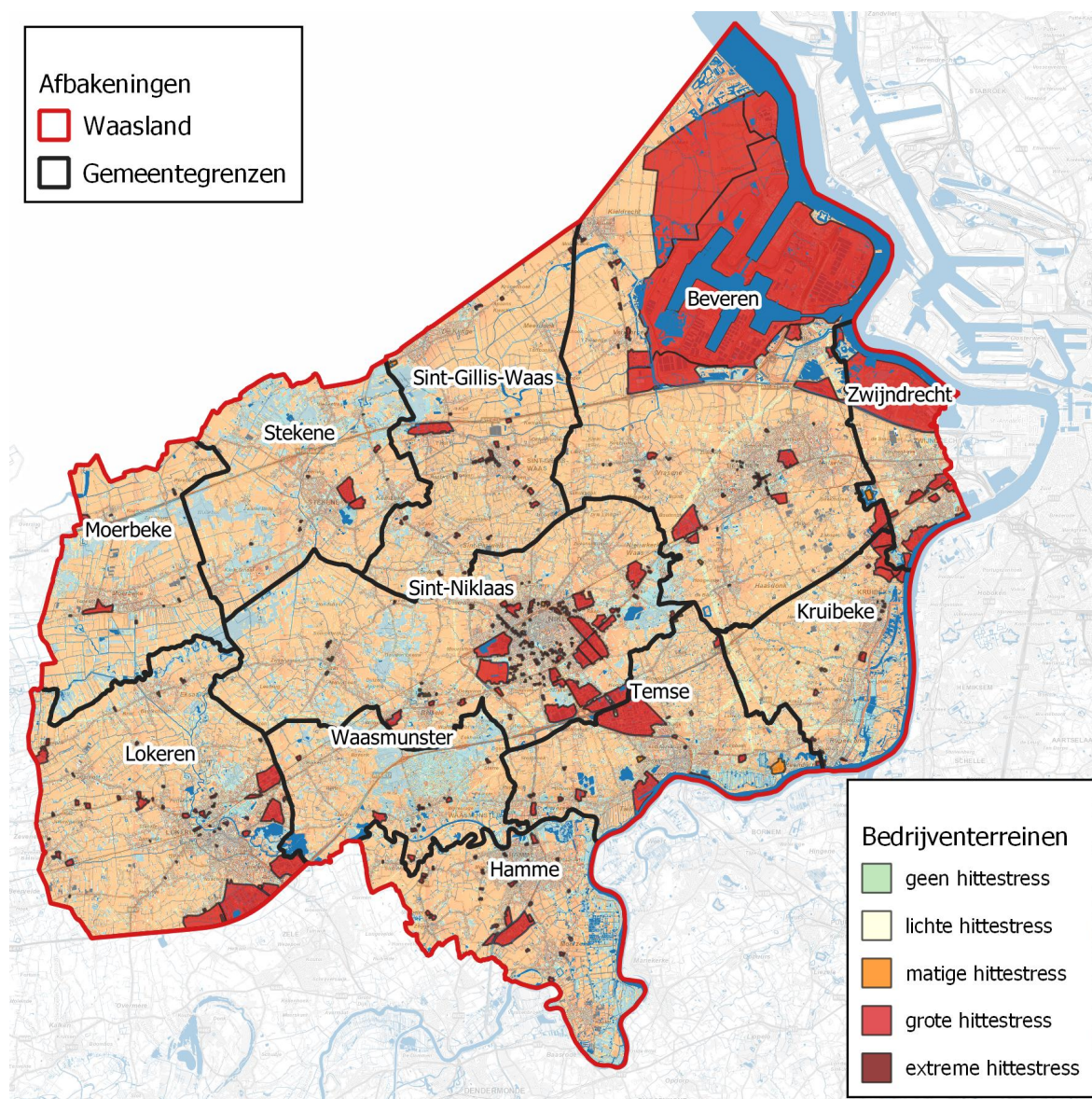
Tabel 6: Aantal bedrijventerreinen met risico voor overstromingen binnen het Waasland.

	Huidig klimaat	2050	2100
T10	152	192	236
T100	192	255	293

HITTE

Hitte zorgt ervoor dat mensen hinder ondervinden bij het uitvoeren van hun taken. Hierdoor zullen ze minder productief zijn. Indien een bepaalde drempelwaarde wordt overschreden, afhankelijk van het type werk, is de werkgever verplicht om maatregelen te nemen.

Omwille van stijgende temperaturen en bijhorende toename van het aantal hittegolfdagen zullen deze situaties steeds vaker voorkomen. Voor het visualiseren van het huidige risico werd gebruikt gemaakt van de opgemaakte PET-kaart en werd bepaald welke mate van hittestress zich nu voordoet op de verschillende bedrijventerreinen in het Waasland. Er werd geen rekening gehouden met de aard van economische activiteiten waardoor er geen inschatting van het risico op productiviteitsverlies werd gemaakt. Dit zal ook afhangen van de aard van het werk alsook in hoeverre werkplekken zijn ingericht om werknemers te beschermen tegen hitte.



Figuur 51: Fysiologisch hittestressniveau van bedrijventerreinen.

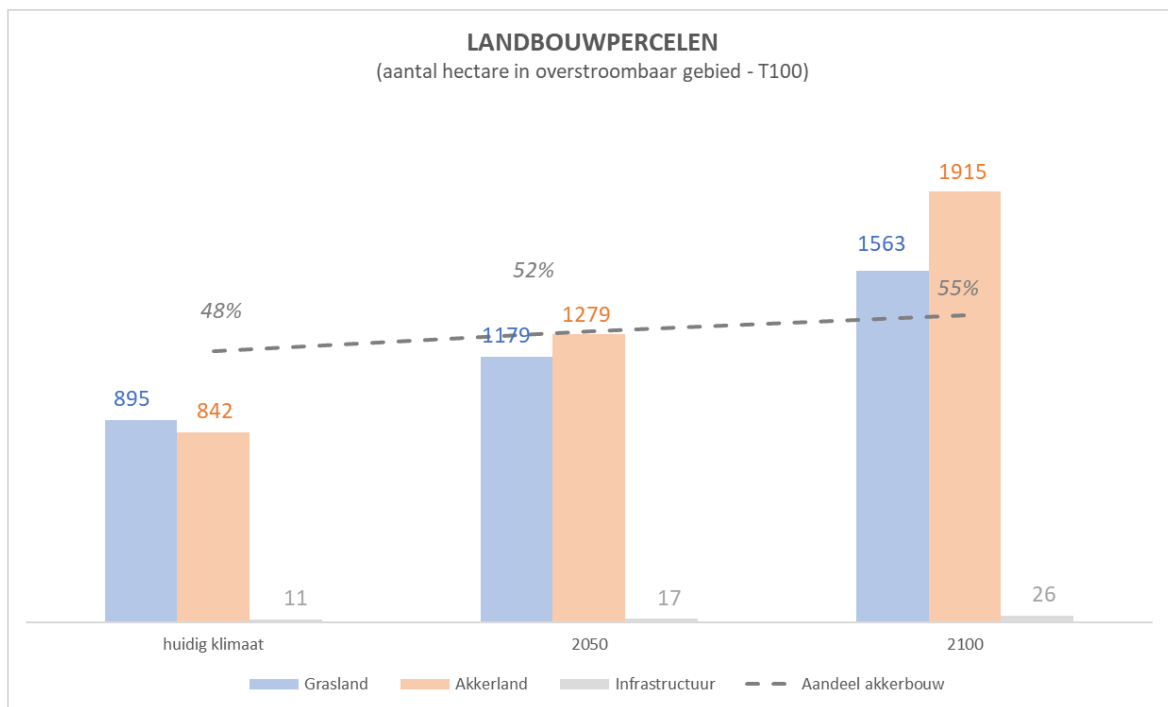
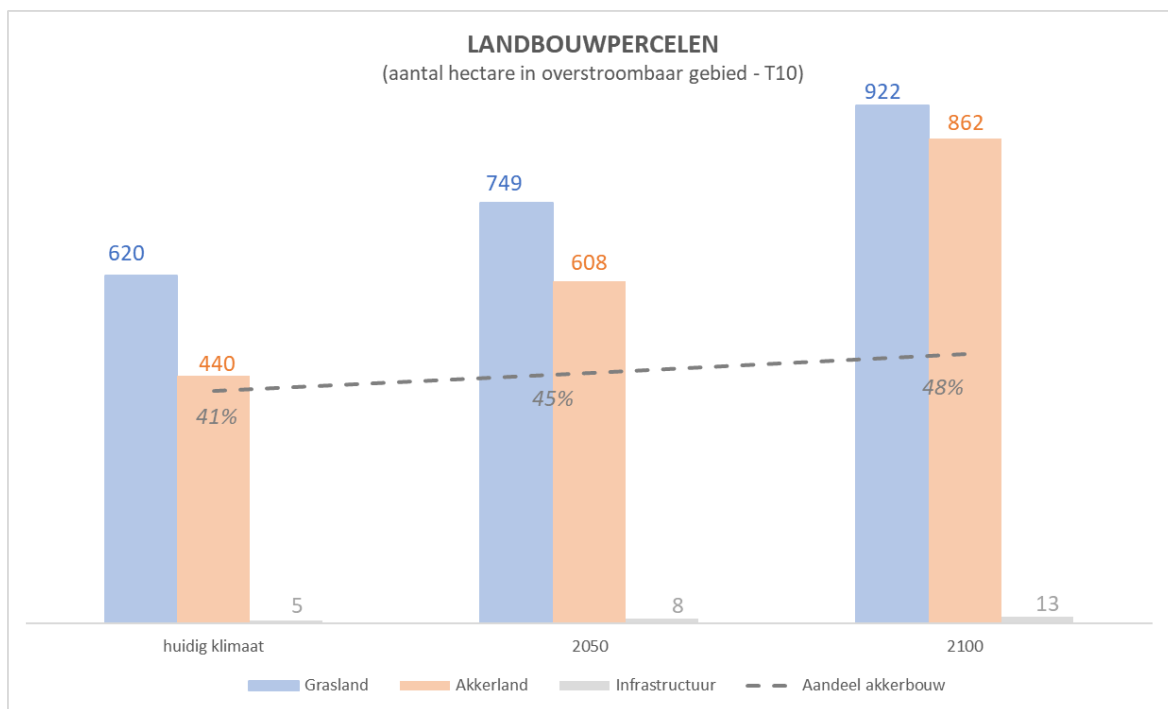
Op Figuur 51 kunnen we zien dat de meeste bedrijventerrein worden ingeschaald als bedrijventerrein waar er grote hittestress heerst. Slechts enkele bedrijventerrein ondervinden momenteel een matige hittestress. Er valt te verwachten dat omwille van die klimaateffecten het fysiologisch stressniveau op de bedrijventerreinen met grote hittestress tegen 2100 zal stijgen tot een extreem niveau en frequenter zal voorkomen.

Landbouw

OVERSTROMINGEN

Om de impact op het gebied in landbouwgebruik in te schatten wordt gebruik gemaakt van de landbouwgebruikspcelenkaart (2019). Er worden 3 types landbouwgebruik onderscheiden; Akkerbouwpercelen, hetgeen alle percelen omvat waarop een gewas of fruit geteeld wordt, percelen onder grasland en landbouwinfrastructuur. De impact van overstromingen is vaak groter voor akkerland dan voor grasland. Waterstagnatie van kortstondige duur heeft doorgaans geen ernstige gevolgen voor grasland, zolang eventueel aanwezige dieren zich naar droge gebieden kunnen verplaatsen. Veel graslanden in landbouwgebruik in het Waasland zijn verder ook gelegen in valleigebieden die 's winters overstromen, de landbouwpraktijk is hier veelal op aangepast. Ook in de overstromingsgebieden langs de Schelde en Durme is zo nog landbouwfunctie mogelijk. Overstroming van akkerland daarentegen resulteert doorgaans echter wel in opbrengstverlies, afhankelijk van de tijd van het jaar waarin deze overstroming zich voordoet en het gewas dat verbouwd wordt. Overstroming van akkerland zal zo leiden tot opbrengstverlies en dus economische schade voor het landbouwbedrijf. Uiteraard kan ook overstroming van landbouwinfrastructuur tot ernstige schade leiden.

De analyse (Figuur 52) toont dat, ervan uitgaande dat het landbouwgebruik in de toekomst identiek blijft, de grootste impact te verwachten is voor de akkerbouw. Een oppervlakte aan grasland van 620 ha zal bij een T10-bui overstromen en 895 ha bij een T100-bui in het huidige klimaat. Deze oppervlakte neemt toe tot 749 ha in 2050 en 922 ha in 2100 voor een T10-bui en 1179 ha 1563 ha respectievelijk voor een T100-bui. Voor akkerland daarentegen zal 440 ha bij een T10-bui en 842 ha bij een T100-bui overstromen. Tegen 2050 en 2100 bedraagt het overstroombaar akkerland respectievelijk 608 ha en 862 ha voor een T10-bui, een toename met 38% en 96%, en 1279 ha en 1915 ha bij een T100-bui, een toename met respectievelijk 52% en 127% . **Naast een absolute toename in overstroombaar gebied voor zowel grasland als akkerland zal ook het relatieve percentage aan akkerland binnen het overstroomde gebied stijgen, dus door klimaatverandering en bij een T100-bui zal het aandeel akkerland zelfs groter worden dan het aandeel aan grasland. Er valt dus te verwachten dat de economische schade door overstroming van landbouwpercelen, en akkerland in het bijzonder, sterk zal toenemen.**

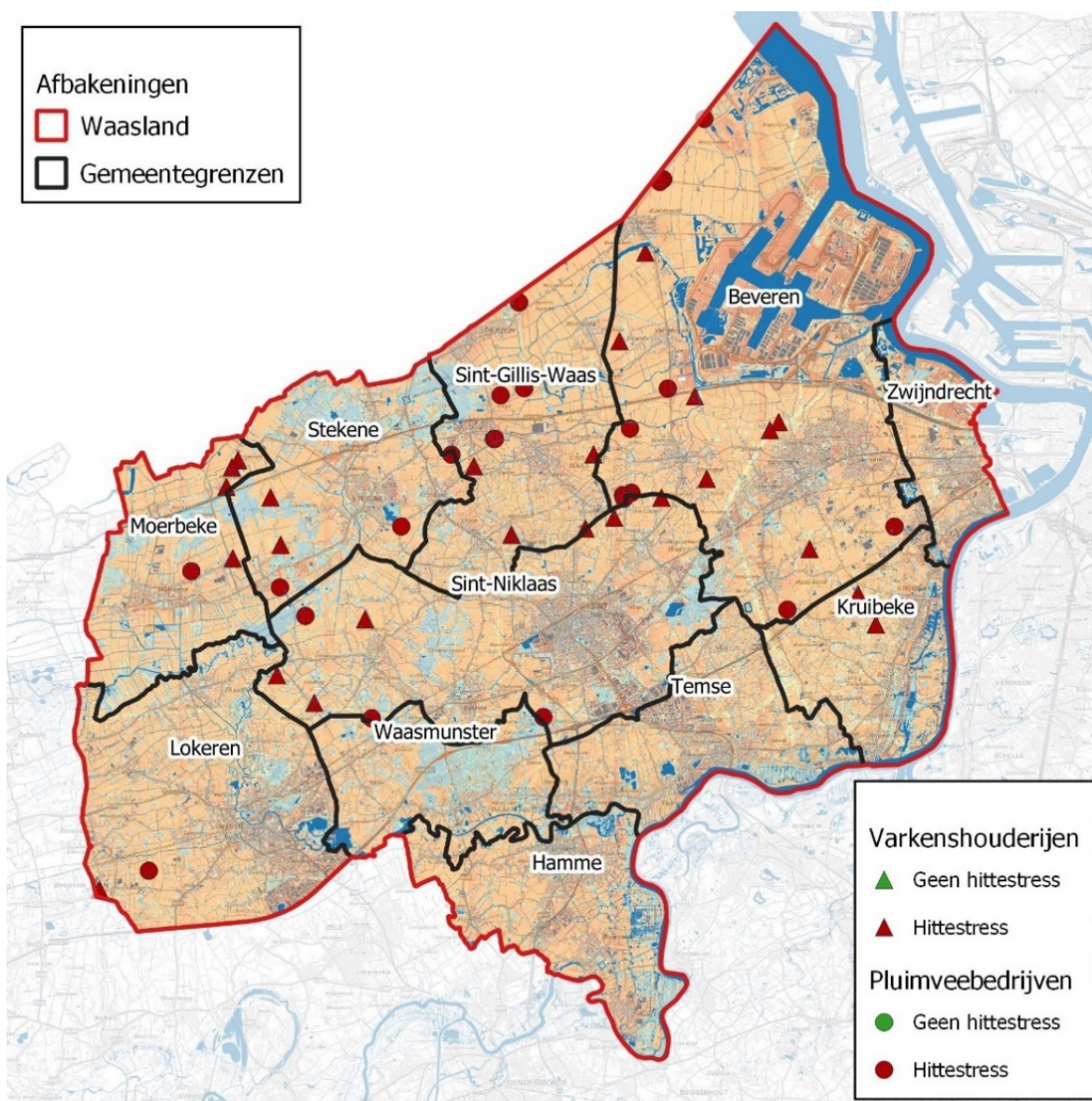


Figuur 52: Impact overstromingen op landbouwgebied.

HITTE

Toenemende hitte kan ook voor gezondheidsproblemen zorgen bij dieren. Zo ligt de comfortzone van varkens tussen 16°C en 25°C en treedt hittestress op rond 25°C. Ook voor gevogelte treedt hittestress op rond 25°C en ligt de ideale groeitemperatuur tussen 10°C en 20°C. Op warme dagen is het dus noodzakelijk om voldoende schaduw te voorzien en voor verkoeling te zorgen in de stallen (Coninx, et al., 2016).

Op Figuur 53 zijn de locaties van veehouderijen in het Waasland aangeduid. Deze gegevens zijn afkomstig van de gekende GPBV-installaties (Geïntegreerde Preventie en Bestrijding van Verontreiniging installaties) voor veeteelt op Geopunt (Vlaamse Overheid, 2020). Dit is slechts een fractie van alle veeteeltbedrijven in het Waasland. Doordat bepaalde installaties worden uitgebaat door natuurlijke personen worden de gegevens van deze bedrijven omwille van de GDPR-regelgeving niet publiek gemaakt. Figuur 53 toont aan dat alle veehouderijen gevoelstemperaturen ervaren hoger dan 25°C en dat dieren in deze bedrijven hittestress ondervinden. Dit uitte zich tijdens hittegolven in recent verleden in toegenomen biggensterfte en sterfte bij pluimvee, en in een achteruitgang van de melkproductie (Boerenbond).



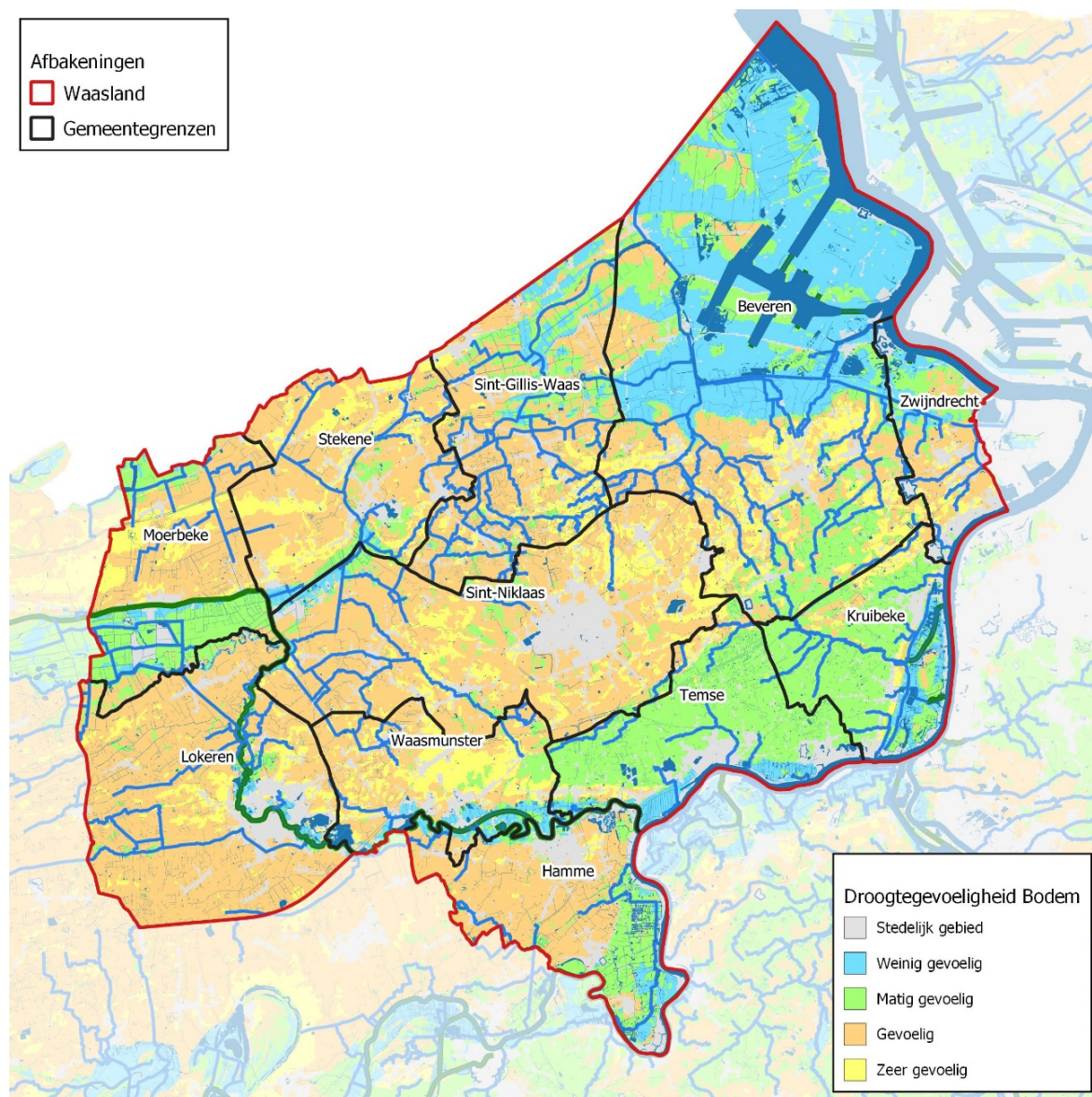
Figuur 53: Hittestress van GPBV veeteelt installaties in het Waasland.

Ook op enkele teelten heeft toegenomen hitte (naast droogte, zie verder) een impact. Rond Sint Gillis waas is vrij veel fruitteelt aanwezig, bij hittegolven en te weinig waterbeschikbaarheid kan dit tot zonnebrand leiden bij de vruchten, met oogstverlies tot gevolg (Boerenbond).

DROOGTE

Doordat neerslagvolumes dalen en evaporatie zal toenemen, zal er minder water in de bodem infiltreren wat zal leiden tot meer frequente en extreme droogte.

Door de droogtegevoeligheid van de bodem na te gaan kan een eerste inschatting gemaakt worden van de impact op landbouwgewassen.



Figuur 54: Droogtegevoeligheid bodem Waasland.

Uit Figuur 54 blijkt dat 40% van het oppervlakte in het Waasland gevoelig is voor droogte en dan nog eens 10% zeer gevoelig is voor droogte. 20% wordt aangeduid als matig gevoelig en slecht 14% is weinig gevoelig voor droogte.

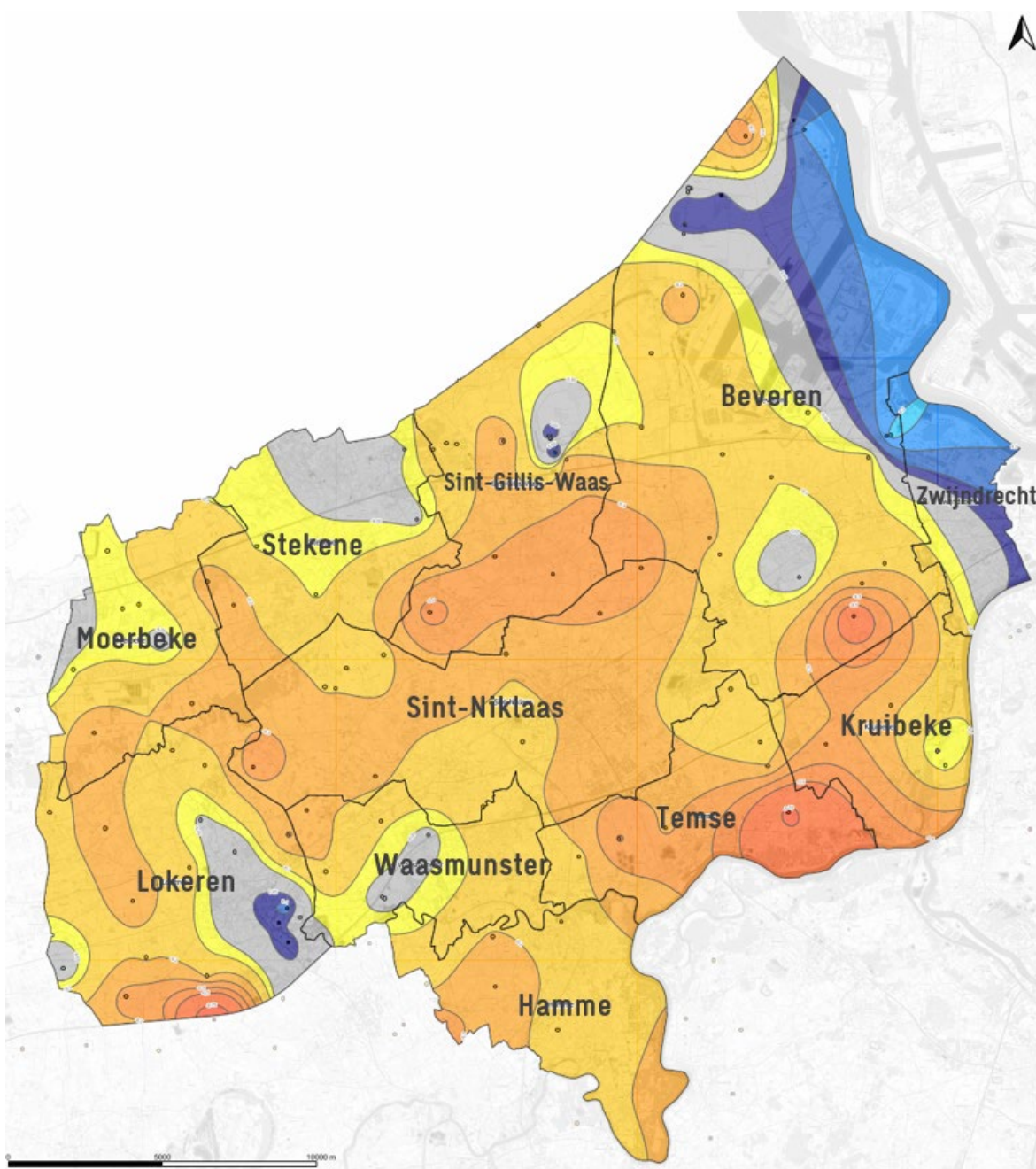
Droogte zal ook leiden tot een verlaging van de grondwaterstanden. Zoals reeds eerder beschreven zijn er veel waterwinningen aanwezig in het Waasland wat zorgt voor een druk op het gehele grondwatersysteem. Watertekorten doen zich nu reeds voor, dit blijkt uit gesprekken met betrokken stakeholders. Momenteel gaat men dit in de polders tegen door een aangepaste peilsturing.

Om de evolutie van de grondwaterstand na te gaan werd er getracht een verschilkaart te maken van de gemiddelde grondwaterstand van voor en na 2010. Hiervoor werden DOV-datapunten gebruikt die ook werden gebruikt om Figuur 20 en Figuur 21 op te maken. Alleen werden uit deze dataset enkel datapunten gebruikt waarvoor er op zijn minst metingen beschikbaar waren tussen 2007 en 2012. Hiervoor kwamen 131 meetpunten in aanmerking. Uit deze dataset werd de gemiddelde grondwaterstand in mTAW berekend voor de periode voor 2010 en na 2010. Deze waarden werden voor beide periodes geïnterpoleerd over het grondgebied van het Waasland en van elkaar afgetrokken. Op die manier kan nagegaan worden waar het grondwater na 2010 lager staat dan voor 2010 of omgekeerd.

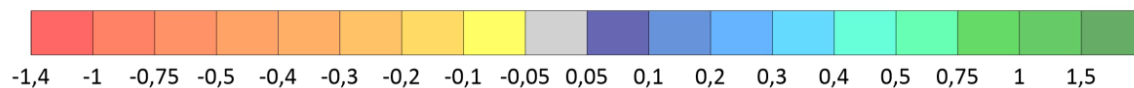
Hoewel Figuur 55 een geïnterpoleerde kaart is, opgebouwd uit een beperkt aantal punten waardoor dit slechts een ruwe benadering is van de werkelijkheid, toont ze toch belangrijke informatie. **Over nagenoeg het hele grondgebied is een daling van de grondwatertafel merkbaar van gemiddeld 0,1-0,2m. Enkel heel lokaal en ter hoogte van de dokken tekent zich een verhoging van de grondwatertafel zich af. Dit is mogelijk te wijten aan de continue veranderingen in het havengebied.**

Vooraf winningen in de freatische⁵ grondwaterlagen zullen risico lopen op verdroging. Er valt te verwachten dat bij hervergunning van de waterwinningen strengere eisen en beperkingen zullen worden opgelegd om de verder daling van het grondwater tegen te gaan. Dit zal afhankelijk zijn van de waterbehoefte en de nodige waterkwaliteit. Er dient eerder gezocht te worden naar alternatieve waterbronnen.

⁵ Freatisch grondwater is grondwater waarvan de stijghoogte of waterdruk enkel afhankelijk is van de hoogte van de waterkolom; het waterpeil wordt met andere woorden niet belemmerd door ondoorlaatbare bodemlagen. De freatische grondwaterlaag is dus doorgaans de eerste grondwaterlaag die men aantreft vanaf het maaiveld



Verskil gemiddelde grondwaterstand na 2010 en voor 2010 (labels geven verschil in m, negatieve waarde geeft aan dat de grondwaterstand lager stond na 2010 t.o.v. voor 2010)



Figuur 55: Verskilkaart gemiddelde grondwaterstand in mTAW voor en na 2010.

Recente periodes van extreme droogte illustreren die impact van dalende waterbeschikbaarheid op de landbouwpraktijk. De jaren 2017, 2018 en 2019 werden hiertoe erkend als landbouwramp.

De Boerenbond schat het inkomstenverlies tijdens deze periodes van extreme droogte in op 30 tot 40% in de polders, en rond de 10% op de zandgronden. Dit is een belangrijke nuance die niet zichtbaar is op de droogtekwaetsbaarsheidskaart uit het Klimaatportaal, waar de polderklei als minder kwetsbaar voor verdroging wordt aangeduid. Echter, indien een periode van extreme droogte zich vroeg op het jaar voordoet, en dit na een zachte winter, zoals het geval in 2018, is de zware klei een bijkomende barrière voor grondwater als deze uitdroogt en zorgt deze zo voor bijkomende daling in waterbeschikbaarheid.

Een bijkomend probleem in de Waaslandpolders (Sint Gillis-Waas, Beveren) is de **verzilting** in het grondwater. Tijdens extreme droogte is zoet water beperkt beschikbaar en kunnen teelten niet langer worden beregend omdat de verziltingsgraad te hoog wordt. Gezien het voorkomen van bloementeel die een grote watervraag heeft, is de impact tijdens extreme droogte hoog. Maximaal bewaren en aanvullen van zoetwatervoorraden is er dus de grote uitdaging (polderbesturen Waasland).

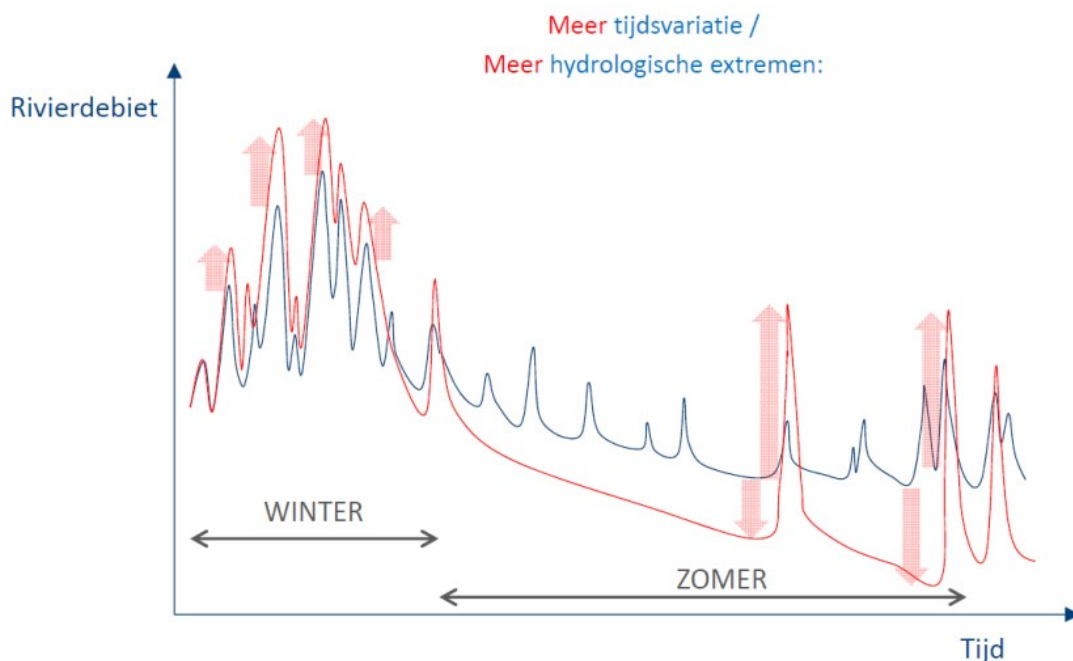
Natuur en milieu

OVERSTROMINGEN

De Schelde en Durmevalleien staan onder getijdenwerking via de Zeeschelde. Deze getijdenwerking creëert onder natuurlijke omstandigheden een gradiënt langsheen de overs met zones die dagelijks overstromen, met water met een variërend zoutgehalte. Langsheen Schelde en Durme komen zo zones voor met slikken, schorren en wilgenbossen op Europees niveau beschermd onder de Habitatrichtlijn.

Deze natuurtypes zijn dus bestand tegen overstromingen vanuit de rivier. Echter, door het stijgende zeepeil en bij hevig stormweer worden stijgingen in het maximale Scheldepeil en de amplitude van het Scheldepeil (verschil tussen hoog en laag water) verwacht. De randvoorwaarden voor het ontwerpen van het geactualiseerde Sigmaplan gaan uit van een stijging van hoogwaters met 90 cm en laagwaters met 55 cm tegen 2100 (Couderé, et al., 2005). Het toegenomen vloedvolume brengt ook verder landwaartse zoutindringing en verzilting met zich mee. De veranderingen in neerslagregime zorgen ook voor een impact op het debiet van de Schelde, dat los van het getij vooral water afvoert richting zee.

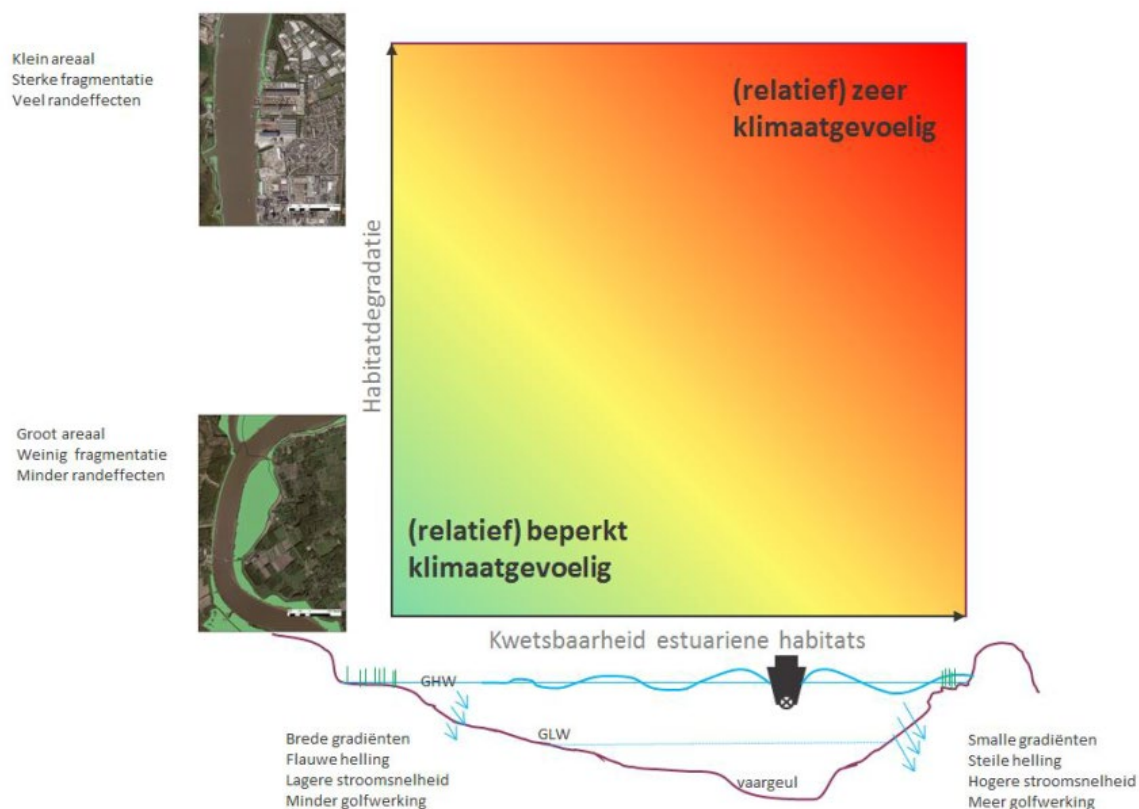
Eerder werd beschreven dat er meer variatie en meer extremen zullen optreden in de hoeveelheid neerslag; het wordt iets natter in de winter, droger in de zomer en er komt meer kans op extreme droogte. Regenvall in de zomer valt op kortere tijd. Onderstaande figuur (Figuur 56) vat de impact van dit neerslagregime op het rivierdebiet samen:



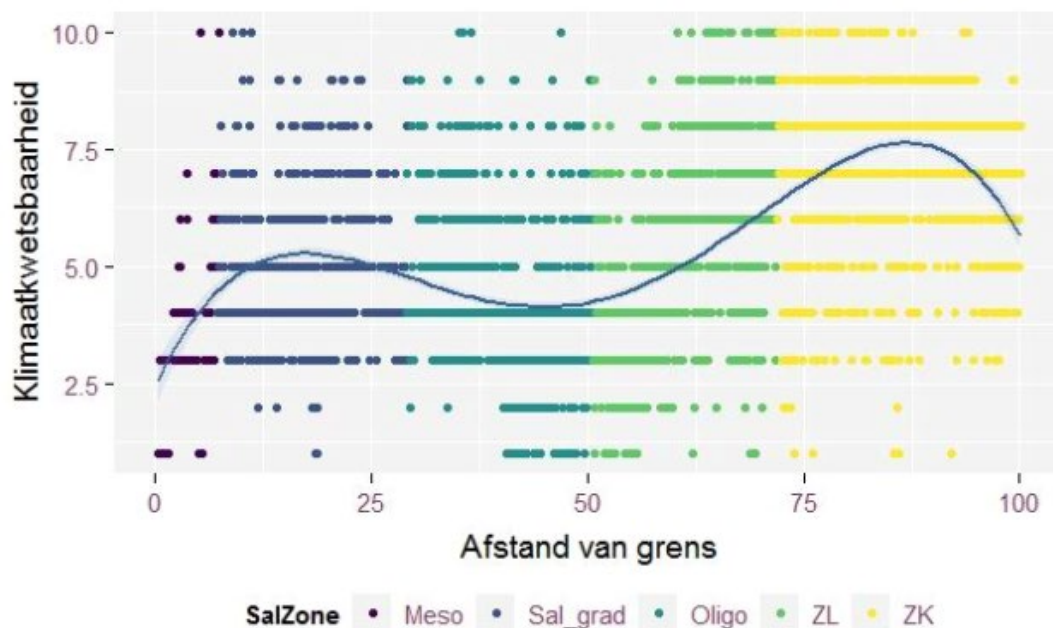
Figuur 56: Schematische weergave van verwachte veranderingen in rivierdebieten in de komende decennia (rood) ten opzichte van normale situatie (blauw) als gevolg van meer variatie doorheen het jaar en meer hydrologische extremen (Willems, De impact van de klimaatwijziging op de waterhuishouding in het Scheldebekken: Wat staat ons te wachten? Lezing Symposium 'De Schelde in 2050', 2014) (Willems, Actualisatie van de extreme-waarden-statistiek van stormvloed aan de kust, 2014).

Dit alles leidt tot een verhoogde hydrodynamiek langs de Schelde. Dit bemoeilijkt de instandhouding en vestiging van waardevolle vegetatie. De hogere waterstanden zouden ertoe kunnen leiden dat slikken en schorren zich verder landwaarts gaan ontwikkelen, omdat het waterpeil en de eroderende kracht van het getij en stormdebieten te hoog wordt. Deze migratie kan verhinderd worden door de plaatselijke topografie, maar vooral door de aanwezige oeververdedigingsstructuren (dijken) en andere antropogene structuren. Oevernatuur versmalt of verdwijnt dus door stijgend waterpeil en toegenomen erosie door hydrodynamiek. Dit fenomeen wordt in de literatuur beschreven als 'coastal squeeze' (Van Ryckegem, 2019). Mede om de zeer waardevolle estuariene natuur langs de Schelde en Durme beter te beschermen, en meer ruimte te geven om te ontwikkelen, werden gecontroleerde getijdengebieden en ontpolderingen uitgevoerd in kader van het Sigmaplan. Doordat er relatief gezien nog veel ruimte

is in deze gebieden, en de coastal squeeze hier dus beperkt is, wordt in het klimaatadaptatieplan voor de Scheldenatuur (Van Ryckegem, 2019) de zone langs de Schelde opwaarts de polder van Kruibeke als vrij beperkt klimaatgevoelig berekend (zie onderstaande figuren).



Figuur 57: Klimaatgevoeligheidsschema met de adaptatie-assen met betrekking tot klimaatverandering van het estuarien ecosysteem. Naarmate een deelzone meer linksonder positioneert is de zone beperkter klimaatgevoelig en relatief adaptiever (veerkrachtiger) met betrekking tot klimaatverandering (Van Ryckegem, 2019).

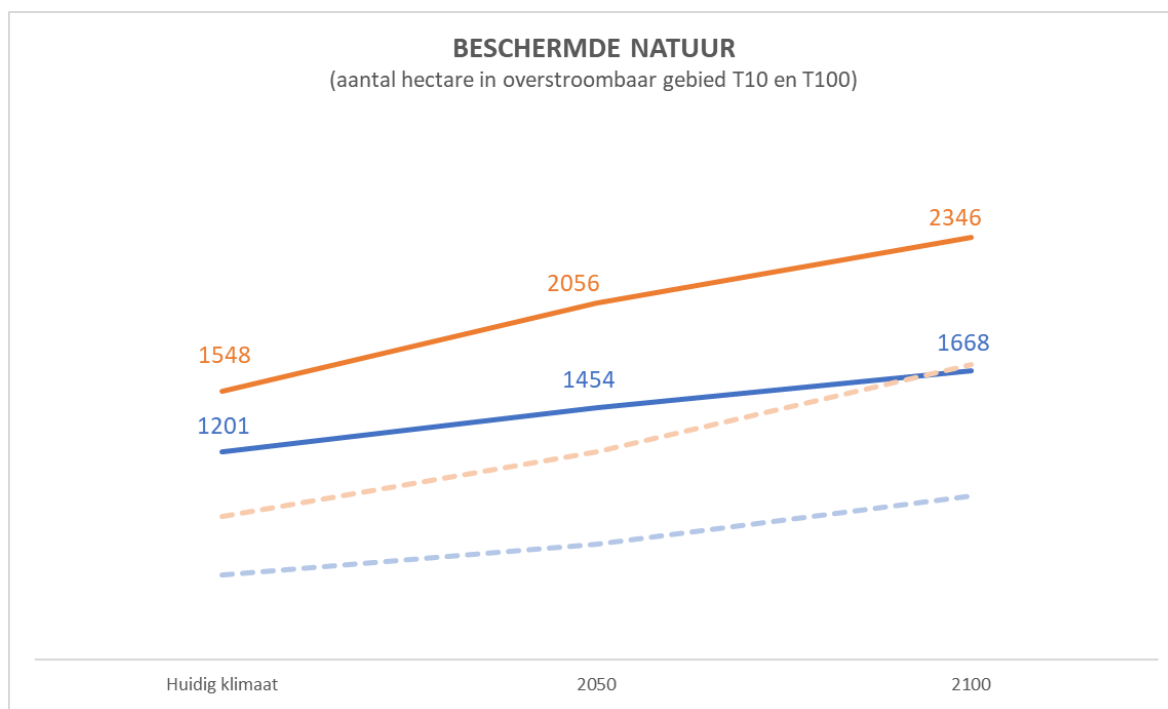


Figuur 58: Berekende habitatkwetsbaarheid gecategoriseerd voor de Zeeschelde per 50 m sectie afzonderlijk voor linker- en rechteroever. Hoe hoger de waarde hoe hoger de klimaatkwetsbaarheid (Van Ryckegem, 2019).

Op basis van de beschikbare pluviale en fluviale overstromingskaarten kan de impact van overstroming op beschermde natuur geanalyseerd worden. Onder beschermde natuur wordt verstaan de afgebakende erkende natuurreservaten, de Vlaamse natuurreservaten, de habitatrichtlijn- en vogelrichtlijngebieden (Natura2000) en de VEN/IVON gebieden.

Door de toenemende overstromingen als gevolg van klimaatverandering neemt de overstromde oppervlakte van beschermde natuur toe van 21% in het 2050-scenario tot 38% in het 2100-scenario voor een bui met een terugkeerperiode van 10 jaar (Figuur 59). Deze toename kan oplopen tot respectievelijk 33% en 57% voor een bui met een terugkeerperiode van 100 jaar. Wat opvalt bij deze analyse is dat een groot aandeel van de natuur overstromt vanuit de waterlopen. Vaak bevinden natuurgebieden zich dan ook in de omgeving van waterlopen omwille van de specifieke habitattypes die vanuit het verleden hieraan verbonden zijn, denk maar aan de getijdennatuur langs de Schelde en Durme, en natte valleigraslanden. Overstroming vanuit de rivier manifesteert zich hier vooral in de winterperiode. Langdurige overstroming, zeker in de zomerperiode, kan wel nadelige effecten hebben (De Nocker et al, 2007, in (Van der Aa, et al., 2015)).

Door klimaatverandering zal het percentage natuur dat getroffen wordt door pluviale overstromingen echter relatief sterker stijgen dan het percentage getroffen door overstroming vanuit de waterlopen. Er wordt geen belangrijke impact ingeschat van pluviale overstromingen op deze natuurwaarden. Integendeel, de grootste impact op de Wase natuur is momenteel net een tekort aan water (zie verder).



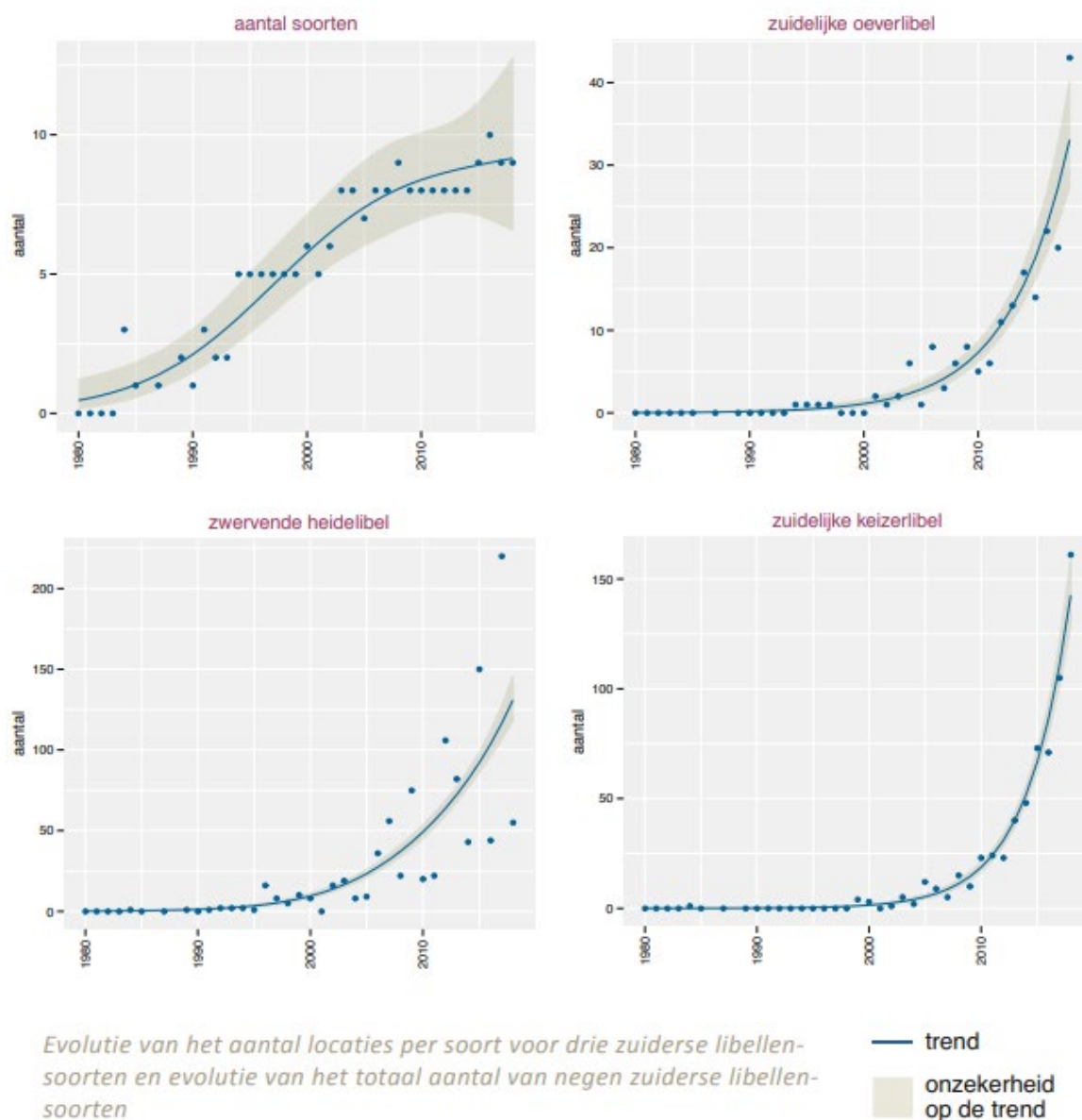
Figuur 59: Overstroombaar oppervlak (ha) aan beschermde natuur in het Waasland. Volle lijn: integrale overstroming (pluviaal + fluviaal); Stippellijn: pluviale overstroming.

HITTE EN TEMPERATUURSTIJGING

Natuurbranden ontstaan wanneer vegetatie wordt blootgesteld aan droog en heet weer, in combinatie met wind. Ecosystemen zoals naaldboutbossen zijn hiervoor zeer gevoelig. Een verhoogde frequentie van branden in deze habitats zal leiden tot een verlies aan biodiversiteit. Studies op Europese schaal (EEA, 2017) (Ciscar, et al., 2014) tonen aan dat de kans op bosbranden in Vlaanderen ook in 2100 relatief beperkt blijft.

Verder zorgt een opwarming van het klimaat voor een verschuiving van het klimaatoptimum van tal van soorten. Verschillende soorten insecten en vogels bijvoorbeeld koloniseren Vlaanderen en het Waasland vanuit het zuiden. Door de voortschrijdende opwarming gaan zuiderse soorten zich noordwaarts verplaatsen. Het Instituut voor Natuur en Bos volgt dit

fenomeen op sinds 1980 aan de hand van negen zuiderse libellensoorten. Nooit eerder werd deze groep zuiderse libellen op zo veel locaties in Vlaanderen waargenomen als in 2018. Met uitzondering van de zwervende heidelibel werden voor alle soorten de hoogste aantallen ooit waargenomen. Van belang is het robuust houden van het natuurlijk netwerk en de landschapsconnectiviteit zodat soorten zich gemakkelijker over het landschap kunnen verplaatsen, en populaties aan de grens van hun areaal niet geïsoleerd raken en uitsterven (Demey, De Frenne, & Verheyen, Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van ANB., 2015)



Bron: Libellenvereniging Vlaanderen vzw, en de gemeenschappelijke databank van Natuurpunt Studie vzw en de Libellenvereniging Vlaanderen vzw die verzameld werden via www.waarnemingen.be

Figuur 60: Trend zuidelijke libellensoorten (Vriens, et al., 2019)

Immers, het versnipperen en degraderen van bijzondere habitats, en het verdwijnen van ecologische verbindingen tussen verschillende populaties maakt de biodiversiteit minder weerbaar tegen klimaatverandering en maakt haar kwetsbaar voor klimaatverandering. Er ontstaan biologische gemeenschappen met een lager aantal soorten, gedomineerd door meer wijdverspreide habitatgeneralisten. **Ook in Vlaanderen wordt waargenomen dat soorten met een groot verspreidingsvermogen zoals de gehakkelde aurelia en**

koninginnenpage het de laatste tijd alsmāar beter doen, terwijl minder mobiele, aan een specifiek habitat gelinkte soorten verdwijnen (Van der Aa, et al., 2015). Voor het telproject in het Stropersbos is dit bijvoorbeeld het geval voor de zwarte heidelibel, een bijzondere libellensoort die niet langer wordt waargenomen in het gebied (rapportage Wakona).

DROOGTE

De biodiversiteit in het Waasland is sterk waterafhankelijk. Periodes van extreme droogte impacteren de biodiversiteit van het Waasland op verschillende manieren.

Verruiging door dalende grondwaterstand

In de Moervaartdepressie, de Fondatie Van Baudelo, en langs de Zuidlede, Moervaart en Dume en Scheldemeersen komen laag gelegen, natte graslanden, beek en rivierbegeleidende bossen en moerasgebieden voor. Deze herbergen moerasvegetaties, rietlanden, maar ook voor Vlaanderen belangrijke natte graslanden zoals dotterbloemgraslanden en blauwgraslanden. Deze natuurtypes zijn erg afhankelijk van een hoge grondwaterbeschikbaarheid en van een zeker voorkomen van kwel (opwellend grondwater). De extreme droogte van 2016 tot 2019 leidde tot een daling van de grondwaterstanden in vrijwel heel de regio (zie eerder). **De impact daling van de beschikbaarheid van grondwater in waardevolle natuurgebied uit zich vooral in de achteruitgang van de lokale soortenrijkdom; bossen en graslanden. Graslanden met bijzondere, grondwaterafhankelijke flora verruigen. Ze worden verdrongen door algemene grassen- en bramensoorten die minder contact met grondwater nodig hebben.** Voorbeelden van natuurgebieden waar deze trend reeds wordt waargenomen betreffen de Gavers te Kemzeke (Sint Gillis-Waas), de Fondatie van Baudelo, en de Buylaers te Lokeren (input vanuit terreinbeherende organisaties). Een andere mogelijke oorzaak van deze vergrassing en verruiging is indirect een gevolg van de droogte. Veel natte graslanden hebben een laag vervenend materiaal; plantaardig materiaal dat door hoge waterstand niet volledig afbreekt en accumuleert (meteen een belangrijke reden waarom wetlands erg veel CO₂ kunnen opslaan). Door de dalende waterstanden komen de venige lagen boven de watertafel te liggen en komen de voedingsstoffen erin terug vrij, waardoor meer algemene grassoorten de bovenhand nemen.

Dalende habitatkwaliteit en -beschikbaarheid

Verdere impact van periodes van meer extreme droogte die voor het gebied worden verwacht betreffen het droogvallen van grachten en poelen, en de achteruitgang van populaties amfibieën (bijvoorbeeld de kamsalamander) en insecten gelinkt aan de poelen. De voortplantingscyclus van deze soorten wordt verstoord wanneer poelen te vroeg in het jaar droogvallen. Voor de periode 2016-2019 kan dit voor het Waasland worden geïllustreerd met het libellentelproject in de Stropersbossen (Wakona, 2016-2019). Populaties van waterjuffers en libellen nemen zeer sterk af na jaren met extreme droogte.

Verzwakking bosbestand

Droogtestress wordt als een van de grootste risico's van klimaatwijziging voor bossen beschouwd (Van der Aa, et al., 2015). Dit risico is het grootst op bodems met een laag waterbergend vermogen, vaak zandbodems. De bossen op de dekzandruggen in het Waasland zijn dus in principe gevoeliger voor extreme en langdurige zomerdroogte. Ook grondwatergebonden bossen (valleibossen) zijn gevoelig aan verdroging. De gevolgen van een dalend wateraanbod zijn o.a. droogtestress en een verminderde groei. **De droge periode 2016-2019 betekende de droogtegevoeligheid van het Wase bosbestand.** Het bos in het Waasland bestaat (met uitzondering van de alluviale⁶ bossen in de riviervalleien en estuaria⁷) voor het overgrote deel uit fijnspar en grove den die na de Tweede Wereldoorlog werden aangeplant op de armere zandgronden die minder interessant waren voor akkerbouw. **Zeker de fijnspar is niet geschikt voor de droge omstandigheden, deze bestanden verzwakken door aanhoudende droogte en zijn zo zeer kwetsbaar voor omvallen bij zwaar stormweer, maar vooral voor parasieten.** Aanhoudende droogte zorgt ervoor dat er te weinig harsontwikkeling is om verweer te hebben tegen parasitaire schorskevers (Verkaik, Moraal, & Nabuurs, 2009). Het Fijnsparrenbestand in het Waasland wordt zo sterk bedreigd door infectie van bijvoorbeeld de Letterzetter. De grove den, die wel meer standplaatsgeschikt is en beter is aangepast aan drogere zandgrond, begint ook getroffen te worden (ANB, Bosgroepen Oost Vlaanderen). De plotse verdroging veroorzaakt stress bij deze boomsoort, en doordat deze vaak te dicht opeen werd aangeplant en dunningskappingen uitbleven, zijn de bestanden erg kwetsbaar voor stormschade en parasieten. Achterstallig beheer leidde tot te weinig natuurlijke verjonging en te veel bomen

⁶ Het alluvium zijn losse deeltjes of sedimenten afgezet door overstromende rivieren. Alluviale natuur zijn daarop bos- en graslandtypes die langs rivieren voorkomen aangepast aan deze bodemtypes.

⁷ Een estuarium is de monding van een grote rivier in zee. In een estuarium speelt getijdenwerking een belangrijke rol, en is er een overgang van zoet rivierwater naar zout zeewater.

met dezelfde leeftijd op te kleine ruimte, bijkomende factoren die de kwetsbaarheid voor de droogte en de Letterzetter vergroten, en het adaptief vermogen van het bestand verkleinen (Bosrevue, 2017).

Eens een perceel is geïnfecteerd met deze soorten, dient het preventief gekapt te worden. De voorbije jaren diende een aanzienlijk deel van het Wase bosbestand, dat schade had ondervonden, te worden gekapt (cijfers in tabel). Kappingen gebeuren bij private eigenaren en bosbouwers, maar ook bij bossen in beheer van natuurorganisaties, zoals het speelbos De Vaag in Waasmunster. Alleen al de periode 2019-2020 werden in het Waasland over een oppervlakte van 350 hectare naaldhoutbestanden gekapt (eindkap, of kaalslag met heraanplant) ten gevolge van infecties van Letterzetter en andere droogte gerelateerde parasieten. Dit geldt niet noodzakelijk als ontbossing, bouseigenaren dienen bij dergelijke kappingen terug aan te planten, maar als de volledige volwassen boomlaag is afgestorven en werd gekapt, is er voor meerdere decennia niet langer sprake van een functioneel bos.

Ook bij (her) aanplantingen is de aanhoudende droogte opnieuw de spelbreker. Doordat oudere bomen, die als buffer tegen hitte en droogte kunnen dienen, zijn verdwenen, melden organisaties actief in natuurinrichting (Natuurpunt, Regionaal Landschap) en overheden (bosgroepen, ANB) momenteel grote problemen in het succes van bosaanplant; veel aanplantacties mislukken door de droogte. Ook de kosten voor de beplanting nemen toe door toegenomen interesse en maatschappelijk draagvlak voor bosaanplantingen. Deze trend, gecombineerd met een toegenomen bossterfte in heel West-Europa, deed de prijs voor bosplantsoen toenemen. Dit bemoeilijkt de heraanplant na noodzakelijke kap, en de aanplant van nieuwe bossen aanzienlijk. De houtprijzen daalden in enkele decennia van (30 euro/m³) naar 5 euro/m³ (Med. Bosgroepen). Dit bemoeilijkt verder de rendabiliteit van bosbeheer en maakt het voor bouseigenaren moeilijker om hun bossen klimaatadaptief te ontwikkelen.

Bibliografie

- Agentschap Natuur & Bos. (2021). *Overgangsmaatregelen voor goedgekeurde beheerplannen (volgens oude regeling)*. Opgehaald van <https://www.natuurenbos.be/beleid-wetgeving/natuurbeheer/natuurbeheerplan/overgangsmaatregelen-voor-goedgekeurde-beheerplannen>
- Agentschap Natuur & Bos. (2021). *Vergunningen - Tijdelijke natuur*. Opgehaald van <https://www.natuurenbos.be/beleid-wetgeving/vergunningen/tijdelijke-natuur>
- ANB, Bosgroepen Oost-Vlaanderen. (sd).
- Boosten, M., de Jong, A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Borgman, D., & Kremers, J. (2018). *Gereedschapskist klimaatslim bosbeheer; Voorstudie en projectplannen modules bosbeheer, bosaanleg, landschappelijke beplantingen, stedelijk groen en agroforestry*. Probos en Wageningen Universiteit.
- Bosgroepen. (sd). Mededeling: bilateraal overleg Bosgroepen.
- Bosrevue. (2017). *Klimaatadaptatie in het bosbeheer: een mythe of een feit?* BosPlus.
- Ciscar, J., Feyen, L., Sorai, A., Laval, C., Raes, F., Perry, M., . . . Niemeyer, S. (2014). Climate Impacts in Europe. *The JRC PESETA II Project, JRC Scientific and Policy Reports, EUR 26586EN*.
- Climate Central. (2020). *Land projected to be below annual flood level in 2050*. Opgehaald van https://coastal.climatecentral.org/map/11/4.4004/51.2139/?theme=sea_level_rise&map_type=coastal_dem_comparison&basemap=roadmap&contiguous=true&elevation_model=best_available&forecast_year=2050&pathway=rcp45&percentile=p50&refresh=true&return_level=return_
- Coninx, I., De Rooij, B., Swart, R., Willems, P., Van Uytven, E., Tabari, H., . . . Boone, P. (2016). *Klaar voor klimaatverandering - Opmaak van een risico- en kwetsbaarheidsanalyse in functie van klimaatadaptatie en uitwerken van adaptatiebeleid op maat van en voor de provincie Antwerpen*. Alterra Wageningen UR en KU Leuven voor Provincie Antwerpen.
- Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. (2017). *Evaluatierapport droogte*.
- Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. (2018). *Evaluatierapport droogte*.

- Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. (2020). *Opmaak Overstromingsgevaar- en overstromingsrisicokaarten (OGRK). Methodologie.*
- Couderé, K., Vincke, J., Nachtergaele, L., Van den Bergh, E., Dauwe, W., Bulckaen, D., & Gauderis, J. (2005). *Geactualiseerd Sigmaplan voor veiligheid en natuurlijkheid in het bekken van de Zeeschelde: synthesesnota.* Antwerpen: Waterwegen & Zeekanaal NV.
- Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV). (2020). Opgehaald van <https://www.dov.vlaanderen.be/>
- de Nijs, T. (2020). Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte. *Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.* Opgehaald van <https://rivm.openrepository.com/handle/10029/623094>
- De Vlaamse Waterweg nv; Natuur en Bos. (2020). *Het Sigmaplan.* Opgehaald van www.sigmaplan.be
- De Waterhouderij. (2021). *De Waterhouderij.* Opgehaald van <http://waterhouderij.nl/>
- Demey, A., De Frenne, P., & Verheyen, K. (2015). *Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van ANB.* Forest & Nature Lab, Universiteit Gent.
- Demey, A., De Frenne, P., & Verheyen, K. (2015). *Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van ANB.* Forest & Nature Lab, Universiteit Gent.
- Departement Omgeving. (2021). *Vlaanderen breekt uit - Boer ruimt veld.* Opgehaald van Omgeving Vlaanderen: <https://omgeving.vlaanderen.be/boer-ruimt-veld>
- Departement Omgeving. (2021). *Vlaanderen breekt uit - Proeftuinen ontharding.* Opgehaald van Omgeving Vlaanderen: <https://omgeving.vlaanderen.be/proeftuinen-ontharding>
- EEA. (2017).
- Everaert, J. (2016). *Verslag soortenbeschermingsproject vleermuizen in het Waasland en omgeving, met bijzondere aandacht voor de mopsvleermuis: resultaten van 2014 tot 2016.* Vzw Durme, in samenwerking met de Vleermuizenwerkgroep van Natuurpunt en de Zoogdierenwerkgroep Waas, Durme & Schelde.

Heusinkveld, B., Sterenborg, G., Steeneveld, G., Attema, J., Ronda, R., & Holtslag, A. (2017). Smartphone App brings human thermal comfort forecast in your hands. *Bulletin of the American Meteorological Soc.*, 98:2533-2541.

INBO. (2021). Advies INBO.

Infrabel. (2020). *Het kwik schiet de hoogte in: onze teams zijn er klaar voor.* Opgehaald van <https://infrabel.be/nl/article/kwik-schiet-hoogte-onzeteams-zijn-klaar>

Klimaatportaal VMM. (2020). *Waarom tonen we in het Klimaatportaal enkel het hoog-impactscenario?* Opgehaald van <https://klimaat.vmm.be/nl/-/waarom-tonen-we-in-het-klimaatportaal-enkel-het-hoge-impactscenario-1?inheritRedirect=true&redirect=%2Fdroogte>

Klimaatstad Sint-Niklaas. (2018). *Een klimaatgezond bos rondom provinciaal domein De Ster.* Opgehaald van <https://www.sintniklaasklimaatstad.be/natuur-en-water/een-klimaatgezond-bos-rondom-provinciaal-domein-de-ster>

KMI. (2020). *Klimaatatlas.* Opgehaald van <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaatatlas/klimaatkaarten/neerslag/neerslaghoeveelheid/jaarlyks>

KMI. (sd). *Gegevens CIW.*

KMI; Bodemkundige Dienst van België. (2012). *Klimaat effectschetsboek West- en Oost-Vlaanderen.*

Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI). (2020). *Klimaatrapport 2020 - Van klimaat informatie tot klimaatdiensten.* Ukkel: Dr. D. Gellens.

Lauwaet, D., De Ridder, K., Maiheu, B., Hooyberghs, H., Lefebvre, F., & Lauwaet, D. (2018). Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect. (V. v. Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2018/01, & VITO, Red.)

Life Sparc. (sd). *Technical summary and overall context of the project.*

Lokers, R., Coninx, I., Willems, P., & de Groot, H. S. (2018). Klimaatportaal Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, dienst Hoogwaterbeheer en dienst Milieurapportering, EOW&MIRA/2018/02, Wageningen Invironmental Research/KU Leuven.

Mollen, F. H. (2018). Betonrapport van de Vlaamse gemeenten en provincies Natuurpunt.

Natuurpunt. (2020, 02 14). *Waar brandt de lamp? Lichtvervuiling als oorzaak van de achteruitgang van insecten.* Opgehaald van

<https://www.natuurpunt.be/nieuws/waar-brandt-de-lamp-lichtvervuiling-als-oorzaak-van-de-achteruitgang-van-insecten-20200214>

Ntegeka, V., & Willems, P. (2009). CCI-HYDR Perturbation Tool: a climate change tool for generating perturbed timeseries for the Belgian climate, Manual version January 2009, KU Leuven. *Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium*, 7.

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

Paelinck, G. (2020, 8 17). 't Is gebeurd: de hittegolf is na 12 dagen officieel voorbij. Opgehaald van VRT Nieuws: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2020/08/17/hittegolf/>

Regionaal Landschap Schelde-Durme. (2021). *Natuur in de buurt - Openbare speelterreinen*. Opgehaald van <https://www.rlsd.be/projecten/educatie/speelnatuur/5154>

Rioolmodellen aangeleverd door Aquafin. (sd).

Ryckegem, G. V. (2019). *Klimaatadaptatieplan voor de estuariene natuur in de Zeeschelde*.

Schneiders, A., Alaerts, K., Michels, H., Stevens, M., Van Gossum, P., Van Reeth, W., & Vught, I. (2020). *Natuurrapport 2020: feiten en cijfers voor een nieuw biodiversiteitsbeleid. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (2)*. Brussel.

Schneiders, A., Spanhove, T., Breine, J., Zomlot, Z., Verbeiren, B., Batelaan, O., & Decleyre, D. (2014). *Hoofdstuk 22 - Ecosysteemdienst regulering overstromingsrisico. Natuurrapport - Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Technisch rapport. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO*. Brussel.

Sigmaplan. (2021). *Deelprojecten Durmevallei - De Bunt*. Opgehaald van <https://www.sigmaplan.be/nl/projecten/durmevallei/deelprojecten/de-bunt/>

Stichting Climate Adaptation Services. (2020). *Klimaat-effectatlas*. Opgehaald van <https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/>

Stichting Steenbreek. (2021). *Samen zorgen voor een groene, klimaatbestendige en gezonde leefomgeving*. Opgehaald van <https://steenbreek.nl/>

Sumaqua. (2018). *Impact van Klimaatverandering op rioleringen. Studie uitgevoerd door Sumaqua i.o.v. VLARIO*.

- Thomassen, E., Wijdeven, S., Boosten, M., Delforterie, W., & Nyssen, B. (2020). *Revitalisering Nederlandse Bossen*. Nederlandse Bosgroepen, i.o.v. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Van der Aa, B., Vriens, L., Van Kerckvoorde, A., De Becker, P., Roskams, P., De Bruyn, L., & Hoffmann, M. (2015). *Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- van Ek, R. (2012). *Waterhouderij*. Opgehaald van <https://publicwiki.deltares.nl/display/CAW/Waterhouderij>
- Van Ryckegem, G. (2019). *Klimaatadaptatieplan voor de estuariene natuur in de Zee-Schelde. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. doi:doi.org/10.21436/inbor.16943295
- Vandamme, L., Belpaire, C., Gelaude, E., Gouwy, J., Robberechts, K., Van Thuyne, G., . . . Van Den Berge, K. (2019). *Onderzoek naar potentieel habitat voor de otter in de Benedenschelde; Habitatkwaliteit en knelpunten gedetailleerd in kaart. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Vanhulle, A., Bourdet, G., Versluys, M., De Maesschalck, N., Namèche, F., & Cols, J. P. (2018). *Lichtvisie Vlaamse gewestwegen*. Agentschap Wegen en Verkeer.
- Verkaik, E., Moraal, L., & Nabuurs, G. (2009). *Potential impacts of climate change on Dutch Forests, mapping the Risks - Alterra rapport 1761*. Wageningen.
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). (2020). Opgehaald van <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2020/09/02/stijgende-zeespiegel-in-belgie/>
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). (2020). *Klimaatportaal*. Opgehaald van <https://klimaat.vmm.be/nl/welkom>
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). (2021). *Proeftuinen Droogte*. Opgehaald van <https://www.vmm.be/water/projecten/proeftuinen-droogte>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2019). *TOPSOIL Airborne EM kartering van zoet en zout grondwater in Vlaanderen (FRESHEM Vlaanderen)*.
- Vlaamse Overheid. (2008). *Ruimtelijke visie voor landbouw, natuur en bos - Gewenste Ruimtelijke Structuur regio Waasland*.
- Vlaamse Overheid. (2019). *Bijzonder kwetsbare instellingen*. Opgehaald van <https://www.waterinfo.be>

- Vlaamse Overheid. (2019). *Overstromingsgevaar- en risicokaarten*. Opgehaald van <https://www.waterinfo.be>
- Vlaamse Overheid. (2020). *Geopunt*. Opgehaald van <https://www.geopunt.be/>
- VMM. (2015). *MIRA Klimaatrapport 2015 - Over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen*. VMM.
- VMM. (2019). *Pluviale overstromingskaarten portaal (versie mei 2019)*. Opgehaald van <https://www.pluvialeoverstromingskaarten.be>
- Vriens, L., Demolder, H., Adriaens, T., Bayens, R., Boone, N., De Beck, L., . . . Thomaes, A. (2019). *Natuurindicatoren 2019, Toestand van de natuur in Vlaanderen. Cijfers voor het beleid. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Wakona. (2016-2019). *Jaarverslagen Libellenfauna in het stropersbos*.
- Waterwegen en Zeekanaal NV. (2005). *Geactualiseerd Sigmaplan voor veiligheid en natuurlijkheid in het bekken van de Zeeschelde*.
- Willems, P. (2014). Actualisatie van de extreme-waarden-statistiek van stormvloeden aan de kust. *KU Leuven voor Waterbouwkundig Laboratorium*, 193-205.
- Willems, P. (2014). *De impact van de klimaatwijziging op de waterhuishouding in het Scheldebekken: Wat staat ons te wachten? Lezing Symposium 'De Schelde in 2050'*. Antwerpen.
- Willems, P., & Vrac, M. (2011). Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change. *Journal of Hydrology*, 40.
- Wolfs, V., Ntegeka, V., Willems, P., & Francken, W. (2018). Impact van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen op rioleringen. Studie uitgevoerd door Sumaqua in opdracht van VLARIO. 86.

Kaartenlijst

Kaart 1	Luchtfoto
Kaart 2	Bodemtype
Kaart 3	Waterlopensysteem
Kaart 4	Ferrariskaart
Kaart 5	Landgebruik
Kaart 6	Natuur en groen
Kaart 7	Landbouwgebruikspcelen
Kaart 8	Bodemafdekking
Kaart 9	Evolutie bodemafdekking
Kaart 10	Infiltratiegevoelige bodems
Kaart 11	Grondwaterstand
Kaart 12	Grondwaterstand voor en na 2010
Kaart 13	PET (Hittekaart gevoelstemperatuur)
Kaart 14	Hittestress: effectkaart
Kaart 15	Hittestress: kwetsbare personen
Kaart 16	Hittestress: kwetsbare instellingen
Kaart 17	Droogtegevoeligheidskaart
Kaart 18	Aangroei overstroombaar gebied T10
Kaart 19	Aangroei overstroombaar gebied T100
Kaart 20	Effectkaart pluviale overstroming T10
Kaart 21	Effectkaart pluviale overstroming T100
Kaart 22	Effectkaart fluviale overstroming T10
Kaart 23	Effectkaart fluviale overstroming T100