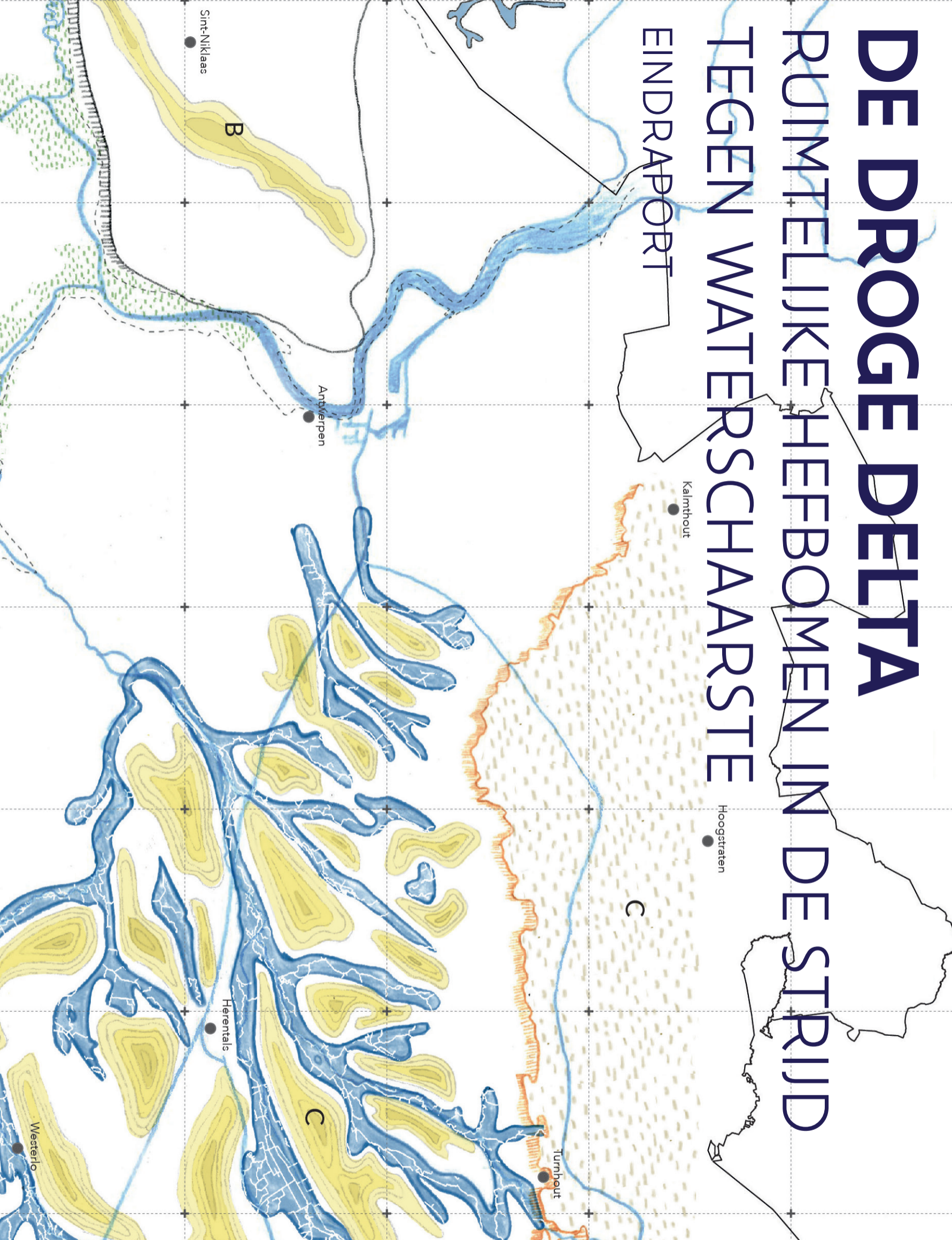


DE DROEGE DELTA

RUIMTELIJKE HEFBOOMEN IN DE STRIJD TEGEN WATERSCHAARSTE

EINDRAPPORT



Vlaamse
overheid

LABO
RUIMTE



Foto: ©Andreas Bauwens

DE DROGE DELTA

RUIMTELIJKE HEFBOMEN IN DE STRIJD TEGEN WATERSCHAARSTE

EINDRAPPORT

De Droge Delta

Ruimtelijke hefboomen in de strijd tegen waterschaarste.
Diagnosefase - december 2021

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

Colofon

VERANTWOORDELIJKE UITGEVER

Peter Cabus
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
www.omgevingvlaanderen.be

OPDRACHTGEVERS

LABO RUIMTE

Lieven Symons (Departement Omgeving)
Sofie Troch (Departement Omgeving)
Julie Mabilde (Team Vlaams Bouwmeester)

AUTEURS

Projectcoördinatie

SWECO
Isabelle Putseys (projectleiding)
Frederic Schobben

Ontwerpend onderzoek

CLUSTER landschap & stedenbouw
David Verhoestraete (projectleiding)
Andreas Bauwens
Joppe Dehandschutter
Joachim Baetens
Ellen De Wolf

Kwantitatief onderzoek en modelering

Universiteit Antwerpen
Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer
Jan Staes (projectleiding)
Dirk Vrebos

Begeleidingsgroep

Patrick Willems (KU Leuven)
Sarah Garré (ILVO)
Dirk Halet (VLAKWA)
Bram Vogels (Vlaamse Milieumaatschappij)
Sofie Herman (Vlaamse Milieumaatschappij)
Erik Wieërs (Vlaams Bouwmeester)

WIJZE VAN CITEREN

CLUSTER landschap & stedenbouw, SWECO, Universiteit Antwerpen (2021). De Droge Delta. Ruimtelijke hefboomen in de strijd tegen waterschaarste. Studie in opdracht van LABO RUIMTE.

PARTNERS

**LABO
RUIMTE**



Vlaamse
overheid

BWMSTR
Team
Vlaams
Bouwmeester

De LABO RUIMTE studie 'De Droge Delta' werd opgevat als een gezamenlijk denkproces tussen de opdrachtgevers (Departement Omgeving en Team Vlaams Bouwmeester, verenigd onder de noemer LABO RUIMTE) en het onderzoeksteam (Sweco, CLUSTER landschap & stedenbouw en Universiteit Antwerpen – Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer). In dit proces werden een veelheid aan verschillende stakeholders (VMM, Provincies, Aquafin, ILVO, VITO, Vlakwa, BBL, Vlaamse Waterweg, departement landbouw en visserij, ...) betrokken. Deze nota vormt een synthese van dit intensieve proces, waarbij ontwerpend onderzoek werd ingezet als middel om inzicht te verwerven in en het bespreekbaar maken van een ruimtelijke diversiteit aan droogte-uitdagingen in Vlaanderen.

Voorwoord

Onder de noemer 'De Droge Delta – Ruimtelijke hefboomen in de strijd tegen waterschaarste' startte LABO RUIJTE, de samenwerking tussen Departement Omgeving en Team Vlaams Bouwmeester, in 2020 een nieuw onderzoekstraject op. De droge zomers waarmee Vlaanderen in 2017, 2018, 2019 en 2020 werd geconfronteerd, toonden aan dat we niet voorbereid zijn op langere periodes van droogte. Er gebeurt al heel wat onderzoek naar waterschaarste, maar het verband met ruimtelijke ontwikkeling werd in die onderzoeken nog te weinig in kaart gebracht. Ruimtelijke planners, stedenbouwkundigen en ontwerpers hebben bovendien nog te weinig kennis rond de droogteproblematiek.

Nochtans kunnen ruimtelijke planning, programmatie en inrichting van de ruimte een belangrijke rol spelen in de noodzakelijke evolutie van versnelde waterafvoer naar meer infiltreren, vasthouden en hergebruik van water. Waterschaarste is een complexe problematiek, en hoewel er op jaarbasis voldoende regen valt om aan onze watervraag te voldoen, wordt er nog te veel water afgevoerd zodat we in periodes van droogte in de problemen komen, en dat heeft onder meer te maken met de manier waarop we onze ruimte gebruiken en inrichten.

LABO RUIJTE wil in de recente veelheid van acties en onderzoeken die rond droogte en waterschaarste lopen een zinvolle aanvulling leveren. De focus van het onderzoekstraject ligt daarom op een proactieve droogteaanpak en oplossingen die gelinkt kunnen worden aan ruimtegebruik, ruimtelijk beleid of de inrichting van de ruimte.

Het onderzoekstraject 'De Droge Delta' telt drie fasen: na een eerste diagnose-fase volgt ontwerpelijk onderzoek op een aantal cases en een reflectiefase waarin aanbevelingen worden geformuleerd. Dit rapport bevat de inzichten uit de diagnose-fase, waar in kaart werd gebracht wat de droogte-uitdagingen voor Vlaanderen zijn, hoe die uitdagingen maar ook de potenties tot het langer vasthouden van water ruimtelijk gedifferentieerd zijn, en wat mogelijke ruimtelijke strategieën of bouwstenen zijn waar ontwerpers en ruimtelijke planners mee aan de slag kunnen.

Een van de vaststellingen is dat we de hoeveelheid neerslag die tijdens de natte winterperiode valt, te weinig vasthouden en weten om te zetten in strategische waterreserves die we tijdens de drogere zomerperiodes nodig hebben om het tekort aan water te compenseren. In dit rapport worden de kansen voor het ontwikkelen van strategische watervoorraden in het landschap in kaart gebracht. Met de inzichten en bouwstenen uit dit rapport zullen ontwerpers in de volgende fase verder aan de slag gaan om de ruimtelijke strategieën uit te testen op drie concrete gebieden: de Denderflanken, De Moervaartvallei en het gebied van de Kleine Nete. Kan een bebossingsstrategie meewerken aan een droogte-aanpak op de Denderflanken en hoe? Wie ligt er wakker van droogte in de Moervaartvallei en waarom? Welk (landbouw)landschap investeert in droogte-maatregelen in het gebied van de Kleine Nete? Met deze diagnose-fase worden alvast eerste handvaten aangereikt om aan de slag te gaan.

Veel leesplezier
LABO RUIJTE

Leeswijzer

Het eerste hoofdstuk biedt een historische terugblik op enkele systemische transformaties die impact hebben gehad op de wateropslagcapaciteit in Vlaanderen. We trekken lessen uit dit historisch perspectief om op een verstandige manier om te gaan met de toekomst.

Het tweede hoofdstuk brengt via een modelmatige aanpak de infiltratiecapaciteit van de ruimte en de bodem in beeld. We kwantificeren de potentiële volumes en het percentage die door ruimtelijke maatregelen kunnen infiltreren.

Het derde hoofdstuk graaft letterlijk nog wat dieper. Het onthult de hydrogeologische logica van de ondergrond. Aan de hand van een handgetekende geomorfologische landschapstructuurenkaart worden de ruimtelijke potenties voor het ontwikkelen van strategische watervoorraden geduid.

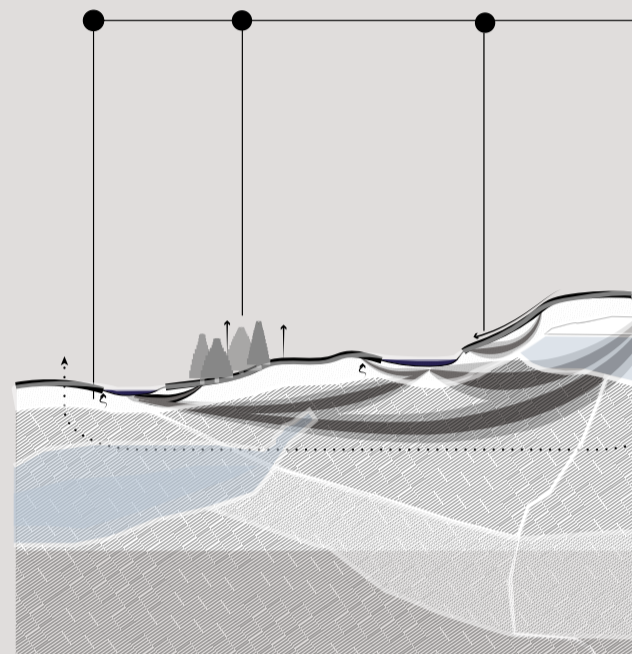
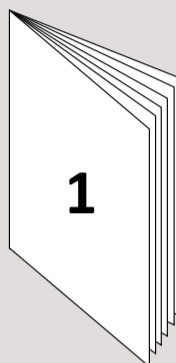
In het vierde hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de ruimtelijke bouwstenen en inrichtingsmaatregelen om het waterleverende vermogen van het landschap te vergroten. Daarbij wordt een onderscheid tussen ondergrondse en bovengrondse wateropslag gemaakt.

De ruimtelijke bouwstenen geven handvaten voor zowel strategische gebieden voor het ontwikkelen van watervoorraden (zie hoofdstuk 3) als voor niet strategische gebieden in Vlaanderen. Het vormen bouwstenen waarmee we concreet mee aan de slag kunnen om de potentiële infiltratiecapaciteit (zie hoofdstuk 2) te realiseren.

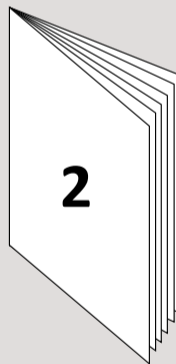
De conclusies voor verdere stappen of verder onderzoek worden in het vijfde hoofdstuk gebundeld. Het blik tegelijk vooruit naar het vervolgtraject van De Droge Delta.

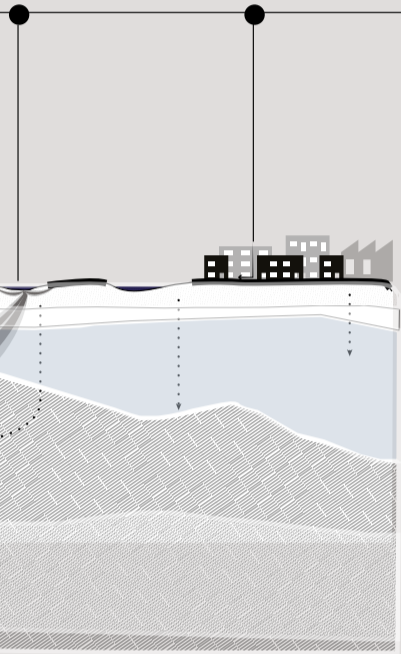
Het tweede deel is een bundeling van kaarten die tot stand kwamen in hoofdstuk 2 (deel 1) door modelmatig en GIS-matig onderzoek.

Onderzoek



Atlas





5 Hoofdstukken

① Historisch perspectief



② Kwantitatief en modelmatig



③ Kwalitatief en landschappelijk



④ Ruimtelijke bouwstenen



⑤ Conclusie

9 Hoofdstukken

① Oudlandpolder

② Zandrug van Moerbeke

③ Cuesta van het Waasland

④ Kempen

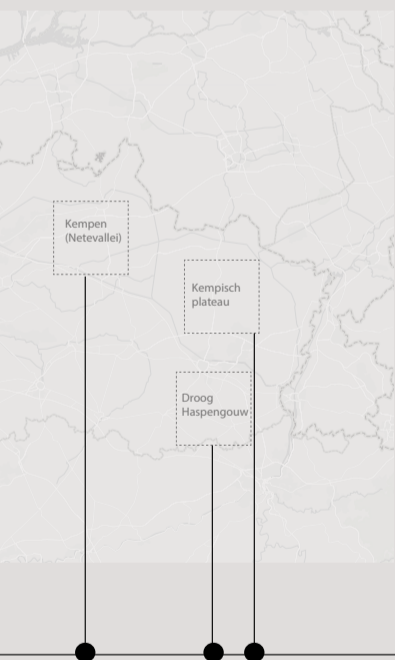
⑤ Kempisch plateau

⑥ Droog Haspengouw

⑦ Heuvelland (Denderland)

⑧ Pleistocene rivier valleien

⑨ Westelijk Interfluvium



DEEL 1 DROGE DELTA ONDERZOEK

Voorwoord	7
Leeswijzer	8
Inleiding	12
Klimaat en watergebruik in verandering	16
Landschap is veranderd	18
Landgebruik is veranderd	20
Historisch perspectief	25
Van watercultuur naar drainagecultuur	26
Watersysteem als kompas voor het verleden en de toekomst	28
Bergingscapaciteit van het Vlaamse landschap	30
Stromingsweerstand in de Vlaamse waterlopen	34
Kunstmatige toevoer en afvoer	38
Conclusie	42
De Grote Shift in waterbeleid	42
Kwantitatief en modelmatig onderzoek	48
Watercyclus als referentie	50
Waterleverend vermogen en drainage	52
Landgebruik en infiltratiepotentieel	54
Modelmatige aanpak conclusies	62
Kwalitatief en landschappelijk onderzoek	65
Geomorfologische landschapsstructuren	66
Tertiair geologische kaart	70
Quartaargeologische kaart	71
Hydrogeologische kaart	72
Diepte freatisch grondwater	73
Grondwatersysteemkaart	74
Watersysteemkaart	75
Geomorfologische landschapsstructurenkaart	76
Ruimtelijke bouwstenen en inrichtingsmaatregelen	99
Watersystemen	100
Ondergronds watersysteem	102
Bovengronds watersysteem	122
Conclusies	141
Prioritaire ruimte voor strategische watervoorraad	142
Bijlages	151
Literatuur	167

Inleiding

Vlaanderen wordt internationaal bestempeld als een risicogebied voor waterschaarste. In de zomers van 2003, 2006, 2011 en 2015 zijn er serieuze watertekorten geweest. De droge zomers van 2017, 2018, 2019 en 2020 hebben het beleid wakker geschud doordat ze een enorme impact hadden op landbouw, biodiversiteit, huishoudens en industrie. Tot voor kort werd droogte behandeld als een anomalie die af en toe voorkomt zonder dat verdere actie nodig was. In alle getroffen sectoren is men er zich nu van bewust dat water ook in onze regio's een schaars goed kan zijn en dat niet steeds aan de vraag naar water kan worden voldaan. Maatregelen zijn nodig om de beschikbaarheid van water te vergroten.

Het Vlaams Gewest is vandaag (anno 2021) niet voorbereid op deze uitdagingen. Een aantal getroffen sectoren beginnen te beseffen dat deze crisis nog maar het begin is en bij ongewijzigd beleid zou kunnen uitmonden in een heus rampscenario voor Vlaanderen. Het besef is, bij sommigen, doorgedrongen dat er gewoonweg niet genoeg water is om aan alle behoeften te voldoen. Tijdens perioden van droogte moeten er steeds vaker moeilijke keuzes worden gemaakt over de toewijzing van water. Hierbij mag ook de waterbehoefte van het hydrologische en ecologische systeem zelf niet verwaarloosd worden.

Deze studie gaat op zoek naar ruimtelijke hefboomen in de strijd tegen droogte. Door de klimaatverandering zullen er steeds meer en langere perioden voorkomen zonder neerslag. Deze meteorologische droogte kunnen we enkel succesvol doorstaan als we mitigerende maatregelen tegen klimaatverandering nemen.

Door een intelligent beheer, slim landgebruik en gedragsverandering kunnen we het tijdelijk gebrek aan neerslag opvangen zodat dit zich niet vertaalt naar een hydrologische droogte en waterschaarste. Met een hydrologische droogte bedoelen we dat grondwaterstanden en waterloopdebieten zo laag zijn dat er zich problemen stellen naar watervoorziening, scheepvaart, waterkwaliteit, bodemverzakkingen, ...

Droogte is een complexe problematiek. Hoewel er op jaarbasis voldoende regen valt om aan onze watervraag te voldoen, wordt er nog teveel water afgevoerd zodat we in periodes van droogte in de problemen komen. Dit heeft onder meer te maken met de manier waarop we onze ruimte gebruiken en inrichten. Ruimtelijke planning, programmatie en inrichting van onze ruimte spelen een belangrijke rol in een noodzakelijke evolutie van versnelde waterafvoer naar meer infiltreren, vasthouden en hergebruik van water. In deze studie willen we verkennen hoe een aangepast landgebruik en een andere inrichting van de ruimte kan bijdragen tot het verminderen van het risico op waterschaarste.

Complexe problematiek

Het is duidelijk dat veel waterproblemen met elkaar verweven zijn. Er is een hoge onttrekkingsdruk op het grondwatersysteem en een algemene daling van het grondwaterpeil. Hierdoor neemt de natuurlijke basisstroom (kwel) af en kunnen er zich gemakkelijker meteorologische droogtes ontwikkelen tijdens periodes van verminderde neerslag. In beken en rivieren worden deze droogtes deels gemaskeerd door een hoge effluentenstroom die de natuurlijke basisstroom gedeeltelijk vervangt. Om de extra vraag en de uitdagingen van klimaatverandering het hoofd te kunnen bieden, moeten grondwatervoorraden worden bijgevuld en de afvoer van neerslag en grondwater worden vertraagd. Uit de gemodelleerde rivierdebietgegevens blijkt dat er op jaarbasis water in overvloed is. Als we een deel van het piekdebet van het winterseizoen zouden kunnen vasthouden en opslaan in oppervlakte- en grondwaterreservoirs, zou waterschaarste in de zomer volledig kunnen worden vermeden¹. Dit vergt een drastische verandering in de manier waarop het waterbeheer georganiseerd wordt. Al vele eeuwen kent Vlaanderen milde en variabele weersomstandigheden met een structureel neerslagoverschot. Het hele watersysteem is opgezet om overtollig water af te voeren en waterrijke gebieden te ontginnen voor landbouw, woningbouw, industrie en recreatie. In de afgelopen decennia is gebleken dat onze watervoorraden zowel via een toenemende vraag als ook een afnemend aanbod onder druk staan. Minder water wordt vastgehouden in het watersysteem en meer water wordt onttrokken en gebruikt. De mentaliteit en het maatschappelijk draagvlak rijpen om deze verschuiving van drainage naar retentie en blauwgroene maatregelen deel van de oplossing te maken.

Droogtes en overstromingen hebben op steeds extremere wijze een impact op onze leefomgeving in Vlaanderen. Het klimaat in Vlaanderen verandert en daar zullen we ook ons waterbeheer en landgebruik aan moeten aanpassen. De recente schade door overstromingen (juli 2021) in België en Duitsland is ongezien. De hoeveelheden regenval die achteraf werd opgetekend, heeft in principe een frequentie van eens in de 100 jaar. Maar aan deze gevolgen had niemand zich verwacht. Tegelijkertijd schrijft het recent gepubliceerde IPCC rapport dat dergelijke hevige regenval als ook droogte vaker zullen voorkomen in centraal Europa.

Patrick Willems (KULeuven) op basis van KMI-metingen te Ukkel: “... een regenbui waarbij in één uur tijd meer dan 40 liter water valt per vierkante meter, komt door de klimaatverandering op één specifieke plaats gemiddeld eens per 14 jaar voor. Zonder klimaatverandering zou dat maar eens in de 100 jaar gebeuren.”

¹ De Cleene, D. (2020). Illegale grondwaterwinning bemoeilijkt strijd tegen droogte. EOS Magazine. Antwerpen, Eos Wetenschap. 05/2020.



Gevolgen van verharding, overstroming zowel als waterschaarste
Bron: Renson I., We spelen met water, De Standaard, 09.12.2019

Watertekort en wateroverlast versterken elkaar

De ontwikkeling in de richting van drogere en warmere zomers in combinatie met perioden van hevige of aanhoudende neerslag zal een negatieve invloed hebben op de kwaliteit en beschikbaarheid van het grond- en oppervlaktewater. Droge gronden kunnen water moeilijker vasthouden. Bij hevige neerslag zal de bodem dit water niet kunnen infiltreren met wateroverlast en erosie tot gevolg. De oorsprong van deze water gerelateerde problemen zijn complex en vaak afhankelijk van een veelheid van factoren. Een deel van de oorzaken is gerelateerd aan hoe wij ruimte innemen en gebruiken. Ondanks een ingezette transitie naar verduurzaming van het ruimtegebruik in Vlaanderen, zien we in de huidige planningspraktijk nog te weinig aandacht voor waterbeheer.

In het verleden ging ruimtelijke planning vaak uit van het feit dat water altijd en overal beschikbaar was. Planningsprocessen waren eerder gericht op het voorkomen van schade door “teveel aan water”. De droge zomers van de afgelopen jaren hebben evenwel aangetoond dat het oplossen van situaties met een teveel aan water geen garanties bieden voor het vermijden van een occasioneel of structureel tekort aan water. Er is nood aan een geïntegreerde en gebiedsgerichte ruimtelijke aanpak. “Teveel aan water” kan evenwel niet los gezien worden van “te weinig water”. In de zin dat wie oplossingen kan bieden voor een tekort aan water, mogelijk al goed uitgerust is om met een overvloed aan water om te gaan.

De laatste jaren is het aspect waterbeschikbaarheid en het behalen van ecologische minimumdebieten tijdens droge periodes een bijkomende bekommernis geworden. Op jaarbasis valt er gemiddeld voldoende water, maar tijdens droge periodes verbruiken we meer water, terwijl er minder aanvulling van de grondwaterreserves gebeurt. Hierdoor staan grondwaterpeilen laag en rewageren waterlopen sneller op droogte door een gebrek aan basisvoeding uit grondwater. Waterlopen hebben dan kritisch lage debieten. Het versterken van de aanvulling van grondwatervoorraden is wellicht de meest kosteneffectieve oplossing op lange termijn. Als de grondwatervoorraden goed aangevuld zijn, hebben we veel meer kans om een droge periode door te komen zonder drastische maatregelen.

Om in de toekomst over genoeg grondwater te beschikken, moeten we anders omgaan met het watersysteem. Veel van de aanwezige waterinfrastructuur is immers aangelegd in een historische context waarbij de afvoer van water prioritair was. De situatie terugdraaien is niet overal een optie. Integendeel, dit zou schade door overstromingen kunnen veroorzaken.

Klimaat en watergebruik in verandering

De intensiteit en spreiding van neerslag is in de laatste decennia veranderd en zeker de laatste jaren zien we dat er meer en langere droge perioden zijn tijdens de zomermaanden.

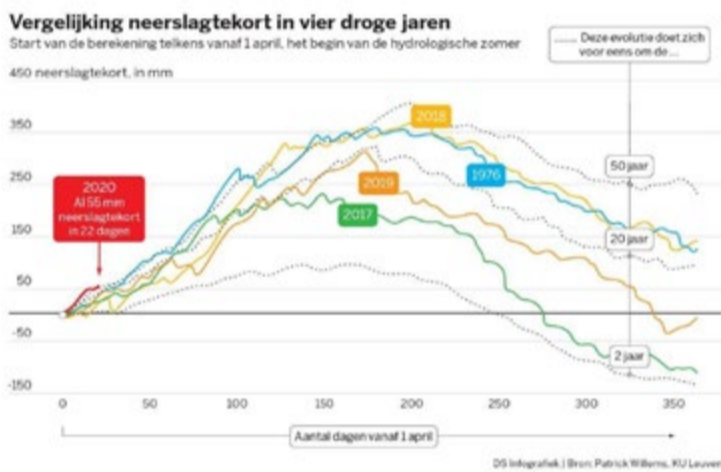
We observeren de laatste 5 jaren ook een substantieel lager neerslagtotaal op jaarbasis. Daarnaast zien we ook tijdens de wintermaanden minder wisselvallig weer. Hier valt de regen zich over een langere periode, verdeeld over meerdere kleine buien.

Tot een vijfde van het jaarlijkse neerslagtotaal valt tijdens één aaneengesloten natte periode. De perceptie leeft dat na een dergelijke periode het grondwater wel zal aangevuld zijn. Bij hevige of langdurige neerslag geraken de meeste bodems verzadigd doordat hun infiltratiesnelheid en -capaciteit wordt overschreden. Dit effect is bij droge bodems nog meer uitgesproken. Door lage gehalten aan organisch materiaal en de aanwezigheid van bodemcompactie zijn landbouwbodems vaak nog minder doorlatend. Hierdoor veroorzaken ook deze bodems afstroming tijdens extreme of aanhoudende neerslag.

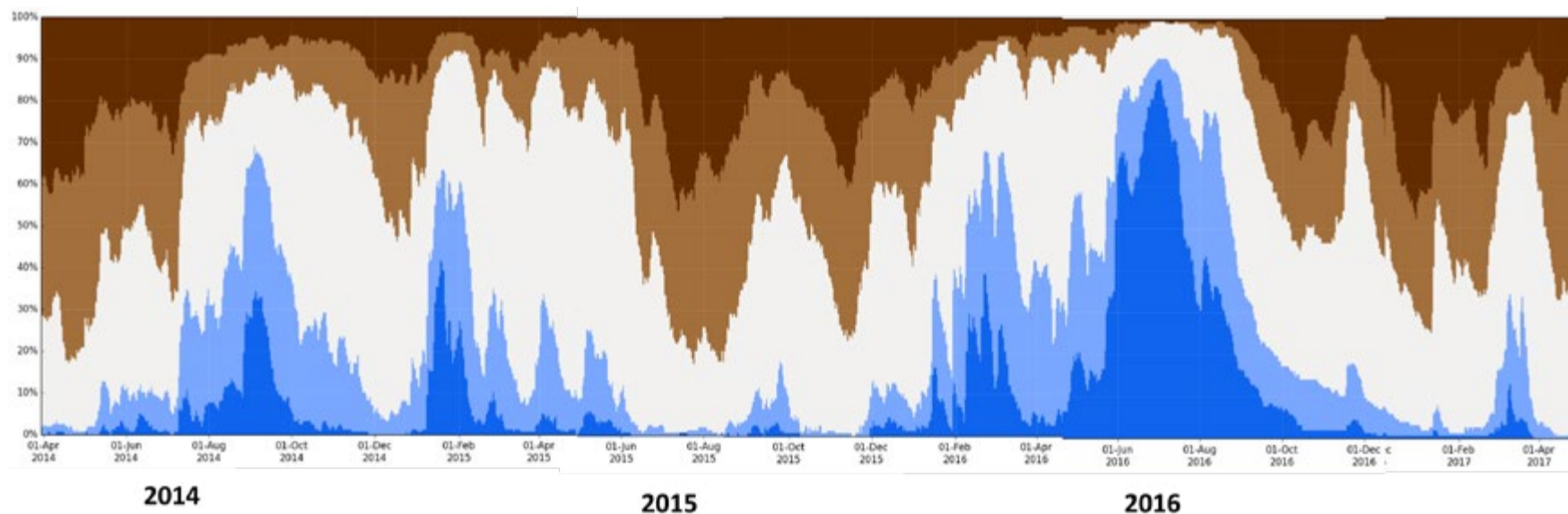
Ondanks extreem lage grondwaterpeilen hebben we nog steeds te maken met overstromingen en dit is niet enkel te wijten aan verharding. Ook in de onbebouwde ruimte worden fysische grenzen bereikt door bodemverzadiging. Een extreem natte periode leidt dus niet noodzakelijk tot extreem veel grondwateraanvulling.

Dat stelt Vlaanderen voor een enorme uitdaging. We pompen immers meer water op tijdens de droge maanden (hoger waterverbruik door besproeiing gazon, aanvullen zwembad, hoger huishoudelijke gebruik,...) terwijl de aanvulling afneemt. De grote uitdaging is om die occasioneel natte perioden beter te benutten.

Alhoewel het totaal opgepompte debiet is gedaald met 1.1% voor geheel Vlaanderen, blijkt dat er vooral voor de provincies Antwerpen en Limburg een stijging is van respectievelijk 20% en 8%. Naast de gekende zijn er vermoedelijk nog veel niet gekende winningen.



Vergelijking neerslagtekort in 4 droge jaren
Bron: DS-grafiek



Evolutie van de freatische grondwaterstanden in het Vlaams Gewest. Bruine kleuren duiden op lager dan normale grondwaterstanden en blauwe op natter dan normale grondwaterstanden. Witte kleuren geven een normale waterstand aan voor die periode van het jaar. Bron: UAntwerpen, Ecobe

Het gaat dan over kleine winningen (< 500 m³/j en handpompen), maar ook over illegale vergunningsplichtige winningen. Toezichthouders en experts bij de Vlaamse Milieumaatschappij schatten op basis van ervaring en controles op het terrein dat er 10 à 20 procent vergunningsplichtige illegale winningen zijn¹. Dit zijn dan uiteraard niet de hele grote winningen, maar alle kleinere, niet-vergunningsplichtige winningen kunnen samen ook een aanzienlijke druk geven op het grondwater. Wie als particulier minder dan 500 kubieke meter per jaar oppompt, heeft daar immers geen vergunning voor nodig. Hij moet zijn put wel melden bij de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Niet iedereen doet dat. In 2018, het laatste jaar waarvoor cijfers beschikbaar zijn, waren er 57.000 putten gemeld (28 miljoen m³), ongeveer 3.000 meer dan in 2014. Hoeveel putten er echt zijn is onduidelijk.

Als we ons beperken tot de gekende kleine winningen en deze proportioneel verdelen komt er vooral voor Antwerpen nog eens 12 miljoen m³ bij. De provincies met de hoogste natuurwaarden en de meest kwetsbare waterlopen, hebben dus proportioneel de hoogste winningsdruk en die is niet gedaald in de laatste decennia.

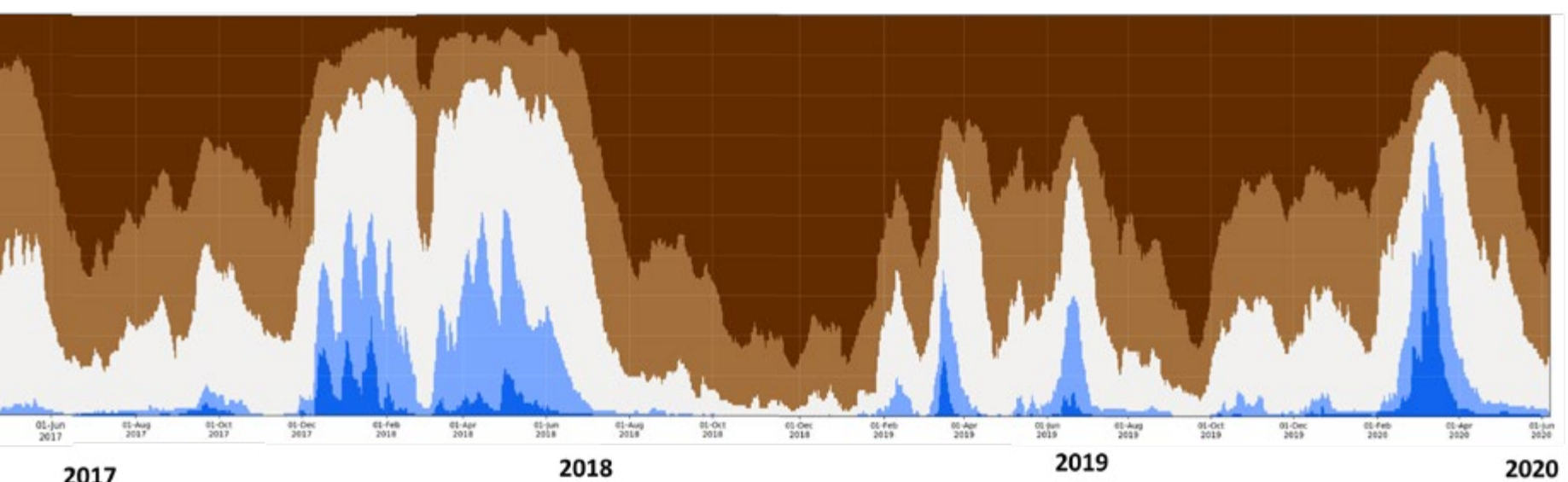
¹ De Cleene, D. (2020). Illegale grondwaterwinning bemoeilijkt satrijd tegen droogte. EOS Magazine. Antwerpen, Eos Wetenschap. 05/2020.

Extreme weerpatronen zullen in de komende decennia immers steeds vaker voorkomen. Naast technische maatregelen inzake distributie, opslag, besparing en hergebruik is er sterke nood aan structurele oplossingen. Daarbij is het vasthouden en infiltreren van water cruciaal, zowel om wateroverlast te vermijden als om de grondwatervoorraden aan te vullen. Wanneer grondwatervoorraden voldoende aangevuld zijn, kan men een droogteperiode ook overbruggen door een verhoogde aanspraak op grondwater. Maar daar knelt nu het schoentje. Het aanvullen van dat grondwater gebeurt onvoldoende. Dit is gedeeltelijk omdat we meer water oppompen, maar ook omdat we onze landschappen zo hebben ingericht (bodemverharding, bodemcompactie, grachten,...) dat het water niet de tijd krijgt om diep te infiltreren.

We zien dan ook dat de freatische grondwaterstanden zich niet herstellen gedurende de winterperiode en we dus de zomer aanvangen met te lage grondwaterpeilen. De grafiek hieronder toont dat de grondwaterstanden zich de laatste jaren niet meer herstellen tot normale niveaus. Het grootste deel van de meetpunten heeft doorheen het hele jaar lage tot zeer lage grondwaterstanden voor de tijd van het jaar.

	Aantal winningen		Totaal vergund (m ³ /jaar)	
	2009	2021	2009	2021
Antwerpen	1.887	3.635	105.670.844	131.486.409
Brabant	900	797	36.680.210	24.315.022
Limburg	1.707	1.904	71.419.642	77.604.854
Oost-Vlaanderen	4.551	3.626	38.365.081	22.577.173
West-Vlaanderen	9.276	5.881	37.822.730	30.055.066
Totaal	18.321	15.843	289.958.507	286.038.524

Aantal winningen en totaal vergund debiet voor de Vlaamse provincies. Er werd een vergelijking gemaakt tussen de dataset anno 2009 en 2021. Bron: eigen verwerking op basis van DOV-data).



Landschap is veranderd

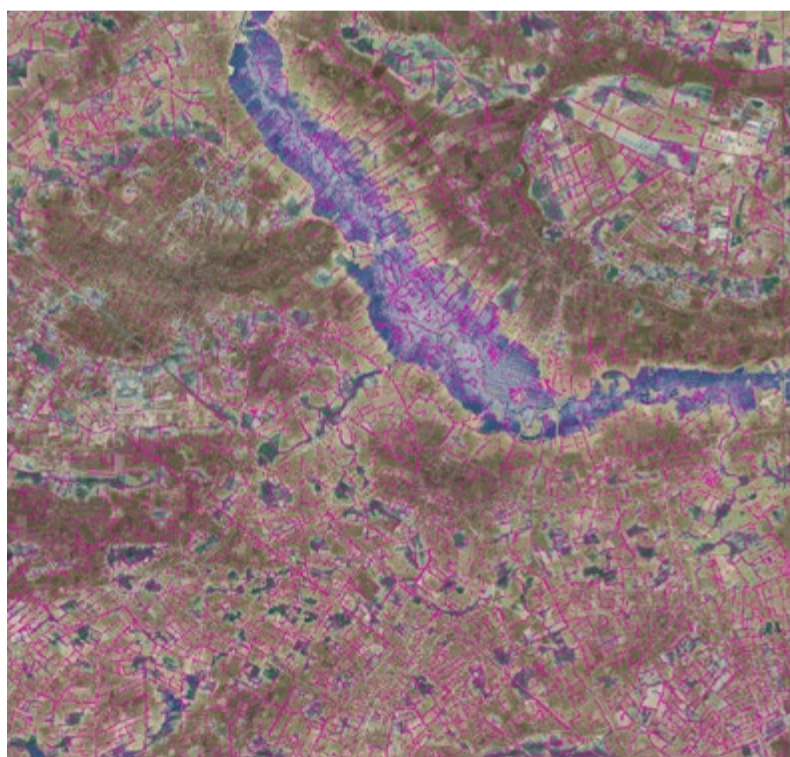
Historisch gezien genoot Vlaanderen van een eerder nat en wisselvallig klimaat. We komen van een situatie waarbij er veel neerslagoverschot was en weinig onttrekkingen, Vlaanderen was een natte regio. Men heeft gedurende eeuwen inspanningen gedaan om natte gronden te ontginnen.

In een tijdperk waar er schaarste was aan mest, was het ontginnen van natte venige gronden dé manier om aan landbouw te doen. Het organisch materiaal dat langzaam verteerde, leverde immers de nodige nutriënten. Dergelijke praktijken hebben er toe geleid dat quasi elke landschapsdepressie ontwaterd is geworden. Bijna alle locaties waar water zich verzamelt zijn geconnecteerd met het netwerk via grachten. Dit heeft tot gevolg dat ondiep bodemwater vaak te snel afgevoerd wordt, waardoor het niet de kans krijgt om diep te infiltreren. Het is dus niet enkel een verhaal van ontharden en infiltreren, ook drainage speelt een belangrijke rol.

We kunnen twee vormen van drainage onderscheiden in verstedelijkte en niet-verstedelijkte vorm. Omwille van sanitaire en veiligheidsredenen wordt stagnerend water op ondoorlaatbare oppervlakken vermeden. Snelle afvoer via boven- en ondergrondse infrastructuur en rechtgetrokken rivieren zorg(d)en ervoor dat bewoond en industrieel gebied gevrijwaard bleef.

Daarnaast is Vlaanderen dooraderd met grachten om bodems te ontwateren. Dit heeft de hydrologische connectiviteit vergroot en de bufferfuncties van het landschap verkleind. Bovendien zijn we de landbouwbodems steeds intensiever gaan bewerken. Deze intensieve bodembewerking heeft het gehalte aan organische stof in de bodem doen afnemen. Het is echter de humus en het bodemleven die zorgden voor een goede doorlaatbaarheid van de bodem.

Bodems hebben steeds minder humus en dus ook minder macro-poriën. Het water kan niet enkel minder snel infiltreren, maar er is ook minder ruimte voor water in de bodem. Bovendien zorgen de steeds grotere en zwaardere machines voor een bodemverdichting in de ondergrond. Men drukt de bodem samen tot een halve meter diep en vervolgens maakt men de bovenste 20-30 cm terug los met de ploeg. Dergelijke bodems laten het water dus wel oppervlakkig door, maar ondergronds is er een barrière waar het water slechts langzaam kan doorsijpelen. Het is vaak ook de verklaring voor de modder en de plassen op de velden tijdens natte perioden. De teeltaag verzadigt met water omdat het stagneert op de verdichte ploegzool en moeilijk verder kan infiltreren. Hierdoor stroomt een groot deel van het water af bij intense of aanhoudende neerslag. Overal waar het water samenvloeit werden grachten gelegd om het snel af te voeren.



Dooradering van grachten in het Vlaamse landschap (roze) verhoogt de hydrologische connectiviteit. Bron: eigen verwerking op basis van DOV-data.

Door menselijk ingrijpen hebben onze landschappen dus een verminderd vermogen om water te bufferen, wat resulteert in verhoogde piekdebieten in rivieren- en bekenstelsels, verminderde aanvullingspercentages en steeds kwetsbaardere landschappen. Dit heeft gevolgen voor de aanvulling van de grondwaterlagen en de stabiliteit van rivierdebieten.

Ook omwille van onze nederzettingsstructuur wordt er veel gedraineerd. De meeste steden van belang, waren gelegen aan het water en dus in valleigebied. De waterlopen garandeerden de aanvoer van water om te voorzien in dagelijkse behoefte, maar voorzagen ook in de afvoer van afval. Zeker waar verschillende grotere waterlopen samenkomen, ontstonden bloeiende steden. Transport over water was historisch gezien erg belangrijk voor economische groei. Denk maar aan Brugge, Lier, Mechelen, Gent, Antwerpen, Kortrijk, Dendermonde. Deze steden groeiden steeds verder uit en palmden ook steeds meer natte gebieden in. Gronden werden gedraineerd of opgehoogd, maar ook in de kleinere dorpen en steden is er in de laatste decennia veel gebouwd in van nature natte gebieden en zelfs overstromingsgevoelig gebied.

Landgebruik is veranderd

De combinatie van bovenstaande factoren wordt erg tastbaar in de terugkerende waterstress van de laatste jaren. Voor velen is de uitzonderlijke situatie voor Vlaanderen dan ook een specifieke aanleiding om de urgentie op de agenda te zetten van de actoren die actief zijn in ruimtelijke planning of de inrichting en ontwerp van onze leefomgeving. Vlaanderen kampt als regio niet enkel met lage waterbeschikbaarheid per persoon, maar ook met zeer hoge waterstress en een hoge verhardingsgraad die gepaard gaat met de hoge drainagegraad. Om die laatste aspecten te kaderen, moeten we een blik werpen op het verleden. Hoe komt het dat ons ruimtegebruik en de inrichting van ons landschap zoveel impact heeft op waterbeschikbaarheid en kunnen we dit nog omkeren?

Hoe beïnvloeden land- en bodemgebruik de waterbalans?

Een moeilijke vraag met een even moeilijk antwoord. We trachten deze vraag te beantwoorden met behulp van een model. Dit is nodig omdat de effecten van dat land- en bodemgebruik erg verschillend kunnen zijn bij verschillende weerpatronen. Hierbij spelen factoren zoals de infiltratie- en verdampingsnelheid, maar ook de hoeveelheid neerslag die tijdelijk kan worden opgeslagen in de vegetatie en bovenste bodemlagen.

We illustreren dit aan de hand van enkele voorbeelden:

- Doorlaatbare verharding heeft een bepaalde porositeit en doorlaatbaarheid. Er kan bijvoorbeeld 25 mm neerslag opgevangen worden in de verharding en er is een doorlaatbaarheid van 5 mm/uur. Bij elke bui zal er eerst een deel opgeslagen worden in de bovenste zone van de verharding, waarna de infiltratie pas kan starten.

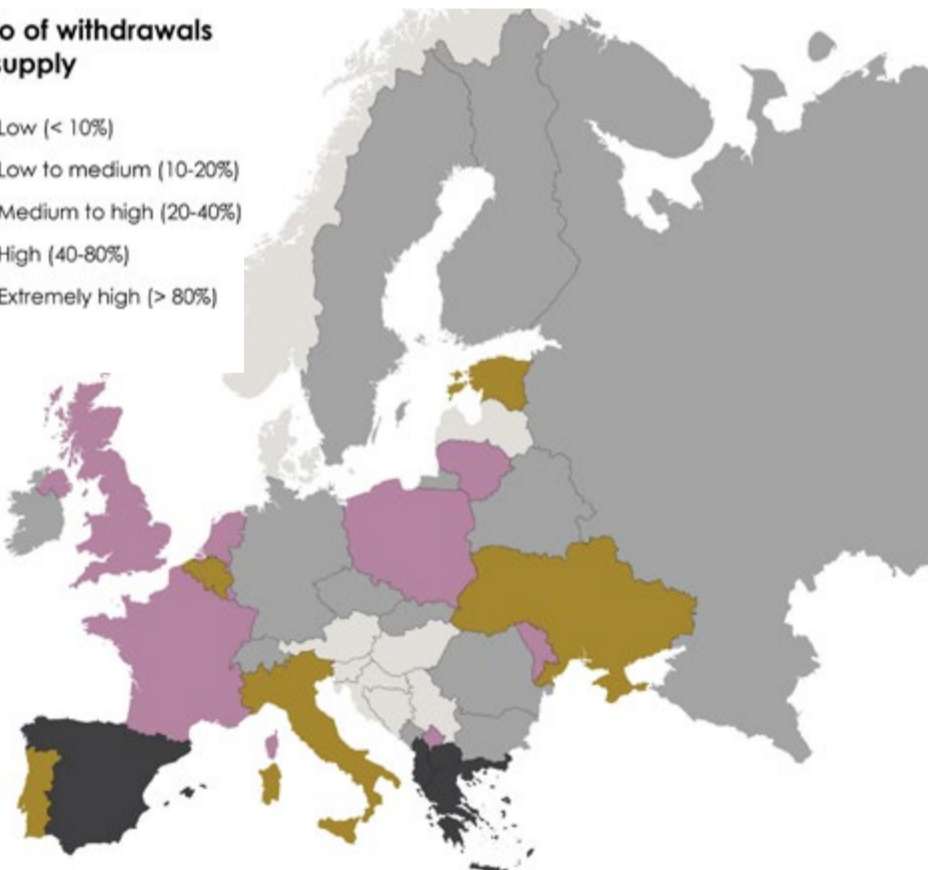
Bij telkens kleine buitjes, gevolgd door intense zonnige perioden zal het wegdek telkens nat worden, maar niet infiltreren. Het grootste deel van de opgeslagen neerslag zal telkens verdampen.

Bij zeer hevige buien van meer dan 25 mm/uur zal de opslagcapaciteit dan weer overschreden worden en zal het neerslagoverschot afstromen op het wegdek. Hierdoor is de relatie tussen neerslag en infiltratie niet lineair.

Verschillende barrières tussen de neerslag en diepe grondwateraanvulling met elk hun opslagcapaciteit en doorlaatbaarheid bepalen de netto infiltratie.

ratio of withdrawals to supply

- Low (< 10%)
- Low to medium (10-20%)
- Medium to high (20-40%)
- High (40-80%)
- Extremely high (> 80%)



Water stress in 2040, European Countries
Bron: Eigen verwerking op basis van data EU

- Hetzelfde geldt voor bossen. Bladeren en takken van een boomkruin omvatten een enorm oppervlak waar regenwater onder de vorm van druppels wordt vastgehouden.

Bij een bui zal de kruin eerst voldoende nat moeten worden vooraleer druppels doorheen de kruinlaag naar beneden op de bosbodem vallen of langs takken naar beneden stromen. Het door de kruinlaag vastgehouden water kan al snel enkele millimeters zijn. Bij beperkte neerslag, bereikt deze de bodem niet en blijft ze in de kruin hangen, waarna het langzaam zal verdampen.

Bij zeer intense neerslag kan het water dat vastgehouden wordt in de kruin net zorgen voor een spreiding van de neerslag in de tijd doordat het water nog kan nadruppelen uit die kruin. Bij zeer grote neerslaghoeveelheden zal het aandeel verdamping verwaarloosbaar zijn. Opnieuw zien we een sterke non-lineariteit tussen neerslag en grondwateraanvulling.

Bossen maken bodems ook beter doorlaatbaar waardoor zelfs op de zwaarste bodem een aanzienlijk deel van de bui kan infiltreren. Door het hoge gehalte aan humus is er plaats voor tientallen liters water per vierkante meter die vervolgens langzaam dieper infiltreren. Maar dat effect maakt dus vooral een verschil op zware bodems die anders afstroming zouden genereren. Op een zandbodem is er in de meeste gevallen sowieso een voldoende snelle infiltratie. Dit maakt dat bij wisselvallig weer met korte buien, en op zandige bodem, bossen minder grondwateraanvulling genereren dan grasland, dat minder water kan opslaan in de vegetatie.

Maar bij hevige of aanhoudende neerslag, zullen die bossen net zorgen voor meer grondwateraanvulling dan grasland, zeker op leem of kleibodems. Bomen zorgen natuurlijk ook voor een grotere evapotranspiratie dan landbouwgewassen, i.e. ze nemen met hun wortels een stuk meer water op uit de bodem om te kunnen groeien.

Hoe effecten van landgebruik uitdraaien is dus genuanceerd en afhankelijk van hoe het klimaat zal evolueren. Wat we de laatste jaren reeds waarnemen is dat bepaalde weerbeelden langer aanhouden. We worden steeds meer geconfronteerd met lange droge perioden of net lange perioden met vaak hevige of aanhoudende neerslag.

Er is de laatste jaren steeds meer consensus dat een zwakkere straalstroom leidt tot het blokkeren van hoge en lagedrukgebieden. Deze straalstroom is een sterke wind op grote hoogte die gedreven wordt door temperatuurverschillen tussen pool en evenaar. Door kleinere temperatuurverschillen zal deze verzwakken en bochten maken. Hierdoor “blokkeren” hoge of lage drukgebieden waardoor ze langer ter plaatse blijven hangen.

Door de opwarming duurt het langer voordat de atmosfeer waterverzadigd geraakt en wolken vormt. Wanneer de atmosfeer vervolgens verzadigd is, is er ook meer water beschikbaar dat potentieel uit de lucht kan vallen. Per graad opwarming, kan de atmosfeer immers tot 7% meer neerslag bevatten. Kortom, de weerbeelden worden standvastiger en extremer – wat eigenlijk reeds lang voorspeld werd door klimaatwetenschappers.

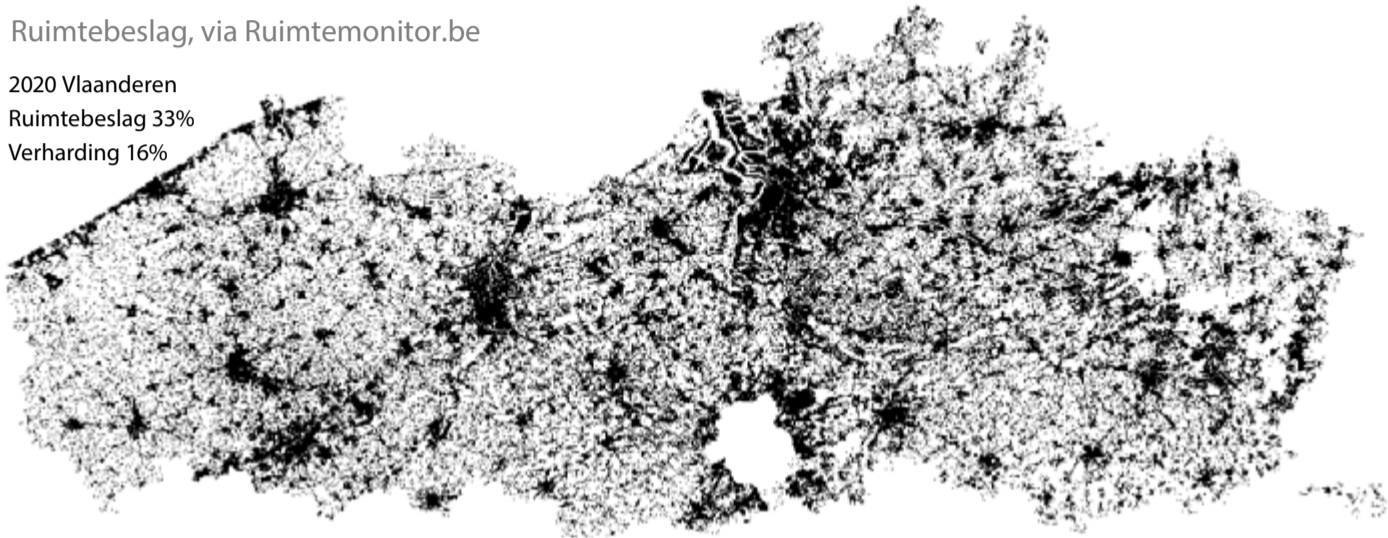
Gelet op de extremen die we reeds mochten waarnemen en het gegeven dat de klimaatverandering nog verder zal doorzetten is het duidelijk dat we ons moeten voorbereiden op zeer extreme omstandigheden. Problematisch is vooral het risico dat een bepaald weerbeeld lang aanhoudt. Juni 2016 werd gekenmerkt door frequente onweders en dit gedurende meerdere maanden. Voor grote delen van Vlaanderen werden recordhoeveelheden neerslag opgemeten (bv. Ukkel 174 mm, Genk 232 mm, Kleine Brogel 222 mm). Er is een opvallende gelijkenis met Juni-Juli 2021, enkel met dat verschil dat het zwaartepunt in 2016 in de Kempen lag en niet in Wallonië.

Dat leert ons dat de huidige normen voor infiltratievoorzieningen en doorlaatbare verharding op lange termijn wellicht niet voldoende zullen zijn en dat bosaanplanten op afstromingsgevoelige bodems eerder een goed idee is.

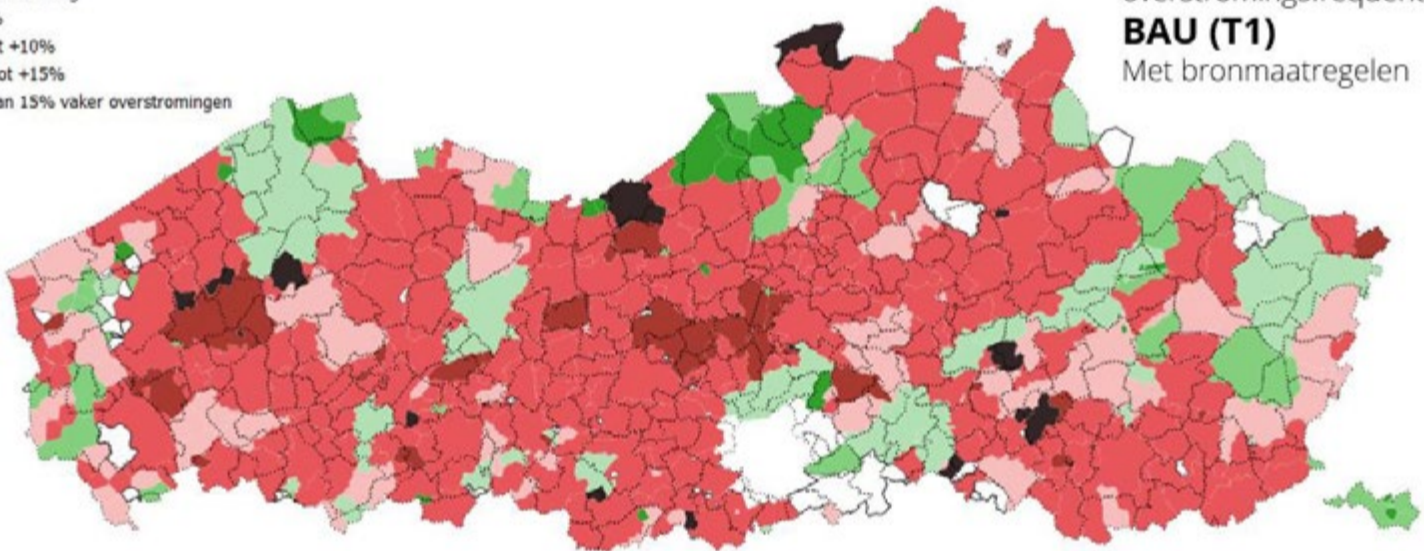
Maar hoe ver kunnen we springen met maatregelen? Wat is het effect van veranderingen in neerslag op de grondwateraanvulling? Hoeveel buffering moeten we voorzien in het landschap om afstroming op te vangen? Wat is het effect van bosgebied op grondwateraanvulling? Wat kunnen we bereiken met een betere bodemstructuur?

Ruimtebeslag, via Ruimtemonitor.be

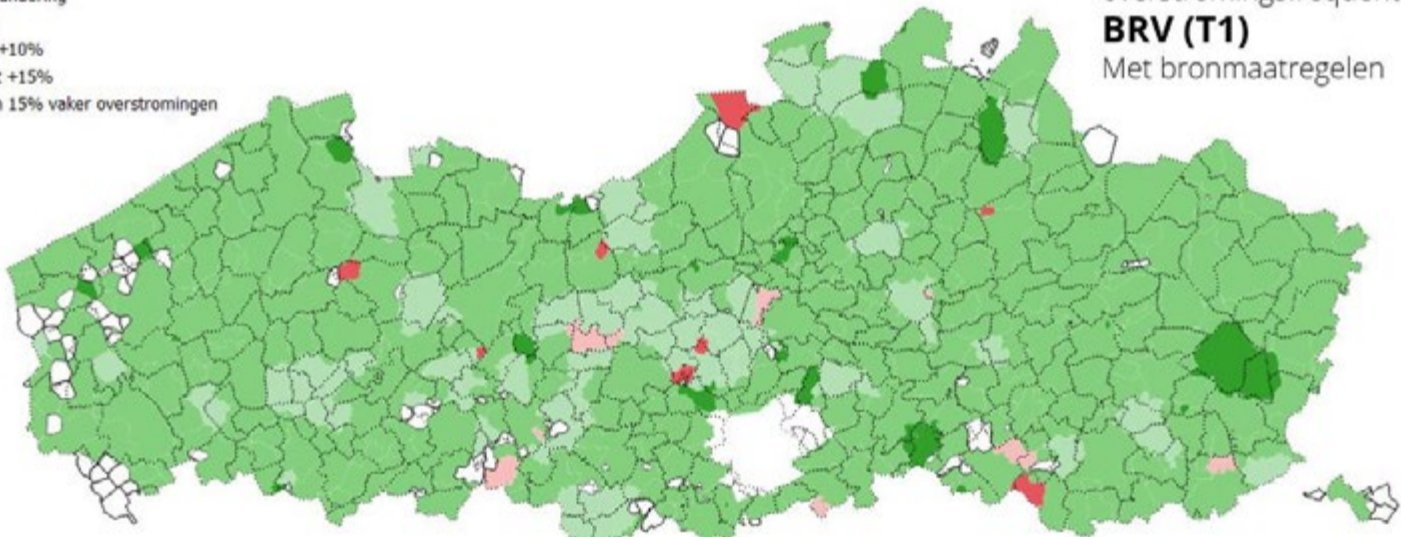
2020 Vlaanderen
Ruimtebeslag 33%
Verharding 16%



Toename
overstromingsfrequentie
BAU (T1)
Met bronmaatregelen



Toename
overstromingsfrequentie
BRV (T1)
Met bronmaatregelen



Historisch perspectief

Van watercultuur naar drainagecultuur

In dit deel bekijken we vanuit een historisch perspectief hoe drie van de hierboven geschetste problematieken (veranderend landschap, landgebruik en watergebruik) geleid hebben tot een drainagecultuur in het Vlaamse landschap.

Door de eeuwen heen werd een zeer fijnmazige waterinfrastructuur aangelegd in Vlaanderen. In de laatste twee eeuwen veranderde deze 'waterschapskunst' in een drainagecultuur; de waterinfrastructuur werd opgeschaald en was erg performant. Performant in het vermijden van overstromingen door snelle afvoer en performant in het aanleveren van drinkwater door een netwerk van kanalen dat over het rivierennetwerk werd gelegd. Van de 1000 km waterwegen in Vlaanderen is 650 km aangelegd.

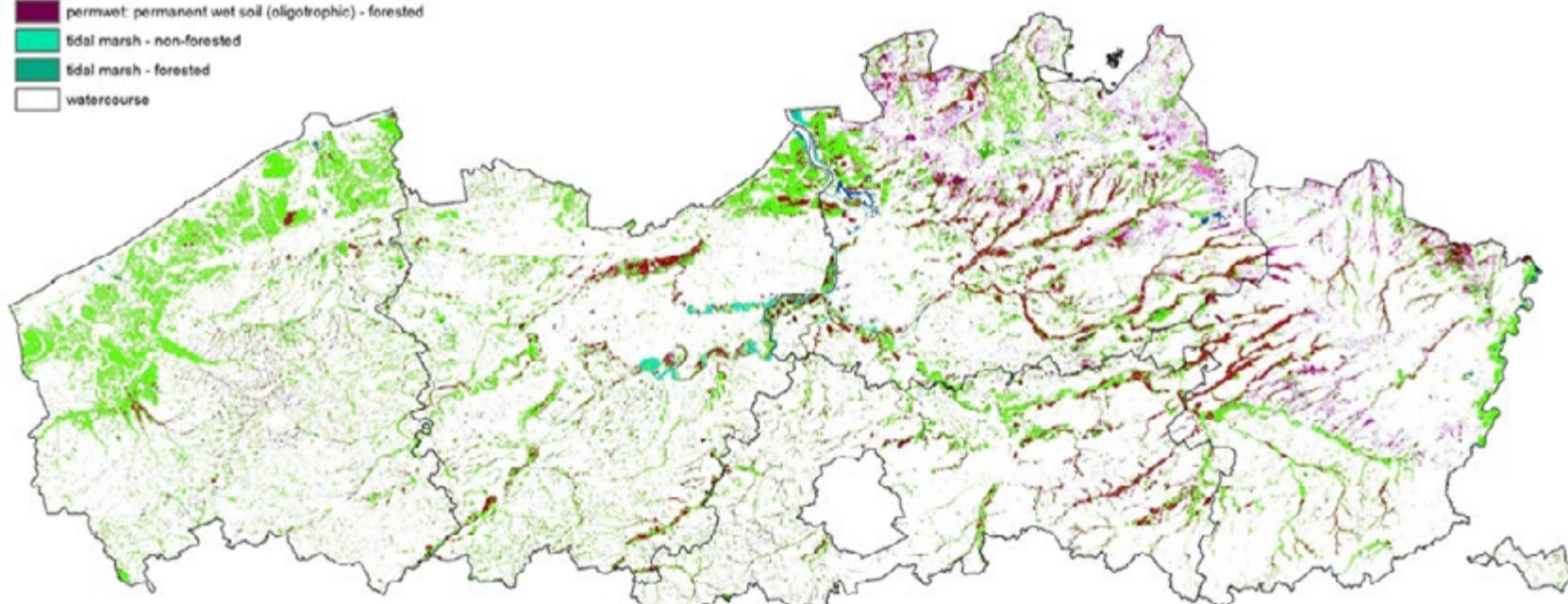
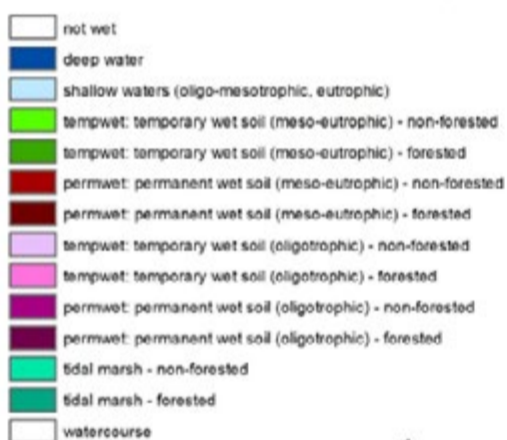
De eerste rioleringsystemen werden uitgebouwd in de 18de eeuw. Dit was voornamelijk in de grotere steden. In de periode 1940-1960 startte men ook met de aanleg van rioleringen in de gemeenten. De meeste van die oudere rioleringsystemen zijn erg gebrekkig en vertonen tal van breuken en gaten.

Eerste rioleringsinfrastructuur

De eerste "riolerings"-infrastructuur bestond uit plaatselijke beken en kunstmatige sloten die eerst als open riolen dienden en vervolgens werden omgelegd en afgedekt. Deze oude systemen combineren afvoer van grondwater, afvoer van afvloeiend water en feitelijk rioolwater. In de jaren 60 werden op verschillende beleidsniveaus acties ondernomen om een begin te maken met afvalwaterzuivering en werd er nieuwe infrastructuur aangelegd. In veel gevallen werden de nieuwe systemen op de oude aangesloten. Ook werd afvloeiend water van straten en daken doelbewust verzameld om door deze gecombineerde rioolstelsels te worden afgevoerd, terwijl het vroeger werd geïnfiltréerd of afgevoerd via greppels langs de weg.

Doordat zuiveringsinstallaties werden ontworpen met het oog op de snel toenemende plattelandsbevolking aan het einde van de jaren '60, kon de gecombineerde afvoer voor voldoende hydraulische belasting zorgen. Men heeft toen veel grachten ingebuisd en aangesloten op de rioleringsystemen. Van gescheiden afvoer was geen sprake.

Historical wetlands in Flanders (± 1950)



Verlies van historische wetlands (links toestand in Vlaanderen circa 1950, rechts actueel)
Bron: Decler K, Wouters J., Jacobs S, Spanhove T., Staes J., 2015, Wetland loss and restoration potential in Flanders, Research Institute Nature and Forest

De toen aangelegde infrastructuur, die vandaag verouderd en lek is, zorgt niet enkel voor het weglekken van afvalwater in de grond, maar draineert omwille van die lekkages ook grondwater en draagt zo bij tot de problematiek van droogte.

Het landgebruik speelt een heel belangrijke rol in dit verhaal, afgaande op de manier waarop Vlaanderen het land vroeger en nu gebruikte, kunnen we veel lessen trekken. De manier waarop de waterhuishouding van een stukje land, de tuin, het perceel, de wijk, de regio,... werd beheerd, is bepalend voor zijn inrichting en gebruik (en vice versa). Deze beheersingswerken waaronder capteren, gebruiken, stuwen, irrigeren, ontbossen, bebossen, afwateren, kanaliseren, verharderen,... zijn allemaal interventies die het water in één of andere mate manipuleren. Vaak gaat de oorsprong van een dergelijke ingreep terug op de uitvinding van een bepaalde techniek of materiaal. Zoals bijv. het intensifiëren van landbouw in het Verenigd Koninkrijk te koppelen is aan het ingraven van keramische drainagebuizen.

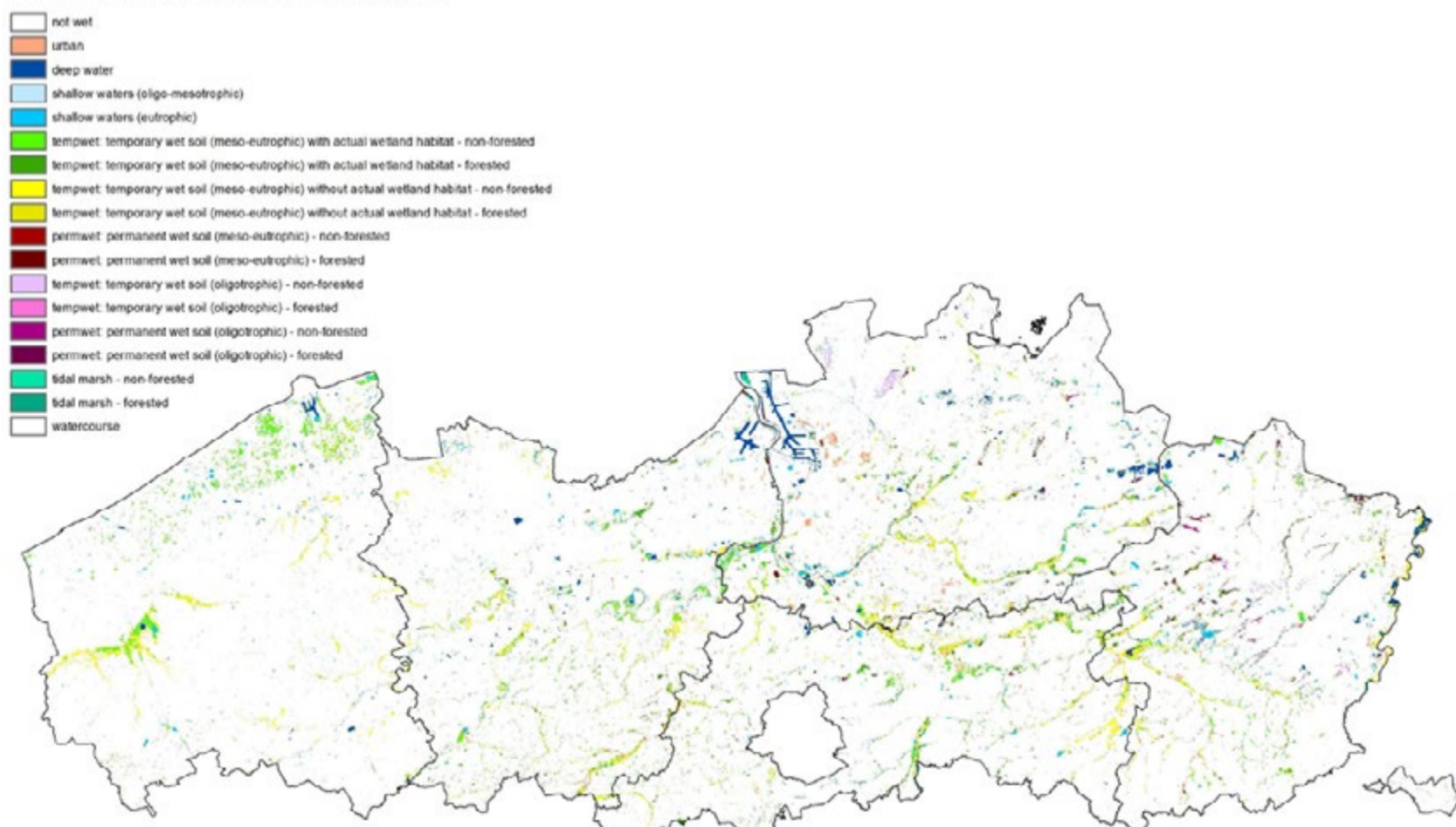
Beleid en regelgeving hebben een grote rol gespeeld in land- en watergebruik. Wat we vaststellen is dat een bepaalde beleidsvisie kenmerkend was voor de tijd en context, maar vaak met beperkte kennis over mogelijke neveneffecten werd doorgevoerd. Op vlak van water is dat met name: de industrialisering, de economische vooruitgang en groeiende levensstandaard, de bevolkingsgroei,... . Opschaling kan in alle sectoren vastgesteld worden, het beleid stuurde aan op een maatschappij gestoeld op vooruitgang zonder echt rekening te houden met de limieten van het natuurlijk systeem.

De mens heeft dus altijd al de watercyclus gemanipuleerd. Tot voor 1800 gebeurde dit met kleinschalige infrastructuur door water op te vangen om dieren te voeden, water op te stuwen om een watermolen aan te drijven, water te gebruiken in een koelingsproces. Deze interventies in de watercyclus zijn tijdens de industrialisering opgeschaald. Waar vroeger een grachtenstelsel werd gegraven om velden te bevoeien, wordt nu haspelirrigatie toegepast. Waar vroeger dijken met geultjes werden aangelegd om bronwater naar ijskelders te transporteren, worden nu kanalen aangelegd om drinkwater uit buurlanden te capteren.

Wat vroeger een fijnmazig net van kleine waterinfrastructuur was, dat men gerust kan typeren als 'waterland' is geëvolueerd naar een drainagecultuur. Tot in de haarvaten van het landschap werden vanaf de na-oorlogse periode op grote schaal drainagetechnieken toegepast. Dit illustreren we aan de hand van het tijdspad dat hierna volgt waarin aangetoond wordt hoe het watersysteem van het landschap gewijzigd is door ruimtelijke ingrepen.

1 De term 'waterland' verwijst naar landschapsbeheer of de manier waarop landbouwers dit toepasten in het verleden. Het verwijst ook naar het VLM-programma Water-Land-Schap, waar het doel is om problemen met water in landelijke gebieden in onderlinge samenhang op te lossen, in nauwe samenwerking met de gebruikers van het gebied zoals landbouwers en bedrijven, bewoners en landschapsbeheerders.

Actual wetlands in Flanders



Watersysteem als kompas voor het verleden en de toekomst

Het watersysteemschema hiernaast geeft aan op welke manier we ruimtelijke ingrepen uit het verleden hebben geëvalueerd.

Het watersysteem ontvangt de regen als INput en geeft kwel af aan de rivieren als OUTput. Daarnaast kan men ook kunstmatige OUT- en INput plaatsen.

We plaatsten de ruimtelijke ingrepen uit het verleden in dit schema en beoordelen welke rol het landschap vervulde in de watercyclus. Bijv. het capteert de regen, het bergt de overtollige regen, het filtert en vertraagt het insijpelende water.

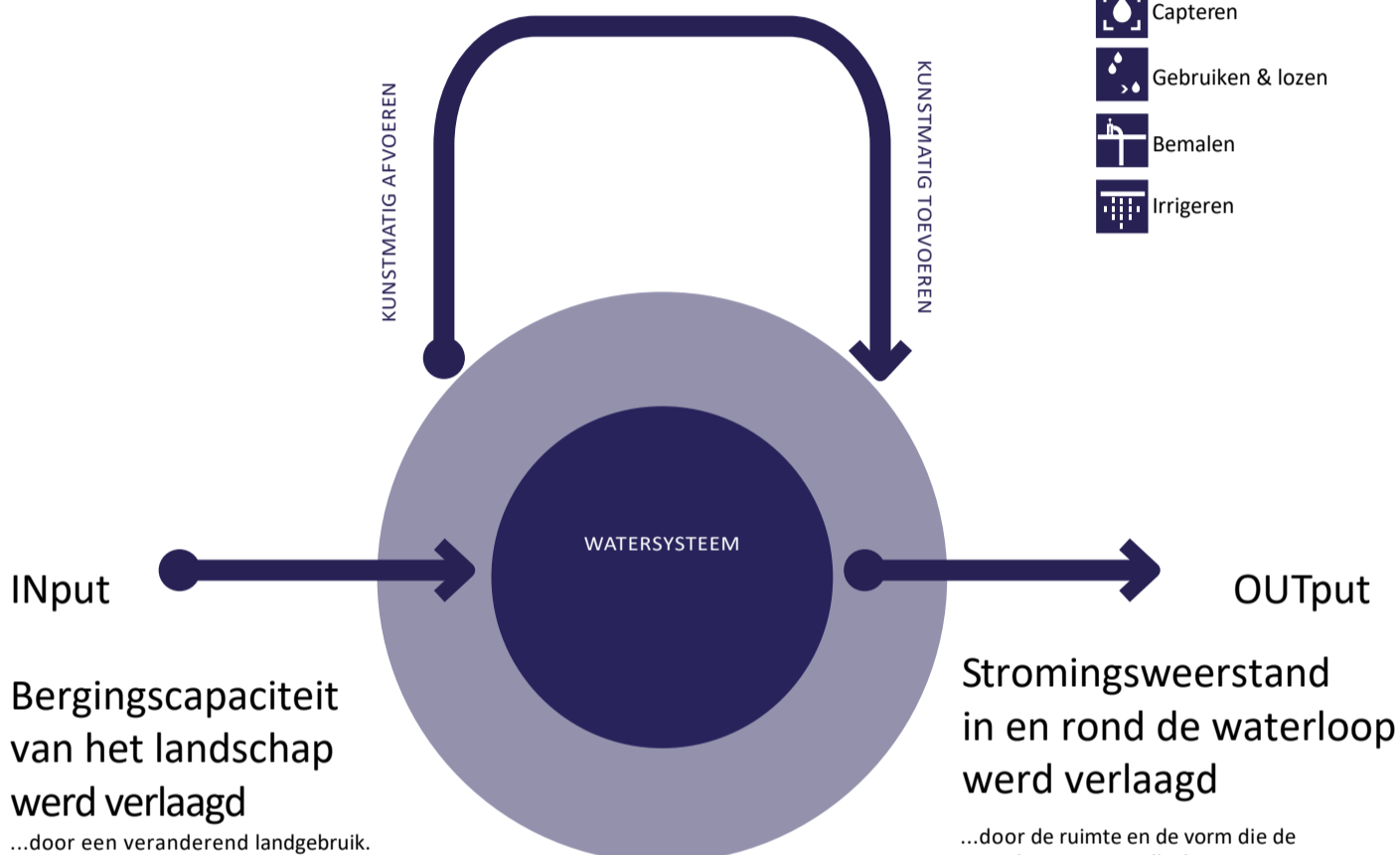
We oordeelden dat de historische transformatie van het Vlaamse landschap of zoals eerder vermeld 'de drainagecultuur' voornamelijk te wijten is aan 2 oorzaken; 1) de waterbergingscapaciteit van het landschap werd verlaagd en 2) de stromingsweerstand in de waterlopen werd verlaagd.

KUNSTMATIGE OUT- en INput

Meer onttrekking door o.a. grotere watervraag, inpoldering of drooglegging.
Maar ook meer toevoer door technieken zoals bijv. irrigatie, bevoeiing

Voorbeelden:

-  Capteren
-  Gebruiken & lozen
-  Bemalen
-  Irrigieren



Bergingscapaciteit van het landschap werd verlaagd

...door een veranderend landgebruik.

Voorbeelden van ingrepen die de input beïnvloeden:

-  Vergrachting
-  Inpoldering
-  Verharderen en rioleren
-  Bebossen
-  Ontbossen
-  Verwijderen bocagelandschap
-  Winterbed verstedelijken
-  Afwateren
-  Veranderen van teelten

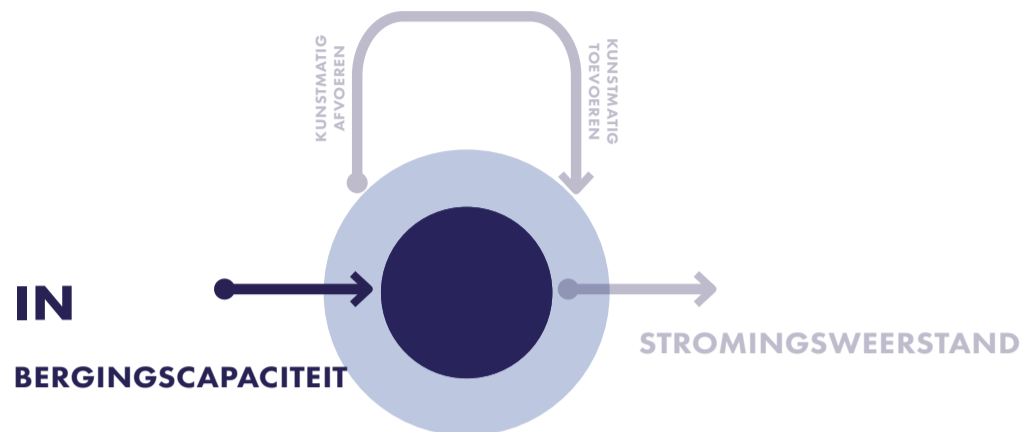
Stromingsweerstand in en rond de waterloop werd verlaagd

...door de ruimte en de vorm die de waterloop en zijn vallei kreeg.

Voorbeelden van ingrepen die de output beïnvloeden:

-  Kanalisering
-  Rechttrekken van natuurlijke waterlopen
-  Ruimen van grachten en waterlopen
-  Wegnemen van vooroeverzones
-  Dempnen en omleiden van waterlopen

Bergingscapaciteit van het Vlaamse landschap



De laatste decennia hebben een aantal trends een negatieve impact gehad op de bergingscapaciteit van het Vlaamse landschap. Het betreft ondermeer de bevolkingsgroei, het overstromingsbeheer, de voedselbevoorrading en de vooruitgang van techniek.

Een opsomming van de impact die we uit gesprekken met experts haalden:

Ver-grachting en drainagenetwerken

Grachten zijn wellicht de meest gebruikte infrastructuur in het waterbeheer van het landschap. Waar grachten werden gegraven (langs weg, nederzetting en landbouwveld,...) konden drainagenetwerken worden uitgebreid en op elkaar aangesloten. Oorspronkelijke grachtensystemen zijn bv. de meetjes, waarvan het patroon heel herkenbaar te zien is in het landschap van het Meetjesland.

Afwateren

Minder zichtbaar zijn de ondergrondse drainagesystemen (keramische buizen), die de hydrologische connectiviteit nog verhogen door aansluiting op het grachten-netwerk. Ze zijn waarschijnlijk nog steeds ruim aanwezig en daardoor moeilijk in kaart te brengen. Versterkt door de evolutie in materialen, werden drainagebuizen steeds performanter in het ontwateren. Afwateren van 'waterzieke' gronden werd op grote schaal toegepast om meer landbouwgrond te maken. Het verlies van historische wetlands is grotendeels hieraan te wijten.

Inpoldering

Door het oprichten van dijken in gebieden onderhevig aan getijden, werden polders gemaakt. Polders werden bemaald om akkerbouw te installeren. Door toedoen van stijgend percentage bodembedekking, meer regenwaterafvoer en beperkt aanvullen van het grondwater krimpt gedurende droge periodes de zoetwaterbel.

Verhard en rioleren

Het verhard van de grond of het optrekken van constructies zorgt ervoor dat het regenwater slechts beperkt ter plaatse kan insijpelen, maar opgevangen wordt of onderschept en afgeleid naar grachten of riolering. Hierdoor versnelt de afvoer naar de rivieren én wordt infiltratie tegengehouden. Verstedelijkt gebied genereert circa 50% meer afstromend

regenwater dan bebost gebied¹. Het verhard en rioleren ging hand in hand met de toenemende verstedelijking die sinds 1976 van 7,2% naar 29% groeide in Vlaanderen. Daarenboven warmt verharde en versteende oppervlakte veel sneller op waardoor het aanwezige water sneller verdampt.

Inperken van winterbeddingen

In de zomer is het rivierdebiet kleiner dan in de winter, waardoor de bedding van de rivier vroeger seizoensgebonden was: in de zomer blijft de rivier binnen de zomerdijk, in de winter kan ze een breder deel van de vallei bestrijken. Door het privatiseren van gronden omstreeks 1800 kwam er een einde aan het gemeenschappelijk landgebruik. Waar voorheen een kluwen van claims op het land van toepassing was, werd door het privatiseren de gebruiksrechten veel eenvoudiger. Dit was dan ook de periode waar het grootschalig inpalmen van de winterbeddingen voor meer productieve teelten in het hele Scheldebekken zijn oorsprong vond.

Daarenboven is de nederzettingsstructuur in heel Vlaanderen sterk veranderd na WOII door een beleid dat sterk promootte om verspreid te gaan wonen. Het op grote schaal verspreid wonen zorgde ervoor dat veel winterbeddingen of meersen bebouwd en ontwaterd werden voor kleine clusters boerderijen of woningen.

Be- en ontbossing

In de polders werden enerzijds grote oppervlakten ontbost en ingezet als landbouwareaal. Anderzijds heeft de nood aan constructiehout (voor de mijnbouw) tot massale bebossing geleid van de Kempen. De aangeplante naaldbossen onderscheppen en verdampen heel veel regenwater waardoor er weinig water kan insijpelen en infiltreren.

Ontginning

Bij andere vormen van ontginning zoals bv. de turf-ontginning (die vroeger werd ingezet als energiebron) werden ontginningsputten gegraven die de sponswerking van het landschap teniet deden.

¹ Den Ouden J., Muys B., Mohren F., Verheyen K. (2010). Boscologie en Bosbeheer. Uitgeverij Acco, pp. 165-166

Verwijderen bocagelandschap

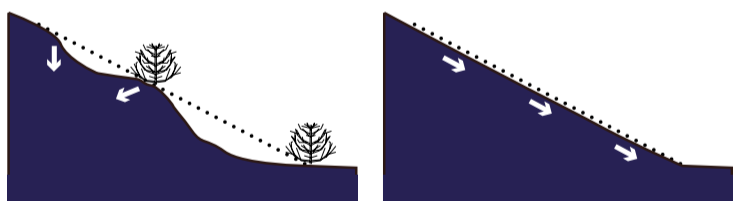
Schaalvergroting in de landbouw leidde tot versneld afwateren. Door het samenvoegen van kleine onregelmatige landbouwpercelen verdween het typische halfopen cultuurlandschap. Dit coulisselandschap had net een zeer positief effect op de bergingscapaciteit van het landschap. Een netwerk van kleine percelen omzoomd met hagen en bomenrijen zorgde er in het verleden voor dat het water vastgehouden werd op de percelen. De hagen zelf zorgden voor een versnelde infiltratie van het water in de bodem. De gevormde graften trekken immers knaagdieren aan die gangen graven waarlangs het water versneld in de grond kan trekken. De hagen en bomenrijen langs de perceelsgrenzen zorgen er ook voor dat er door het jarenlang bewerken van het land plateaus ontstaan.



Hagen en bomenrijen in coulisselandschap: perceelsgrenzen als erfafscheiding en veekering via kleine landschapselementen

Bodemerosie

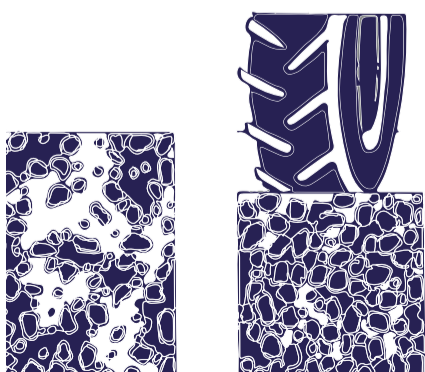
Door de uitvinding van zware landbouwmachines werden de terrassen uitgestreken over grote vlaktes waardoor erosie vrij spel krijgt. Het regenwater infiltreert niet meer in de terrassen, maar wordt sneller afgevoerd naar het laagstgelegene gebied. Door het gebrek aan hagen en bomenrijen als windbrekers zal daar bovenop de wind er ook voor zorgen dat de grond sneller uitdroogt.



Verdwijnen van graften en terrassen zorgt voor versnelde afvoer en erosie

Bodemcompactie

Het gebruik van deze zware machines heeft als bijkomend gevolg dat er compactie van de grond optreedt waardoor het infiltrerend vermogen van de grond afneemt.



Bodemcompactie



Graften in Zuid-Limburg
Bron: Regionaal Landschap Haspengouw en Voeren

Veranderde teelten

De cultivering van het landschap veranderde mee met de maatschappij en haar noden. Een shift van grasland naar meer intensievere teelten werd gesteund door het Europese landbouwplan die de voedselbevoorrading na de oorlog moest veilig stellen.

Kleinschaligere landbouw op terrassen werd vervangen door grootschalige percelen met drainagebuizen. Echter, door meer in de terrassen te cultiveren krijgt het regenwater de tijd om in te sijpelen. Teelten die weinig water verdragen, worden continu ontwaterd.



Voor intensifiëring, handmatig werk, lage druk op bodem.
De bietenoogst, Claus, 1890

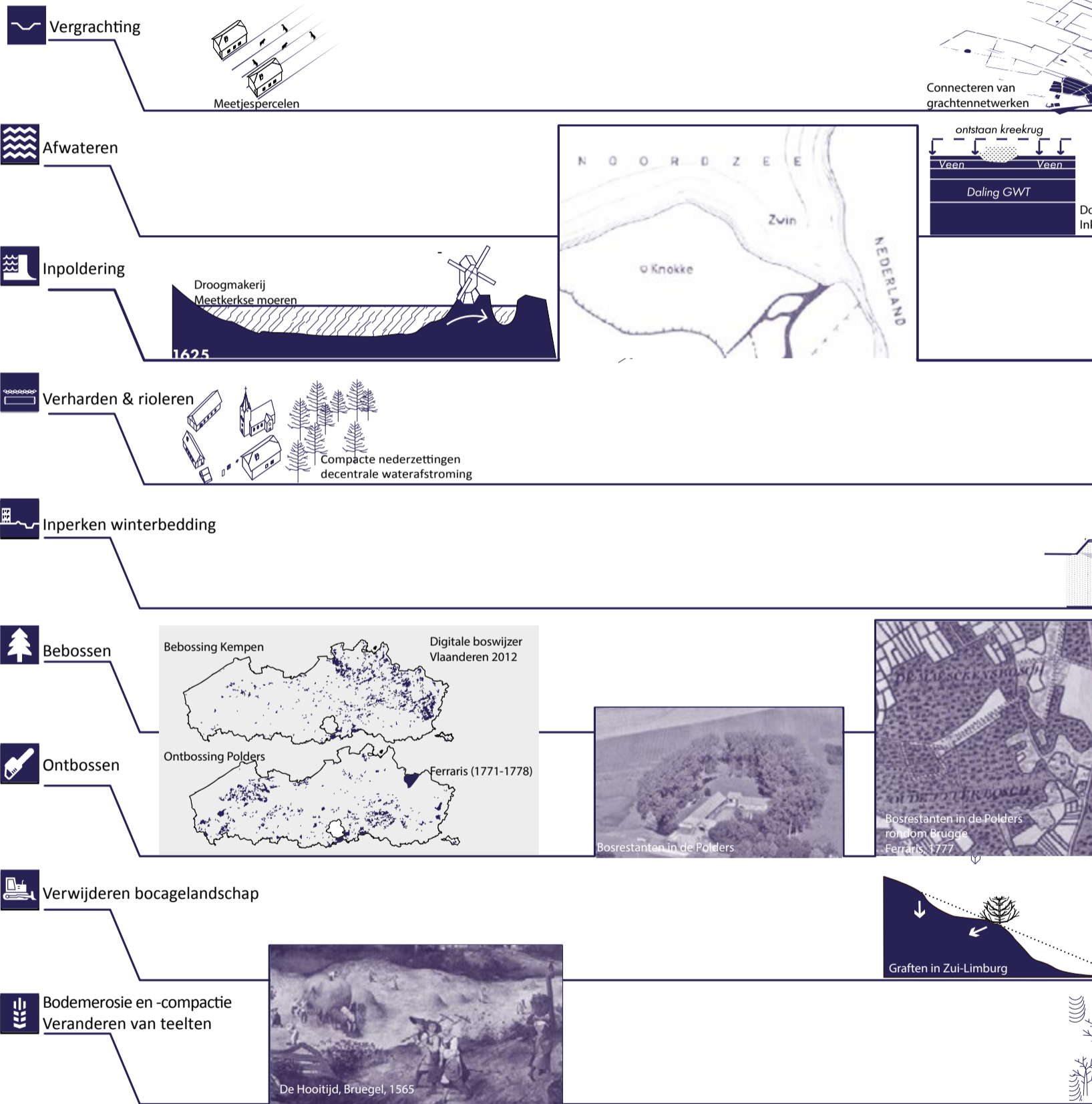
Beleid dat bijdroeg aan...

... verlaagde bergingscapaciteit in Vlaamse landschap

- 1913 Nationale Maatschappij der Waterleidingen (NMDW) (riolering)
- 1930 Bouw snelwegen (vergrachting en connectie afvoer)
- 1945 Plan-Mansholt (Europees landbouwbeleid)
- 1948 Wet De Taeye (verspreiding, verstedelijking en verharding)
- 1962 Gewest- en Streekplannen (landgebruik)
- 1992 Opvulregel (lintbebouwing en riolering)

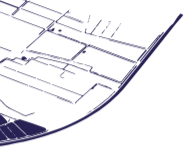
Zie bijlage 1 voor de inschatting van de mogelijke negatieve impact

Bergingscapaciteit verlaagde geleidelijk



1600

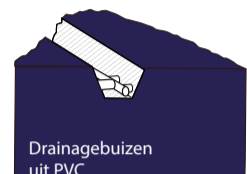
1700



Keramische drainagebuizen uit klei 1855

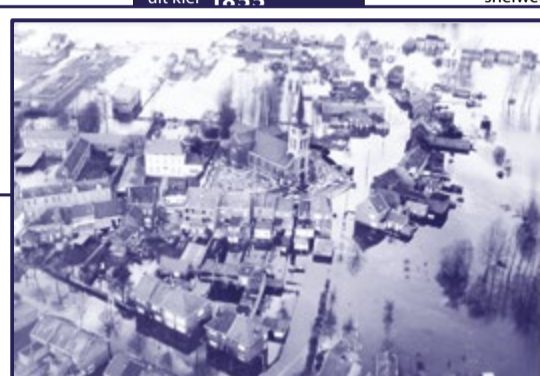


Grachten langs snelwegen vanaf 1937

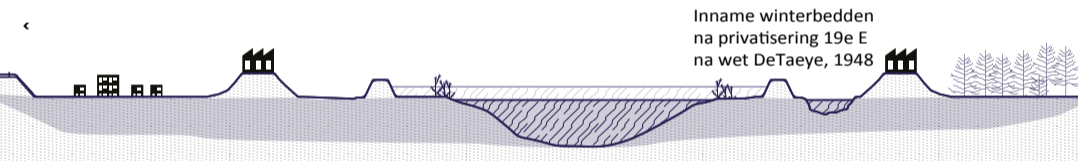
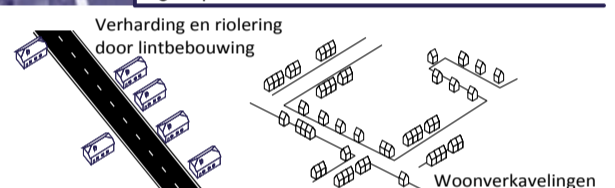


Drainagebuizen uit PVC

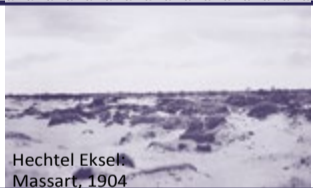
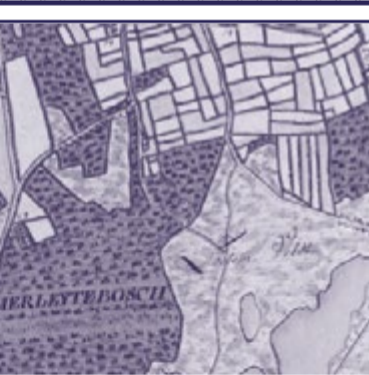
Door ontwatering
klinken van de Moeren



Indijken tegen overstroming (1953)
Sigma-plan, 1970



Inname winterbedden na privatisering 19e E na wet DeTaeye, 1948



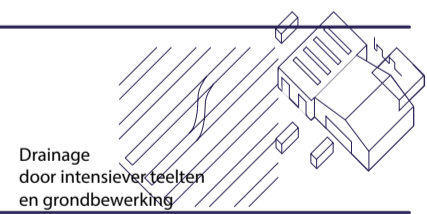
Hechtel Eksel: Massart, 1904



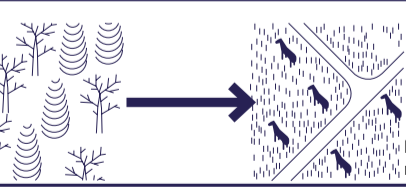
Bebossing Hechtel Eksel: De Cleene, 2014



Verdwijnen van coulissenlandschappen



Drainage door intensiever teelten en grondbewerking

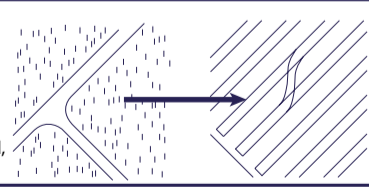


Evolutie minder plukcultuur
meer grasland



Zwaardere machines bodemcompactie

Evolutie minder grasland,
meer intensieve teelten

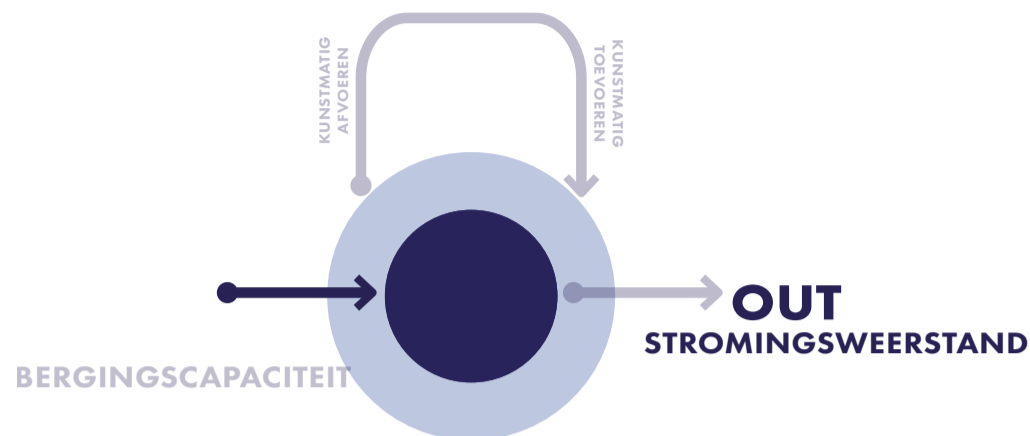


1800

1900

2000

Stromingsweerstand in de Vlaamse waterlopen



De laatste decennia hadden een aantal ruimtelijke ingrepen en maatregelen een versnelde afwatering tot gevolg. We oordeelden dat de stromingsweerstand verlaagd werd in de waterloop en zijn opstroomse netwerk. Het gaat hier over ruimtelijke ingrepen zoals kanaliseren, het indijken van rivieren maar ook het frequent ruimen van grachten en inbuizen van waterlopen.

Kanaliseren waterweg

Bevaarbaarheid van waterlopen verbeteren was altijd al bevorderlijk voor de handelsteden in Vlaanderen, ruimtelijke ingrepen aan de stedelijke bevaarbare waterloop is dan ook niets nieuws. Vanaf het midden van de 20^{ste} eeuw werd het echter mogelijk om op grote schaal de vaarweg recht te trekken, te kalibreren en de evoluerende scheepvaart doorgang te bieden. Vandaag wordt optimalisatie van rivieren nog steeds bevorderd om de transitie van weg- naar watertransport te faciliteren.



Meanders werden in het verleden afgesneden ten behoeve van watertransport. Bron: CIW

Daarenboven werd in na-oorlogse periode ook geanticipeerd op overstromingsproblemen door een voortschrijdende verstedelijking en verharding. Zowel bevaarbare als onbevaarbare waterlopen werden rechtgetrokken en verbreed om de afvoer van grote debieten op te vangen. Vandaag is dit dikwijls geen optie meer is omdat de debieten groter zijn, afvoeren moeilijker is door knelpunten en omwille van het verlies aan waardevol water voor droogte.

Bij het rechttrekken werden scherpe meanders afgesneden, werd de waterloop verbreed, de vaaras uitgediept en oevers versterkt. Hierdoor werd de natuurlijke weerstand verlaagd, erosie en afzetting van sedimenten verstoord en de stroming versneld.

De aanleg van kanalen en het rechttrekken van waterwegen kende een expansie tijdens de industriële revolutie voor het transport van goederen. Zo werden ook nieuwe kanalen gegraven om ontbrekende schakels in het netwerk toe te voegen; zoals bijvoorbeeld het kanaal Bossuit-Kortrijk, voor de aan- en afvoer van grondstoffen en eindproducten van de vlasindustrie in Kortrijk.



Rechttrekken beken in functie van drainage en schaalvergroting landbouwgronden. Bron: CIW

Rechttrekken van kleinere waterlopen

Rechtgetrokken waterlopen zorgen voor een versnelde stroming in de rivier ten opzichte van meanderende rivieren. Rechttrekken van waterlopen bevorderde de landbouw. De landbouwgrond langs de rivier kon gemakkelijker bewerkt worden. Enerzijds omwille van de vorm van het perceel (gemakkelijker voor machine) en anderzijds omwille van de beter toegankelijke en beschikbare gronden (minder wateroverlast).

Ruimen van grachten en waterlopen

Om wateroverlast op velden en nabij bebouwing te voorkomen werd in het verleden ingezet op ruimingsbeheer. Door een intensief ruimingsbeheer van grachten en waterlopen verlaagt de stromingsweerstand en verhoogt de afvoer. Stilstaand water werd opnieuw stromend water.

Als gevolg van een verhoogde afvoer wordt in sommige beekvalleien de beek steeds dieper uitgeslepen waardoor de waterloop een drainerend effect heeft op de het grondwater.



De Zenne wordt ingekokerd eind 19^{de} eeuw, Bron: Riolumuseum Brussel

Vooroeverzones wegnemen

De vooroeverzone is het overgangsgebied tussen de waterlijn en de droge oever. Het is vaak een hellende zone of ondiepe bank die geregeld onder water staat. De beplanting op of in de vooroeverzone is niet alleen van belang voor de fauna en flora maar ook voor de stromingsweerstand.

Om de beek/waterloop te kunnen ruimen werd in het verleden de vooroeverzone weggevaagd of vernield. Het wegnemen van de vooroeverzones leidt tot minder weerstand, een snellere stroming en een grotere golfslag. Vandaag biedt aangepast ruimingsbeheer aandacht aan fauna en flora in de vooroeverzone. Ook voor droogte en waterhuishouding is dit aspect belangrijk.

Dempen en omleiden van waterlopen

In watersteden of steden die hun oorsprong kennen aan de oever van een rivier heeft de rivier een bepalende rol gespeeld in het vormgeven van de stad. We zien vaak eenzelfde historische evolutie waarbij de rivier eerst de hoofdrol speelt in de ontwikkeling van de stad, vervolgens naar de achter- en ondergrond verdwijnt en pas eind 20^{ste} eeuw terug wordt gewaardeerd.

Om in stadscentra wateroverlast te vermijden en de hygiëne te verbeteren, werden veel waterlopen aan het eind van de 19^{de} eeuw gedempt, omgeleid of ingekokerd. Deze omleidingskanalen en ondergrondse kokers verzekerden een snelle afvoer.

Beleidsbeslissingen die hebben bijgedragen aan de verlaagde grondwaterstand in Vlaamse rivieren

1950 Wet op de bescherming van de oppervlaktewateren & afvalwaterzuivering

1971 Gemeentelijke verplichting Algemeen Rioleringsprogramma (versnelde afvoer afval- en regenwater)


1977 Opstart Waterwegen en Zeekanaal (verbreding en kalibratie waterweg)

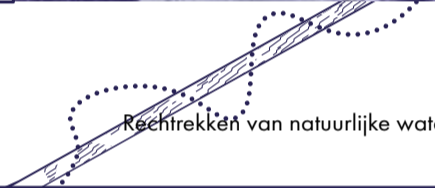
1978 Fusie gemeenten: Totaal Rioleringsplan

Zie bijlage 1 voor de inschatting van de mogelijke negatieve impact


 Kanalisering



 Rechttrekken van natuurlijke waterlopen



 Ruimen van grachten en waterlopen

 Wegnemen van vooroeverzones

 Dempen en omleiden van waterlopen



1600

1700



erlopen



Aanleg kaaien Leie,
Harelbeke 1914



Overkapping van de Zenne
eind 19e E, Brussel, Vismarkt

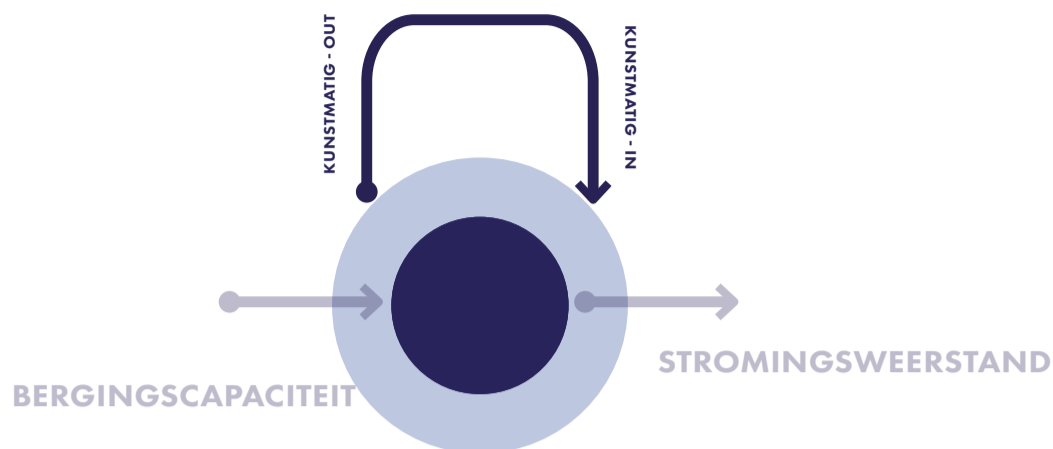


1800

1900

2000

Kunstmatige toevoer en afvoer



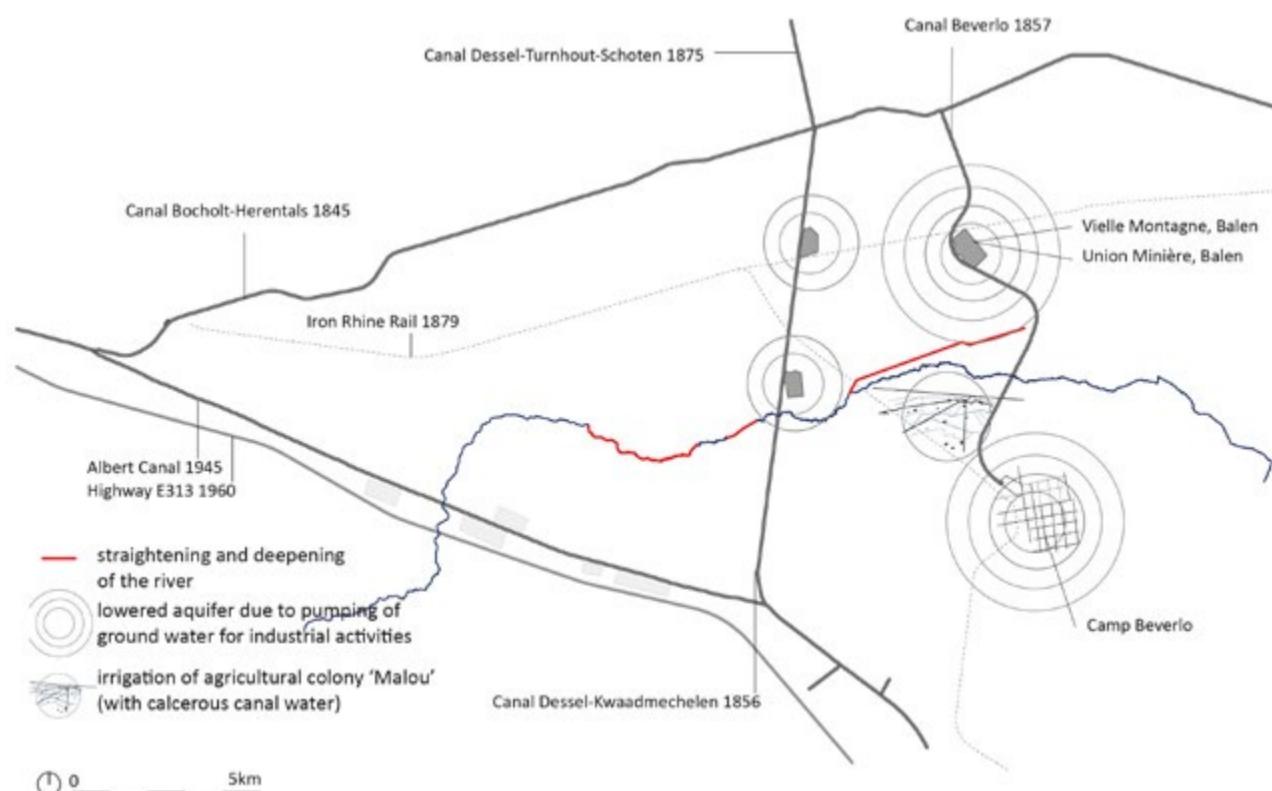
Water capteren en gebruiken is historisch nauw verbonden met onze nederzittingsstructuur en ons landgebruik. De oorsprong van een nederzetting is bijna altijd gelinkt aan een captatiepunt¹. Dorpen onstonden waar water voor handen was. Dat maakte welvarende gemeenschappen locatieafhankelijk, afhankelijk van water, afhankelijk van de plek in het stroomgebied.

Kunstmatige input

Irrigeren

Irrigatie, of kunstmatig invoeren van water, werd en wordt vandaag nog voornamelijk toegepast in functie van het cultiveren van gronden of irrigeren van teelten: vloeiveides in het verleden, haspelirrigatie, netirrigatie,...

¹ Grosjean B. (2010), Urbanisation sans urbanisme. Une histoire de la "Ville Diffuse", Mardaga: Wavre, 352 p



Kempische kanalen, als basisgrid voor de staalindustrie en als voeding voor landbouwkolonies en militaire kolonie, Bron: Putseys Isabelle, 2013

Kunstmatig output

Captatie bovengronds

Drink- en huishoudelijk water werd in het verleden gecapteerd in een fijn netwerk van waterinfrastructuren die water uit de rivieren capteerden. Denk maar aan drinkpoelen, waterputten, bronwaterkanaaltjes, ... Grootschaligere wateraanleveringsinfrastructuur kwam er tussen 1820 en 1860, wanneer de Kempische kanalen werden gegraven voor waterbevoorrading en kolonisatie van het meest droge en zandige landsdeel. Het merendeel van de captatie (74%) in Vlaanderen komt van onttrekking uit de Schelde, dat in vergelijking met andere rivierstelsels (internationaal gezien) erg klein is. Vlaanderen is daardoor grotendeels afhankelijk van bevoorrading uit het buitenland.

Captatie ondergronds

Vandaag is de bovengrondse bevoorradinginfrastructuur aangevuld met waterzuiveringsbekkens, voorraadbekkens, een ondergronds aanvoernetwerk, maar natuurlijk ook met pompinstallaties voor grondwaterwinning. De ondergrondse netwerken maakten steden en industriële activiteiten niet meer locatie-afhankelijk voor waterbevoorrading. Bijv. de staalindustrie kon zich daardoor vestigen in de Kempen. Deze industrie onttrok enerzijds grondwater voor zijn productieprocessen en voerde anderzijds Maaswater aan via de Kempische kanalen.

De industrialisering heeft de druk op de grondwater-voorraden doen toenemen. Tijdens droge jaren stijgt de winningsdruk, maar ook de bevolkingsgroei zal de druk doen toenemen.

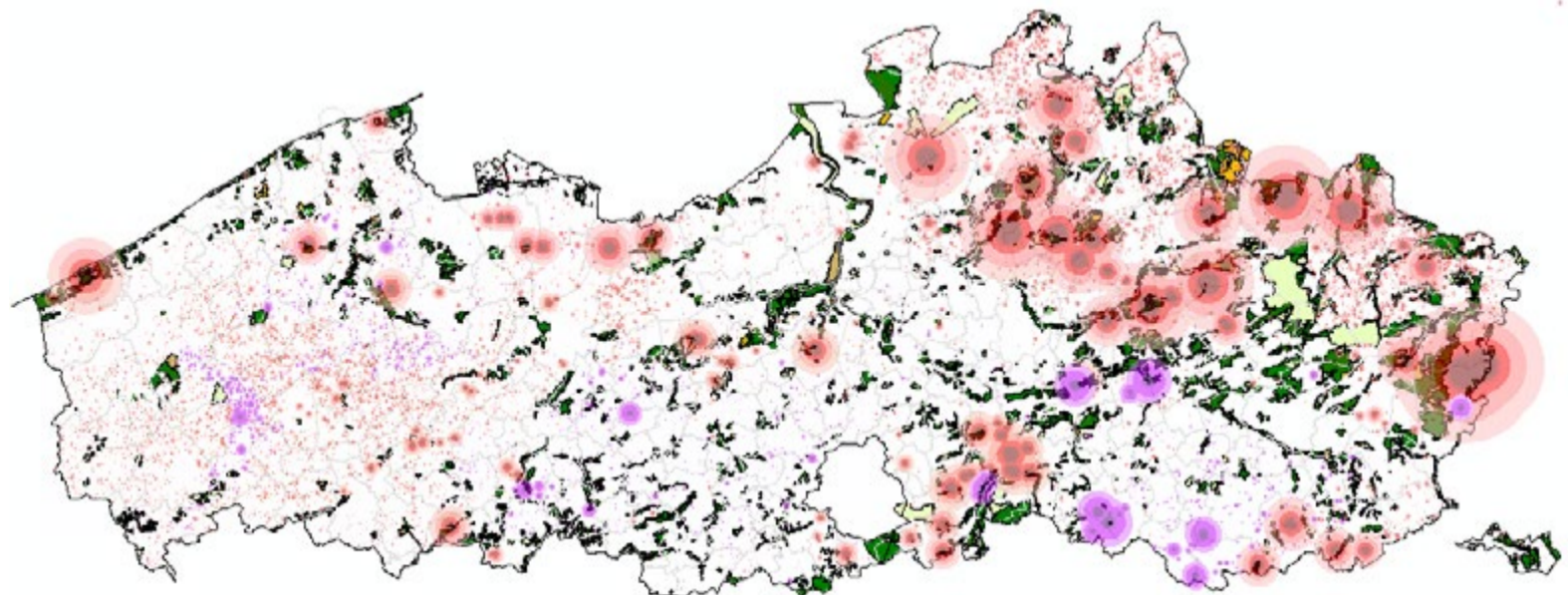
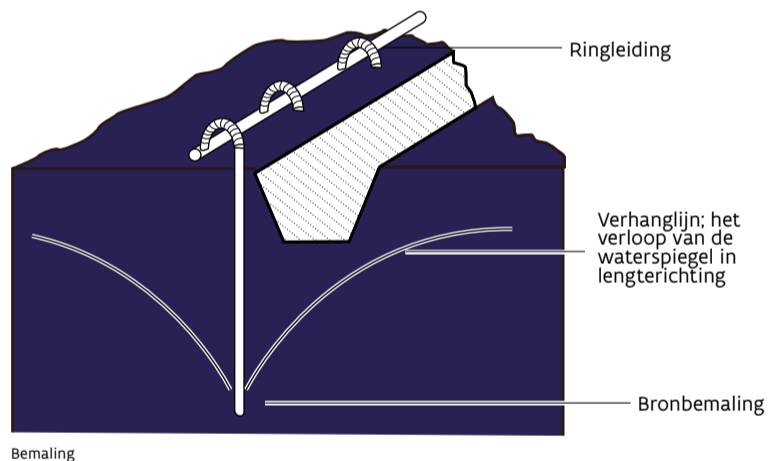
Watergebruik

Afhankelijkheid van de bronlocatie neemt steeds meer af door de technische vooruitgang in waterbevoorradingnetten. Hierdoor wordt het mogelijk om in waterarme zones aan waterintensieve processen te doen (bv. Roeselare, groentekassen). De afkomst van proceswater heeft ook zijn invloed op het watersysteem wanneer het opnieuw geloosd wordt in het oppervlaktewater; meer kalk of andere mineralen zorgen voor een verstoring in het hydro-ecologische lokale milieu.

Door onze stijgende welvaart en bevolkingsgroei is er steeds meer nood aan drink- en gebruikswater. Terwijl de steden en industrie de grootste watervragers zijn, stoelt de bevoorrading in Vlaanderen grotendeels op captatie uit het buitenland of uit Wallonië.

Bemalen

Bemalen is het al dan niet tijdelijk verlagen van de grondwaterstand. De meest gekende grootschalige bemaling die we in Vlaanderen kennen, zijn de polders. In vergelijking met Nederland komt de permanente vorm van bemalen weinig voor in België. De tijdelijke bemalingstechnieken worden onder meer gebruikt voor het bouwen van ondergrondse constructies zoals kelders en garages (werfbemaling), maar is ook grootschalig gebruikt in de mijnen en bij grote infrastructuur om de ondergelegen tunnels droog te houden. Een nadelig bijeffect van het bemalen is dat bepaalde watergevoelige gronden zoals ontgonnen veengronden inklinken als het water weggepompt wordt. De bodem wordt compacter en komt zo lager te liggen, met gevolgen voor de stabiliteit van bovenliggende constructies. De bemaling van de mijnen heeft een grote stempel op de grondwatertafel gedrukt.

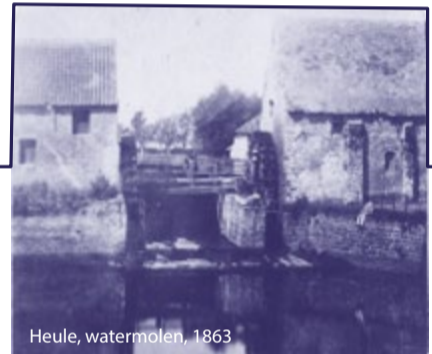


Reikwijdte van de verdrogende effecten van de winningen. Hoeveelheid oppervlakte aan grondwateraanvulling die er nodig is om deze winningen te compenseren. Hierbij nemen we aan dat er gemiddeld 250 mm aanvulling is. De binnenste cirkel staat voor 100%, vervolgens 75 %, 50%, 25%, 10% en 5 %.
Bron: UAntwerpen

Capteren



Capteren in drinkwaterputten



Heule, watermolen, 1863

Gebruiken & lozen

Water als dagelijkse basisvoorziening

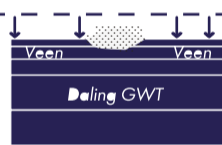


Bemalen

Inklinking De Moeren, 1650



Ontstaan kreekrug



Irrigieren



Vloeiweides, Mol

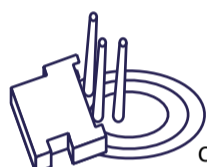
1600

1700

Beleidsbeslissingen die hebben bijgedragen aan de toegenomen kunstmatige onttrekkingen

1913 Oprichting Nationale Maatschappij der Waterleidingen (NMDW)

Zie bijlage 1 voor de inschatting van de mogelijke negatieve impact



Capteren in industrieel processen landbouwactiviteiten



Proceswater industrie

Drinkwater veeindustrie

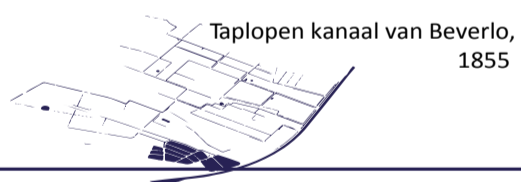


Bronbemaling

Pombemaling

Werfbemaling

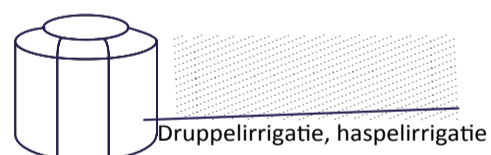
Mijnbemaling



Taplopen kanaal van Beverlo,
1855



Sprinklerirrigatie
1955



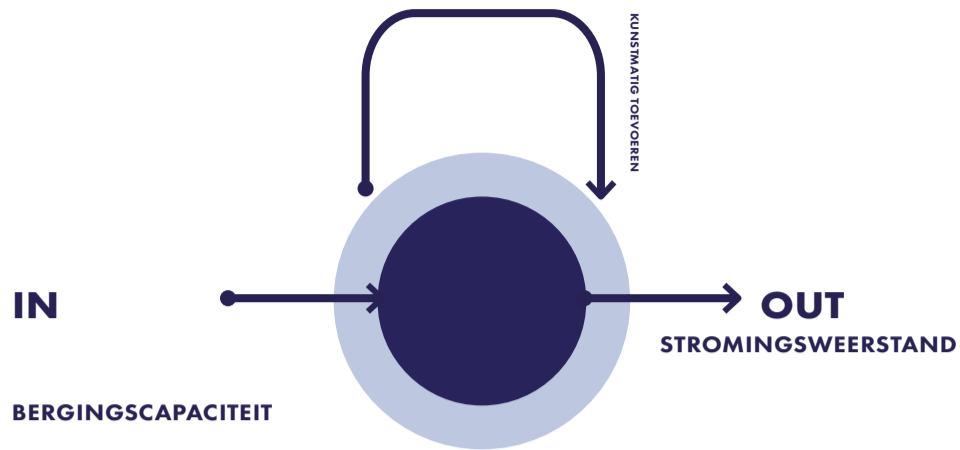
Druppelirrigatie, haspelirrigatie

1800

1900

2000

Conclusie



De Grote Shift in waterbeleid

Na de watersnood van 1976 kwam er verandering in het beheer van waterlopen in Vlaanderen. Een beheerder voor het Scheldebekken werd aangesteld, de oprichtingen van Waterwegen en Zeekanaal was een feit. Snel nadien volgde het rioleringsbeleid dat een Totaal Rioleringsplan moest voorzien op bovengemeentelijke schaal. In 1982 volgde de oprichting van de Vlaamse Waterzuiveringsmaatschappij en in 1990 de Vlaamse Milieumaatschappij.

Meer brongerichte maatregelen op schaal van het stroomgebied werden pas beleid toen de Europese kaderrichtlijn water in 2000 vertaald werd in het Decreet Integraal Water Beleid.

Hieronder een opsomming van brongerichte ruimtelijke maatregelen die vandaag reeds een positieve impact kunnen hebben op de bergingscapaciteit van het landschap.

Ontharding

Sterk verasteende ruimte is nog steeds de norm vandaag. De watertoets zorgt voor een limiet aan de asfaltering. Het herstel van de bergingscapaciteit van de Vlaamse grond begint bij onthardingsprojecten.

Regenwaterbuffers

Regenwaterbuffers zijn verplicht bij nieuwbouw en renovaties om het regenwater op te vangen en te hergebruiken.

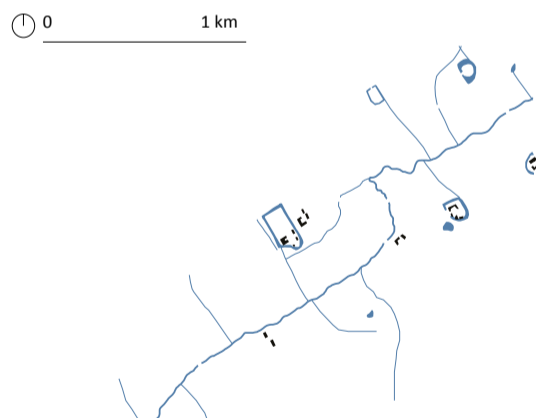
Bemalingswater opslaan

De impact van bemalingen op de grondwaterstanden is lokaal erg groot. Bemalingsstudies en -vergunningen proberen de impact te evalueren en te beperken. Zo moet het opgepompte water zoveel mogelijk opgeslagen of via retourbemaling in de grond geïnfiltreerd worden. Het opslaan of hergebruik blijft symbolisch of een fractie.

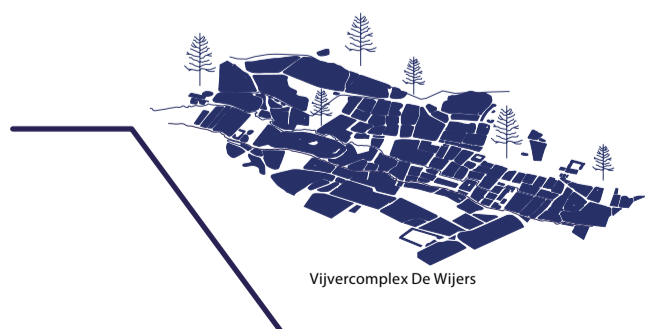
Uit de landschappelijke analyse komt naar voor dat Vlaanderen, in tegenstelling tot andere regio's, sterk dooraderd is door kleinschalige waterinfrastructuur.



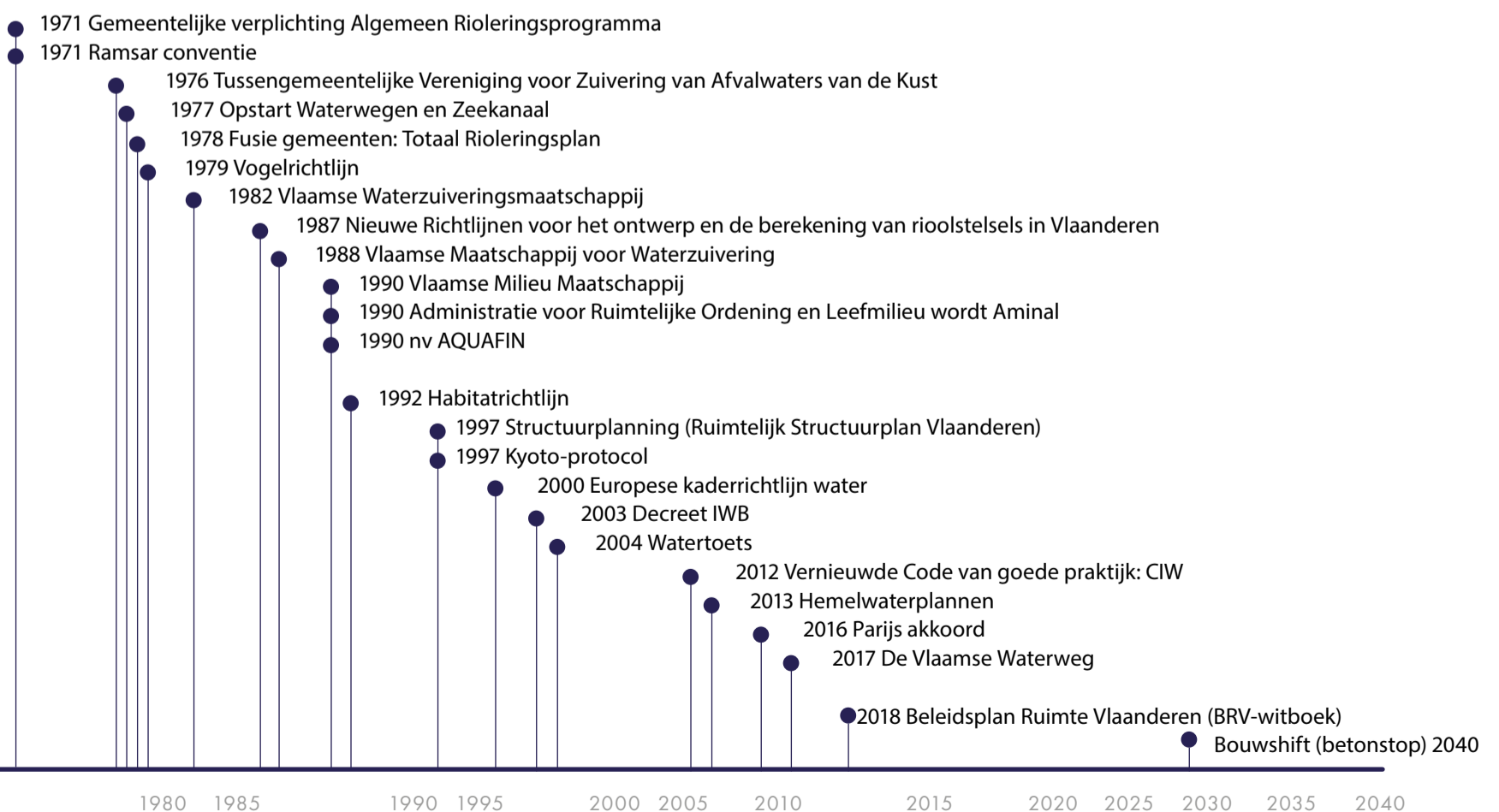
Visiebeeld ontharden
Bron: gebaseerd op Recollecting Landscapes (<https://www.recollectinglandscapes.be>, 2014)
te Genk, Massart 1904 en De Cleene



Historische waterelementen. Vroeger van toepassing voor waterhuishouding, verdediging, nu een inspiratie als brongerichte maatregel
Bron: Mapping gebaseerd op Ferraris 1744



1960 1965 1970 1975



“In Vlaanderen is de kleinschaligere bedrijfsvoering langer blijven bestaan, zo waren er voor 1950 geen tractoren. Daardoor zijn er nog restanten in het landschap aanwezig die kunnen hersteld of ingezet worden.” Tim Soens, 2021

Hierna enkele voorbeelden van inspirerende watertechnieken uit het verleden:

Poelvorming

Stop ontwateren van microdepressies zodat natuurlijke (of geplande) poelvorming opnieuw kan gebeuren.

Plaatsen van stuwen

Het plaatsen van stuwen, kleppen, schotten, dammen of andere kleinschalige waterinfrastructuur kan lokaal gecapteerd water tegenhouden en gebruiken om het nodige waterdebiet aan te houden, en zo minder afhankelijk te zijn van ver gelegen (en opdrogende) bronnen. Typerend hierbij is het gebruik van het landschap, als één grote regenwaterbuffer om lokale waterkringen te sluiten.

Cascade-vorming

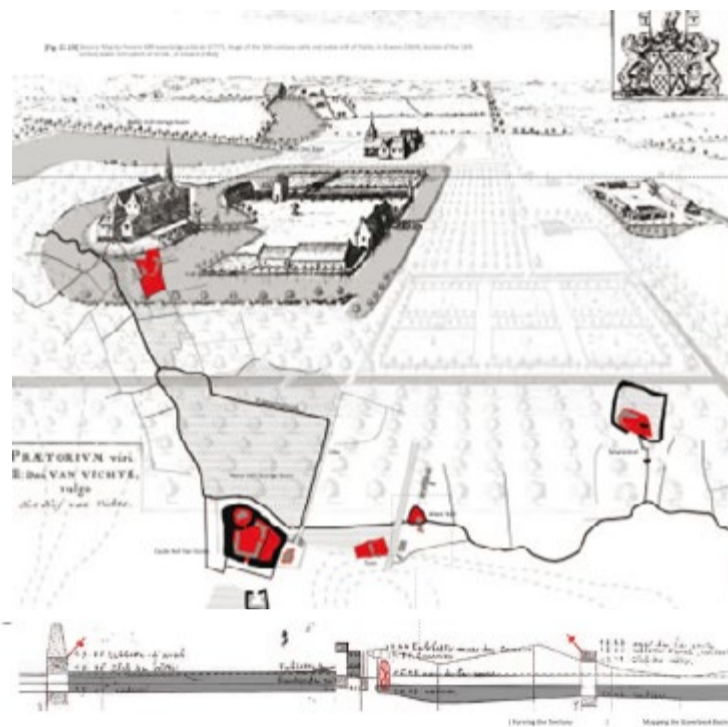
We kennen stuw-technieken ook van de rijstvelden in China. In Vlaanderen werd afdammen gebruikt om een cascade-systeem van bijv. visvijvers aan te leggen. Naast de hoge meerwaarde voor infiltratie, zijn deze historische stuwtechnieken zoals cascades en vijvercomplexen ook waardevolle ecologische en recreatiegebieden geworden.

Aangepast landgebruik

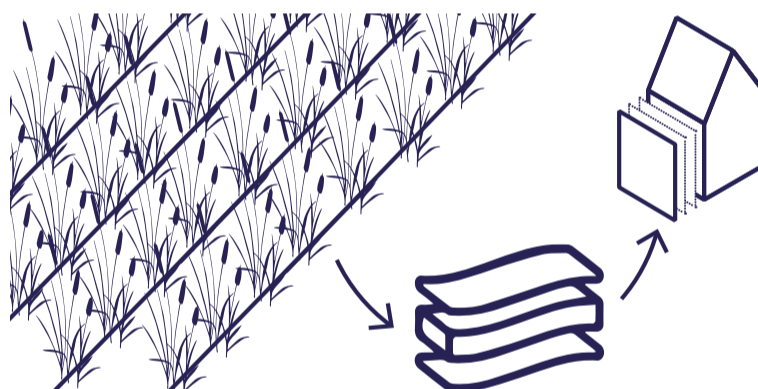
Aangepaste teelten zoals aquacultuur kunnen een belangrijke tool zijn in het voorkomen van de droogteproblematiek. Daarenboven vormen oude landgebruiken een inspiratiebron en trekken we lessen voor mogelijk hergebruik van historische landschapssystemen. Het gebruik van natuur om de bergingscapaciteit van de grond te regenereren, vinden we vandaag terug onder de term nature-based solutions. Deze co-creatie met natuur werd in oude kleinschalige landbouwtechnieken wel vaker toegepast.

Geforceerde infiltratie

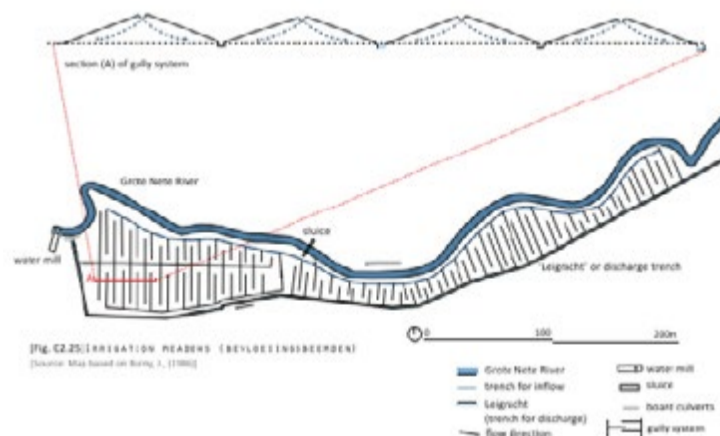
In het verleden werd er uit de Kempische Kanalen getapt om de droge zandige grond te bevoeien. Deze technieken zijn een inspiratie om de bergingscapaciteit van gronden opnieuw aan te spreken. Naast het gebruik van gravitair bevoeien worden er vandaag ook technieken mogelijk om onder druk de grondwatertafel aan te vullen. Maar het risico om zuivere grondwaterlagen te vervuilen bestaat.



Mapping gebaseerd op Ovaere, 1964: beeld van het 16de E kasteel en watermolen van Vichte + snede van watermolen van Vichte + Ferrariskaart KBR www.belgica.kbr.be (1777)
Bron: Isabelle Putseys, 2013



Teelt van lisdodde op natte gronden als isolatiemateriaal in de bouw
Bron: eigen illustratie



Vloeiweides of bevoeiingsbeemden
Bron: Putseys Isabelle, 2013

Situering

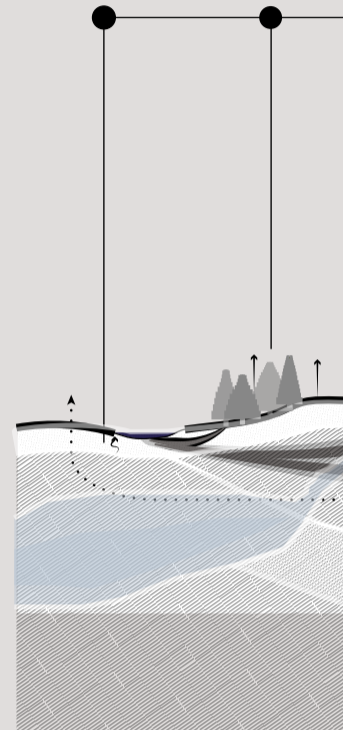
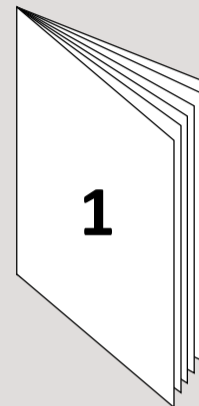
Naar de volgende stap

Uit het historisch perspectief leiden we af dat bepaalde ruimtelijke ingrepen en inrichtingen uit het verleden een negatieve impact gehad hebben op de bergingscapaciteit. Maar hoe groot is die bergingscapaciteit nu nog? Wat is het verlies ten opzichte van de natuurlijke toestand? En hoeveel moeten we minimaal bergen om droogte te voorkomen?

In het volgende hoofdstuk becijferen we dit voor een selectie van gebieden (9 vensters, geselecteerd over 9 ecoregio's). We kwantificeren de potentiële volumes en het percentage die door ruimtelijke maatregelen kunnen infiltreren.

In het derde hoofdstuk wordt aan de hand van een handgetekende geomorfologische landschapsstructuurkaart de ruimtelijke potenties voor het ontwikkelen van strategische watervoorraden geduid.

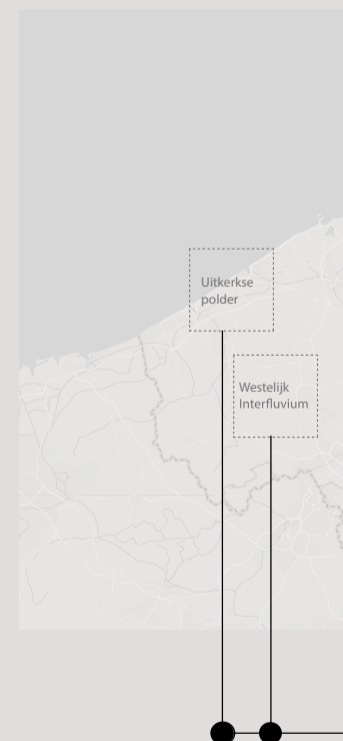
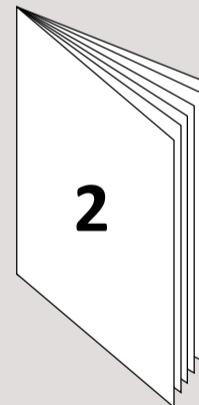
Onderzoek

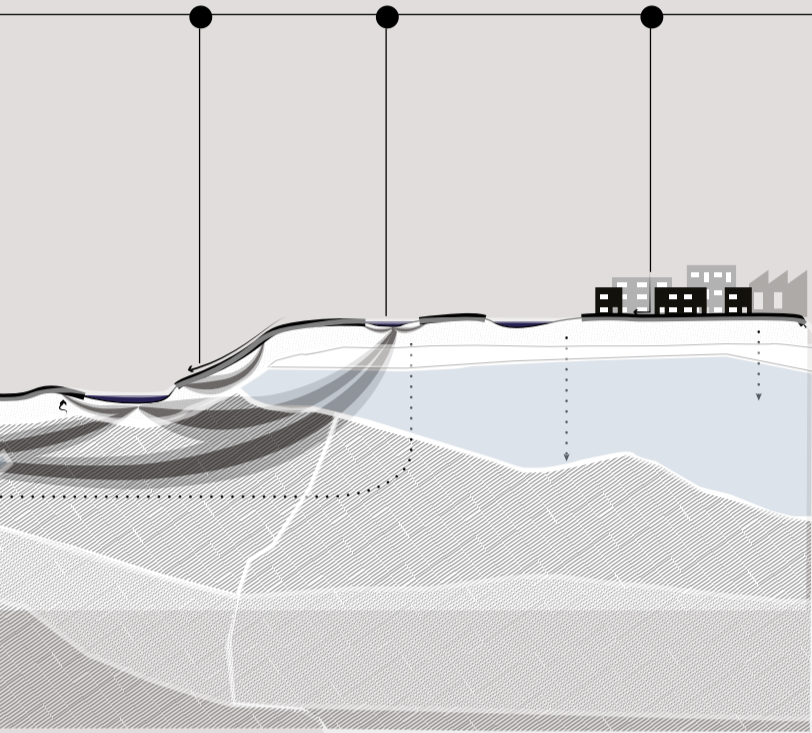


De geografische afbakening van de vensters is op basis van de Vlaamse ecoregio's en ecodistricten. De classificatie van de ecoregio's en ecodistricten in Vlaanderen is tot stand gekomen door de studie "Ecodistricten: Ruimtelijke eenheden voor gebiedsgericht milieubeleid in Vlaanderen" (Sevenant et al., 2002). Hierin werd het Vlaams grondgebied onderzocht op basis van landschapsecologische factoren zoals klimaat, geologie, reliëf, grondwater, oppervlaktewater en bodem. Dit voorgaand onderzoek identificeerde de verschillende landschappelijke karakteristieken binnen het Vlaamse grondgebied en detecteerde hieruit verschillende homogene gebieden die verder worden benoemd als ecoregio's en ecodistricten.

Van west naar oost worden de volgende onderzoeksgebieden onderzocht in de atlas: De Polders, Het Westelijk interfluvium, De pleistocene riviervalleien, de zandrug van Moerbeke, De cuesta van het Waasland, het Heuvelland, de Kempen, het Kempisch Plateau en Haspengouw. De spreiding van de vensters geeft een goed beeld van de verschillende omgevingen, specifieke problemen alsook de variatie van oplossingen die verderop aan bod komen.

Atlas





5 Hoofdstukken

- ① Historisch perspectief
- ② Kwantitatief en modelmatig
- ③ Kwalitatief en landschappelijk
- ④ Ruimtelijke bouwstenen
- ⑤ Conclusie



9 Hoofdstukken

- ① Oudlandpolder
- ② Zandrug van Moerbeke
- ③ Cuesta van het Waasland
- ④ Kempen
- ⑤ Kempisch plateau
- ⑥ Droog Haspengouw
- ⑦ Heuvelland (Denderland)
- ⑧ Pleistocene riviervalleien
- ⑨ Westelijk Interfluvium

Kwantitatief en modelmatig onderzoek

Uit voorgaand hoofdstuk kunnen we concluderen dat het landschap stelselmatig haar infiltratie- en bergingscapaciteit heeft verloren en dat de stromingsweerstand in de waterlopen bewust verlaagd werd. Een proces dat in zijn tijdsgeest en zijn context volgens de destijds beschikbare kennis en meetinstrumenten, als legitiem kan worden beschouwd. Met de huidige beschikbare instrumenten kunnen we echter cijfermatig bestuderen hoe groot de impact is die onze ruimtelijke ingrepen hebben op het natuurlijk waterbergend vermogen van ons landschap.

De hydrologische modellen van de Universiteit Antwerpen zijn het meest geschikt om een inschatting te maken van het verlies aan waterbergend vermogen van het landschap en een uitspraak te doen over het potentieel aan infiltratievermogen.

De modellen produceren een serie kaarten. Elke kaart simuleert een andere parameter (bv. de hoeveelheid verdamping, afstroming, etc.). Die is overal anders omwille van de ruimtelijke eigenschappen (bv. verhardingsgraad, het landgebruik, etc.).

Watercyclus als referentie

Waterstromen zijn een complex gegeven dat deels bovengronds en deels ondergronds plaatsvindt. Om een beter begrip te krijgen van hoe water zich kan bewegen doorheen een landschap werd de watersysteemkaart ontwikkeld. Op basis van de topografie werd op vele ruimtelijke schalen het samenspel van verschillende types oppervlakkige grondwaterstromen in Vlaanderen in kaart gebracht. De watersysteemkaart geeft zo een beeld van waar water in een volledig natuurlijk landschap zou infiltreren, accumuleren en stagneren.

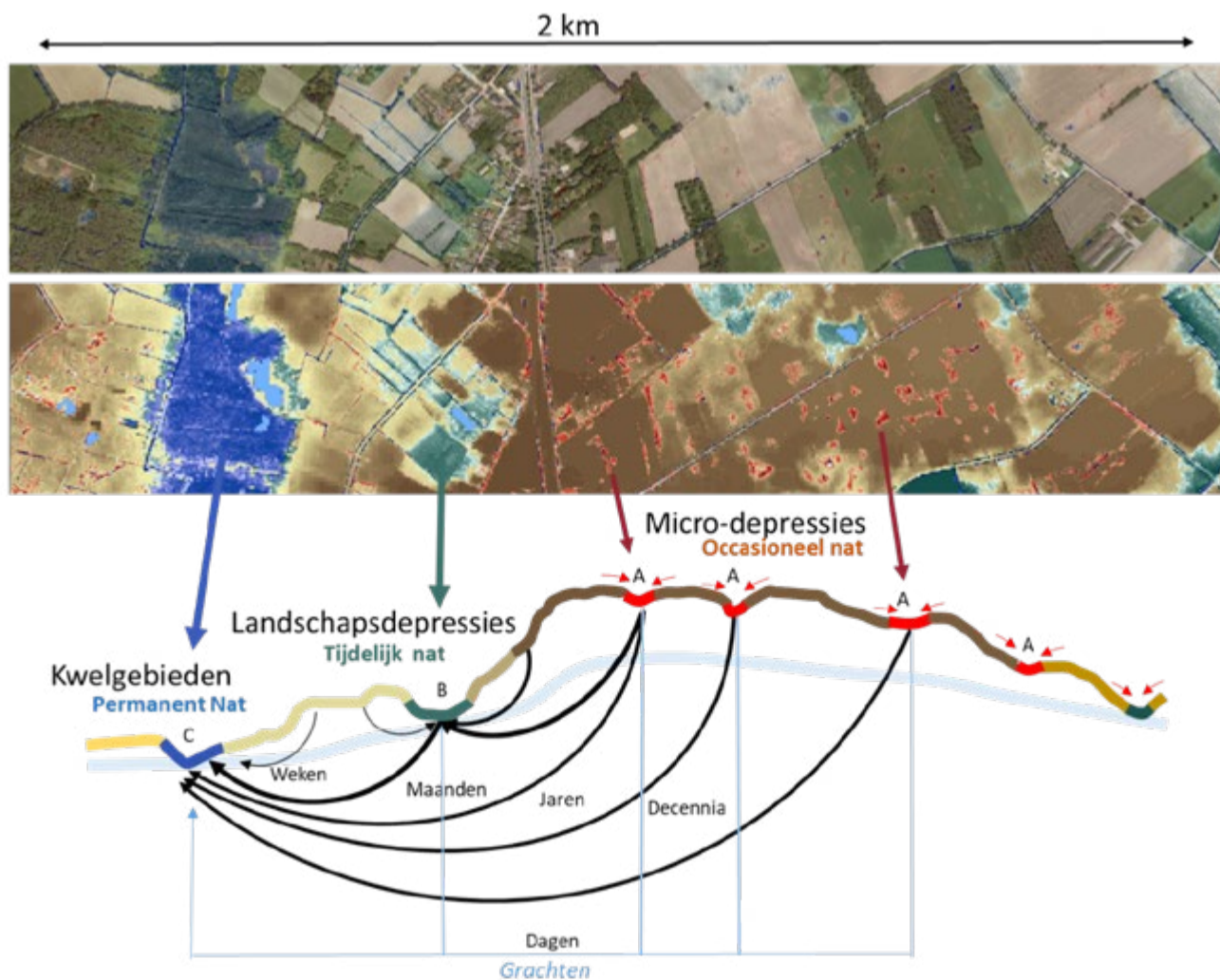
Dit is van groot belang. Als we enkel afgaan op wat we vandaag "observeren" op het vlak van grondwaterstanden, waterstromingen, waterbeschikbaarheid, etc., lopen we het risico foutieve veranderingen verder in het landschap te verankeren en bijkomende foutieve ingrepen aan te brengen.

Er zijn tal van locaties die vandaag relatief droog zijn omdat er grondwaterwinningen, drainages of verhardingen aanwezig zijn. Afgaande op de huidige toestand zijn deze zones "geschikt" om verder te ontwikkelen voor landbouw, bebouwing of industrie. Als echter winningen worden stopgezet, de infiltratie wordt verhoogd of de drainage wordt verminderd, zal er wél wateroverlast kunnen optreden. De watersysteemkaart laat toe om landschappelijke ingrepen te toetsen aan de oorspronkelijke, natuurlijke toestand en in te schatten of deze ingrepen positieve of negatieve effecten zullen hebben op de watercyclus.

We onderscheiden de volgende zones op de watersysteemkaart:

Hoger gelegen, permanent onverzadigde bodems, met een diepe grondwaterstand (donkerbruin op de watersysteemkaart) helpen bij het opbouwen van een grondwatervoorraad door middel van infiltratie. Neerslag die in deze zones infiltreert is lang onderweg naar de waterloop, blijft een hele tijd opgeslagen in de bodem en is zo beschikbaar om droge jaren te overbruggen. Op deze bodem zijn vaak dorpskernen ontstaan. De toenemende verharding door de ontwikkeling van verkavelingen en lintbebouwing hypothekeert de aanvulling van deze voorraden. Het verbeteren van de infiltratie in deze gebieden laat toe om tijdens natte periodes grotere, stabiele watervoorraden aan te leggen in de bodem voor toekomstige, langdurige droge periodes.

Het andere uiterste zijn de lager gelegen, permanent natte zones, waar grondwater uit de bodem treedt (donkerblauw). In dergelijke zones ontwikkelen zich, onder natuurlijke omstandigheden, veenbodems die kunnen fungeren als een natuurlijke spons. Deze zorgen voor een buffering van de neerslag, waardoor de voeding van waterlopen minder fluctueert. Het indijken en draineren van deze gebieden voor landbouw, bosbouw en stedelijke ontwikkeling heeft gezorgd voor een drastische achteruitgang in bufferfunctie. Herstel van deze gebieden voorkomt overstromingen, maar stabiliseert ook voor een kortere termijn de waterbeschikbaarheid in de waterlopen tijdens drogere periodes.



De watersysteemkaart geïllustreerd aan de hand van een doorsnede van het landschap. De verschillende zones op de watersysteemkaart houden verband met de positie in het landschap. Impliciet is dit gerelateerd aan de potentiële verblijftijd van het geïnfiltreerde water. Grachten verkorten de verblijftijd. Bron: UAntwerpen, Ecobe

Daarnaast hebben we tal van gebieden die tijdelijk nat zijn (groen). Het gaat hier om natuurlijke depressies in het landschap die toch relatief hoog gelegen zijn. Dergelijke systemen ontvangen een aanvoer van afstromingswater en ondiep bodemwater dat zich verzamelt en verplaatst op minder doordringbare bodemlagen. Door hun relatief klein voedingsgebied worden deze gebieden van nature gevoed door lokale neerslag die maar een korte doorstroomtijd heeft. Hierdoor worden deze gekenmerkt door een grote fluctuatie in de waterstand. De meeste van deze landschapsdepressies werden eeuwen geleden reeds ontgonnen en gedraineerd. Grachten verbinden ze rechtstreeks met het netwerk van waterlopen. Dergelijke landschapsdepressies hebben de potentie om hun rol als natuurlijk waterreservoir terug te vervullen. Dit zijn bij uitstek zones waar men door het plaatsen van stuwen een extra buffering en grondwateraanvulling kan bereiken.

De gele zones zijn overgangsgebied tussen nat en droog. Het grondwater zit er van nature redelijk ondiep. De gele zones die tegen de blauwe gebieden aanliggen kunnen van minder belang zijn voor grondwateraanvulling doordat de verblijftijd van het grondwater vrij kort is. Water dat hier infiltreert zal snel vrijkomen in de blauwe zones en nadien afgevoerd worden via de waterlopen.

Als aanpalende blauwe zones gedraineerd worden, is de impact van maatregelen op de waterbeschikbaarheid (in gele gebieden) eerder beperkt. Water dat daar geïnfiltreerd wordt, zal slechts enkele weken onderweg zijn naar de waterloop. Bij elke maatregel moet dan ook de impact op de nabijgelegen blauwe zone bekeken worden. Uiteraard zullen maatregelen die afstroming beperken ook hier bijdragen tot het beperken van wateroverlast.

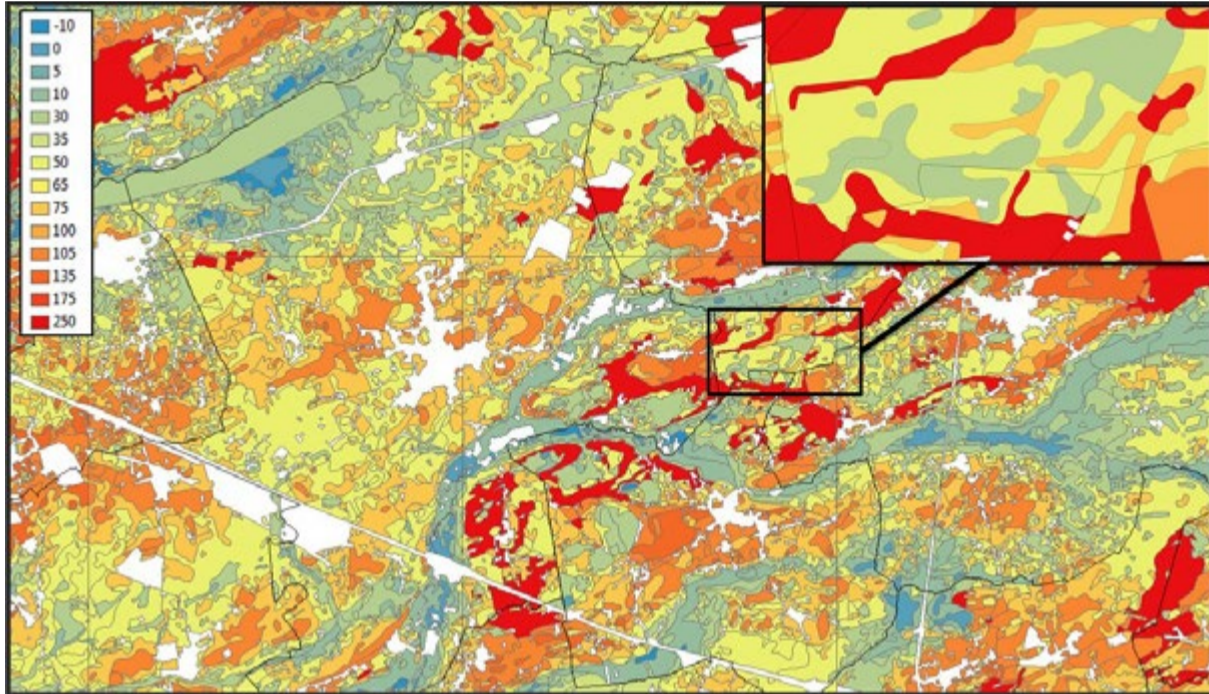
Bij het gebruik van de watersysteemkaart moet men ook aandacht hebben voor de samenhang die bestaat tussen de verschillende zones. De centrale gedachte is dat er, bij het inrichten van een landschap, rekening wordt gehouden met de tijd die het water in het systeem blijft, zonder dat het wegsijpelt naar nabijgelegen waterlopen. Infiltratie en retentie zijn altijd wenselijk om wateroverlast te vermijden, maar niet altijd nuttig om water te sparen voor een strategische grondwateraanvulling. Wanneer bijvoorbeeld enkele tientallen meters verder een diepe gracht ligt die het geïnfiltreerde water enkele dagen later weg draineert, dan heeft het vanuit het perspectief van water sparen weinig zin om te infiltreren. H

Waterleverend vermogen en drainage

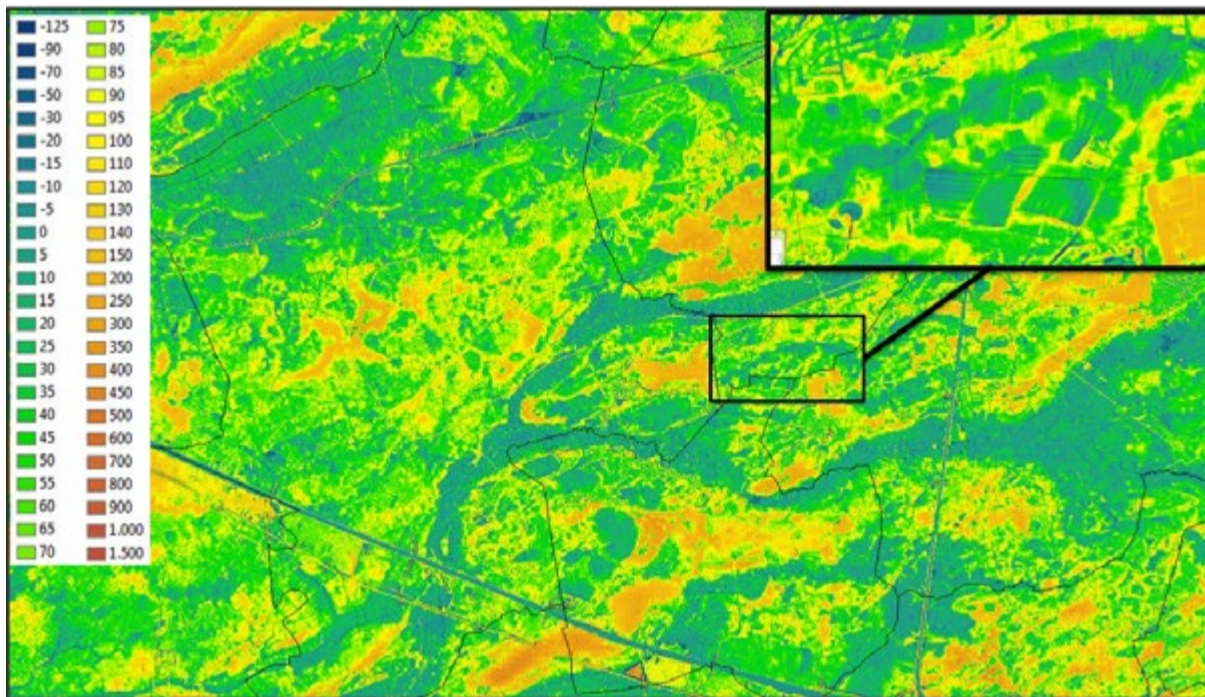
Ondiep bodemwater is érg belangrijk voor het watersysteem. Dit water zorgt voor de voeding van de diepere grondwaterlagen en reguleert in sterke mate het basisdebiet van waterlopen. Zonder dit ondiep bodemwater – dat traag zijn weg vindt door de ondergrond – zal het waterloopdebiet zeer snel dalen bij droogte. Bij aanhoudende droogte zal dit uitgeput geraken en blijft er enkel grondwatervoeding uit diepere grondwaterlagen en afvalwatereffluent over om het basisdebiet te voeden.

Om intensief landgebruik op van nature natte plaatsen mogelijk te maken, zijn veel gronden gedraineerd door grachten. Door deze drainage wordt het ondiep bodemwater snel afgevoerd, waardoor het niet meer beschikbaar is om een basisdebiet te leveren tijdens drogere perioden. Om de huidige drainageverliezen te berekenen wordt eerst een referentie waterbeschikbaarheid, zonder drainagen, voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand berekend. Dit natuurlijk waterleverend vermogen is het volume water in de bodem tot 1 meter onder maaiveld. Vervolgens worden de drainageverliezen berekend als ook het resterend waterleverend vermogen.

Het natuurlijk waterleverend vermogen werd bepaald op basis van de drainageklasse van de bodemkaart. Deze werd geïnterpoleerd naar een glooiend grondwaterhoogtemodel voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en omgezet naar de hoeveelheid beschikbaar water. Een inschatting van de drainageverliezen werd gemaakt op basis van de gewenste drainagediepte in functie van het landgebruik van belang en de gekarteerde grachten uit de watersysteemkaart. Door beide van elkaar af te trekken bekwamen we het huidig waterleverend vermogen.



Bodemkaart met interpretatie GHG (cm t.o.v. het maaiveld) voor gehele polygonen (shapefile). Bron: UAntwerpen, Ecobe



Resultaat GHG na interpolatie van representatieve punten binnen de polygonen (5+5 raster). Bron: UAntwerpen, Ecobe

Landgebruik en infiltratiepotentieel

Op landschapsniveau wordt de watercyclus bepaald door grote topografische en geologische kenmerken als ook het lokaal bodemgebruik en -beheer. Waar de watersysteemkaart gebruikt werd om de grotere waterstromen te analyseren, werd voor het lokale niveau een tijdsafhankelijk transportmodel toegepast die toelaat om de verschillende hydrologische componenten (infiltratie, evaporatie, afstroming etc.) te berekenen onder een variatie aan condities. Het model neemt de belangrijkste variabelen en compartimenten mee die deel uitmaken van de lokale watercyclus: neerslagpatronen, de vegetatielaag of bodembedekking, strooisellaag, de toplaag van de bodem, de teeltlaag en de diepere ondergrond (moedermateriaal). Door middel van dit model kunnen lokale verschillen in de hydrologische componenten ruimtelijk worden weergegeven en geanalyseerd. We maken daarbij gebruik van hoge resolutie landgebruik en bodembedekkingskaartlagen. De parameterisatie van het model werd gebaseerd op uitgebreide literatuurstudies. Het spreekt voor zich dat niet altijd alle details geweten is van de exacte toestand van de vegetatie en de bodem op een specifieke locatie. Maar het laat toe om analyses uit te voeren die de effecten van bepaalde trends kunnen aantonen, met de nodige nuance.

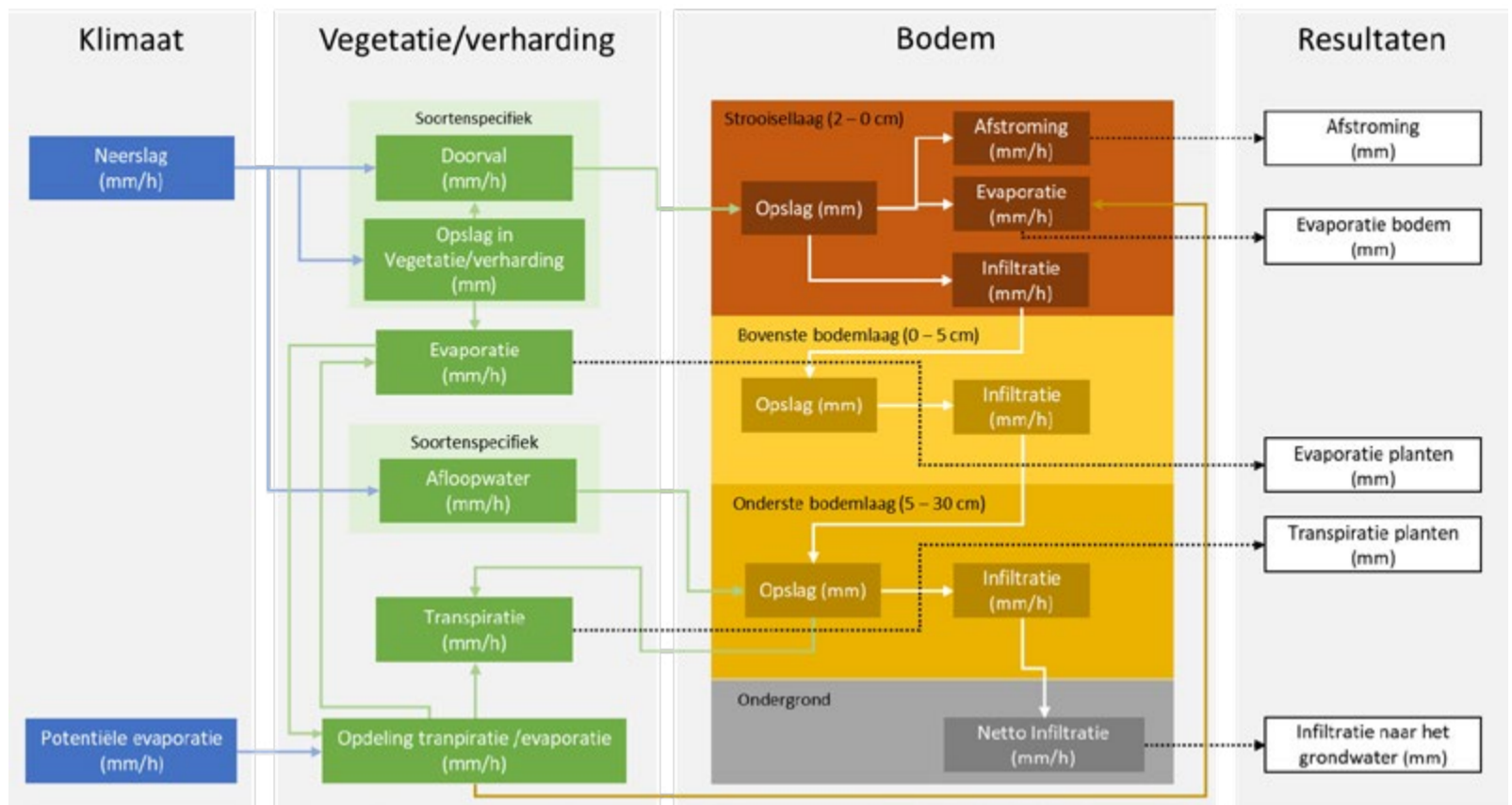
Het model rekent in uur tijdstappen en omvat drie grote compartimenten (figuur onderaan):

- Veranderingen in klimaat kunnen worden geëvalueerd door een aparte module die neerslagpatronen genereert waarbij neerslagfrequentie, -duur en -intensiteit kunnen worden aangepast doorheen het jaar.
- Variatie in interceptie door vegetatie en verharding worden berekend door rekening te houden met de seizoenale variatie in vegetatie ontwikkeling en potentiële evaporatie.
- Infiltratie in de bodem wordt berekend door rekening te houden met de eigenschappen van de verschillende bodemtypes (infiltratiesnelheid, opslagcapaciteit, etc.) en de seizoenale variatie in transpiratie door de bovengrondse vegetatie en evaporatie van de bodem.

Deze compartimenten werden opgebouwd in functie van specifieke bodem- en bodembedekkingstypen. Voor de berekeningen van akkergewassen wordt er bijvoorbeeld geen rekening gehouden met een strooisellaag, terwijl dit bij bossen wél gebeurt. Voor verharding wordt de vegetatiemodule sterk gereduceerd tot een beperkt aantal fysische processen (e.g. evaporatie en infiltratie).

Het model is momenteel gericht op het beoordelen van de effecten van land en bodemgebruik op infiltratie en retentieverliezen. Voor elke pixel van het Vlaamse grondgebied worden potentiële afstroming, verdamping en infiltratie in beeld gebracht zonder een concrete uitspraak te doen over de lokale impact op sectoren (landbouw, natuur). Voor afstroming wordt een inschatting gemaakt of deze alsnog zeer lokaal kan infiltreren (secundaire infiltratie). Er wordt niet berekend naar waar deze afstroming afgevoerd wordt, noch welke consequenties dat heeft op die locaties. Ook ondergrondse waterstromen in de onverzadigde zone (bodem) en het grondwater worden niet meegenomen.

Het model laat echter wel toe om verschillende aspecten in rekening te brengen waar conventionele hydrologische modellen abstractie van maken. De meeste hydrologische modellen zijn niet ruimtelijk verdeeld. Op basis van tijdreeksen met gemeten neerslag en debiet worden wiskundige relaties bepaald die toelaten om te voorspellen hoeveel afstroming er gegenereerd wordt. Het afstromen zelf wordt dus niet gesimuleerd en de modellen tonen niet waar die afstroming gegenereerd wordt.



Schematisch overzicht van de verschillende modules en bijhorende resultaten. Afhankelijk van het type bodemgebruik: natuurlijke vegetatie, landbouw of verharding worden bepaalde compartimenten in de verschillende modules wel of niet opgenomen in de berekening.
Bron: UAntwerpen, Ecobe

Schematische weergave

Voor de atlas wordt er gebruik gemaakt van zowel de watersysteemkaart, de drainageberekeningen alsook de resultaten van het tijdsafhankelijk model om een beeld te geven van de waterbalans in een landschap onder natuurlijke en huidige omstandigheden.

Om een algemeen beeld te krijgen van hoe(lang) het water zich ondergronds beweegt doorheen een landschap kan de watersysteemkaart worden gebruikt (1).

De potentiële natuurlijke situatie laat zien in welke mate water beschikbaar is wanneer het landschap niet beïnvloed wordt wanneer het landschap niet door menselijke ingrepen beïnvloed wordt en waar herstellende maatregelen een grote impact kunnen hebben. Potentiële infiltratie geeft de infiltratie weer onder de natuurlijke vegetatie (5). Het potentiële of natuurlijk waterleverend vermogen (2) geeft waterbeschikbaarheid weer in de bovenste bodemlaag zonder drainage.

De huidige situatie wordt meer in detail beschreven. Hierbij wordt de volledige beweging van de neerslag doorheen het landschap weergegeven vanaf het moment dat het op de vegetatie of de ondergrond neerkomt en evapotranspireert (7), afstroomt (6) of infiltreert (8) tot het via drainage (3) afgevoerd wordt naar rivieren en beken of beschikbaar blijft in de bovenste bodemlaag voor kwel tijdens droogtes (4).

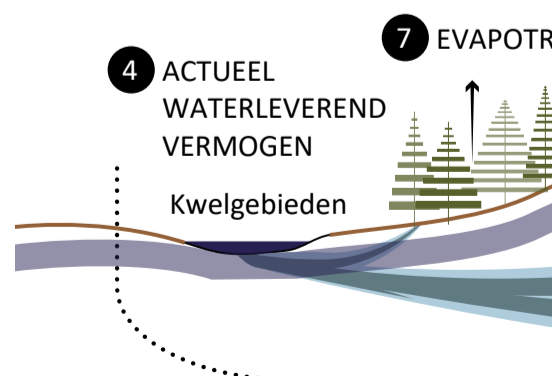
Voor de lokale waterbalans, die berekend werd met het tijdsafhankelijk model, wordt een inschatting gemaakt van de verschillende componenten onder vier klimatologische scenario's. Voor kaarten (5-8) wordt telkens het resultaat voor een gemiddeld jaar (800mm neerslag) gegeven. Voor de afwijkende scenario's (nat, droog en zeer droog) werden verschilkaarten berekend om duidelijk ruimtelijk weer te geven in welke zones grote veranderingen plaats vinden.

Neerslag

Nat jaar 850 mm. **7** **8** **9** **10**



1 WATERSYSTEEMKAART



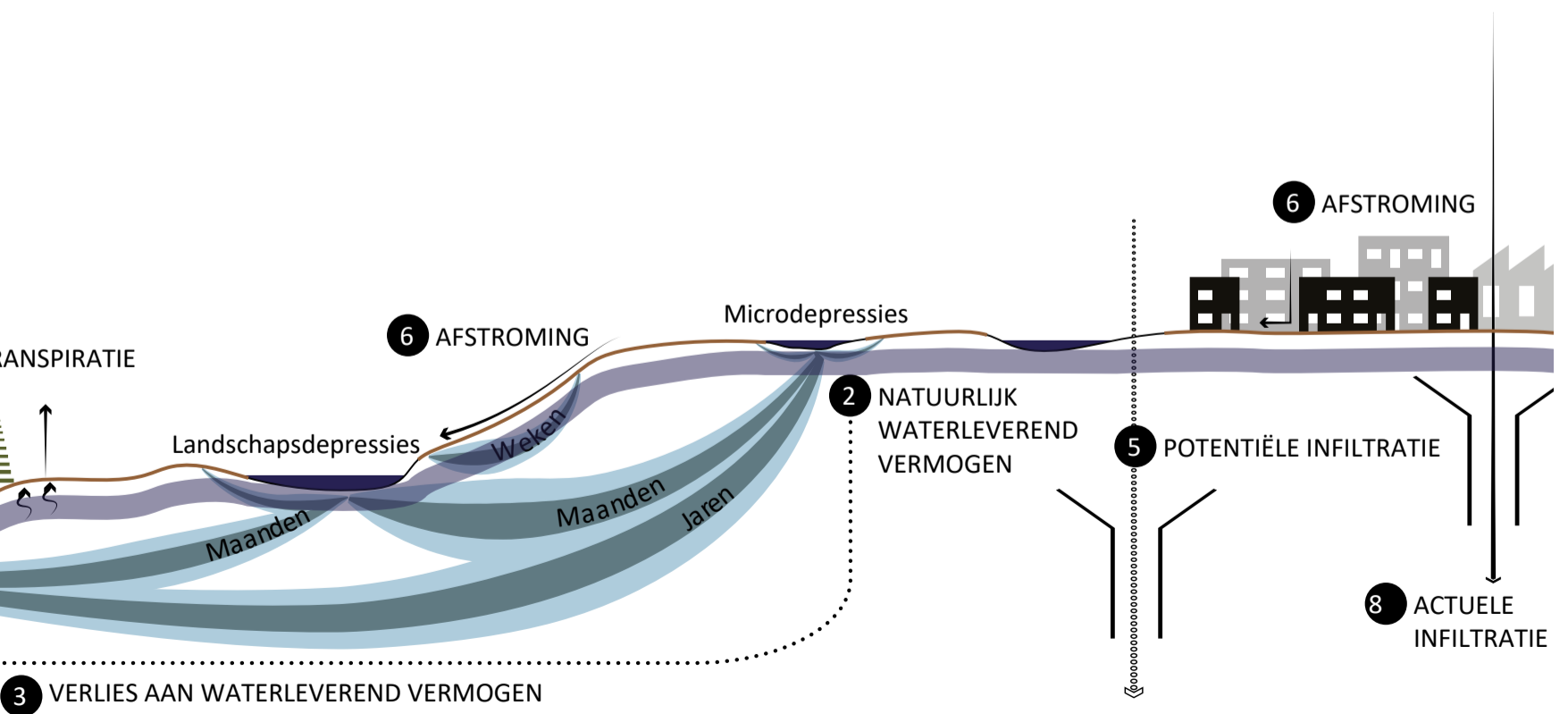
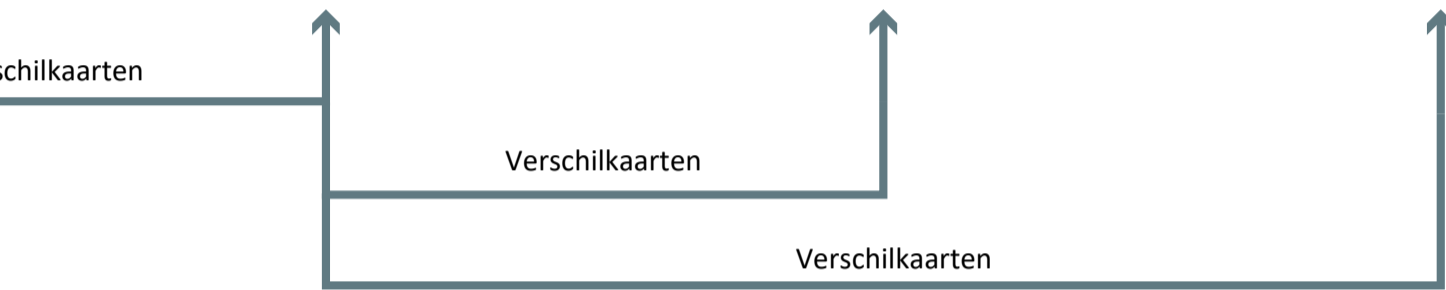
Gemiddeld jaar
800 mm.



Droog jaar
750 mm.



Zeer droog jaar, 2018
650 mm.



Waterbalans als badkuip

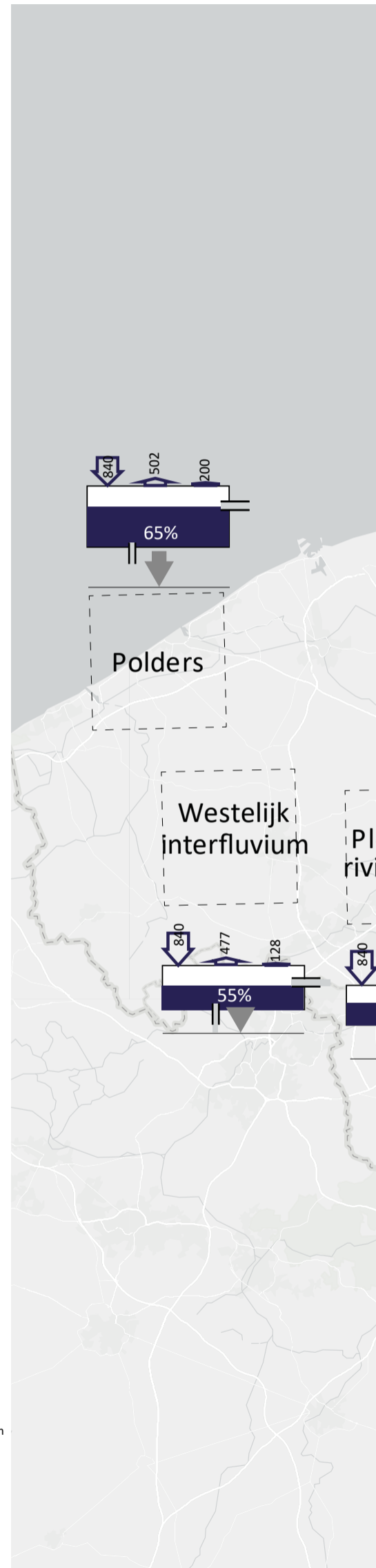
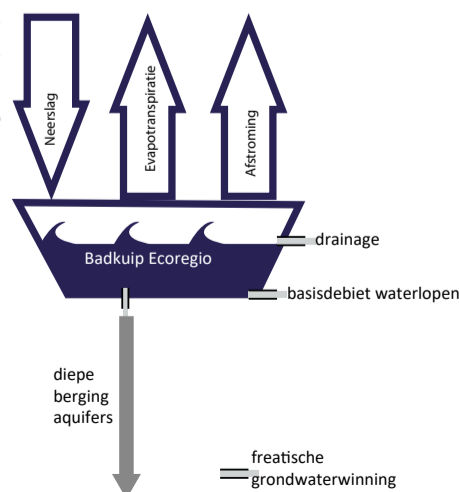
Elke ecoregio heeft een verschillende waterbalans waarbij het fysisch systeem, bodemgebruik en bodembeheer bepalen hoe (snel) water zich door het landschap beweegt. Als gevolg heeft elk gebied verschillende mogelijkheden om water voor een bepaalde tijd vast te houden en op te slaan. Om de potenties voor wateropslag inzichtelijk te maken gebruiken we de analogie van een badkuip waarin water wordt opgeslagen en afgevoerd.

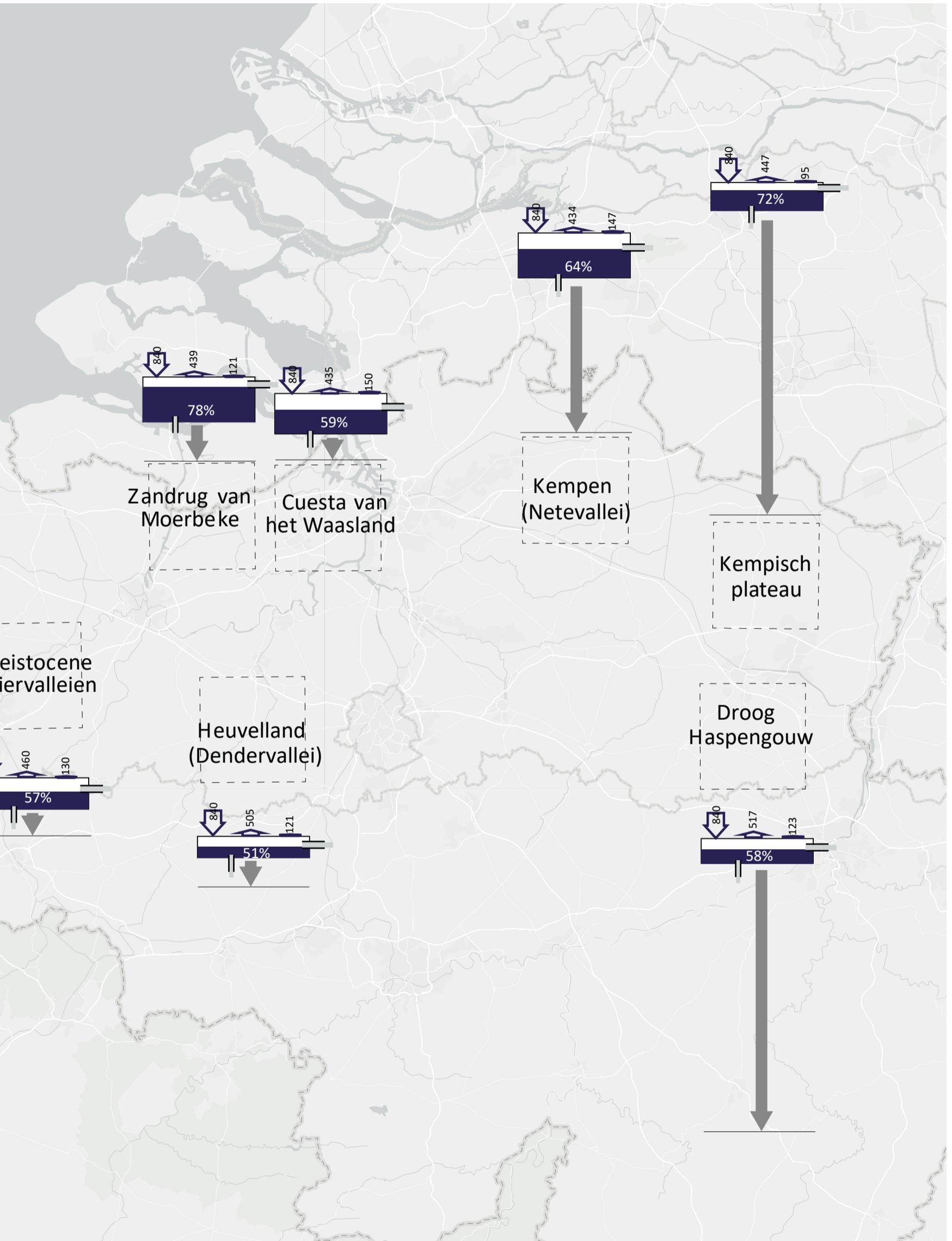
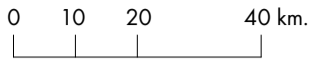
De grootte van de badkuip zelf wordt bepaald door de mogelijkheden voor wateropslag in de bovenste bodemlaag (tot op 1 meter onder maaiveld) binnen een gebied en is een maat voor het aandeel waterrijke gebieden in het landschap. Niet elk gebied heeft eenzelfde potentie om water vast te houden. In de Kempen zijn er relatief gezien veel meer en bredere valleien dan in Haspengouw, waar de valleien smal en diep ingesneden zijn. De badkuip wordt gevuld door neerslag, maar er zijn ook verliezen door verdamping, afstroming en drainage.

Deze componenten worden weergegeven door de pijltjes. De badkuip wordt in principe aangevuld door neerslag (800 mm³/ jaar), maar zelfs onder ideale omstandigheden kan er steeds maar een deel van het water infiltreren (potentiële infiltratie). Onder het huidige bodemgebruik vinden verliezen plaats via evapotranspiratie en afstroming. Wat dieper kan infiltreren wordt voor een tijd opgeslagen in de badkuip. Via ontwatering (drainage) vinden er echter constant verliezen plaats, waardoor water wegstroomt uit de badkuip. Dit water is dus niet meer beschikbaar tijdens de zomer. Wat er nog overblijft in de badkuip na drainage, wordt weergegeven door het blauwe gedeelte, het witte deel zijn de drainageverliezen. We zien bijvoorbeeld dat de Kempen een grote badkuip heeft, maar dat deze voor een groot deel leeggelopen is (36% van de badkuip is leeg door drainage).

Verder geven we ook weer welke mogelijkheden er zijn voor diepe berging van neerslagoverschot in aquifers. Hierbij kan water, dat in de bovenste laag van 1 meter werd vastgehouden, verder doordringen tot diepere bodemlagen voor wateropslag op langere termijn. Deze mogelijkheden zijn niet overal even groot. De dikte van de freatische laag is daarbij van groot belang. Dit is de diepte tot waarop bodemwater kan infiltreren tot deze een ondoordringbare geologische laag tegenkomt. In het Heuvelland is deze laag slechts enkele meters dik, terwijl deze op het Kempisch plateau honderden meters dik is.

In de figuur worden de verhoudingen van die badkuip en haar verliezen weergegeven voor de 30km x 30km uitsnedes die gepresenteerd worden in de atlas. Hoewel deze cijfers een beeld geven van de mogelijkheden in elke ecoregio, zijn deze cijfers niet zomaar transfereerbaar naar de volledige ecoregio.



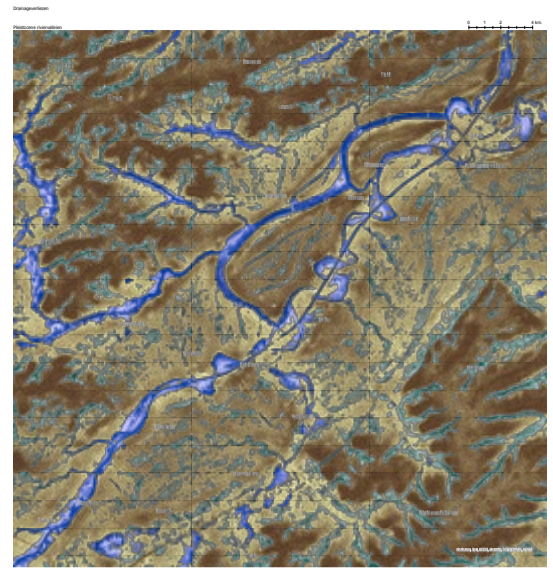


Kaartenserie

Onderstaande kaarten zijn genummerd en gesitueerd in de voorgaande schematische snede.

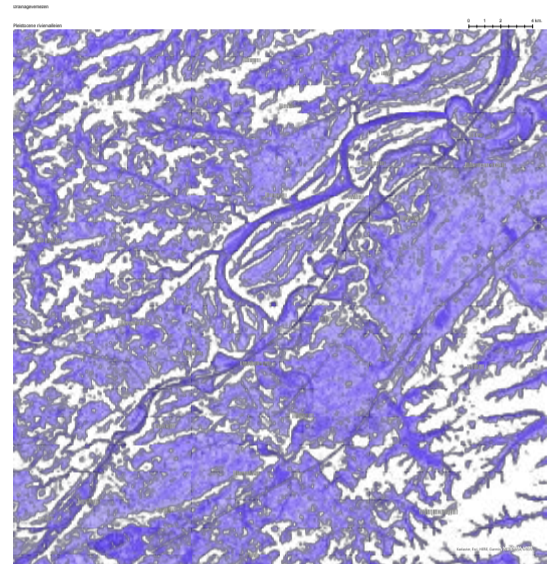
1. Watersysteemkaart

De watersysteemkaart geeft, op basis van het reliëf, de locaties weer waar van nature tijdelijk en permanent natte (kwel)gebieden, micro-depressies en permanent droge gebieden die geschikt zijn voor infiltratie voorkomen.



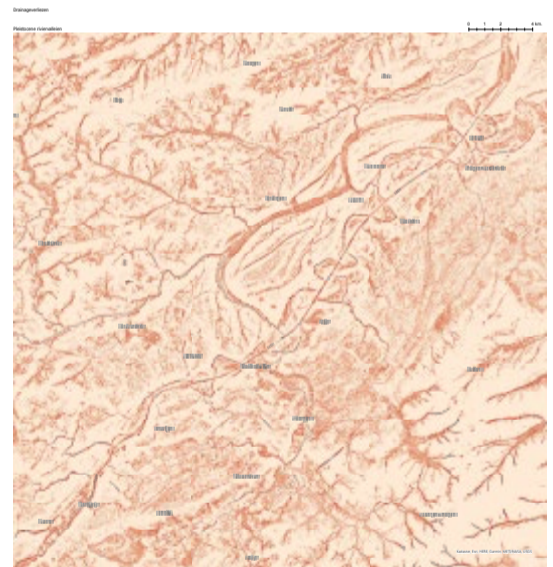
2. Natuurlijk waterleverend vermogen

De eerste vraag die we ons bij elk onderzoeksgebied kunnen stellen: hoeveel bodemwater zou er beschikbaar kunnen zijn in de bovenste 1 meter van de bodem zonder drainage-ingrepen? Met andere woorden wat is de potentie voor kwel tijdens droge periodes zonder de bezetting en bewerking van het land.



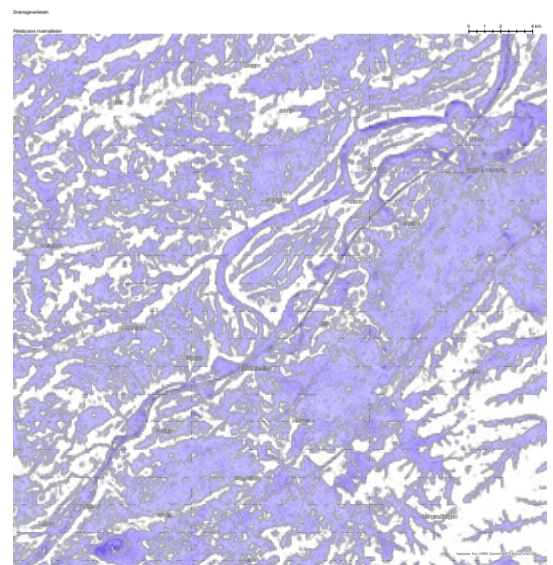
3. Verlies aan waterleverend vermogen

Vervolgens willen we weten wat de impact is van het landgebruik op het natuurlijk waterleverend vermogen. Met andere woorden hoeveel verliest het systeem door drainage? Het is een inschatting van de drainagevolumes gebaseerd op het landgebruik (landbouw, grachten,...). Omgekeerd, kan uit de kaart ook worden afgeleid hoeveel water we bijkomend kunnen bergen in de bovenste 1 meter van de bodem, indien we herstellende maatregelen nemen.



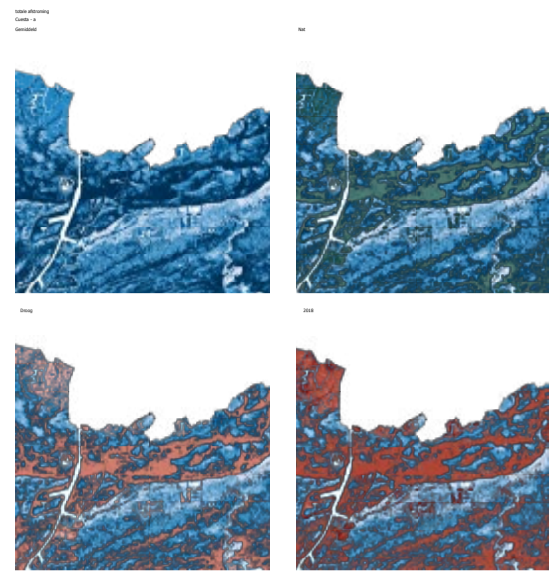
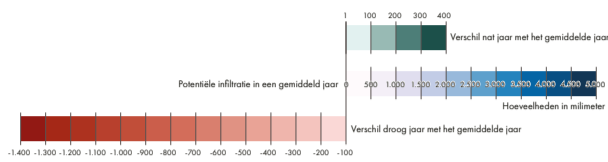
4. Actueel waterleverend vermogen

Als we het verlies aan waterleverend vermogen (3) van het natuurlijk waterleverend vermogen (2) aftrekken, dan weten we hoeveel er vandaag nog beschikbaar is om water te leveren.



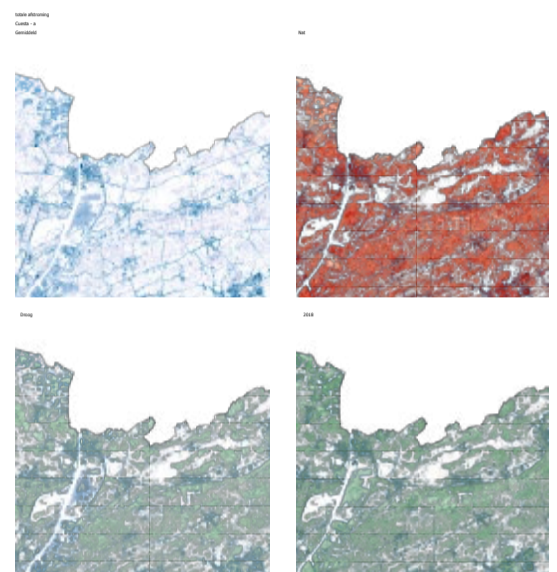
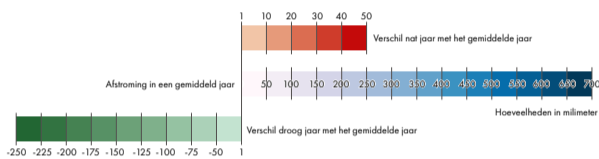
5. Potentiële infiltratie

Deze kaart toont het maximum of potentieel aan water dat kan infiltreren onder een ideale, natuurlijke bodembekking (bos of grasland).



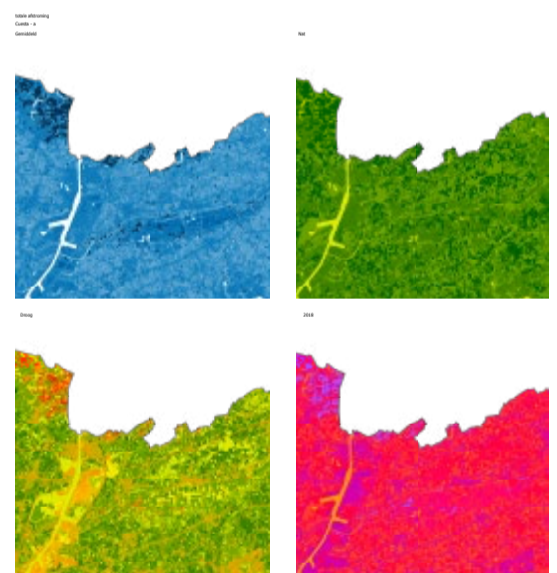
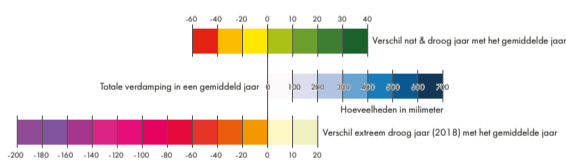
6. Afstroming

Op basis van het huidige bodemgebruik wordt bepaald hoeveel van de neerslag vrijwel onmiddellijk zal afstromen en geen tijd krijgt om mogelijks te infiltreren.



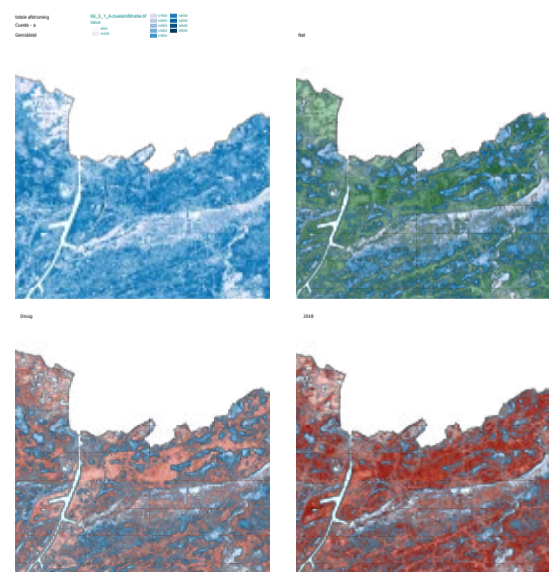
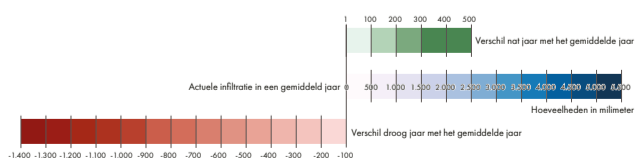
7. Evapotranspiratie

Deze kaart toont de combinatie van evaporatie vanuit vegetatie en bodemvocht als ook de transpiratie door vegetatie onder het huidige bodemgebruik.



8. Actuele infiltratie

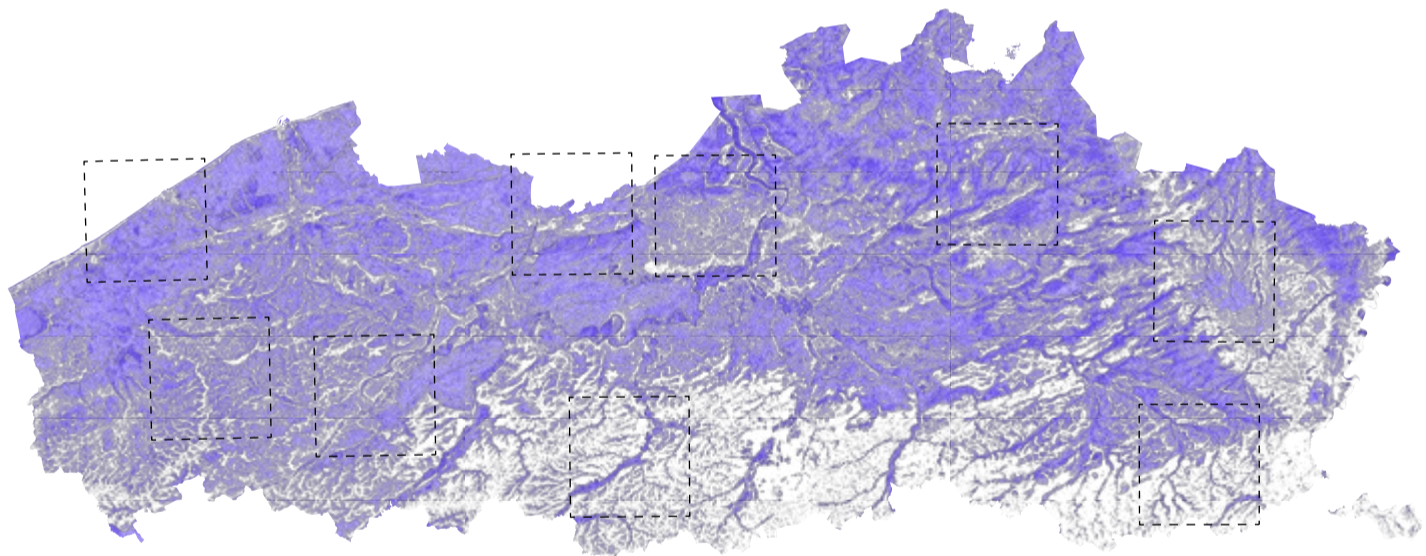
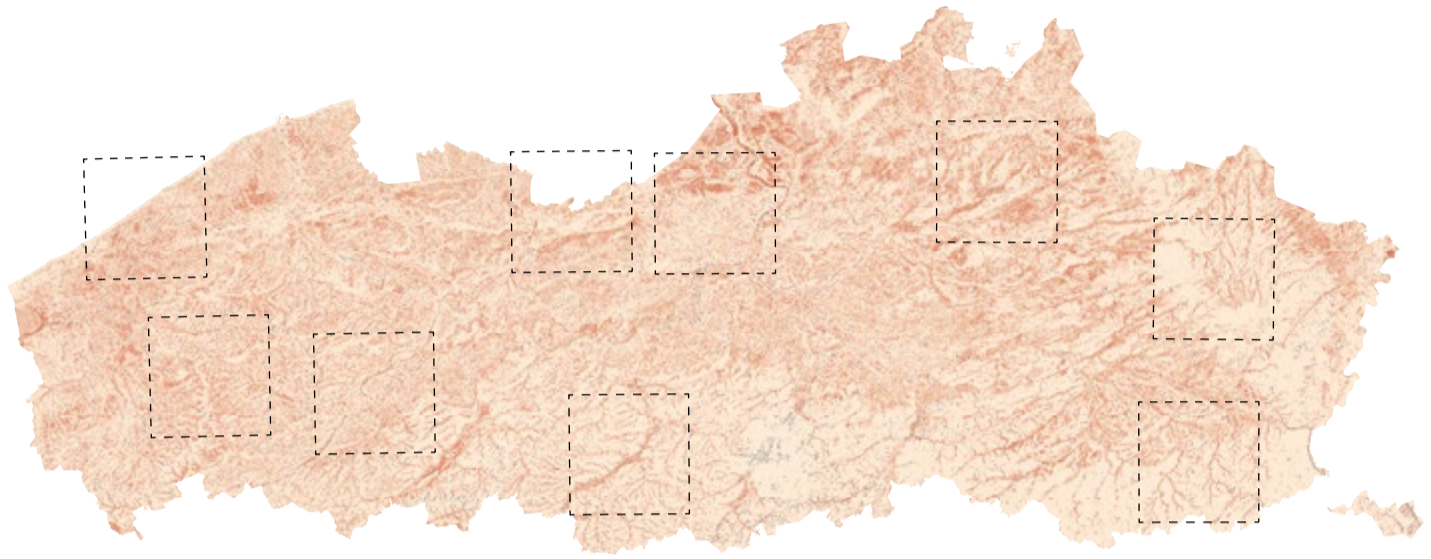
Als laatste wordt de actuele infiltratie weergegeven. Deze geeft infiltratie weer onder het huidige bodemgebruik. Hierbij wordt rekening gehouden met afstroming en evapotranspiratie maar spelen ook effecten van bufferopslag in de verschillende compartimenten van de vegetatie en bodem.



Modelmatige aanpak conclusies

Waterstromen zijn een complex gegeven die deels bovengronds en deels ondergronds plaatsvinden. Modellen en ruimtelijke data laten toe om een beter begrip te krijgen van hoe het water zich beweegt doorheen een landschap. Op basis van verschillende rekenmethodes worden een aantal belangrijke hydrologische componenten ruimtelijk weergegeven. Het gepresenteerde kaartmateriaal maakt duidelijk hoe water zich kan bewegen, waar het wordt opgeslagen en waar vandaag de dag belangrijke verliezen plaatsvinden. Deze resultaten tonen waar er kansen liggen om meer water vast te houden in de ondiepe ondergrond en waar er mogelijkheden liggen om strategische watervoorraden aan te leggen. Door de drainage te verminderen en gericht de infiltratie te verhogen kan Vlaanderen zich wapenen tegen de gemiddelde zomerdroogte.

De vergelijking tussen de ecoregio's maakt echter duidelijk dat elk type landschap een andere hydrologische werking heeft en verschillende potenties heeft voor waterberging en -beheer. Abiotische kenmerken zoals topografie, bodem en hydrografie spelen hierbij een belangrijke rol. De winsten die behaald kunnen worden door méér te infiltreren en minder te draineren verschillen hierdoor sterk binnen Vlaanderen. In bepaalde gebieden zijn er duidelijk meer mogelijkheden om water te sparen en water te onttrekken in tijden van nood. Bij het opstellen van maatregelen om Vlaanderen robuuster te maken tegen droogte, moet er daarom steeds rekening gehouden worden met de mogelijkheden en beperkingen van het abiotisch en hydrologisch systeem waarbinnen de maatregelen voorzien worden.



0 10 20 40 60 80
Kilometers

Verschillen tussen ecoregio's:
(boven) natuurlijk waterleverend vermogen
(onder) verlies aan waterleverend vermogen
Bron: Jan Staes, UAntwerpen, Ecobe

Kwalitatief en landschappelijk onderzoek

Geomorfologische landschapsstructuren

Vlaanderen wordt de laatste jaren geconfronteerd met ernstige droogte en waterschaarste. Vanaf 2017 zijn de effecten hiervan zeer tastbaar geworden. In dergelijke mate dat de Vlaamse overheid prioritaire actieprogramma's heeft opgezet om de situatie onder controle te houden (Afschakelplan, Blue Deal, Proeftuin Droogte, Programma Water+Land+Schap,...).

De situatie is ernstig en werd al geruime tijd door experts voorspeld. Vlaanderen positioneert zich op Europees schaal helemaal onderaan de waterbeschikbaarheidsindex. Hier zijn meerdere verklaringen voor.

In eerste instantie is er de geografische ligging en geologische structuur. Het Vlaams grondgebied behoort tot drie verschillende hydrografische bekkens (Maas, Schelde, IJzerbekken). Er dient rekening gehouden met het feit dat de twee belangrijkste stromen reeds een vrij groot gebied gedraineerd hebben stroomopwaarts van de Belgische grens en dat hun monding in Nederland gelegen is. Hierdoor is het benutten van hun water aan bepaalde voorwaarden en internationale verplichtingen onderworpen. De natuurlijke instroom van water uit grote internationale rivieren is beperkt waardoor Vlaanderen voor zijn watervoorziening grotendeels afhankelijk is van lokaal regenwater dat opgeslagen wordt in grondwaterlichamen en van water uit andere stroomgebieden dat aangevoerd wordt via kanalen (o.a. het Albertkanaal, Kempische kanalen).

Sinds 2001 treedt er een toenemende verdroging van de grondwaterlichamen op. Uit recente metingen van VMM blijkt dat de ondiepe grondwaterstanden in 20 jaar tijd op 70% van de meetpunten gedaald zijn. Hierdoor zijn we een enorme hoeveelheid kostbare watervoorraad kwijtgeraakt.

Daarnaast is niet elke regio in Vlaanderen even geschikt voor de ondergrondse opslag van infiltrerend regenwater. Grote delen van West-Vlaanderen beschikken geologisch gezien over een dunne quartaire deklaag waardoor ondergrondse wateropslag slechts beperkt mogelijk is. Zo kampt de regio Roeselare, het epicentrum van de diepvriesgroenteteelt, al decennia met ernstige watertekorten. Het vormt één van de meest waternerslindende sectoren in één van de waterarmste regio's van Vlaanderen. Met verregaande gevolgen voor de landbouwsector die kreunt onder het watertekort.

In tweede instantie is er het zeer intensieve land- en ruimtegebruik. Vlaanderen wordt van oudsher gekenmerkt door een gefragmenteerde nederzettingstructuur waarbij grote delen noch als stad noch als platteland kunnen worden getypeerd, maar eerder als een verstedelijkt veld met wisselende dichtheden en variërende bebouwingsvormen. De resterende open ruimte is sterk gefragmenteerd en wordt in belangrijke mate gedragen door de landbouwsector.



Vlaamse rivieren op Europese schaal
Bron: verwerking hillshade model en Europees hydrologisch netwerk

Om de gefragmenteerde open ruimte tegen verdere versnippering te beschermen worden sectorale afbakeningsprocedures gebruikt. Deze procedures 'ordenen' de landgebruiksvormen op basis van een boekhoudkundige logica binnen een administratief afgebakende zone.

Het resultaat hiervan is dat natuurgebieden zelden op de best geschikte locaties werden voorzien, maar op restructies die oninteressant waren voor economische ontwikkeling. De ecologische hotspots waar de biodiversiteit potentieel het hoogst is, zoals in gradiëntrijke overgangen en diepe kwelgebieden, zijn in het verleden maar zelden planologisch bestemd als natuurgebied. Omgekeerd liggen tal van landbouwgebieden evenmin op de best geschikte locatie waar de potentiële gewasopbrengst het hoogst is.

De open ruimte in Vlaanderen staat vandaag zwaar onder druk. Enerzijds krimpt de landbouwsector als gevolg van interne transformatieprocessen en strengere milieuwetgeving. Hierdoor verliest de landbouw zijn rol als belangrijkste drager van de open ruimte. Anderzijds zijn er tal van nieuwe openruimtefuncties zoals waterbuffering, CO₂ captatie, fijnstof captatie die niet zomaar in te passen zijn in de huidige sectorale opdeling van de open ruimte. Er

is dringend nood aan een nieuw denkkader dat niet langer uitgaat van het planologisch afbakenen van functies, maar van het typeren van gebiedsspecifieke milieucondities op basis van de onderliggende fysische processen.

De specifieke hydrogeologische structuur van Vlaanderen maakt dat niet elke regio even geschikt is voor grootschalige onder- of bovengrondse opslag van hemelwater. Vlaanderen is voor een belangrijk deel afhankelijk van artesisch grondwater. Het betreft grondwaterreserves uit de gespannen watervoerende lagen die zich onder een ondoorlatende laag bevinden en slechts zeer traag worden gevoed (ca. 2mm per jaar). De jaarlijkse grondwateronttrekking uit de gespannen watervoerende lagen is aanzienlijk groter dan de jaarlijkse aanvulling door infiltratie. Hierdoor ontstaan lokale depressiekegels rondom de grondwateronttrekking (in de regio Roeselare tot 95 m diepte).

Deze onduurzame vorm van grondwaterwinning wordt de laatste decennia sterk afgebouwd en vervangen door winning uit de bovenste freatische watervoerende lagen die rechtstreeks gevoed worden door regenwater.

VERKLARENDE WOORDENLIJST:

Hydrogeologie = Behandelt de stroming van het water in de ondergrond.

Freatisch grondwater = De watervoerende laag die onderaan begrensd is door een ondoorlatende laag en bovenaan tot aan het oppervlak reikt. De nuttige neerslag percoliert tot aan de grondwaterspiegel en vult de verzadigde zone aan.

Artesisch grondwater = Het water dat zich onder een ondoorlatende laag bevindt. Dit zijn afgesloten watervoerende lagen.

Onderzoek naar het waterleverende vermogen van geomorfologische landschapsstructuren in functie van droogtebestrijding

In dit hoofdstuk onderzoeken we de potenties van het landschap voor de ontwikkeling van strategische watervoorraden. We focussen bewust op het potentieel van het freatisch grondwater, dat bovenaan wordt begrensd door de atmosfeer en onderaan door een ondoorlatende laag. We zijn daarbij op zoek gegaan naar geomorfologische landschapsstructuren die een “tussenschaal” vormen tussen de bodemgebruikslaag en de freatisch grondwaterlaag.

Het resultaat van dit ontwerp onderzoek is een overzichtskaart van Vlaanderen met geomorfologische landschapsstructuren die potentieel kunnen worden ingezet voor de grootschalige ondergrondse en bovengrondse opslag van hemelwater. Deze geomorfologische landschapsstructuren vormen hydrologische ruimtelijke eenheden met een interne stromingslogica en sturingsprincipe.

Tot op heden is de kennis over de geomorfologie van Vlaanderen echter erg versnipperd en onvolledig. De geomorfologische landschapsstructurenkaart is het resultaat van ontwerp onderzoek waarbij kaartmateriaal van diverse aard en tijdsperiodes diepgaand werd bestudeerd, geïnterpreteerd en gesynthetiseerd in hun onderlinge samenhang. Zes kaartlagen vormen de basis voor de totstandkoming van de geomorfologische landschapsstructurenkaart: de tertiair geologische kaart, de quartairgeologische kaart, de hydrogeologische kaart, de freatische grondwaterkaart, de grondwatersystemenkaart, de watersysteemkaart.

De tertiair geologische kaart maakt de diepere geologische structuur onder de quartaire deklaag inzichtelijk. De tertiair geologische structuur bepaalt in belangrijke mate de potenties voor het ontwikkelen van strategische grondwatervoorraden in de diepe ondergrond. In de provincie West-Vlaanderen komen dikke tertiaire kleilagen op geringe diepte in de ondergrond voor. Op sommige plaatsen dagzomen deze zelfs. Het waterleverend vermogen van deze kleilagen is zeer gering. In de Kempen daarentegen komen dikke zandpakketten met een zeer groot waterleverend vermogen voor.

De quartairgeologische kaart maakt inzichtelijk welke sedimenten tijdens de laatste IJstijden op de tertiaire geologische lagen zijn afgezet. Hoe dikker de quartaire deklaag, hoe groter het waterleverend vermogen en hiermee de potenties voor het ontwikkelen van strategische grondwatervoorraden. In de provincie West-Vlaanderen en delen van Oost-Vlaanderen is de quartaire deklaag zeer dun en rust ze bovendien op dikke tertiaire kleilagen. Hierdoor is het waterleverend vermogen ervan zeer beperkt.

De hydrogeologische kaart maakt de relatie tussen de tertiair geologische structuur en de quartaire deklagen inzichtelijk en laat toe de freatische, artesische en semi-artesische grondwaterlagen te identificeren.

De freatische grondwaterkaart maakt inzichtelijk hoe diep het freatisch grondwater zich in de quartaire deklaag bevindt. Het freatisch grondwater betreft het bovenste deel van de grondwaterlaag, net onder de grondwaterspiegel. Het wordt bovenaan begrensd door de atmosfeer en onderaan door een ondoorlatende laag. Het freatisch grondwater is onderhevig aan seizoensgebonden schommelingen en gevoelig voor verontreiniging. Hoe dunner freatische grondwaterlaag, hoe minder potenties tot de ondergrondse opslag van strategische grondwatervoorraden.

De grondwatersystemenkaart maakt een categorisering van de verschillende grondwatersystemen in Vlaanderen. Het zijn afgebakende samenhangende systemen die op verschillende dieptes boven en naast elkaar voorkomen. Deze systemen zijn van groot belang voor de levering van drinkwater, en omvatten zowel freatische als artesische winningen.

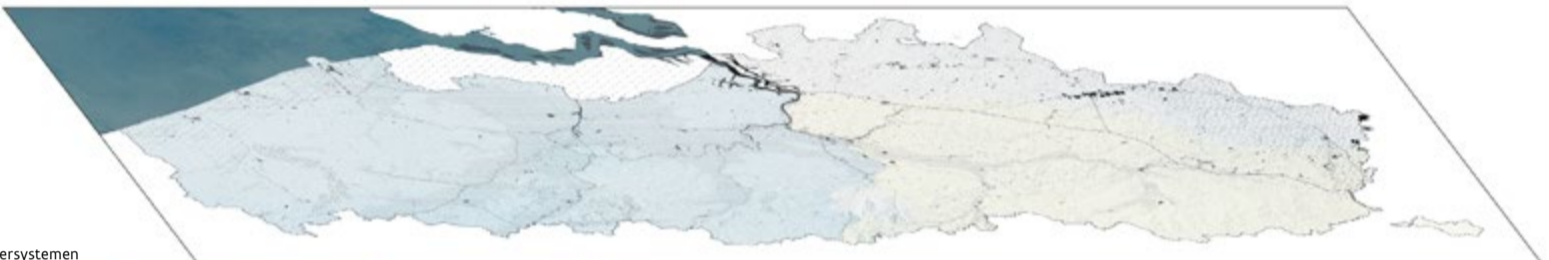
De watersysteemkaart maakt inzichtelijk hoe het hemelwater reageert aan het oppervlak. Het heeft betrekking op de interactie tussen de bodemlaag en de freatische grondwaterlaag. De watersysteemkaart maakt een onderscheid tussen kwelzones, waterretentiezones en infiltratiezones aan het oppervlak. Het houdt geen rekening met ondergrondse opslagcapaciteit van de quartaire deklagen.

De eigen interpretatie van bovengenoemde kaartlagen heeft via ontwerp onderzoek geresulteerd in een handgetekende overzichtskaart die regionale landschapsstructuren met een potentieel waterleverend vermogen uitlichten. De niet-ingekeurde zones op de overzichtskaart hebben minder ruimtelijke potenties voor het ontwikkelen van strategische grondwatervoorraden.

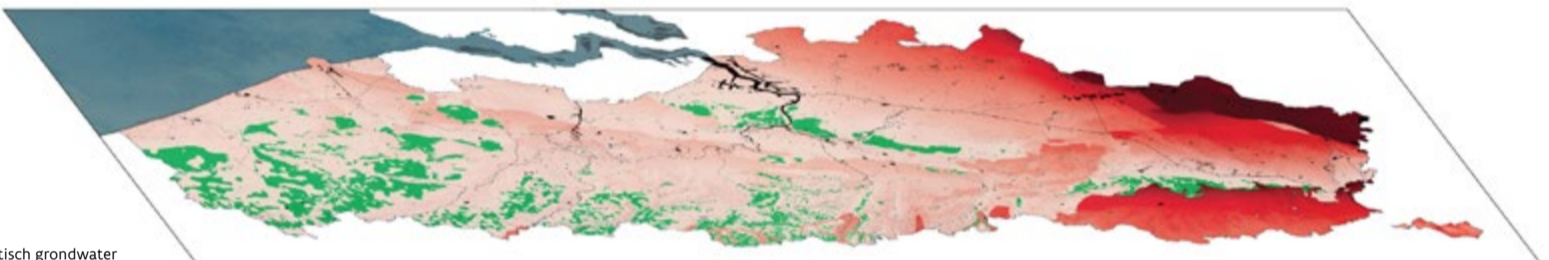
Watersysteemkaart



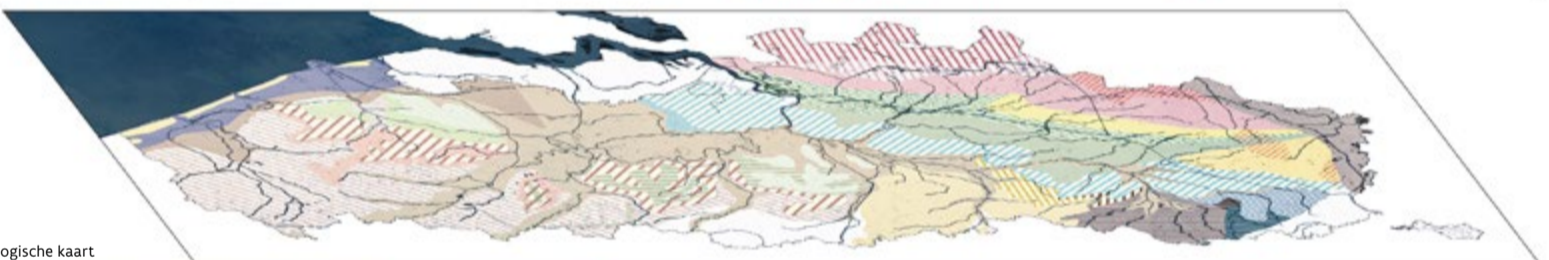
Grondwatersystemen



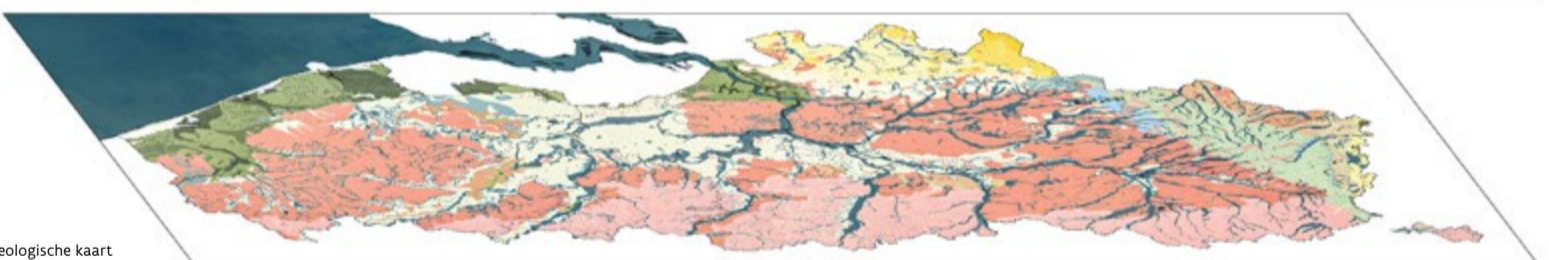
Dikte freatisch grondwater



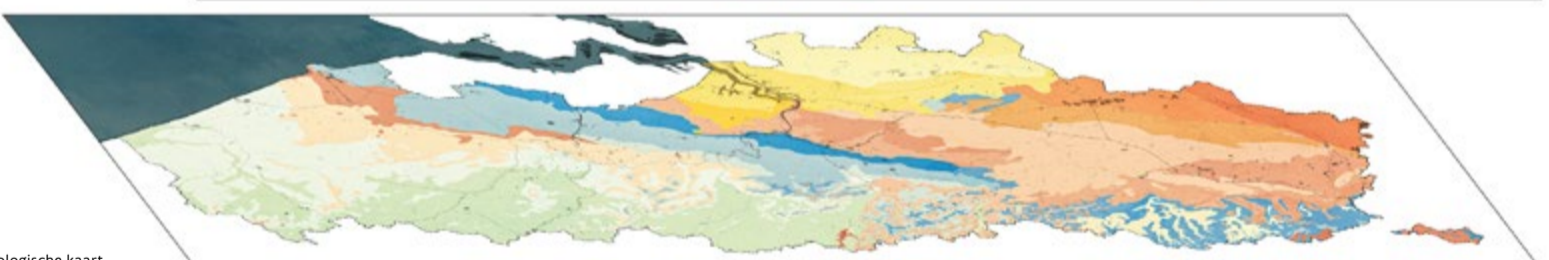
Hydrogeologische kaart



Quartaire geologische kaart

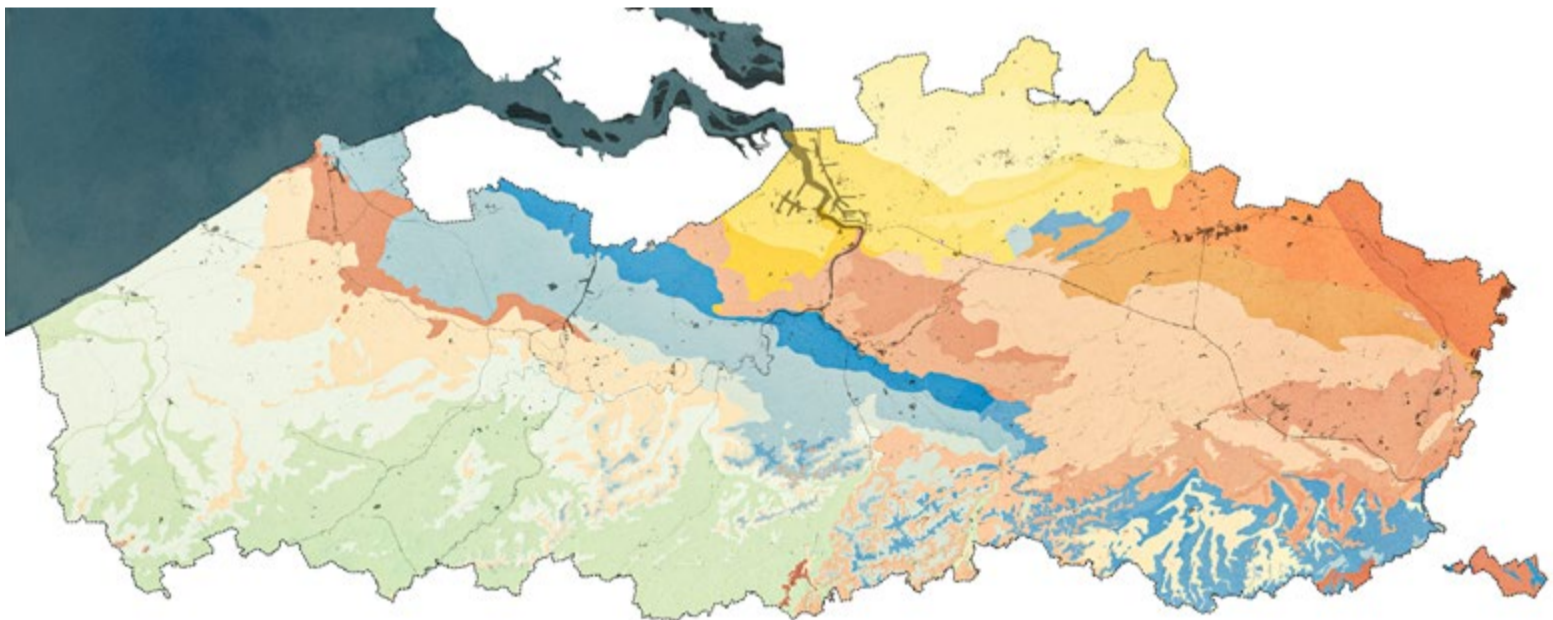


Tertair geologische kaart



Tertiair geologische kaart

De tertiair geologische kaart geeft weer welke sedimenten afgezet werden meer dan 11.000 jaar geleden. Dit is de periode tussen het Krijt en het Quartair. In deze geologische tijdsperiode werd Vlaanderen afwisselend overstroomd door de zee. Grote hoeveelheden fijne deeltjes zoals klei werden op het land afgezet. Dit resulteerde in een gelaagde structuur van dikke klei- en zandpakketten. Bepaalde tertiaire grondlagen dagzomen aan de oppervlakte, anderen worden afgedekt door een (soms zeer dunne) quartaire deklaag. Voorbeelden hiervan zijn de Boomse klei langsheen de Rupel en de dagzomende Ieperiaanse klei in Zuidwest Vlaanderen.



Tertiaire geologische kaart
Bron: Geopunt - eigen verwerking

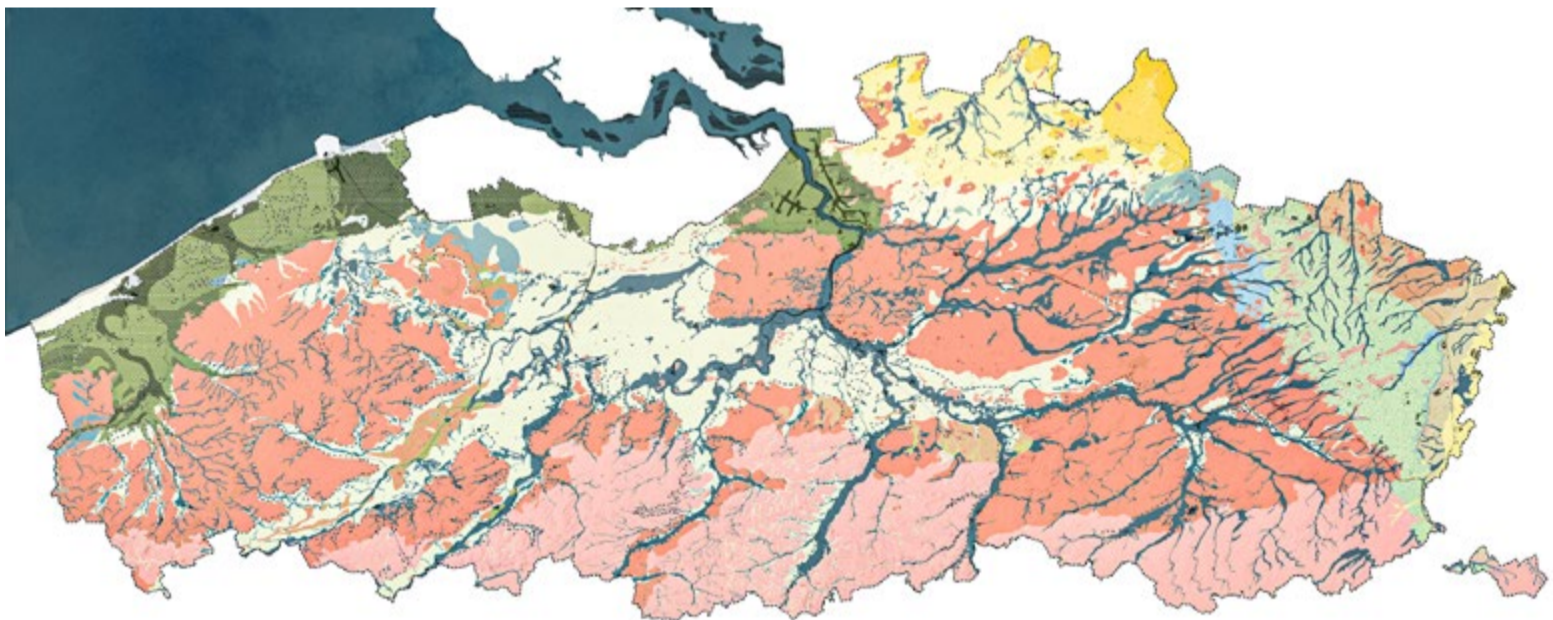
Quartairgeologische kaart

De quartairgeologische kaart geeft aan welke sedimenten afgezet werden tijdens het Pleistoceen (de ijstijden) en het Holoceen (11.000 jaar geleden tot nu). De quartaire laag kan sterk variëren in dikte en bepaalt in grote mate de structuur van het huidige landschap. In West-Vlaanderen is dit slechts een zeer dunne laag die amper een meter dik is. Terwijl het quartaire dek ter hoogte van de Vlaamse vallei tussen de 15-20m dik kan zijn.

De quartaire sedimenten worden in vier groepen onderverdeeld. We onderscheiden:

- getijdeafzettingen (onder directe invloed van de zee)
- fluviatiele afzettingen (door rivieren)
- eolische afzettingen (onder invloed van de wind)
- hellingsafzettingen (erosie)

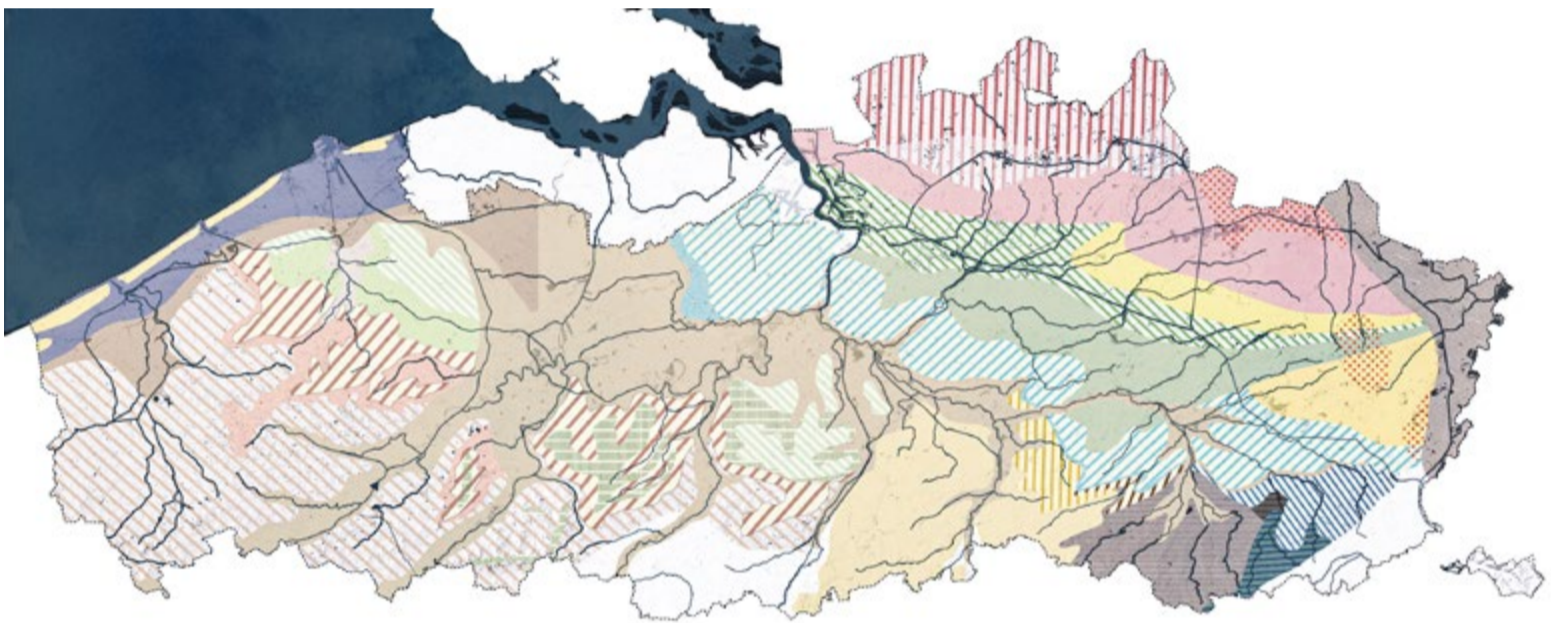
De quartairgeologische structuur van Vlaanderen wordt in belangrijke mate bepaald door de historische evolutie van de Vlaamse Vallei en haar uitlopers. De Vlaamse Vallei zelf kan het best omschreven worden als een grote depressie die hoofdzakelijk van fluviatiele oorsprong is en die grotendeels beneden het huidige zeeniveau is uitgeschuurd.



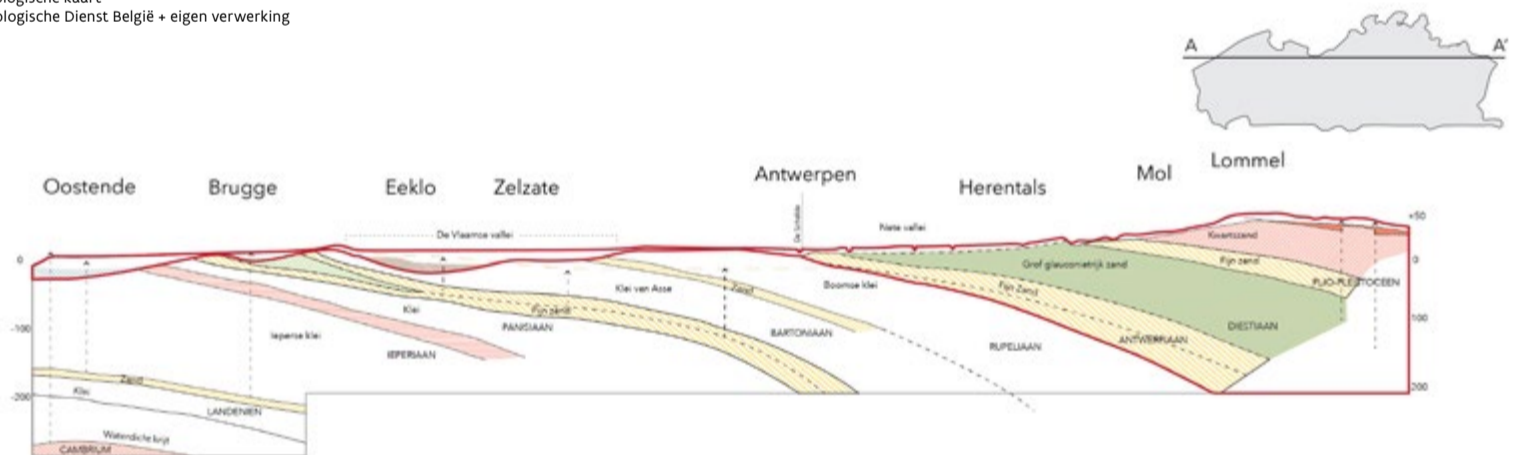
Quartairgeologische kaart
Bron: Geologische Dienst van België + eigen verwerking

Hydrogeologische kaart

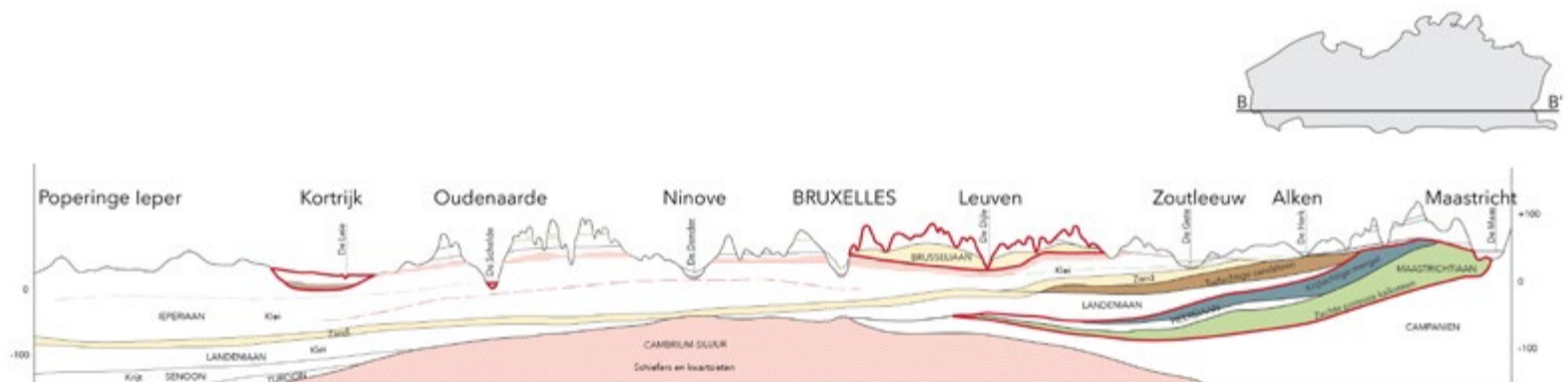
De hydrogeologische kaart geeft de locatie van de belangrijkste watervoerende lagen weer. De volle kleuren op de kaart wijzen op freatische grondwaterlagen, de gestreepte kleuren wijzen op artesische of semi-artesische grondwaterlagen. De gekleurde zones op de terreinprofielen geven zandlagen weer, de tussenliggende witte zones geven de kleilagen weer. De strategische grondwatervoorraden zijn weergegeven in rood omlijnde zones en worden in het hoofdstuk gecategoriseerd in ruimtelijke typologieën.



Hydrogeologische kaart
Bron: Geologische Dienst België + eigen verwerking



Geologische snede van Lommel - Oostende



Geologische snede van Maastricht - Poperinge

VERKLARENDE WOORDENLIJST:

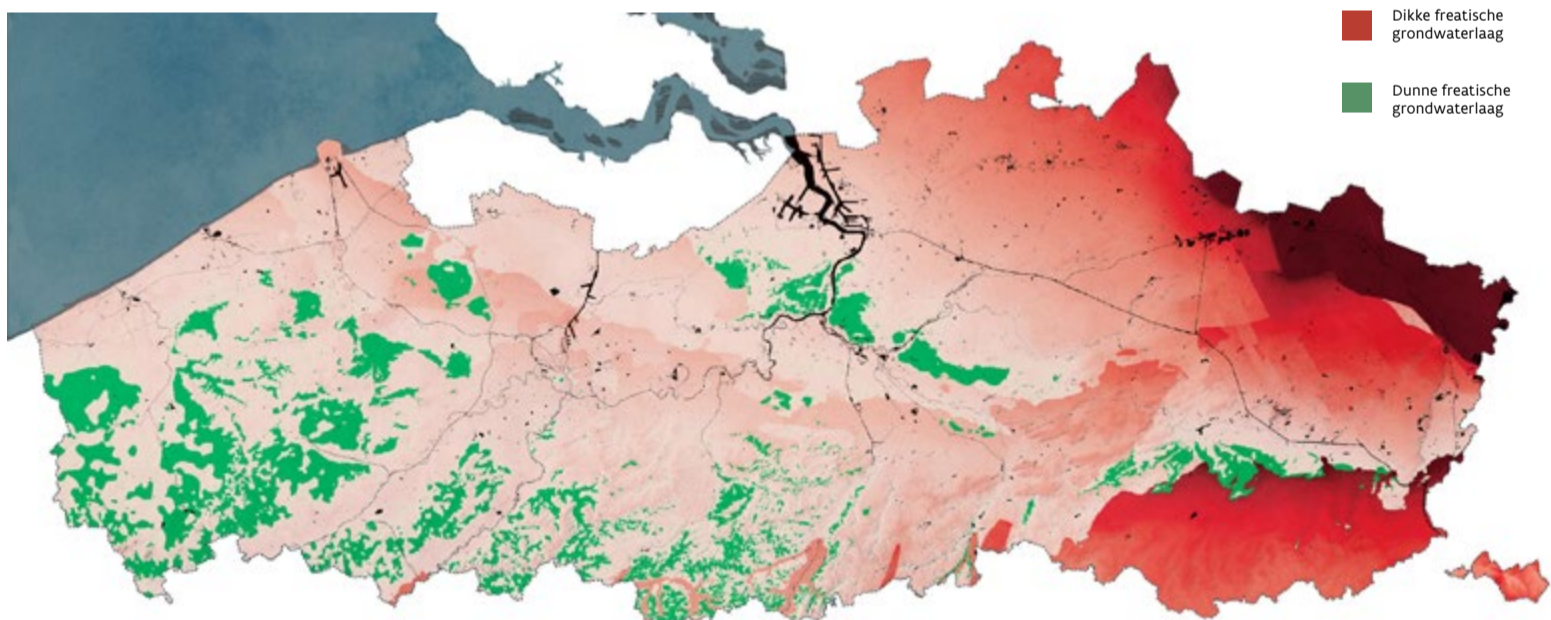
Semi-artesisch grondwater = als de bovenbegrenzing van het waterpakket onder een halfdoorlatende laag gelegen is.

Diepte freatisch grondwater

De freatische grondwaterkaart maakt inzichtelijk hoe diep het freatisch grondwater zich in de quartaire deklaag bevindt. Het freatisch grondwater betreft het bovenste deel van de grondwaterlaag, net onder de grondwaterspiegel. Het wordt bovenaan begrensd door de atmosfeer en onderaan door een ondoorlatende laag. Het freatisch grondwater is onderhevig aan seizoensgebonden schommelingen en gevoelig voor verontreiniging. Hoe dunner freatische grondwaterlaag, hoe minder potenties tot de ondergronds opslag van strategische grondwaterreserves.

Freatische grondwaterlagen bevinden zich net onder het topografische oppervlak. Deze kaart geeft de diepte weer van de freatische grondwaterlagen.

Hoe roder de zone op de kaart, hoe dieper het grondwater kan gevonden worden. De groene zones beschikken over een beperkt opslagvolume voor freatisch grondwater. De twee geologische snedes geven duidelijk weer dat West-Vlaanderen, door zijn dun quartair pakket en dikke kleiige tertiaire lagen, slechts over een beperkte 'opslagruimte' beschikt vergeleken met de rest van Vlaanderen. De Kempen daarentegen kunnen door hun dik, goed doorlatend zandpakket dan weer veel meer water laten infiltreren en stockeren.

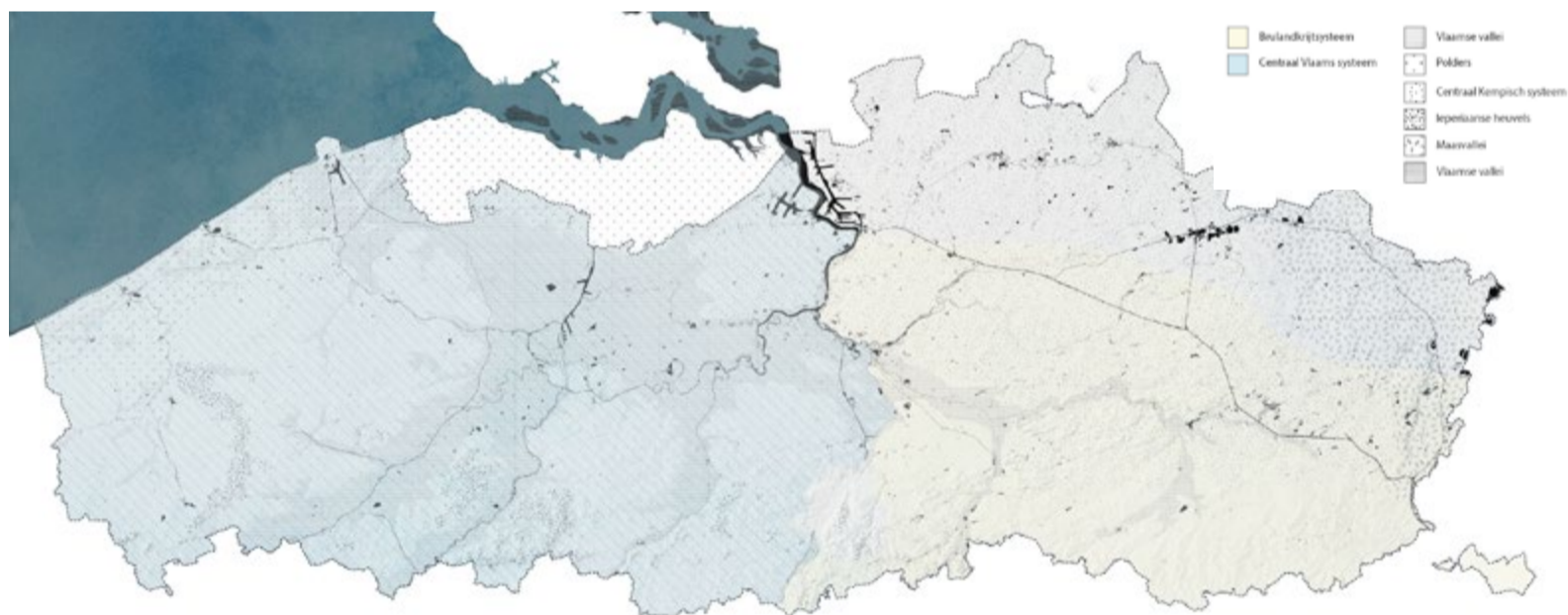


Diepte freatisch grondwater
Bron: VMM + eigen verwerking

Grondwatersysteemkaart

De grondwatersystemenkaart maakt een categorisering van de verschillende grondwatersystemen volgens VMM. Het grondwater in Vlaanderen is in zes grondwatersystemen ingedeeld. Deze kunnen op verschillende dieptes boven en naast elkaar voorkomen. Eén systeem wordt als een geïsoleerd geheel beschouwd. De indeling is gebaseerd op de fysische kenmerken van het grondwaterreservoir en duidelijke barrières voor de grondwaterstroming zoals dikke kleilagen, geologische begrenzingsen, grondwaterscheidingen, sterk drainerende rivieren, verziltingsgrenzen, enz.

De verschillende grondwatersystemen staan onderling nauwelijks met elkaar in verbinding. In het westen vindt men van ondiep naar diep: het Kust- en Poldersysteem, het Centraal Vlaams Systeem en het Sokkelsysteem. In het oosten vindt men van ondiep naar diep: het Maassysteem, het Centraal Kempisch Systeem en het Brulandkrijtsysteem. Vijf van de genoemde grondwatersystemen behoren tot het stroomgebiedsdistrict van de Schelde. Enkel het volledige Maassysteem, een klein oostelijk deel van het Brulandkrijtsysteem en het noordelijk deel van het Centraal Kempisch Systeem behoren tot het stroomgebiedsdistrict van de Maas.



Grondwatersystemen Vlaanderen
Bron: VMM + eigen verwerking

Watersysteemkaart

De watersysteemkaart, ontwikkeld door de Universiteit Antwerpen (Jan Staes), geeft een gedetailleerd inzicht in de potenties van een gebied voor infiltratie en retentie. De watersysteemkaart maakt een onderscheid tussen kwelzones, waterretentiezones en infiltratiezones.

De kwelzones (blauw) zijn de “permanent natte gebieden”. Deze gebieden zijn uitermate geschikt voor het vasthouden van water.

De waterretentiezones (groen) zijn “tijdelijke natte gebieden”. Hier is ruimte voor voor uitgestelde of vertraagde infiltratie. Deze verzamelen het afstromingswater en ondiep grondwater op een klein schaalniveau (tot op 1 km). In deze landschapsdepressies zijn er mogelijkheden voor vertraagde infiltratie. Omdat de depressies relatief hoog gelegen zijn in het landschap kan er tijdens drogere perioden alsnog infiltratie plaatsvinden.

De infiltratiegebieden zijn de gebieden waar het neerslagwater van nature de grond intrekt en niet via waterlopen wordt afgevoerd. Deze gebieden zijn uitermate geschikt voor het aanvullen van de grondwatertafel.



Watersysteemkaart Vlaanderen
Bron: J. Staes UAntwerpen

VERKLARENDE WOORDENLIJST:

Retentie = Het tijdelijk vasthouden van in dit geval water waarna het alsnog zal infiltreren.

Kwel = Is grondwater dat onder druk aan de oppervlakte uit de bodem komt.

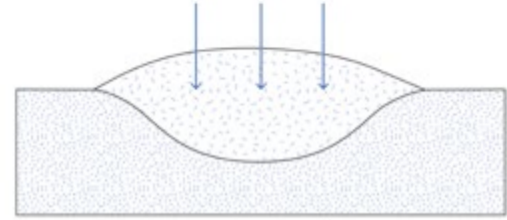
Infiltratie = Het proces waarbij water in de bodem dringt en in de onverzadigde zone van de bodem komt.

Geomorfologische ruimtelijke typologieën

We onderscheiden acht ruimtelijke typologieën voor de opslag van hemelwater in ondergrondse massieven en bovengrondse landschappelijke structuren.

A. Drijvende zoetwaterbel

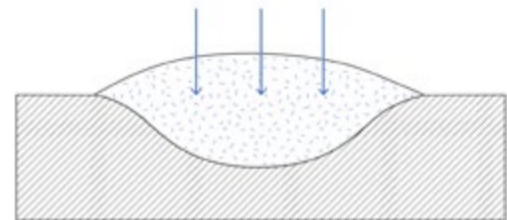
Deze typologie gaat uit van infiltratie van hemelwater in een zandmassief omsloten door zout water. Het zoet water 'drijft' op het zoute of brakke water en vormt een drijvende zoetwaterbel. Deze kan aangevuld worden met extra zoet water waardoor het zoute water wordt weggedrukt. Als er zoet water onttrokken wordt zal het zout water zijn plaats innemen waardoor verzilting optreedt. Deze verschijningsvorm vinden we hoofdzakelijk terug in de duinen en kreekkruggen in de kustzone.



A. Drijvende zoetwaterbel

B. Ingesloten zoetwaterbel

Deze typologie gaat uit van infiltratie van hemelwater in een zandmassief dat opgesloten is door een kleiige onderlaag. Het water kan maar heel traag door dit dikke kleipakket heen infiltreren waardoor zoetwaterbellen ontstaan. Deze typologie vinden we terug in de Vlaamse vallei. De basis wordt gevormd door tertiaire kleilagen of fijnzandige mariene afzettingen met een geringe doorlaatbaarheid. De uitgesleten vallei is met met goed doorlatende fijne, grindhoudende zanden opgevuld.



B. Ingesloten zoetwaterbel

C. Inzigt en kwel in poreus zandmassief

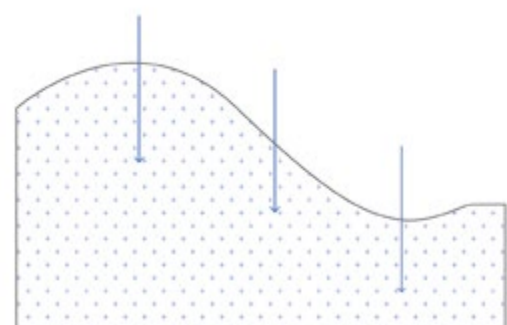
Deze typologie gaat uit van een homogeen waterdoorlatend zandmassief waarin hemelwater insijpelt. Het infiltreren vindt plaats in de hoger gelegen delen en water komt als kwel aan het oppervlak in de lager gelegen valleien. Het water wordt niet afgesloten door een ondoordringbare laag maar beweegt zich voort onder invloed van de zwaartekracht. Het reliëf bepaalt in belangrijke mate hoe de waterstromen zich gedragen. Deze typologie vinden we terug in de Kempen.



C. Inzigt en kwel

D. Inzigt in poreus krijtmassief

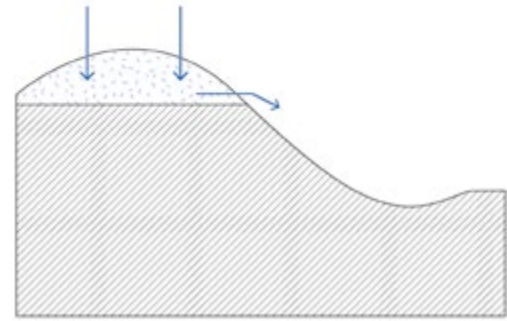
Deze typologie gaat uit van een homogeen waterdoorlatend krijtmassief waarin hemelwater infiltreert in de hoger gelegen delen en doorsijpelt naar diepere grondwaterlagen. Krijtformaties bezitten grote poriën en zijn bijgevolg zeer goed doorlatend. Hierdoor wordt het water vrijwel direct naar de ondergrond geleid. De zwaartekracht heeft hier weinig invloed op het grondwater. Deze typologie vinden we terug in droog Haspengouw.



D. Krijt

E. Zand op klei met een hoog bronniveau

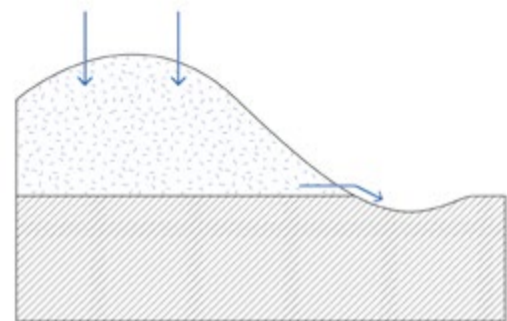
Deze typologie gaat uit van een relatief dun zandpakket op een ondoordringbare kleilaag. Het geïnfiltreerde water ontspringt als een bronniveau op het snijvlak van de zand en kleilagen. Deze typologie vinden we terug in het heuvelland.



E. Zand op klei met hoog bronniveau

F. Zand op klei met een laag bronniveau

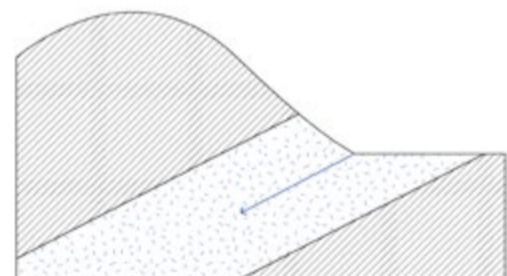
Deze typologie gaat uit van een relatief dik zandpakket op een ondoordringbare kleilaag. Het geïnfiltreerde water voedt de vallei op het snijvlak van de zand- en kleilagen. Deze typologie vinden we ondermeer terug in de formatie van Brussel en in de Dijlevallei.



F. Zand op klei met laag bronniveau

G. Cuestafront met inziggebied

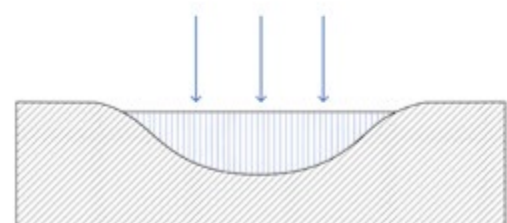
Deze typologie gaat uit van een lateraal systeem van zand en kleilagen die dagzomen. Het geïnfiltreerde water voedt het diepere artesische grondwater in de zandlagen die ingeklemd zijn in de kleilagen. Deze typologie vinden we terug in de Cuesta van Oedelem-Zomergem.



G. Cuestafront met inziggebied

H. Oppervlaktewater

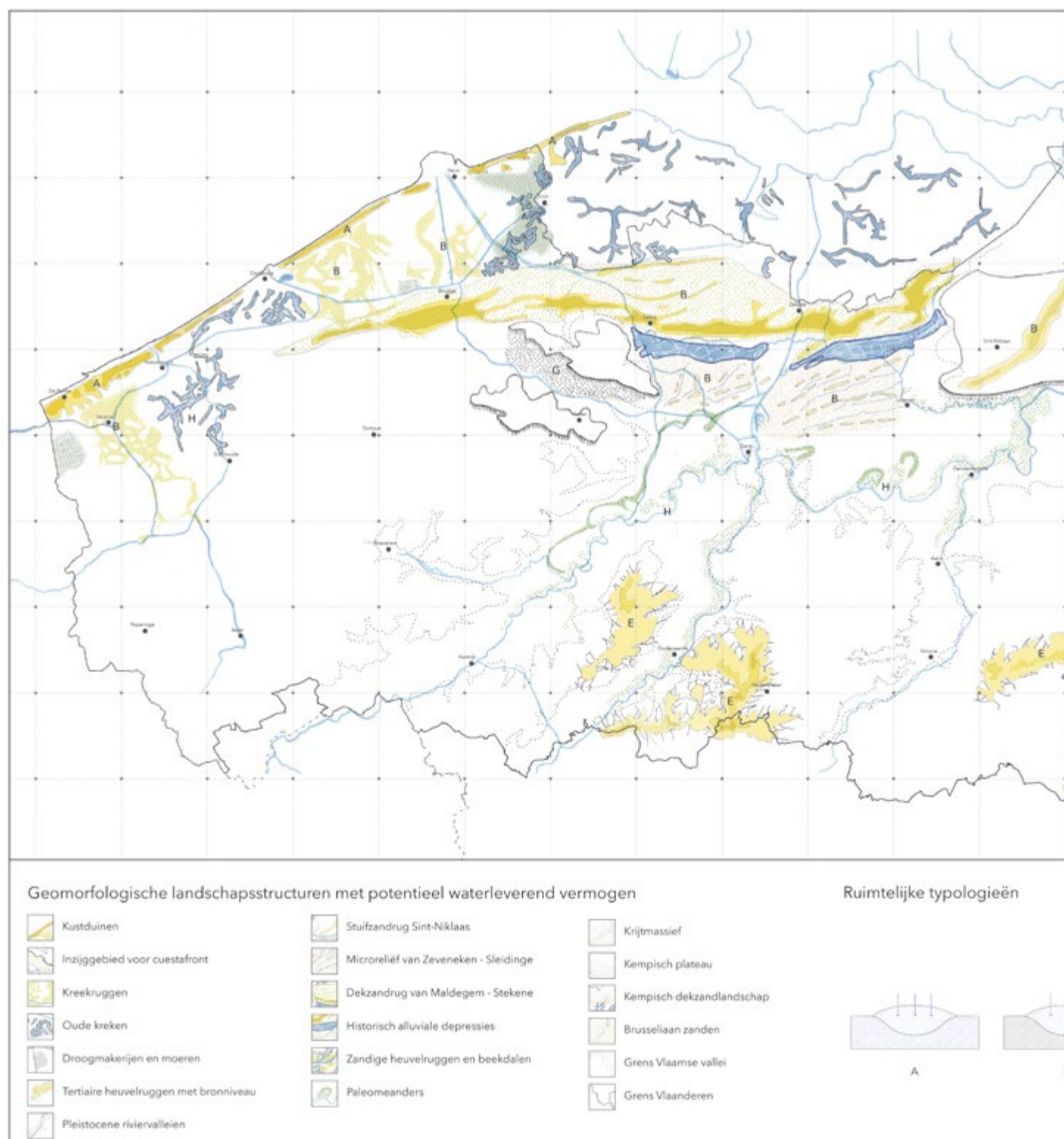
Onder oppervlaktewater verstaan we alle locaties die op natuurlijk wijze hemelwater vasthouden. Het water zal door de aanwezigheid van een slecht of niet doorlatende onderlaag niet infiltreren.



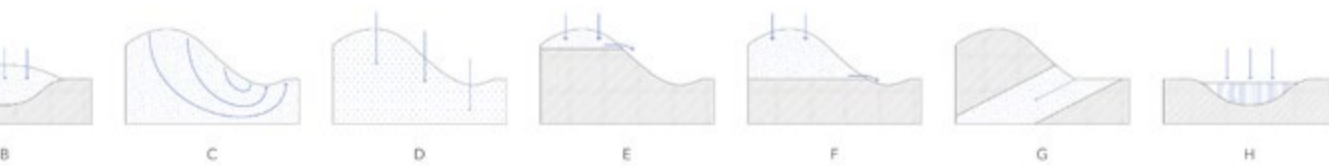
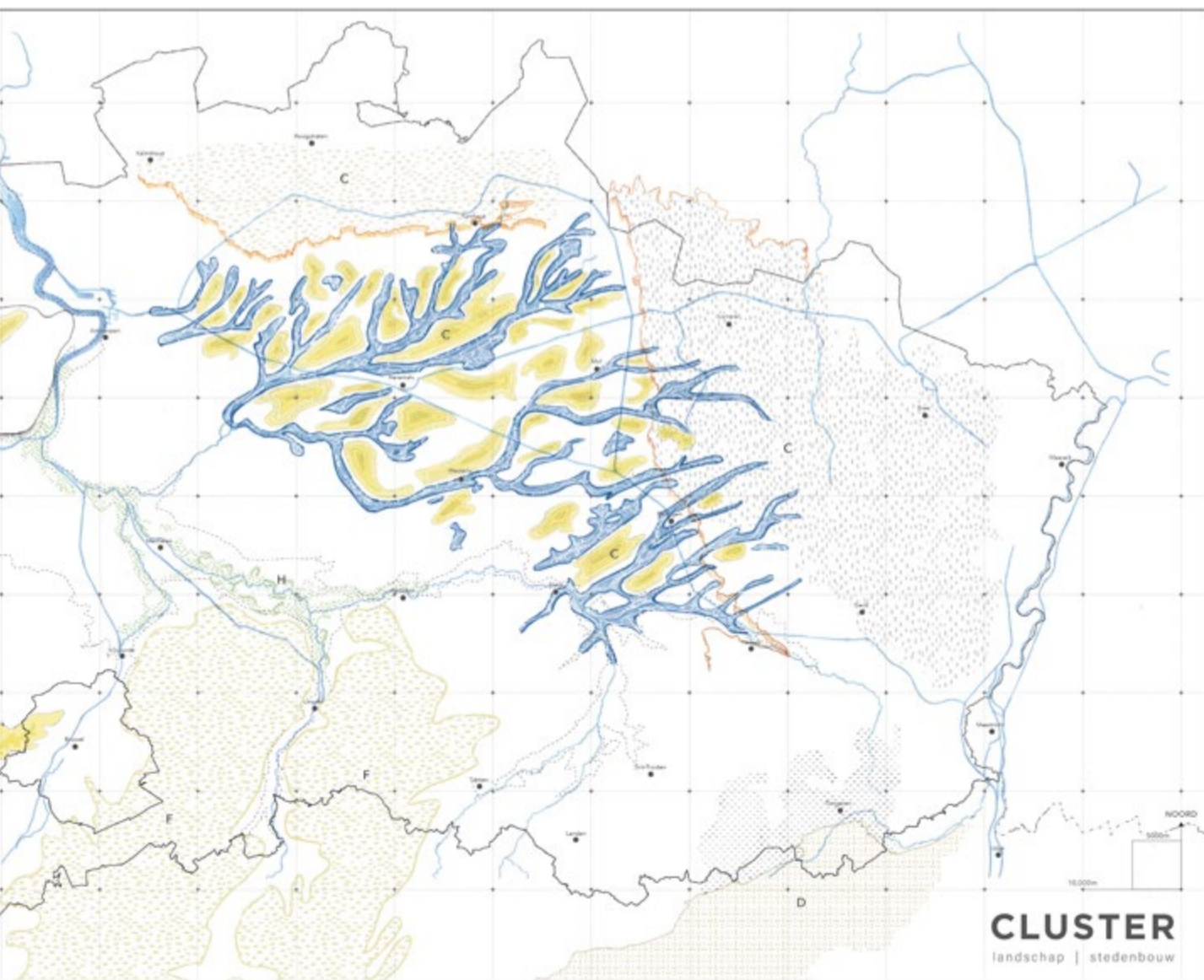
H. Oppervlaktewater

Geomorfologische landschapstructuren met een potentieel waterleverend vermogen

De geomorfologische landschapstructurenkaart is een handgetekende overzichtskaart die regionale landschapstructuren met een potentieel waterleverend vermogen uitlicht. De niet-ingekeurde zones op de overzichtskaart hebben minder ruimtelijke potenties voor het ontwikkelen van strategische grondwatervoorraden en oppervlaktewaterreservoirs.



Overzichtskaart geomorfologische landschapstructuren met potentieel waterleverend vermogen (Bron: CLUSTER landschap & stedenbouw)

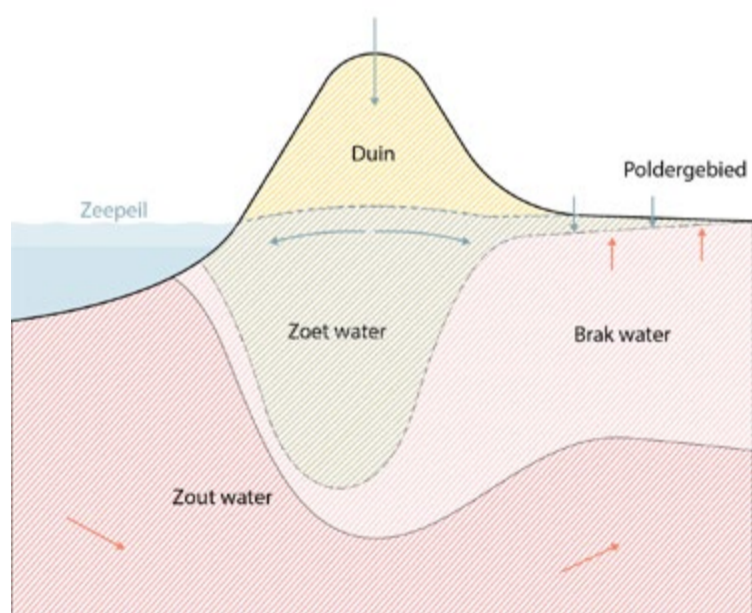


Kustduinen



Ligging Kustduinen (typologie A)

De Belgische kustduinen zijn opgebouwd uit fijne tot middelmatige zanden die zijn opgewaaid door de wind. De aanwezigheid van vegetatie heeft een bepalende rol in de vorming van duinen. Sporadisch komen er klei of veenlagen voor maar globaal zijn deze niet dikker dan 50 cm. Dit maakt de vorming van kleine duinmeertjes mogelijk. De kustgebieden kennen een duidelijk reliëf gezien het continu in verandering is. Onder de kustvlakte is een zeer doorlatende zandformatie aanwezig. De voeding van de grondwaterlaag in de kustduinen gebeurt rechtstreeks via neerslaginfiltratie.



Kustduinen



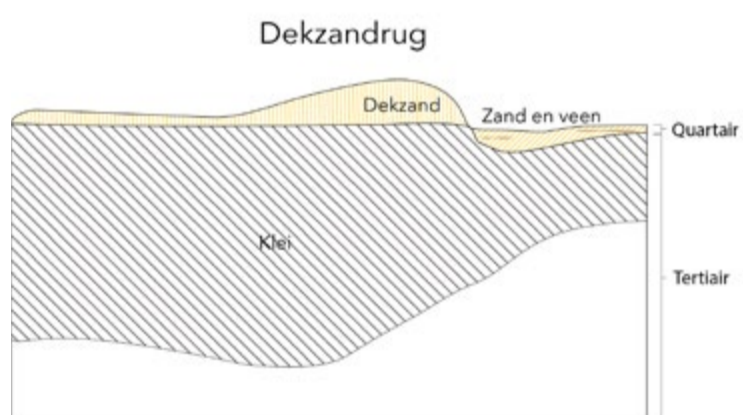
Kustduinen van Bredene
Bron Joppe De Handschutter

Dekzandrug Maldegem – Stekene



Ligging Dekzandrug Maldegem - Stekene (typologie B)

De dekzandrug Maldegem-Stekene is een langgerekt zandmassief dat ontstaan is onder invloed van de krachtige winden tijdens de laatste ijstijd. De dekzandrug heeft een asymmetrische dwarsdoorsnede met een steile zuidflank en een zwakhellende noordflank. De zuidflank is een zeer duidelijke grens die over vrijwel de hele dekzandrug zichtbaar is. Op de dekzandrug vinden we ook een microreliëf terug van ruggen en depressies. Landschappelijk is deze dekzandrug te herkennen aan de vele kleine tot middelgrote bossen die te vinden zijn op de zanderige zones, zoals de Kwadebossen in Lembeke. De dekzandrug wordt doorsneden door het Kanaal Gent-Terneuzen.

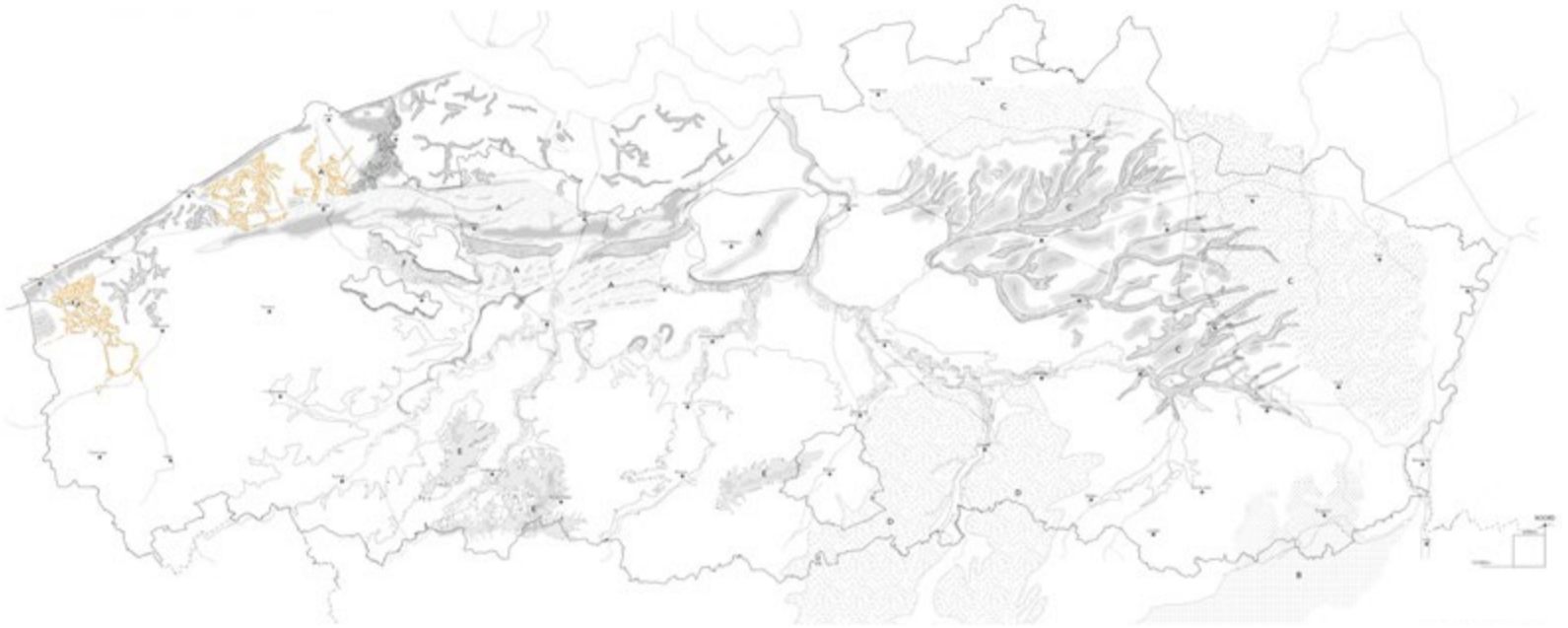


Doorsnede van de Moervaartvallei



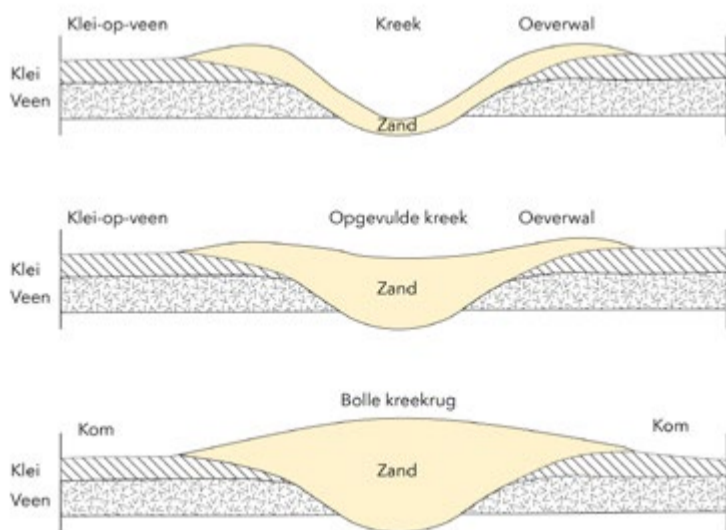
Kwadebossen in Lembeke

Kreekruggen

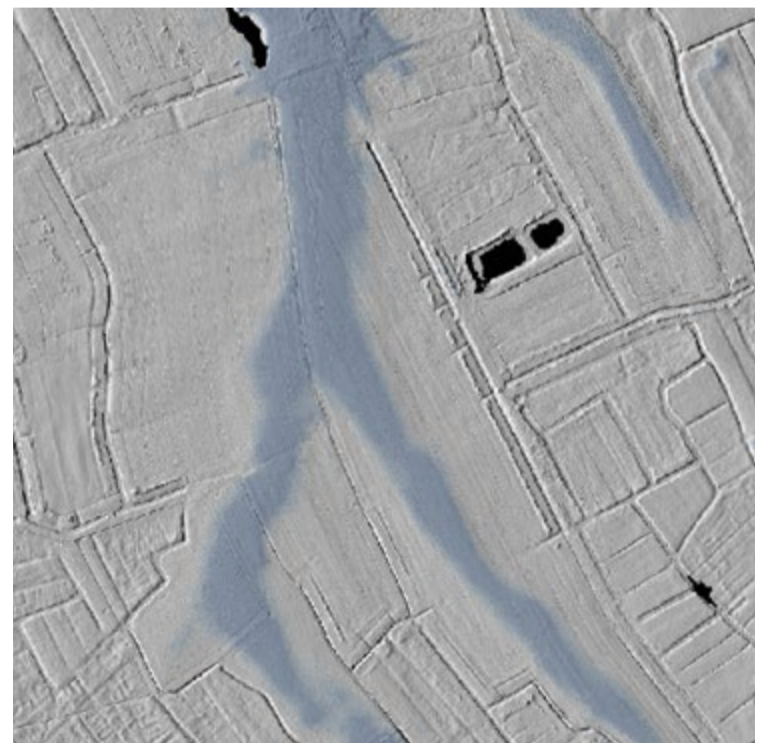


Ligging Kreekruggen (typologie B)

Een kreekrug ontstaat door de opvulling van voormalige getijdegeulen met zand. De veenpakketten in het omliggende landschap compacteerden onder invloed van intensieve drainage. Het zand in de geul ondervindt weinig invloeden van de ontwatering en bleven als entiteit ongewijzigd. Dit heeft geleid tot een inversie van het reliëf.



Ontstaan van een kreekrug



Microreliëf van een kreekrug in het landschap

Stuifzandrug Waasland



Ligging Stuifzandrug Waasland (typologie B)

De stuifzandrug situeert zich op de cuesta van het Waasland en vormt een langgerekte zandlens. Tijdens de droge fases van de laatste ijstijd werd lokaal zand door de wind opgewaaid tot stuifzandformaties. De stuifzandrug is in het landschap te herkennen door de aanwezigheid van aangeplante naaldbossen. Het Provinciaal domein De Ster, het voormalig militair domein Westakkers en enkele woonparken zijn gelegen op de stuifzandrug. De stuifzandrug is inmiddels al deels afgegraven voor zandwinning (o.a. Provinciaal domein De Ster). De kleinere stuifzandrugjes gelegen langs de zachte helling van de noordelijke flank veroorzaken soms gesloten depressies, die gekenmerkt worden door slechte ontwatering.



Principesnede van de cuesta van het Waasland



Recreatie domein De Ster in Sint-Niklaas

Kommengebied van Sleidinge en ruggengebied van Zeveneken



Ligging kommen- en ruggengebied van Sleidinge en Zeveneken (typologie B)

Het kommegebied en de ruggenzone zijn nagenoeg vlakke gebieden gelegen in de Vlaamse vallei. Ze bestaan uit een dik zandig pakket. De ruggenzone beschikt over een sterk uitgesproken microreliëf. Langwerpige zanderige structuren zijn licht verheven ten opzichte van hun omgeving. Typisch aan dit landschap zijn de straatdorpen die voorkomen op de deze ruggen. Het kommegebied is een uitgestrekte, van nature laaggelegen depressie. Sinds de komst van het waterspaarbekken van Kluizen wordt het kommegebied gedraineerd in functie van drinkwaterwinning. De drainagegrachten in het kommegebied voeden het waterspaarbekken. Beide gebieden worden van elkaar gescheiden door het Kanaal Gent-Terneuzen.



Microreliëfvormen in de Vlaamse Vallei



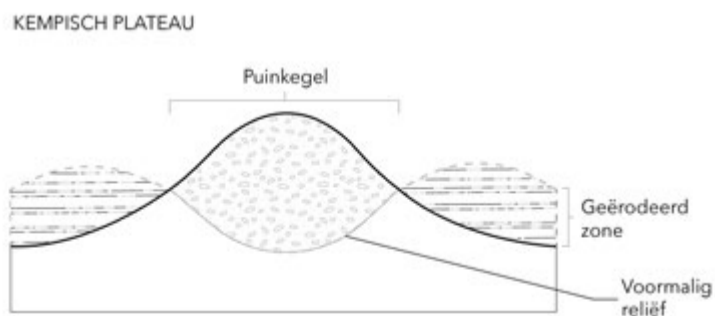
Orthofoto straatdorpen op zandige hoogtes van Zeveneken

Kempisch plateau



Ligging Kempisch plateau (typologie C)

Het Kempisch plateau vormt een driehoekige reliëf die sterk uitsteekt boven zijn omgeving. Het wordt ten oosten geflankeerd door de Maasvallei waar een steilrand van 40m waar te nemen valt. De Maas ligt samen met de Rijn aan de basis van het ontstaan van dit plateau. Tijdens de laatste ijstijd werden grote hoeveelheden grind en puin afgevoerd via de beide rivieren. Op de samenloop van de twee ontstond een puinkegel die de basis vormt van het Kempisch plateau. Doordat het grind beter bestand is tegen erosie is het als eenheid duidelijk zichtbaar in het omliggende geërodeerde landschap. Inmiddels hebben waterlopen die hun bron hebben boven op het plateau hebben kleine dalen in het plateau gevormd.



Vorming van het Kempisch plateau



Landduinen Kalmthoutse heide

Kempische zandgebieden



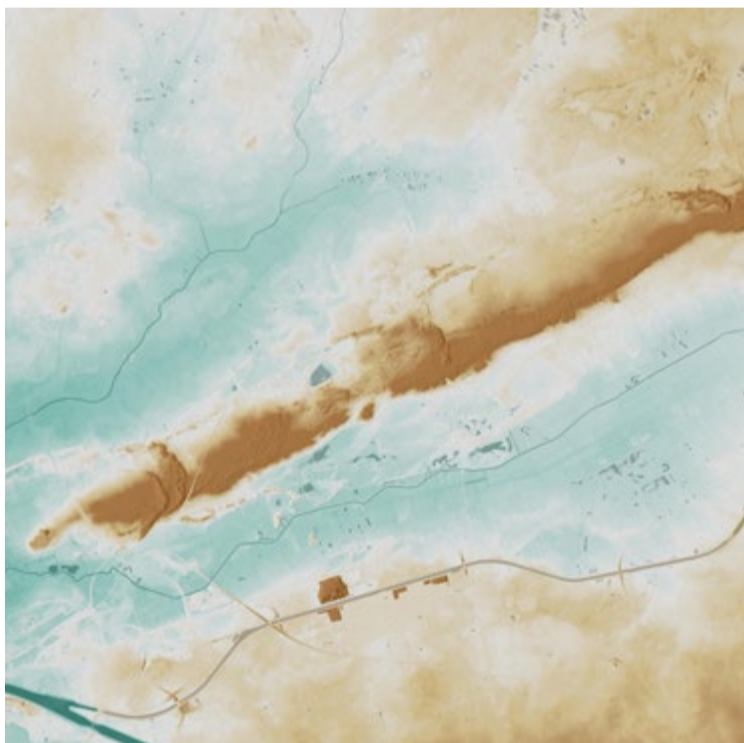
Ligging kempische heuvelruggen en valleien (typologie C)

De Kempische zandgebieden worden gekenmerkt door zuidwest-noordoost georiënteerde zandruggen en dalen die topografisch ingesloten zijn door het hoger gelegen Kempisch Plateau en de cuesta van de kleien van de Kempen.

Het watersysteem vormt een hiërarchisch georganiseerd geheel van grondwaterstromingsstelsels van verschillende grootorde en verblijfstijden (tot meer dan 100 jaar) met een zeer groot potentieel waterbergend vermogen.

In de valleien ontstonden van nature dikke laagveenpakketten. Dit veen werd gedurende de laatste eeuwen stelselmatig ontgonnen als brandstof. De veenmoerassen werden doorheen de tijd geleidelijk ontwaterd ten behoeve van de landbouw.

De laatste moerasrestanten zijn in de jaren '60 van de vorige eeuw op grootschalige wijze ontwaterd waardoor het landschap aan het zakken is. Om de landbouw te blijven faciliteren dienen pompgemalen permanent water te lozen.



Vallei van de Kleine Nete en AA met centraal de Heuvelrug van Lichtaart



Vallei van de Zwartebeek

Krijtmassief

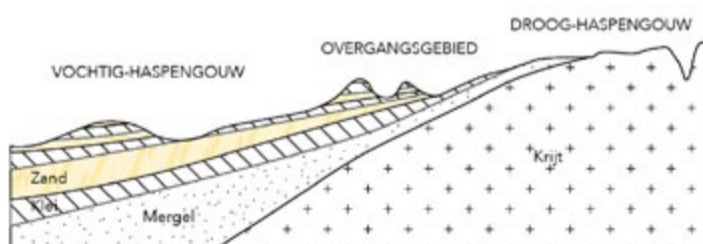


Ligging Krijtmassief (typologie D)

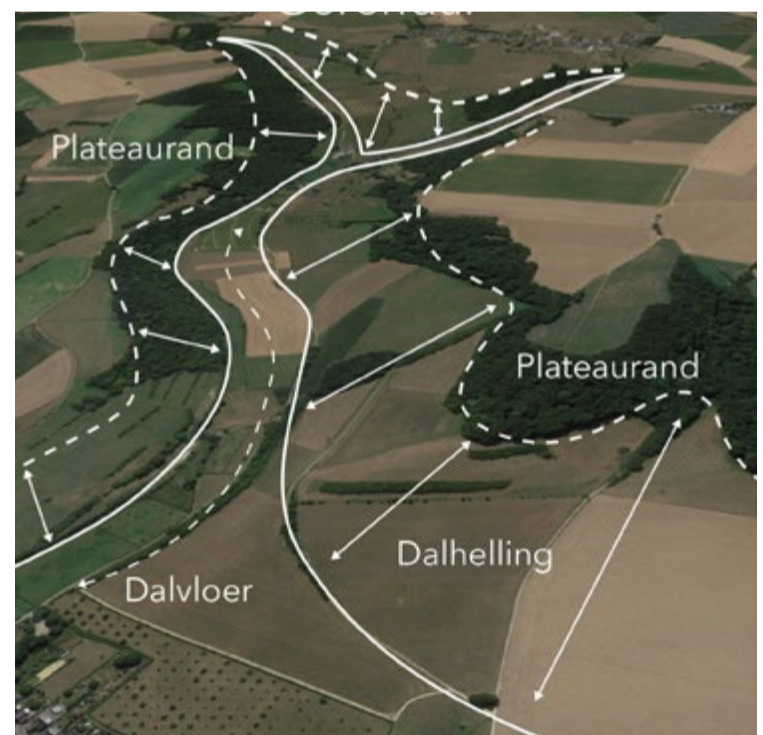
Deze goed doorlatende krijtlaag komt hoofdzakelijk voor in Haspengouw, meer bepaald in droog Haspengouw. Het gebied heeft een relatief dunne quartaire deklaag van löss, een geelbruin, los en kalkrijk gesteente dat goed doorlaatbaar is en goed vocht vasthoudt. Het krijt van deze gebieden omvat tufkrijt, korrelig krijt met vuursteenbanken (Maastrichtiaan), wit krijt en grijze ondoorlatende mergel bekend onder de naam smectique (Herviaan).

Het Maastrichtiaans tufkrijt heeft een zogenaamde beschuitstructuur en een intrinsieke permeabiliteit. Het komt alleen voor in het oostelijke gedeelte van het Jekerbekken. De doorlatendheid van het krijt wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een dicht spletnet. Het water begeeft zich grotendeels via ondergrondse stromingen tot het uitkomt in lageregelegen thalwegen.

Het landschap is licht glooiend maar kent desondanks weinig actieve beken. Men treft er verscheidene zacht ingesneden "droge dalen" aan. Het landschap is gezien de bodemomstandigheden uitermate geschikt voor landbouw. Het kent desondanks wel erosie bij zware regenval daar de lemige toplaag de infiltratiemogelijkheden beperkt.

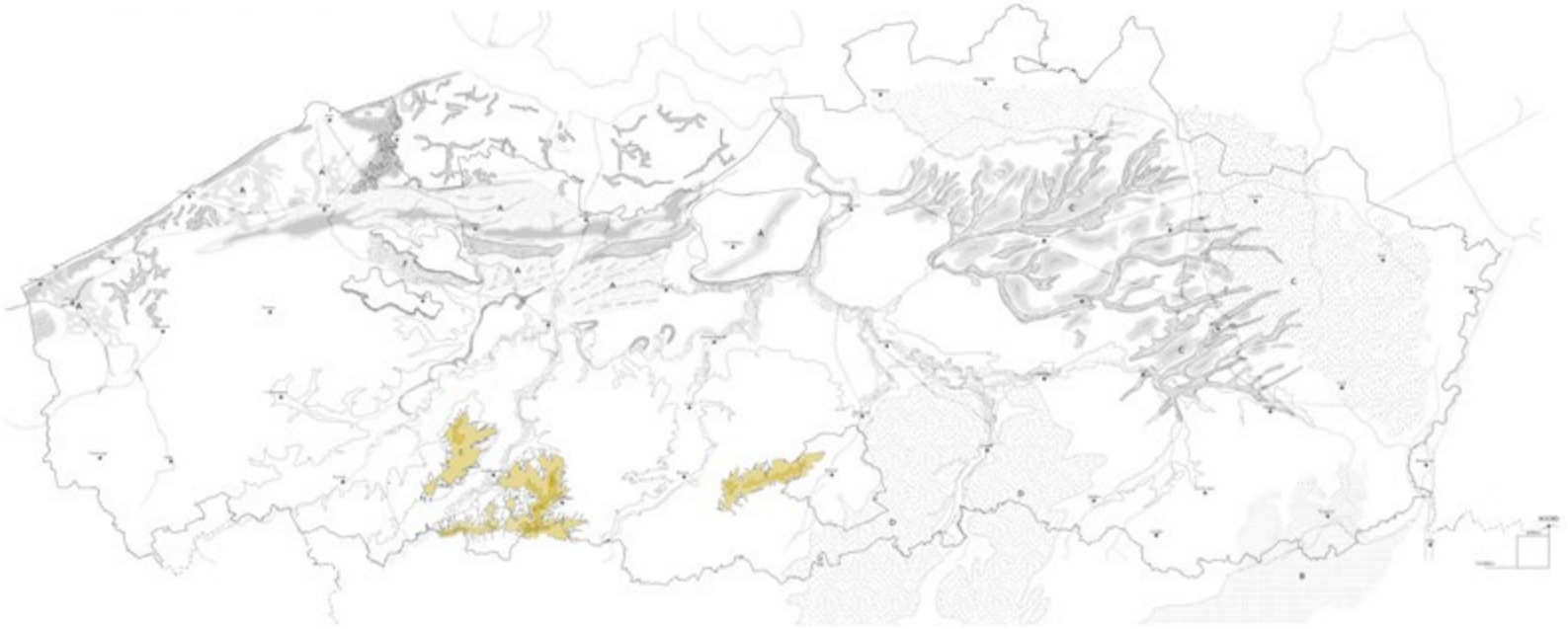


Doorsnede van het krijtmassief



Droogdal in Gerendal

Tertiaire heuvels met bronniveaus



Ligging tertiaire heuvels met bronniveaus (typologie E)

Dit zijn getuigenheuvels die, door de aanwezigheid van een erosiebestendige grondlaag, tijdens het tertiair overeind bleven. Het omliggende landschap is sterk golvend. De poreuze massieven, rustend op een ondoorlatende formatie zijn gelegen boven het peil van de omliggende thalwegen. Het is deze afwisseling van zand- en kleicomplexen binnen de tertiaire lagen die zorgen voor belangrijke bronlijnen. De bronnen ontstaan uit bronzones in de dalwanden of uit bronkommen aan de toppen van de waterscheidingskammen. De valleigronden die zich tussen de zandheuvels bevinden kennen een vrijwel permanent hoge grondwaterstand.



Bronnen in de tertiaire heuvels



Kemmelberg

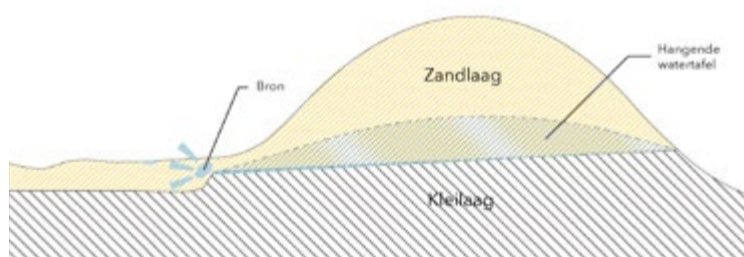
Brusseliaan zandgronden



Ligging Brusseliaan zandgronden (typologie F)

Brusseliaanzanden (ook wel zavel genoemd) zijn goed doorlatende massieven die rusten op een kleipakket van het leperiaan dat ondoorlatend is. Het is één van de voornaamste watervoerende formaties van Brabant. De valleien zijn vrij sterk ingesneden wat een groot aantal brongebieden doet ontstaan. De ondoorlatende massieven liggen onder het niveau van de omliggende thalwegen.

De bronnen ontstaan in de door erosie veroorzaakte insnijdingen aan de rand van deze massieven. De quartaire leemmantel die de toplaag vormt fungeert als een natuurlijke filter voor het insijpelende regenwater. Deze lemige deklaag is gemiddeld 2,5m dik en vertraagt de infiltratie aan het oppervlak. In combinatie met de glooiingen van het landschap treedt er vaak erosie op. Het kwelwater dat door deze zanden stroomt komt dan aan de oppervlakte.

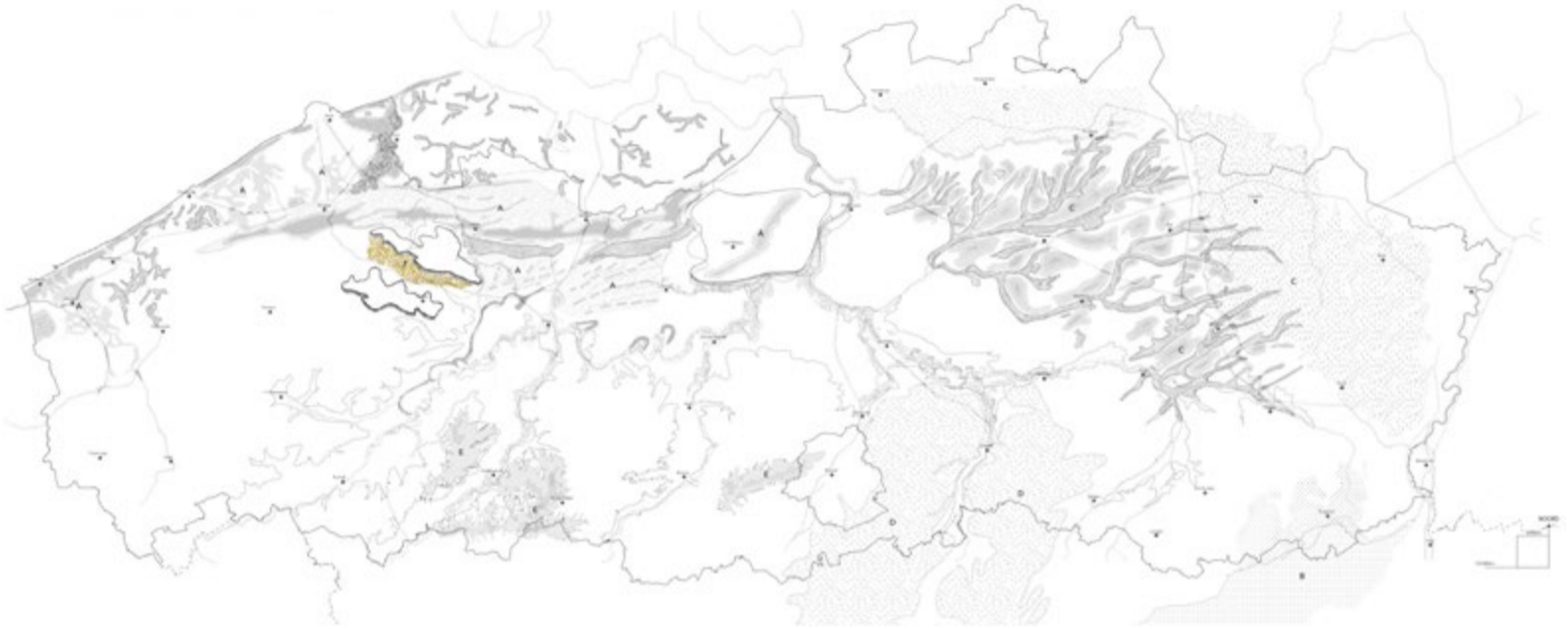


Bronnen in het Brusseliaan



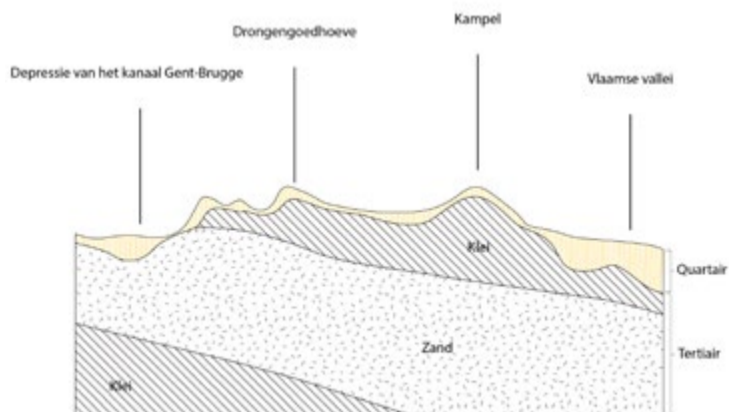
Dijlevallei in Oud-Heverlee.
Bron: Vilda Photo

Cuesta en inziggebieden



Ligging Cuesta en inziggebieden (typologie G)

Depressie die begrensd wordt door de zuidelijke flank van de Cuesta van Zomergem-Oedelem. Aan de voet van de dalwand is een smalle strook van langgerekte ondiepe kommen aanwezig die de dagzomende zandmassieven voeden.



Geologische snede Cuesta Zomergem-Oedelem met de depressie van het kanaal Gent-Brugge



Kanaal Gent-Brugge

Pleistocene valleien



Ligging Pleistocene valleien (typologie H)

Dit zijn brede voormalige alluviale vlaktes uit de laatste ijstijd. Ze worden gekenmerkt door zeer beperkte hoogteverschillen en staan onder permanente invloed van grondwater. Dit grondwater is onderworpen aan de seizoenswijzigingen. Hierdoor kunnen bepaalde zones in de wintermaanden tijdelijk blank komen te staan. In Vlaanderen vinden we nog een aantal pleistocene rivierdalvalleien terug: de Moervaartdepressie, de vallei van de Oude Kale. Tot het midden van de vorige eeuw waren deze gronden vrijwel uitsluitend gebruikt als wei- en hooiland.



De Moervaartvallei op de kaart van Ferraris 1777



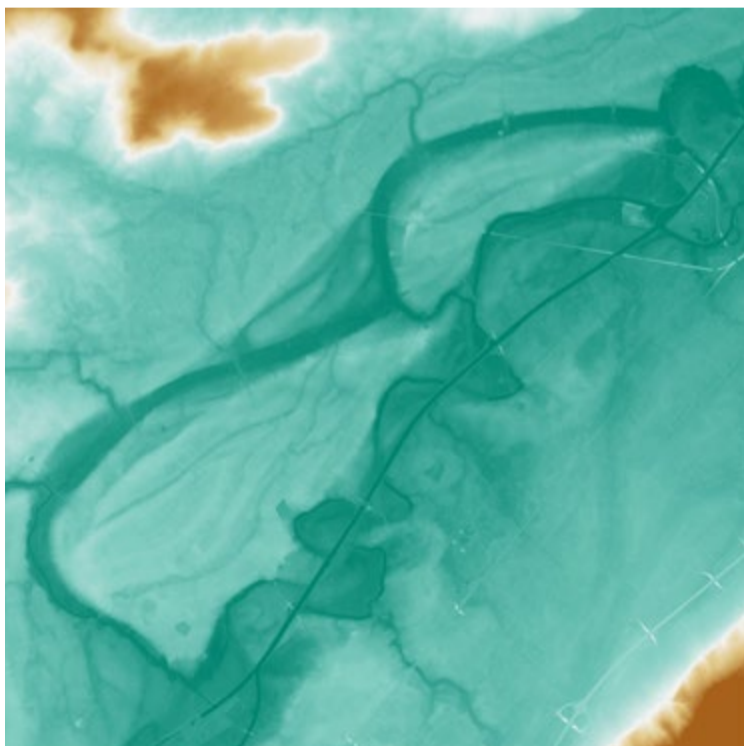
Assebroekse meersen

Paleomeanders



Ligging Paleomeanders (typologie H)

Een paleomeander is een voormalige, afgesneden riviermeander die gevormd werd na de laatste ijstijd door natuurlijke verlegging van de rivierbedding. Bepaalde meanders zijn nog landschappelijk herkenbaar als brede moerassige zones die weidse bochten beschrijven en vrij grote oppervlakten innemen. Lokaal kunnen opgewaaide stuifzanden en rivierduinen voorkomen die de paleomeanders omsluiten. De meeste paleomeanders beschikken nog steeds over dikke veenpakketten (o.a. de Zeverbek). Voorbeelden van paleomeanders zijn de Mandelvallei en de Oude Scheldemeander van Overmere-Donk en Berlare Broek.



Oude Mandelbeek, een oude meander van de Leie



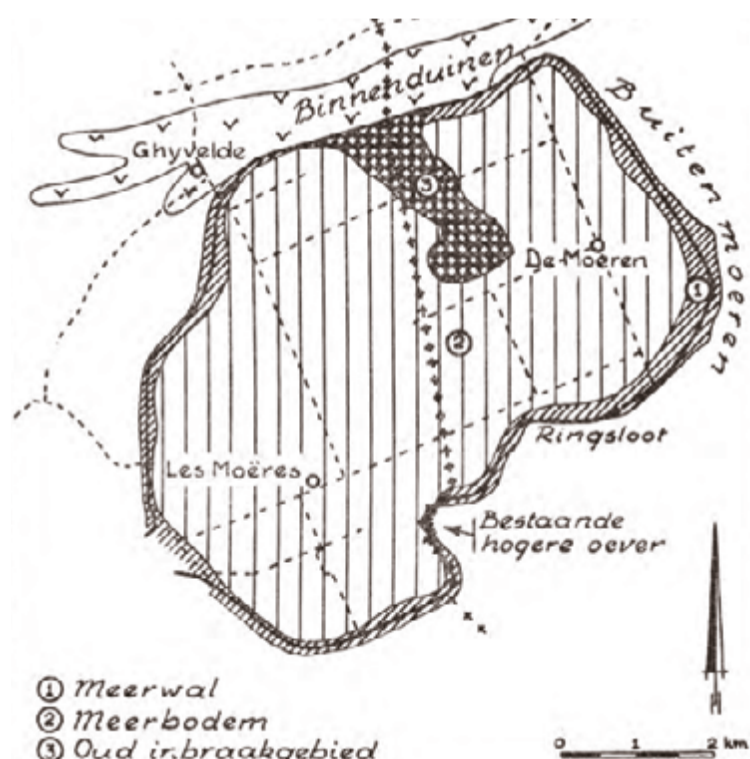
De Oude Mandelbeekvallei

Moeren



Ligging Moeren van Veurne en Meetkerkse Moeren (typologie H)

De Moeren waren historisch een veengebied, bedekt door een dunne kleilaag, dat in de Middeleeuwen op systematische wijze uitgeveend werd. Door de hoge grondwatertafel werd het gebied na de uitveining omgevormd tot een waterplas. Deze gebieden werden later op systematische wijze drooggelegd en voorzien van een dijklichaam zodoende deze gronden te kunnen gebruiken voor landbouwdoeleinden. In Vlaanderen zijn er slechts twee moergebieden: De Moeren van Veurne en de Meetkerkse Moeren.

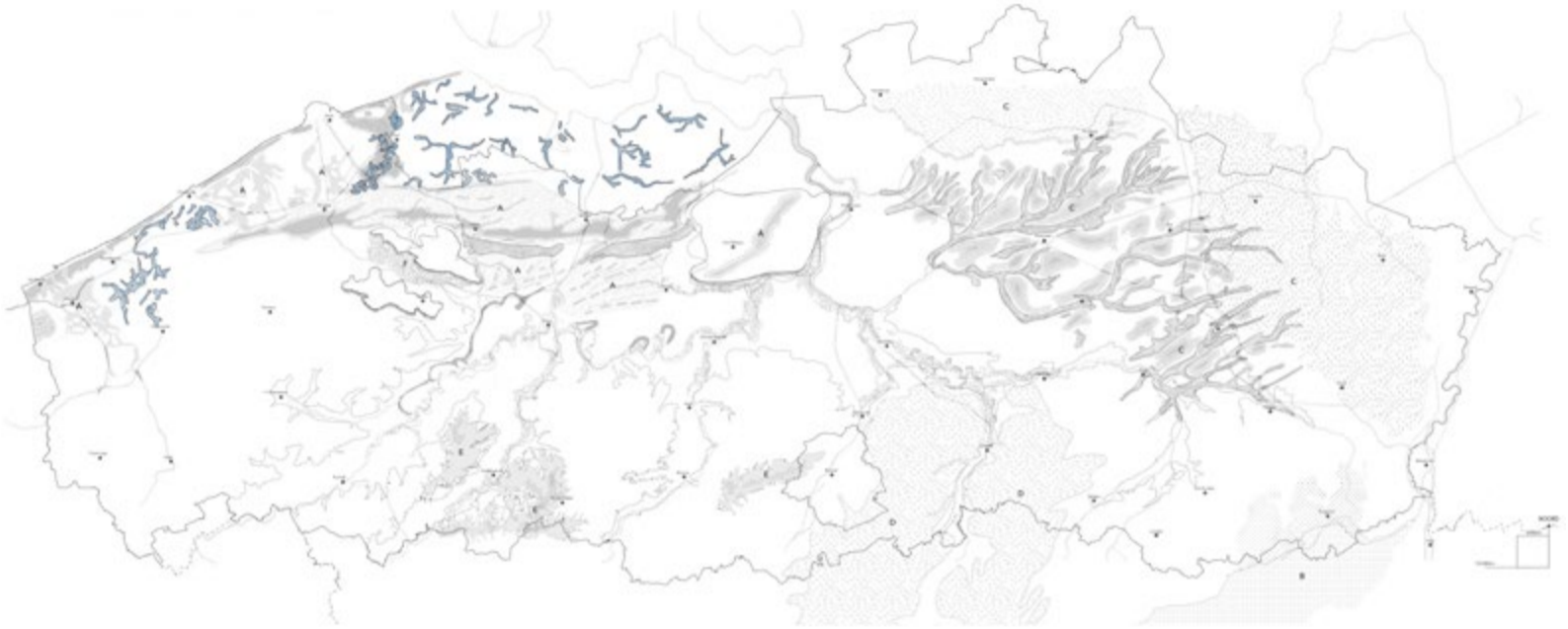


geomorfologische schets van de Grote Moeren



Zicht op de Moeren

Kreken



Ligging kreken (typologie H)

Een kreek is een watergeul die ontstaat als gevolg van een dijkdoorbraak, of is een restant van een ingedijkte vroegere getijdengeul. Na de dijkdoorbraak zorgt het in- en uitstromende water (eb en vloed) voor een uitdieping van de geul. Door afdamming kunnen kreken aan de getijdenwerking worden onttrokken. Ze bevatten oorspronkelijk zout of brak water, maar doordat ze van het omringende zoute of brakke water zijn geïsoleerd daalt het zoutgehalte, en kan het water na verloop van tijd zoet zijn. Kreken zijn doorgaans minder dan 10 meter diep.



Historische kaart met de kreken rond Sint-Jan-in-Eremo



Krekengebied van Meetesland met in het midden het Leopoldskanaal

VERKLARENDE WOORDENLIJST:

Thalweg: Een talweg is de lijn die de laagste punten in de vallei van een helling met elkaar verbindt. Een talweg geeft zo ook het natuurlijke profiel weer van een waterloop.

Tufkrijt = Een zachte, mergelige kalksteen uit het senoon.

Alluviale vlakte = Is een vlakte die is ontstaan door erosie- en/of sedimentatieprocessen van een niet-getijdgebonden rivier, waarbij oorspronkelijk losse bodemmaterialen als alluvium zijn afgezet.

Een paleomeander = is een voormalige, eventueel door bodemafzettingen afgedekte meander. Een paleomeander werd gevormd in (prehistorische tijden door natuurlijke verlegging van een rivier of beek, onder andere landschappelijke en hydrologische omstandigheden dan de huidige.

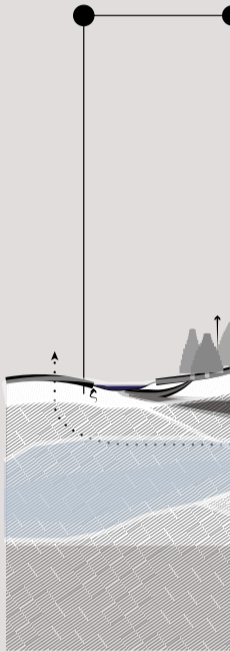
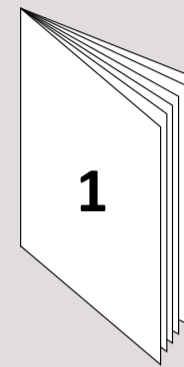
Situering

In het voorgaande hoofdstuk 3 (kwalitatief en landschappelijk onderzoek) hebben we geomorfologische landschapsstructuren met een potentieel waterleverend vermogen geïdentificeerd. Dit heeft geresulteerd in een handgetekende overzichtskaart met regionale landschapsstructuren die ruimtelijke potenties hebben voor het ontwikkelen van strategische grondwater- en oppervlaktewatervoorraden.

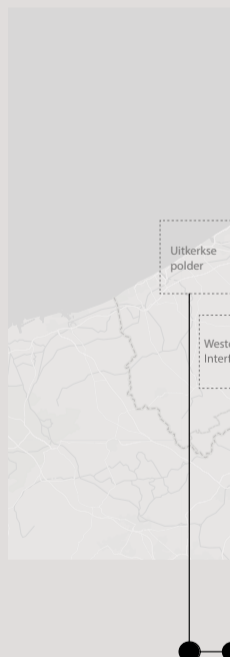
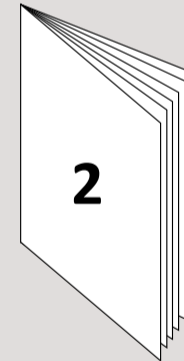
In het volgende hoofdstuk 4 (ruimtelijke bouwstenen) reiken we ruimtelijke bouwstenen en inrichtingsmaatregelen aan in de strijd tegen waterschaarste. De verschillende bouwstenen en maatregelen (vb. stuwtje, infiltratiepoel, krib, enz) situeren zich bewust op een kleinschalig lokaal niveau en zijn in staat om, mits een repetitieve toepassing, een grotere impact op het bovengronds en ondergronds watersysteem te hebben dan één grootschalige ingreep.

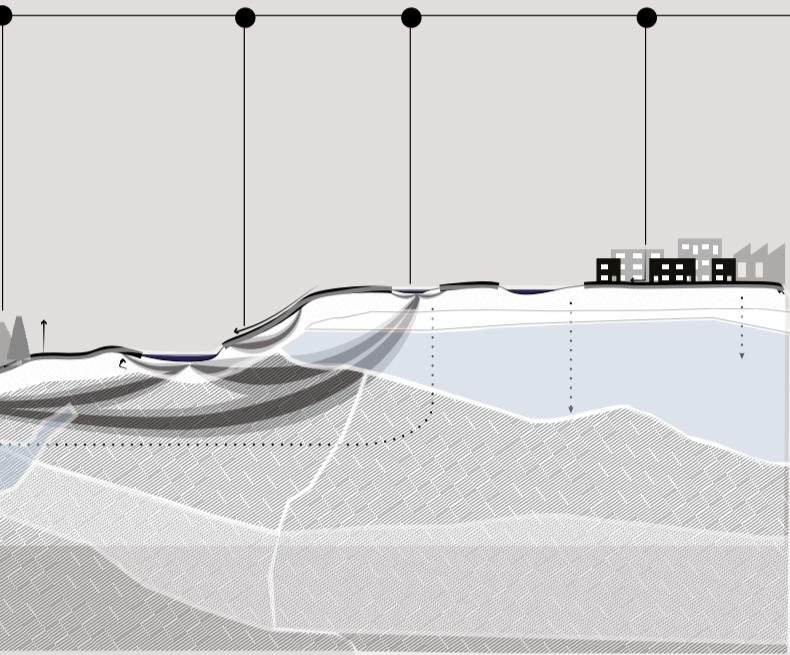
De relatie tussen het lokale niveau (kavel, gracht,...) en het bovenlokale niveau (grondwatersystemen, riviersystemen,...) wordt gemaakt door de geomorfologische landschapsstructuren. Deze situeren zich op een tussenschaal, zijn per definitie contextueel, en kunnen in schaal variëren van een kleinschalige kreek over een langgerekte stuifzandzandrug tot een uitgestrekte laagveenvallei. Ze vormen het intermediair tussen zeer lokale inrichtingsmaatregelen en het grootschalig ondergronds grondwaterstromingsstelsel.

Onderzoek



Atlas





5 Hoofdstukken

- ① Historisch perspectief
- ② Kwantitatief en modelmatig
- ③ Kwalitatief en landschappelijk
- ④ Ruimtelijke bouwstenen
- ⑤ Conclusie



9 Hoofdstukken

- ① Oudlandpolder
- ② Zandrug van Moerbeke
- ③ Cuesta van het Waasland
- ④ Kempen
- ⑤ Kempisch plateau
- ⑥ Droog Haspengouw
- ⑦ Heuvelland (Denderland)
- ⑧ Pleistocene rivervalleien
- ⑨ Westelijk Interfluvium

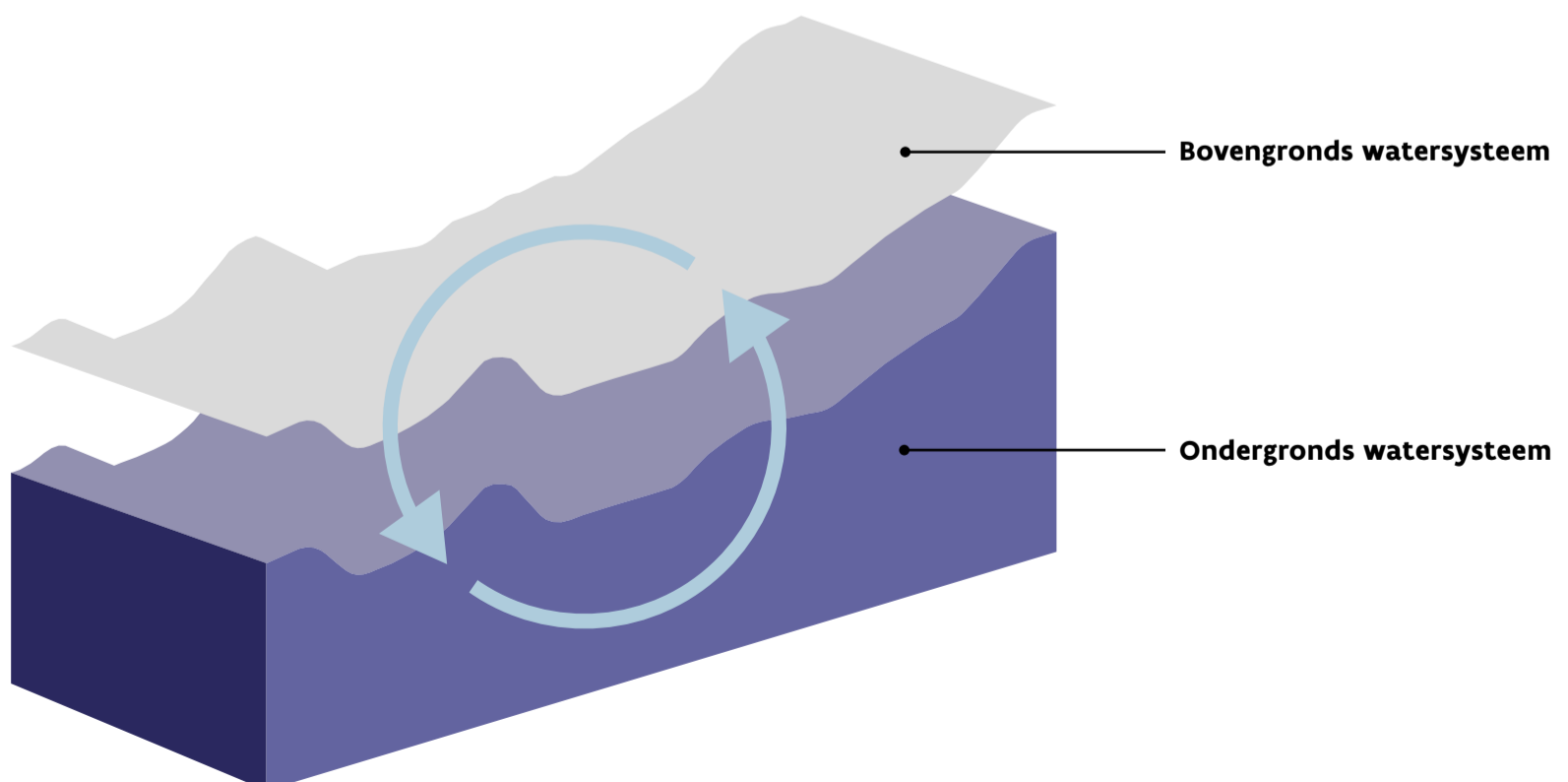
Ruimtelijke bouwstenen en inrichtingsmaatregelen

Watersystemen

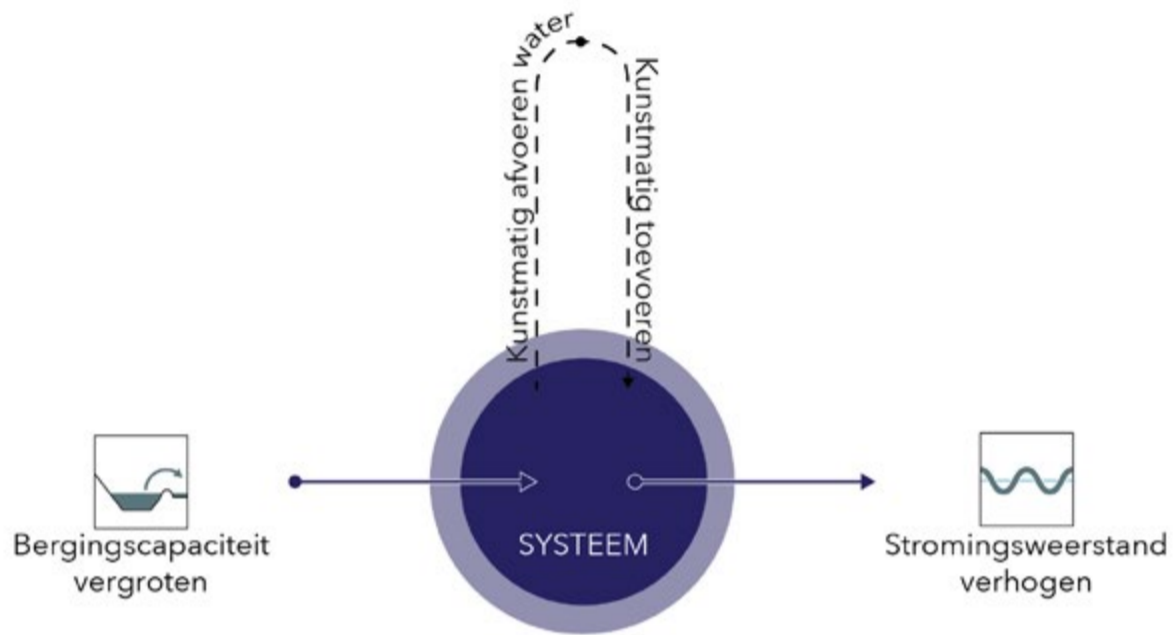
Elke geomorfologische landschapsstructuur kan worden opgevat als een gesloten systeem waarvan de input en de output kan worden (bij)gestuurd. In onderstaand hoofdstuk worden de ruimtelijke bouwstenen voor het sturen van het input- en outputsysteem en daaraan gekoppeld de landschappelijke inrichtingsmaatregelen voor de voeding van onder- en bovengrondse waterlichamen toegelicht.

Bepaalde bouwstenen zijn generiek van toepassing over heel Vlaanderen, andere zijn slechts beperkt toepasbaar in kleinere deelgebieden. Het is de intentie dat de voorgestelde ruimtelijke bouwstenen niet los van elkaar worden ingezet, maar dat meerdere ruimtelijke bouwstenen en inrichtingsmaatregelen aan elkaar worden gekoppeld zodoende tot synergie te leiden. De zoektocht naar synergieën tussen verschillende ruimtelijke bouwstenen vormt het onderwerp van verder ontwerpend onderzoek.

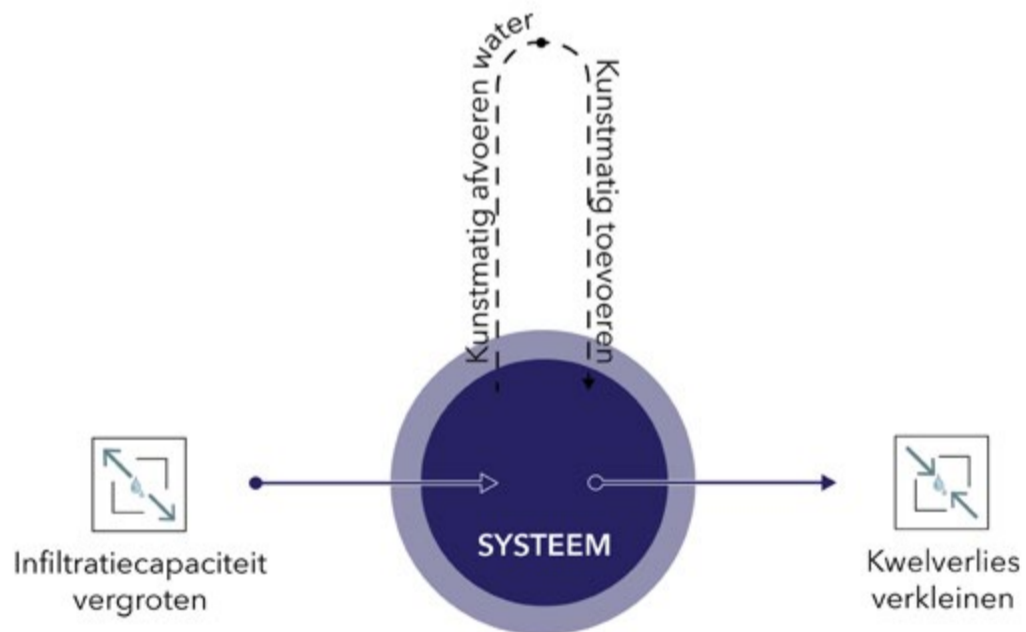
Het input- en outputsysteem wordt opgedeeld in twee categorieën. We onderscheiden het ondergrondse en bovengronds watersysteem. Elke categorie kent een boomstructuur aan ruimtelijke bouwstenen en daaruit voortvloeiend inrichting.



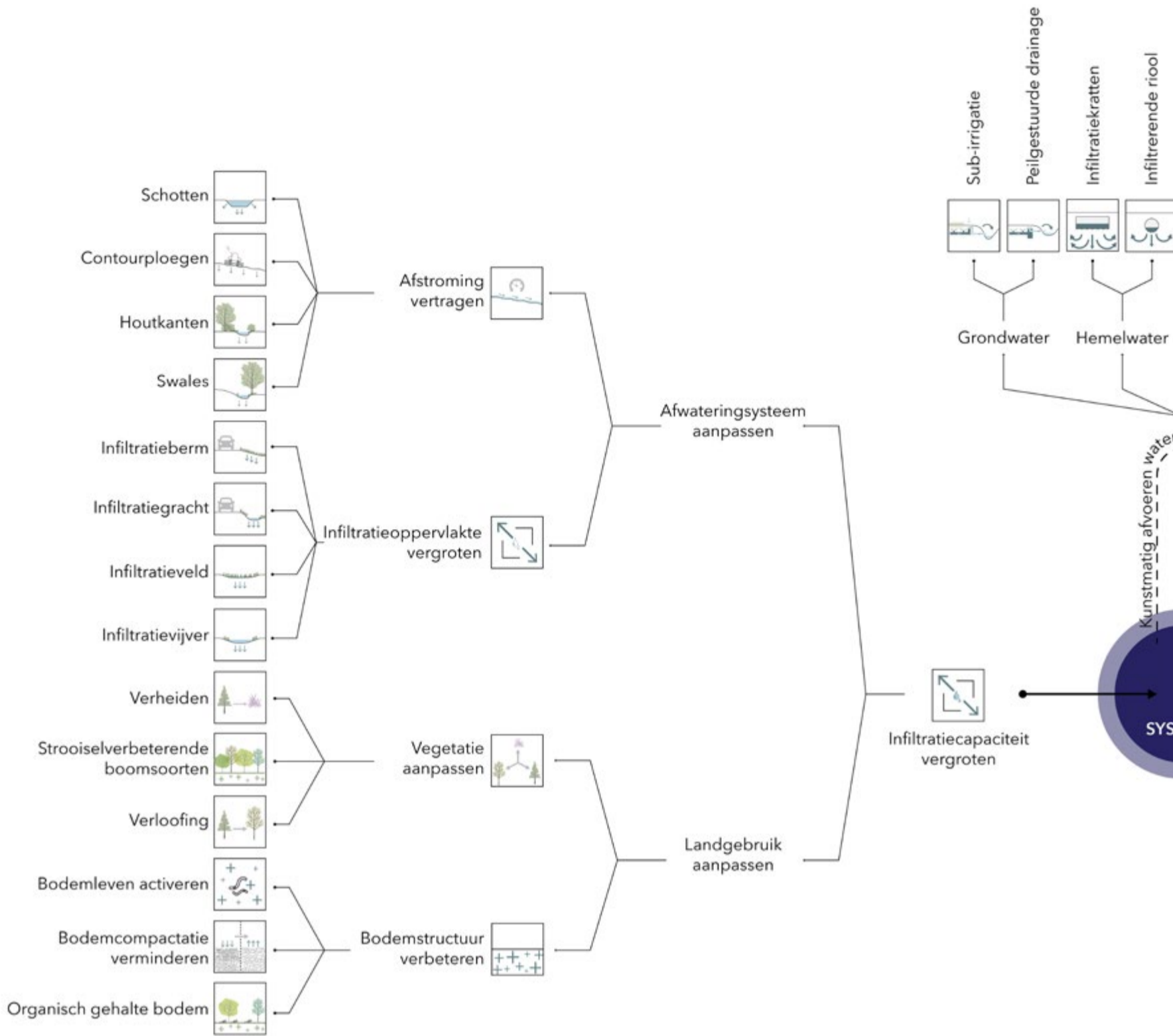
Bovengronds watersysteem



Ondergronds watersysteem



Ondergronds watersysteem

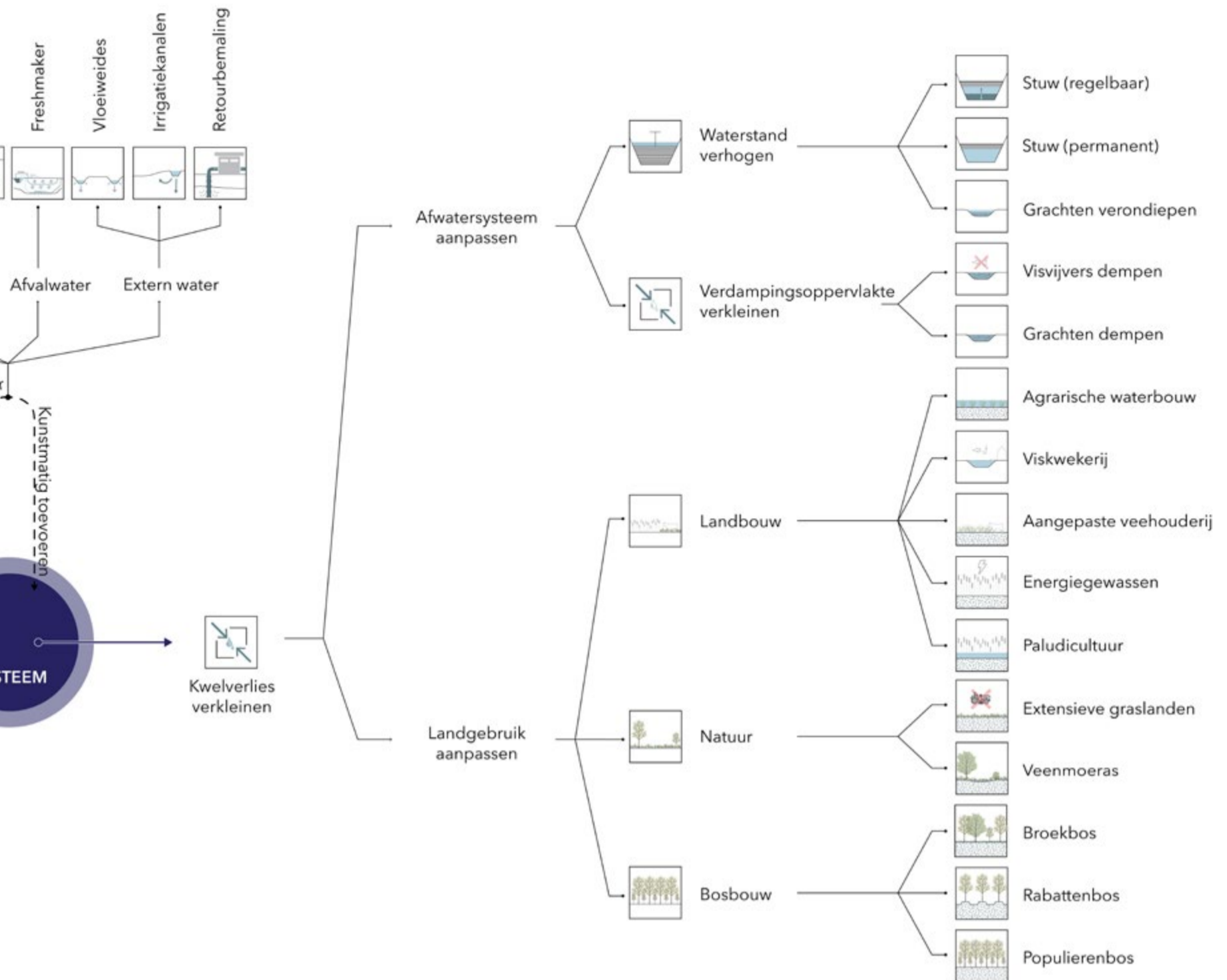


Bouwstenenschema voor het ondergronds watersysteem

A. ONDERGRONDS WATERSYSTEEM

Het ondergronds watersysteem kan worden beïnvloed door op twee sporen te werken: het optimaliseren van de infiltratiemogelijkheden enerzijds, en het beperken van de kwelverliezen anderzijds.

De ruimtelijke bouwstenen van beide sporen hebben betrekking op het aanpassen van het afwateringssysteem en/of het aanpassen van het landgebruik. Daarnaast is er nog een derde spoor waarbij de kunstmatige aan- en afvoer in beschouwing wordt genomen.



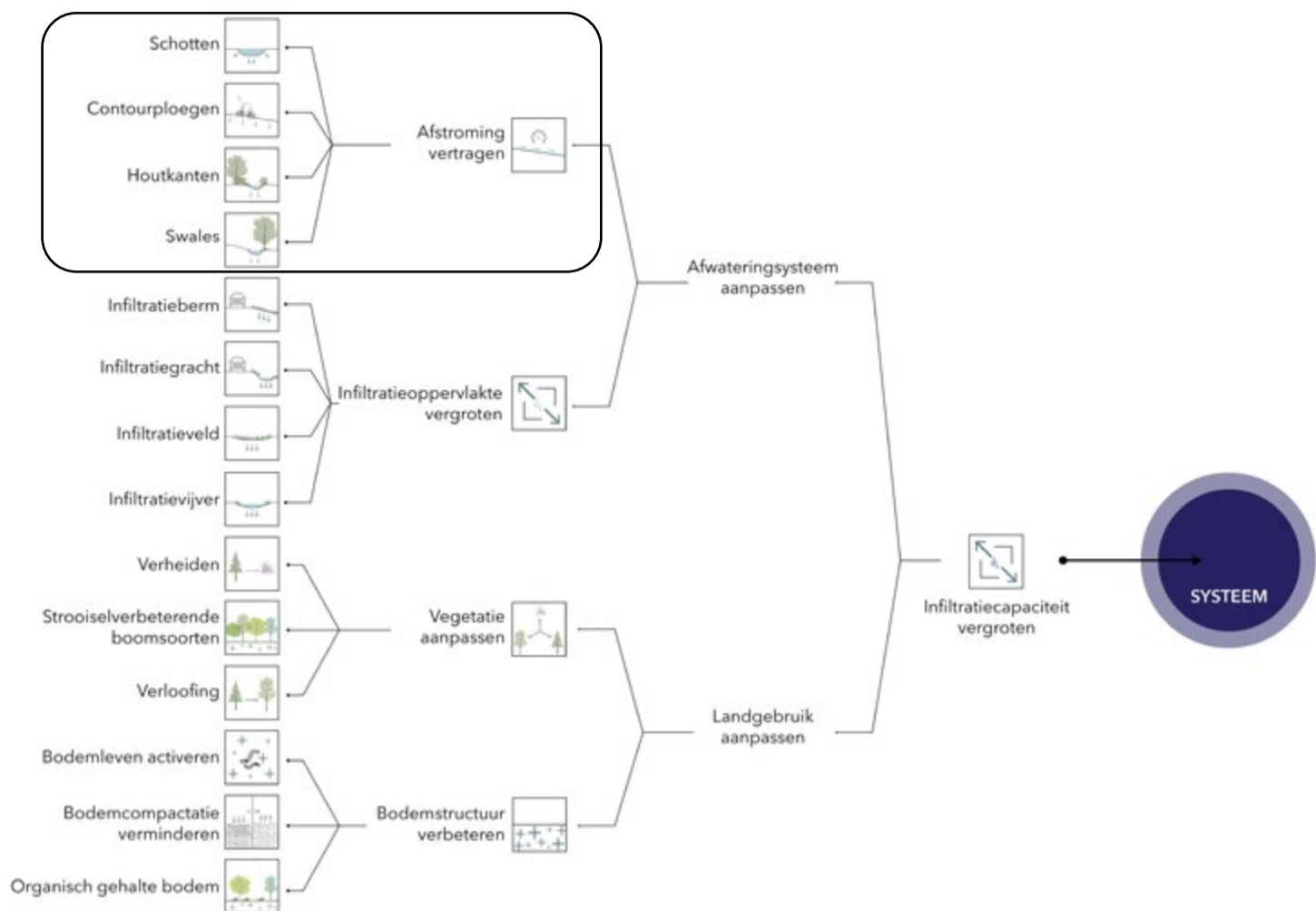
1) Infiltratiecapaciteit vergroten (Input)

Het betreft maatregelen die genomen kunnen worden om hemelwater optimaler te laten infiltreren in ondergrondse waterlichamen. Om het water meer kansen te geven om te infiltreren kunnen we het landgebruik aanpassen en/of het infiltratieoppervlak vergroten. Bij de aanpassing van het landgebruik maken we een opdeling in de bovengrondse vegetatie en wat er zich afspeelt onder het maaiveld.

2) Kwelverliezen beperken (Output)

Het betreft maatregelen die genomen worden om het hemelwater langer vast te houden in ondergrondse waterlichamen en kwelverliezen op natuurlijke of kunstmatige wijze te beperken. Om de verliezen te beperken kunnen we enerzijds het traditionele landgebruik aanpassen door in te zetten op een adaptief landgebruikssysteem. Anderzijds kunnen we het afwateringssysteem zelf aanpassen waardoor de natuurlijke kwel die aan het oppervlak komt langer wordt vastgehouden.

Ondergronds watersysteem - afwateringsysteem aanpassen



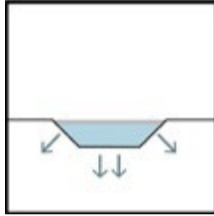
Afstroming vertragen

Door de afstroming te vertragen krijgt het water meer tijd om in de bodem te infiltreren. Deze inrichtingsmaatregelen zorgen ervoor dat het water langer wordt vastgehouden.



AFSTROMING VERTRAGEN

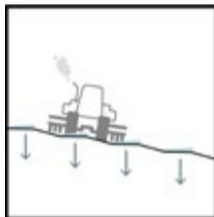
Schotten



Schotten kunnen in kleine waterlopen gezet worden om het water langer op te houden en het meer tijd te geven om in de bodem te infiltreren.



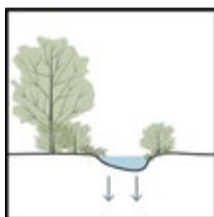
Contourploegen



Contourploegen is het ploegen in een richting die de contour volgt, met behoud van dezelfde hoogte. Hierdoor wordt erosie tegengegaan.



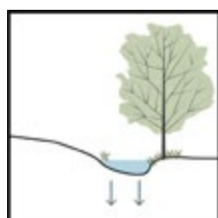
Houtkanten



Houtkanten en houtwallen vervulden vroeger allerlei functies. Ze bakenden percelen af, hielden het vee tegen, beschermden tegen wind en erosie en leverden brand- en geriefhout.



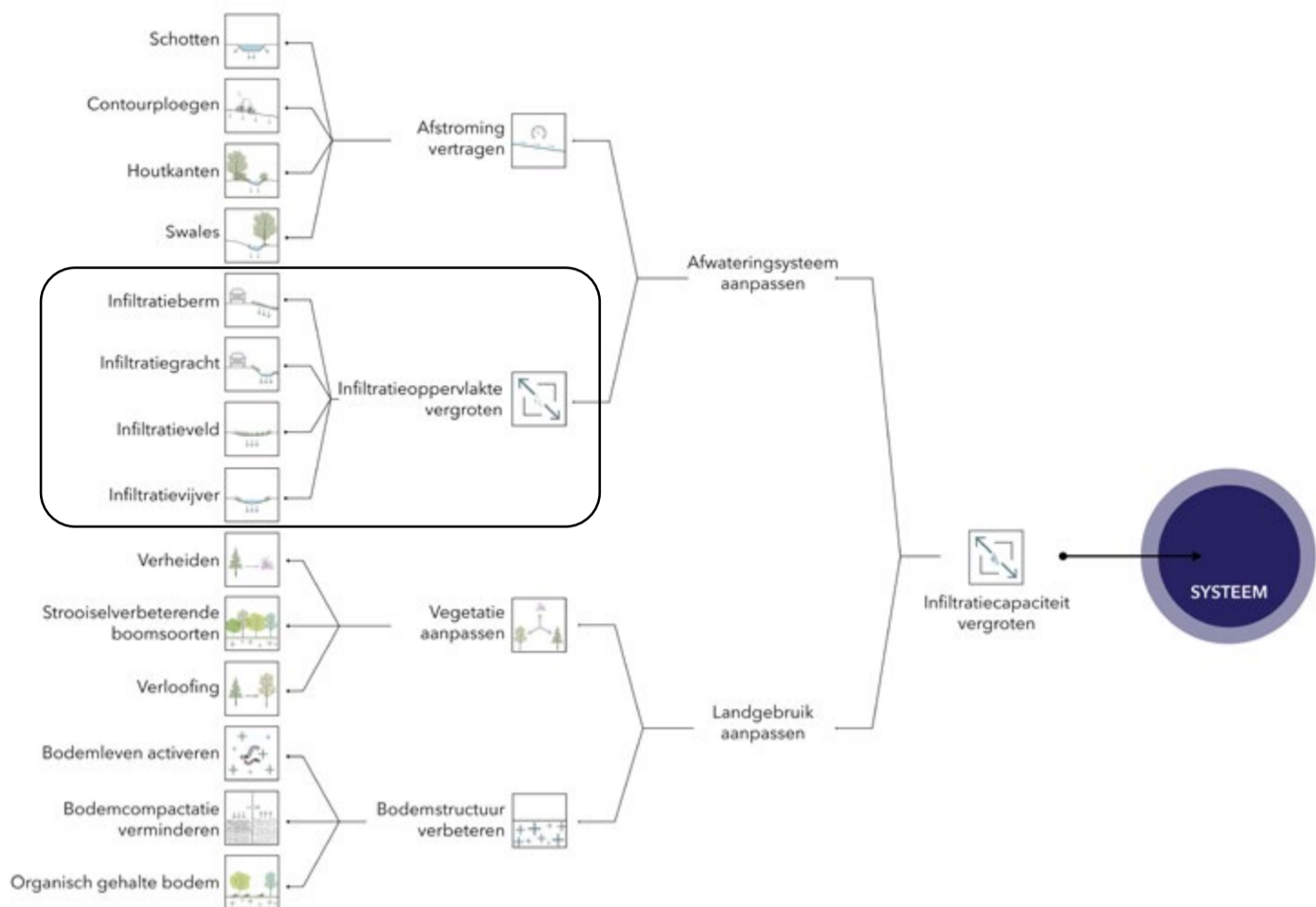
Swales



Een landbouwer kan 'swales' aanleggen om afstromend water op te vangen en te laten infiltreren. Swales zijn kleine bermen langs de hoogtelijn waarop bomen aangeplant worden.



Ondergronds watersysteem - afwateringsysteem aanpassen



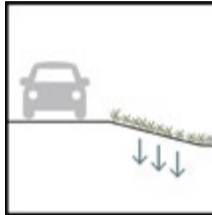
Infiltratieoppervlakte vergroten

Door het infiltratieoppervlak te vergroten krijgt het water meer tijd om in de bodem te infiltreren. Dit kan gebeuren via lineaire structuren (bermen en grachten) of vlakvormige structuren (velden en vijvers).



INFILTRATIEOPPERVLAKTE VERGROTEN

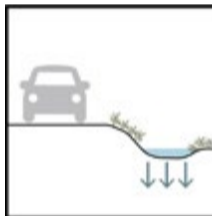
Infiltratieberm



Door naast verhardingen infiltratiebermen aan te brengen die het afvloeiende hemelwater tijdelijk op kunnen slaan, kan op een eenvoudige wijze het water worden geïnfiltreerd. Naast de hoeveelheid neerslag die gebufferd dient te worden, is de doorlaatbaarheid van de bodem voor de dimensionering van belang.



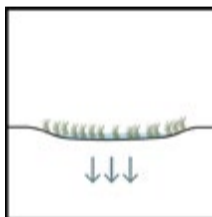
Infiltratiegracht



Een infiltratiegracht is een lijnvormige infiltratievoorziening die verdiept is aangelegd met steile randen.



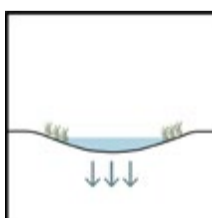
Infiltratieveld



Een infiltratieveld is een veldje waar regenwater kan infiltreren in de ondergrond. Een verlaagd grasveld is hier een voorbeeld van. Als een zone iets verdiept wordt aangelegd, kan hier regenwater in gebufferd worden om vervolgens langzaam in de grond te infiltreren.



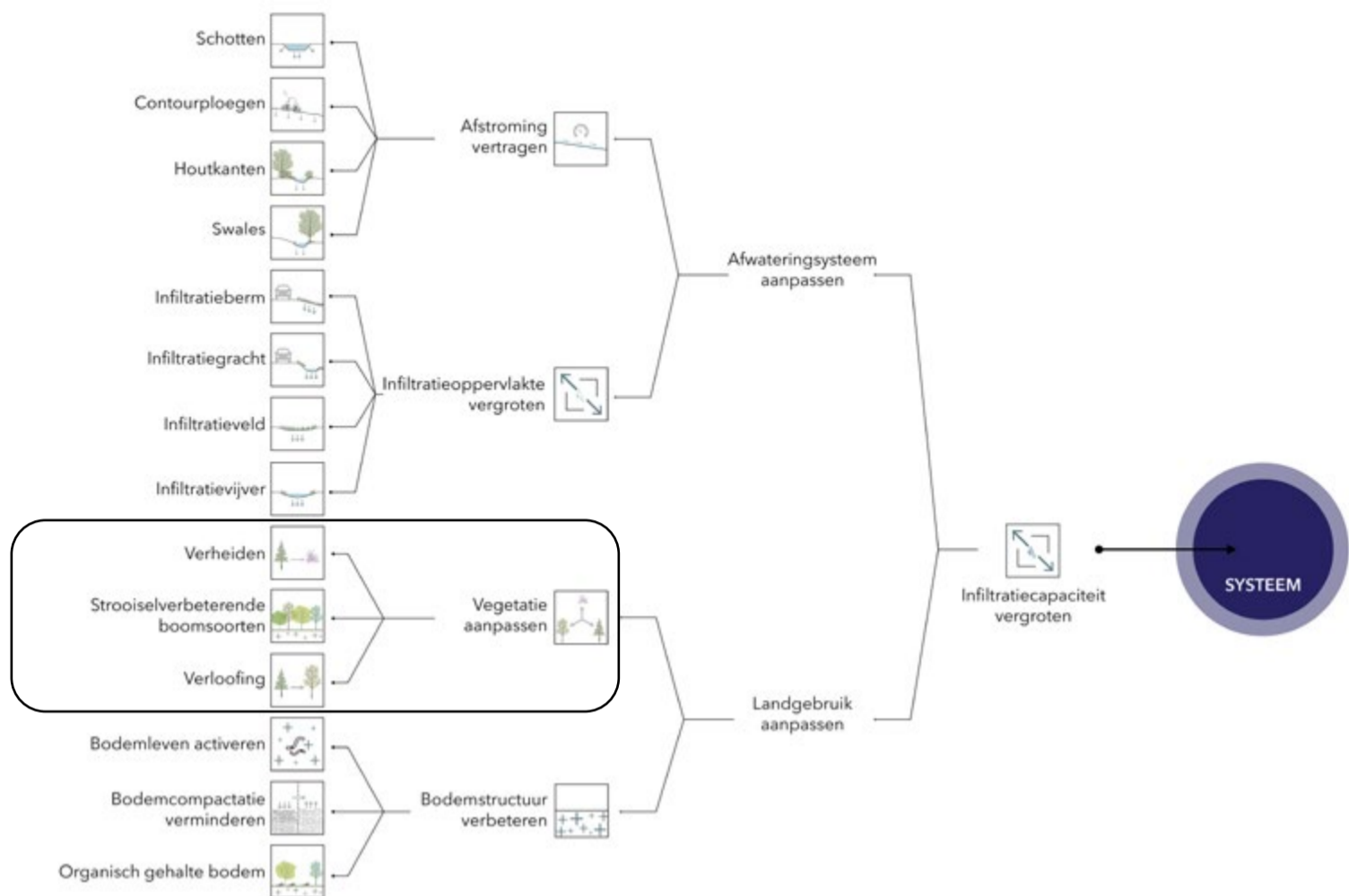
Infiltratievijver



Infiltratievijvers vangen de neerslag op en laten het hemelwater vertraagd in de ondergrond infiltreren. Tijdens een regenbui wordt het regenwater in de vijver opgeslagen.

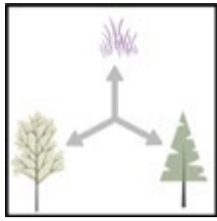


Ondergronds watersysteem - landgebruik aanpassen



Vegetatie aanpassen

Door de vegetatie aan te passen kan het vochthoudend vermogen van de bodem worden vergroot wat gunstig is voor het grondwaterpeil. Dit kan gebeuren door naaldbossen om te zetten naar heidegronden of loofbossen en/of gebruik te maken van boomsoorten met een beter afbreekbare strooisellaag.



VEGETATIE AANPASSEN

Verheiden



De omvorming van naaldbossen op zandige gronden naar heide draagt ertoe bij om een gunstig waterpeil in vennen te handhaven en vergroot het aandeel regenwater dat kan infiltreren in de ondergrond.



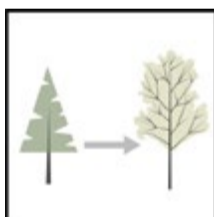
Strooiselverbeterende boomsoorten



Door boomsoorten te gebruiken die makkelijk te verteren strooisel hebben zal het organisch gehalte in de bodem verbeteren. Dit staat in verbinding met het vochthoudend vermogen van de bodem. De verbetering van de strooisellaag gaat nauw samen met de activatie van het bodemleven.



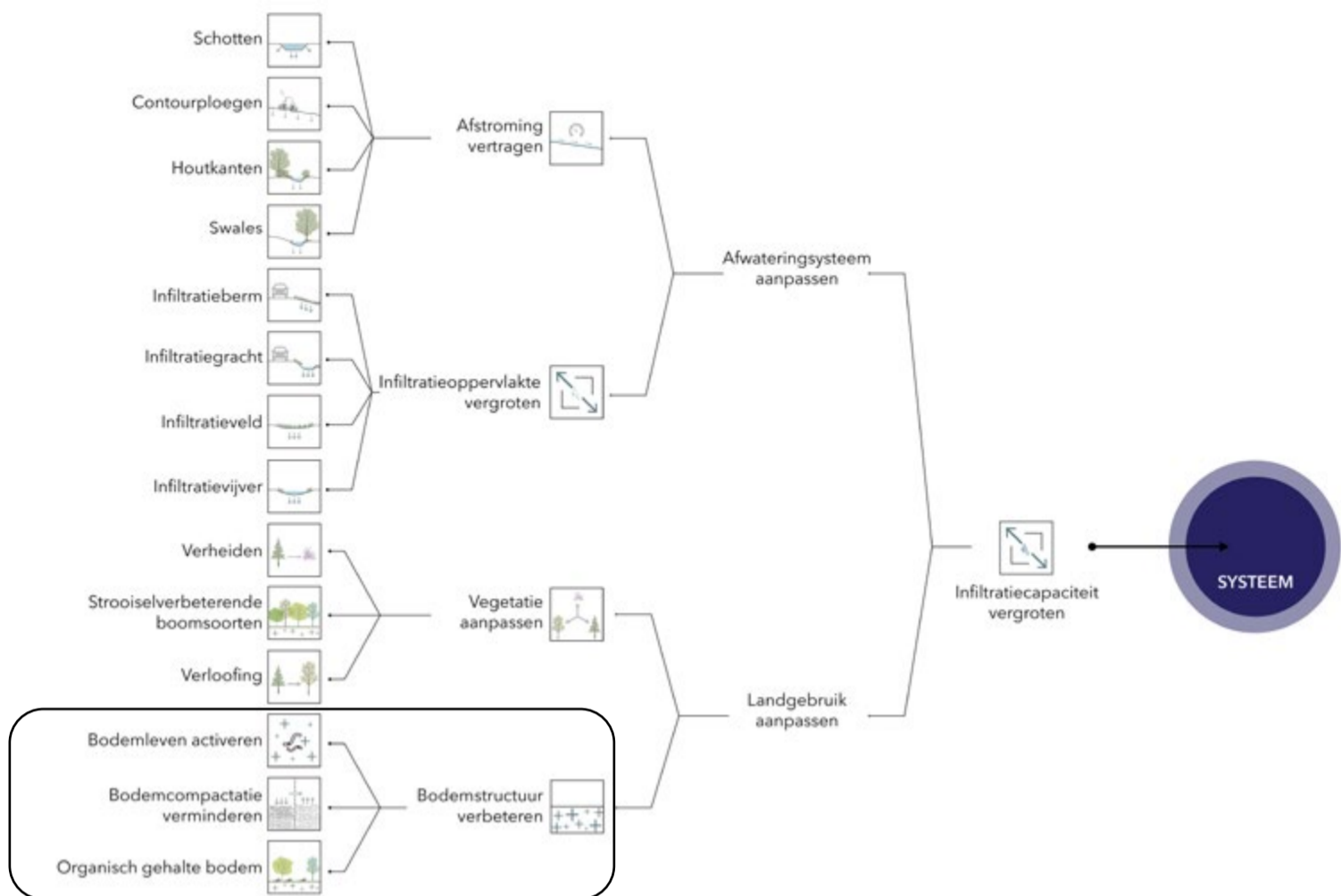
Verloofing



Omvorming van naaldbos naar loofhoutbos draagt ertoe bij om een gunstig grondwaterpeil in vennen te handhaven. Naaldbomen verdampen meer water dan loofbomen en hun naalden zorgen voor verzuring van de bodem, wat slecht is voor het vochthoudend vermogen van de bodem.

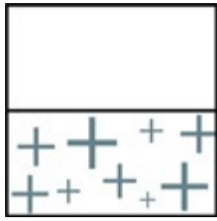


Ondergronds watersysteem - landgebruik aanpassen



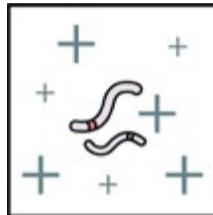
Bodemconditie aanpassen

Door de bodemstructuur aan te passen kan het vochthoudend vermogen van de bodem worden vergroot. Dit kan gebeuren door het bodemleven te activeren, bodemcompactie tegen te gaan en/of het organische gehalte van de bodem te verhogen.



BODEMSTRUCTUUR VERBETEREN

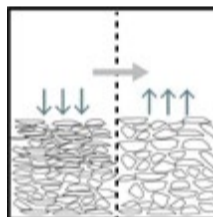
Bodemleven activeren



Een rijk bodemleven zorgt ervoor dat bodemprocessen optimaal verlopen. Organisch materiaal wordt omgezet in mineralen die planten kunnen opnemen. Door de lange tunnels die regenwormen graven kan de bodem meer water opnemen, vasthouden en infiltreren. Vooral de microporiën in de aggregaten vergroten het vochthoudend vermogen. De activatie van het bodemleven kan enkel succesvol zijn als de strooisellaag aangevuld wordt.



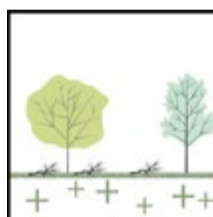
Bodemcompactie verminderen



Door bodemverdichting gaat de bodemstructuur verloren, waardoor regenwater minder makkelijk tot bij de wortels dringt en dat de uitwisseling van stoffen trager verloopt dan bij gezonde bodems. Minder bodemverdichting kan bekomen worden door minder gebruik van zware machines op natte bodems.



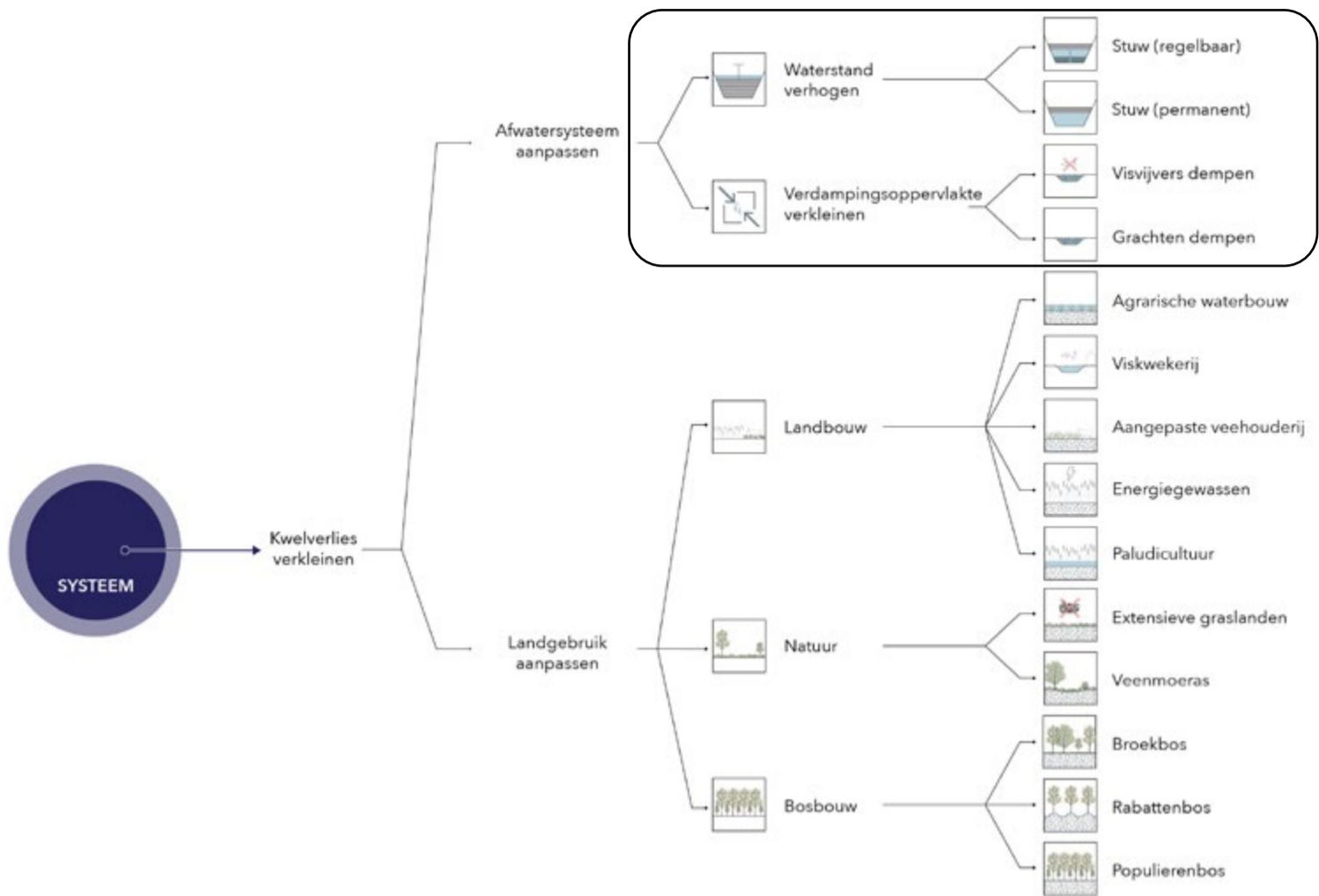
Organisch gehalte bodem



De bodem moet voldoende organisch materiaal bevatten om voldoende water vast te kunnen houden en bestand te zijn tegen verzilting, erosie en droogte. Dit kan door toediening van organische bemesting (dierlijke meststoffen, compost,...), beheersmaatregelen (gewasrotatie, groenbedekkers, tijdelijk grasland,...), alternatieve landbouwsystemen (minimale bodembewerking, biologische landbouw,...).

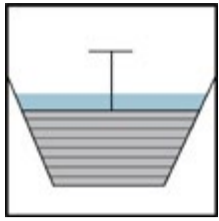


Ondergronds watersysteem - Afwateringssysteem aanpassen



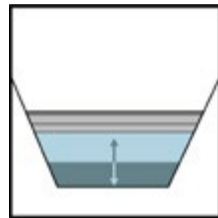
Afwateringssysteem aanpassen

Het betreft maatregelen die genomen worden om het kwilverlies te beperken door snelle afwatering in een gebied tegen te gaan.



Waterstand verhogen

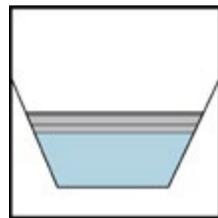
Stuw (regelbaar)



Een regelbare stuw in de perceelsgracht geeft de beheerder de mogelijkheid om het wegvloeiende water tegen te houden, waardoor het water kan infiltreren. Zo wordt de waterbuffer weer aangevuld.



Stuw (permanent)

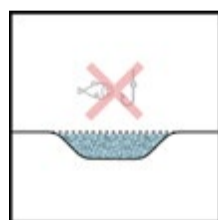


Een permanente stuw in de perceelsgracht bestaat uit één of meerdere panelen die het water tegenhouden. In tegenstelling tot de regelbare stuw kan er niet gekozen worden om het water toch te laten doorstromen.



Verdampingsoppervlakte verkleinen

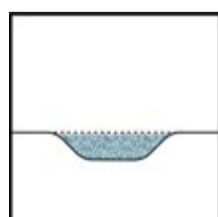
Visvijvers dempen



Voor het dempen van de vijver wordt deze eerst afgevisd. Hierna kan deze gedempt worden en kan de natuur zich herstellen.



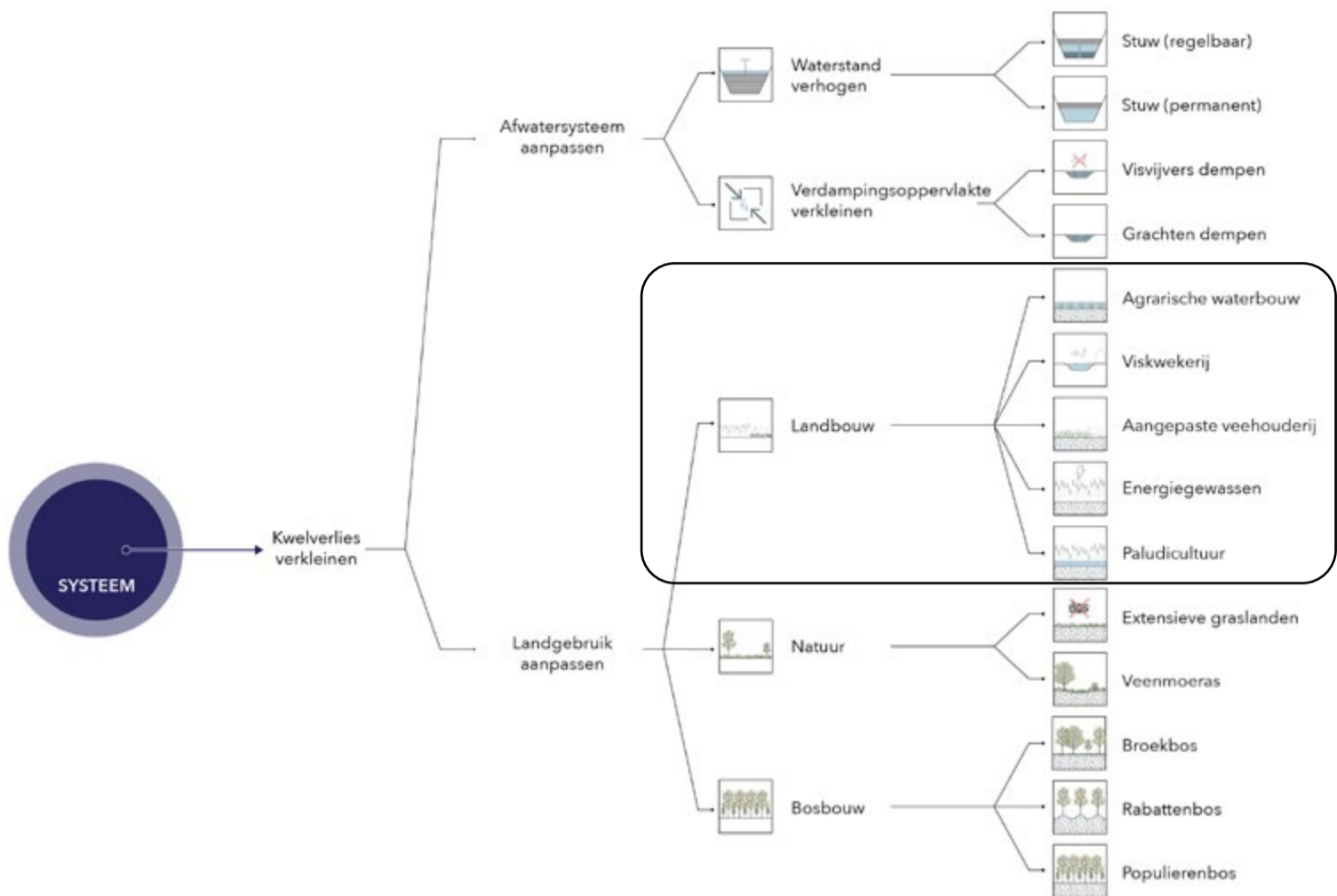
Grachten dempen



Door het verondiepen van drainagegrachten kan de grondwatertafel stijgen doordat er minder gedraineerd wordt.



Ondergronds watersysteem - Landgebruik aanpassen



Landgebruik aanpassen-Landbouw

Het betreft maatregelen die genomen worden om natte gebieden in te zetten voor landbouwproductie. Daarbij wordt gebruik gemaakt van landbouwteelten die aangepast zijn aan de vochtige tot natte bodemcondities. Hierdoor vermijden we sterke drainage in productief landbouwgebied.



Landbouw

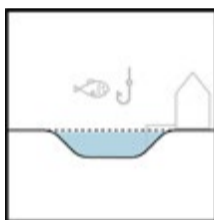
Agrarische waterbouw



Waterberging kan worden gecombineerd met landbouw door het verbouwen van waterbestendige gewassen en in gebieden met brakke kwel ook met zouttolerante gewassen (zeekraal, wieren).



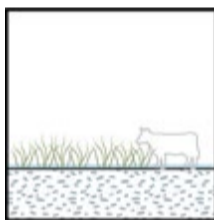
Viskwekerij



In waterbergingsgebieden kunnen viskwekerijen worden gestart zodat er voedselproductie kan plaatsvinden als extra functie.



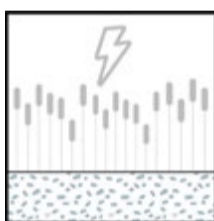
Aangepaste veehouderij



In natte gebieden kan de veeteelt worden aangepast door het inzetten van vee dat aangepast is aan natte condities.



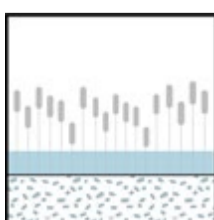
Energiegewassen



Gewassen die als brandstof kunnen dienen, zoals wilgen, hennep, vlas en riet, worden energieteelten genoemd. Deze behoeven veel water. Dit biedt perspectieven voor functiecombinatie met waterberging. Van verschillende energiegewassen is bovendien bekend dat deze gewassen ernstig verontreinigd slib kunnen reinigen.



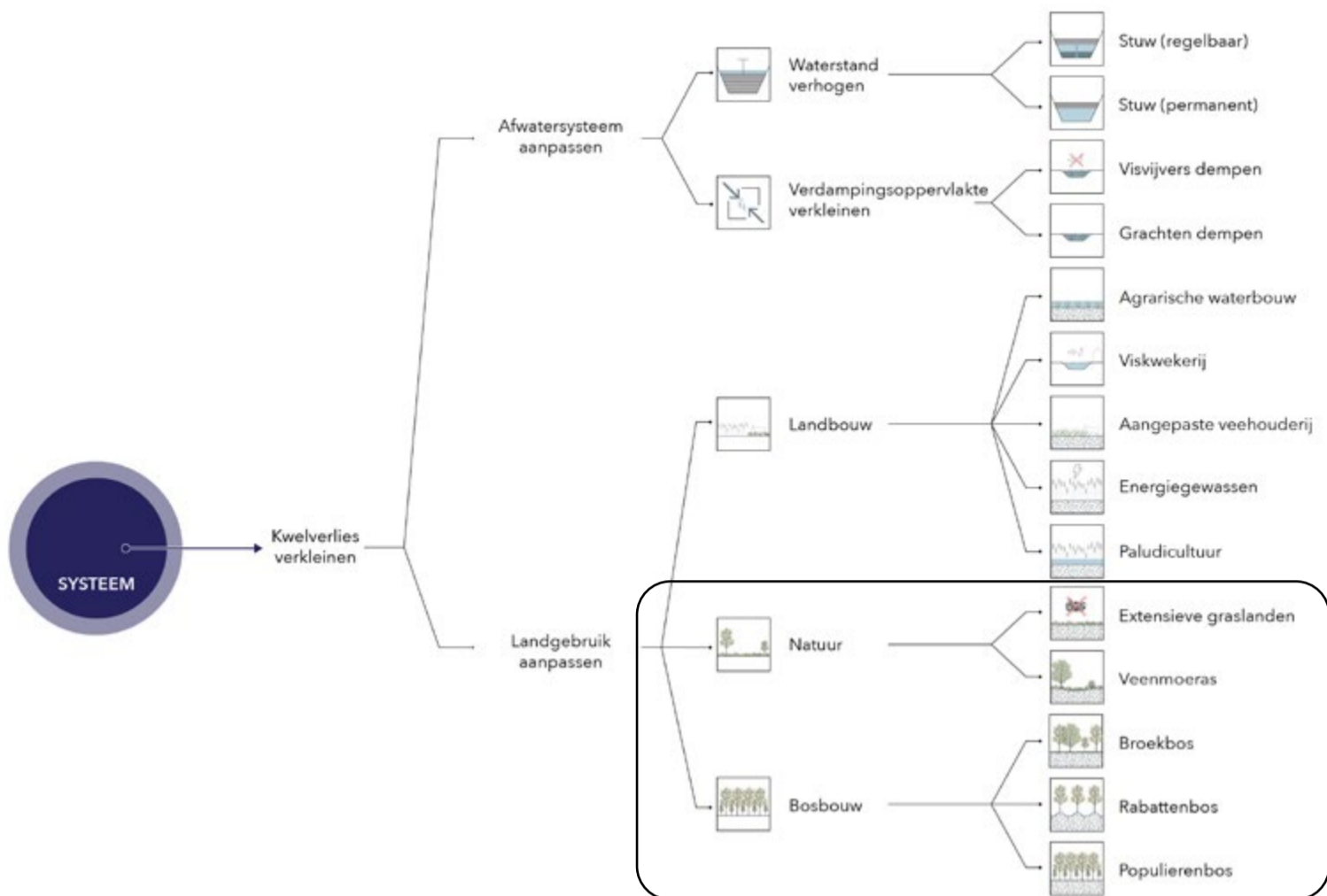
Paludicultuur



Paludicultuur is een nieuwe vorm van landbouw die geschikt is om toe te passen in gebieden met een hoge grondwaterstand, zoals veengebieden. Gewassen die verbouwd kunnen worden zijn bijvoorbeeld lisdodde, veenmos, kroosvaren, cranberries, riet, wilgen en wilde rijst.



Ondergronds watersysteem - landgebruik aanpassen



Landgebruik aanpassen-Natuur-Bosbouw

Het betreft maatregelen die genomen worden om natte gebieden om te zetten naar natuurgebieden (veenmoerassen of vochtige extensieve graslanden) of aangepaste bosbouw (rabattenbos of populierenbos).



Natuur

Extensieve graslanden



Extensieve graslanden zijn vegetaties waar lichte begrazing op wordt toegepast. Tot deze categorie kunnen ondermeer heischraal grasland, blauwgrasland, dotterbloemgrasland en mesofiel hooiland gerekend worden.



Veenmoeras



Waterberging kan ook plaats vinden in daartoe aangelegde grootschalige veenmoerasgebieden. In dergelijke gebieden kan in natte perioden veel water worden geborgen.



Bosbouw

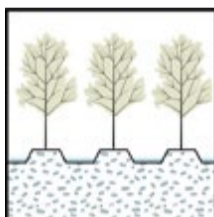
Broekbos



De broekbossen komen voor op zeer natte standplaatsen, die 's winters meestal onder water staan en 's zomers ten hoogste oppervlakkig uitdrogen. De overstromingen kunnen dus elk jaar maanden lang duren. Er treedt dan ook veenvorming op ten gevolge van de hoge waterstand.



Rabattenbos



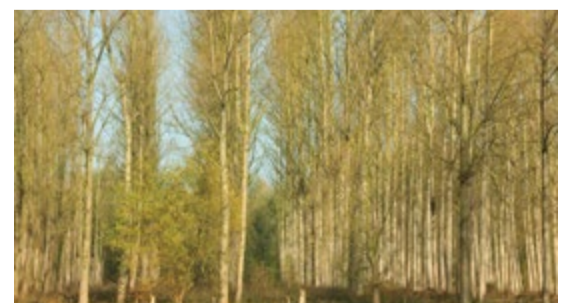
Een rabattenbos is een bos dat uit opgehoogde bedden of rabatten bestaat, die van elkaar gescheiden zijn door parallelle greppels. De term 'rabat' werd al sinds de 16de eeuw gebruikt om tuinbedden aan te duiden, maar pas in de 19de eeuw is men de term ook beginnen te gebruiken in de bosbouw.



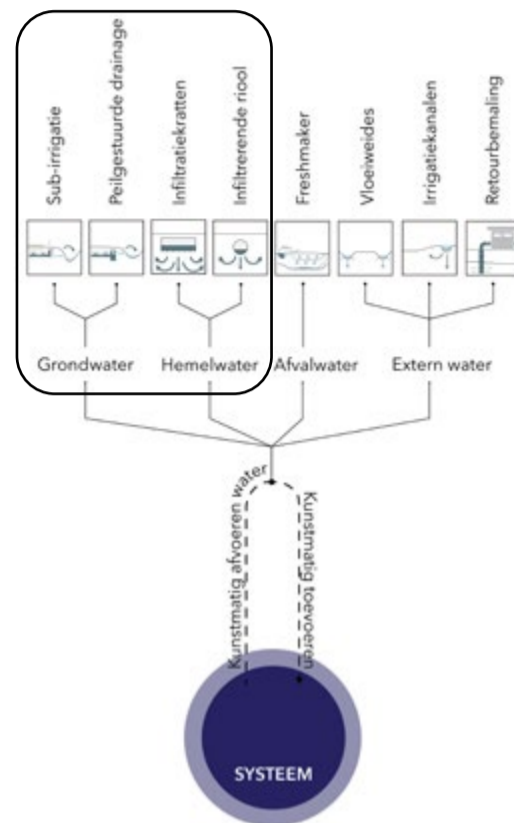
Populierenbos



Populierenbossen worden vaak in rijen aangeplant. De bomen kunnen goed gedijen op vochtige bodems.



Ondergronds watersysteem - Kunstmatig af- en toevoeren water



Kunstmatig af-en toevoeren water

De kunstmatige af- en toevoeren van water kan op verschillende manieren gebeuren. Daarbij maken we een onderscheid tussen grondwater, hemelwater, afvalwater en/of extern water. Het doel is om via infrastructurele ingrepen het water te laten infiltreren in de bodem.

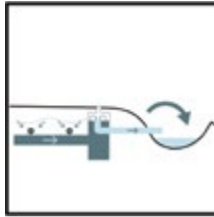
Het grondwaterpeil kan via peilgestuude drainage of sub-irrigatie worden beïnvloed. Het hemelwater kan via infiltratiekratten of infiltrerende riolering naar de ondergrond worden geleid.



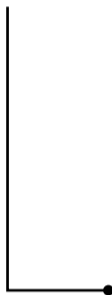
Grondwater



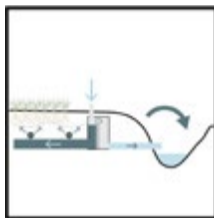
Peilgestuurde drainage



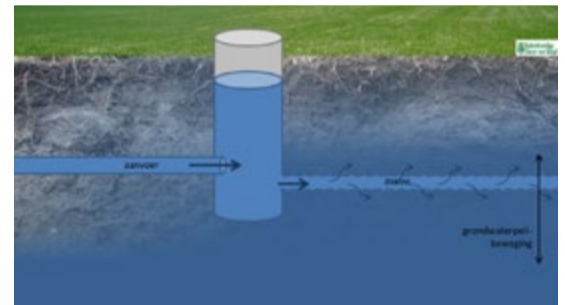
Peilgestuurde drainage is een eenvoudig systeem waarbij drainaigebuizen niet rechstreeks uitmonden in een naburige sloot, maar zijn aangesloten op een verzamelbuis aan de rand van het perceel. Die buis loopt naar een verzamelput, waar de eigenlijke peilregeling plaatsvindt met behulp van een regelbuis.



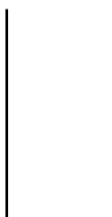
Sub-irrigatie



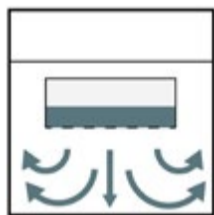
Dit is een techniek waarbij water in de bodem van een landbouwperceel wordt gebracht via een ondergronds infiltrerend buizenet. In wezen is dit een drainagesysteem waarvan de werking wordt omgedraaid: water wordt in de drains geleid en infiltreert door de drainopeningen in de bodem. Hierdoor vernat de bodem rond de drains en wordt het grondwater gevoed waardoor het grondwaterpeil kan stijgen.



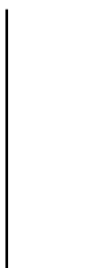
HEMELWATER



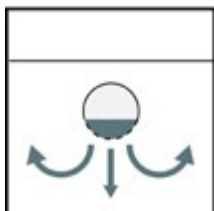
Infiltratiekratten



Infiltratiekratten bufferen het regenwater ondergronds en maken dubbel grondgebruik mogelijk. Ze hebben hierdoor in het algemeen een grotere opslagcapaciteit dan bovengrondse infiltratievoorzieningen. Er kan dus meer regenwater tijdelijk gebufferd worden en vertraagd afgestaan worden aan het grondwater.



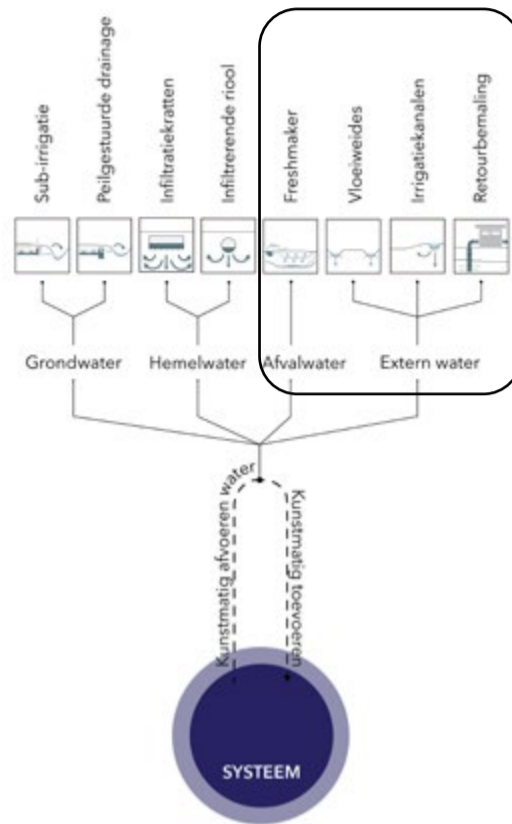
Infiltrerende riool



Een riool in de vorm van een met geotextiel omwikkelde geperforeerde horizontale buis draineert de bodem, laat het water infiltreren en voert het daarnaast af. Dergelijke voorzieningen worden toegepast naast verharde oppervlakken of naast onverharde oppervlakken waar geen ruimte is voor een infiltratiegreppel of waar de doorlatendheid van de bodem te gering is.



Ondergronds watersysteem - Kunstmatig af- en toevoeren water

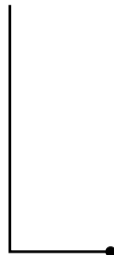


Kunstmatig af-en toevoeren water

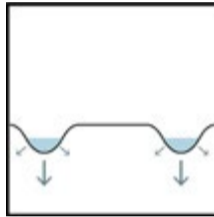
Het extern water kan via een systeem van vloeiweides, retourbemaling of irrigatiekanalen naar de ondergrond worden geleid.



Extern water



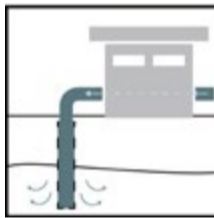
Vloeiweides



Een vloeiweide is grasland dat periodiek bevoeid wordt met water uit beken of kanalen en daarbij oppervlakkig wordt geïnfilteerd.



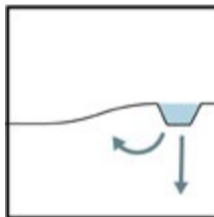
Retourbemaling



Als een bemaling tijdelijk noodzakelijk is om bouwkundige werken uit te kunnen voeren, verdient het de voorkeur om het bemalingswater (beperkt tot het strikt noodzakelijke) terug in de grond te brengen zodat er netto minder water opgepompt wordt. Dit kan door het bemalingswater te retourneren via infiltratieputten, infiltratiebekkens of infiltratiegrachten.



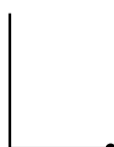
Irrigatiekanalen



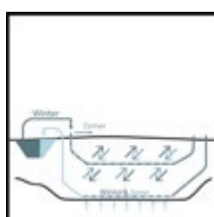
Irrigatiekanalen worden gebruikt om terreinen te bevoeien. De toevoer van water is regelbaar.



AFVALWATER



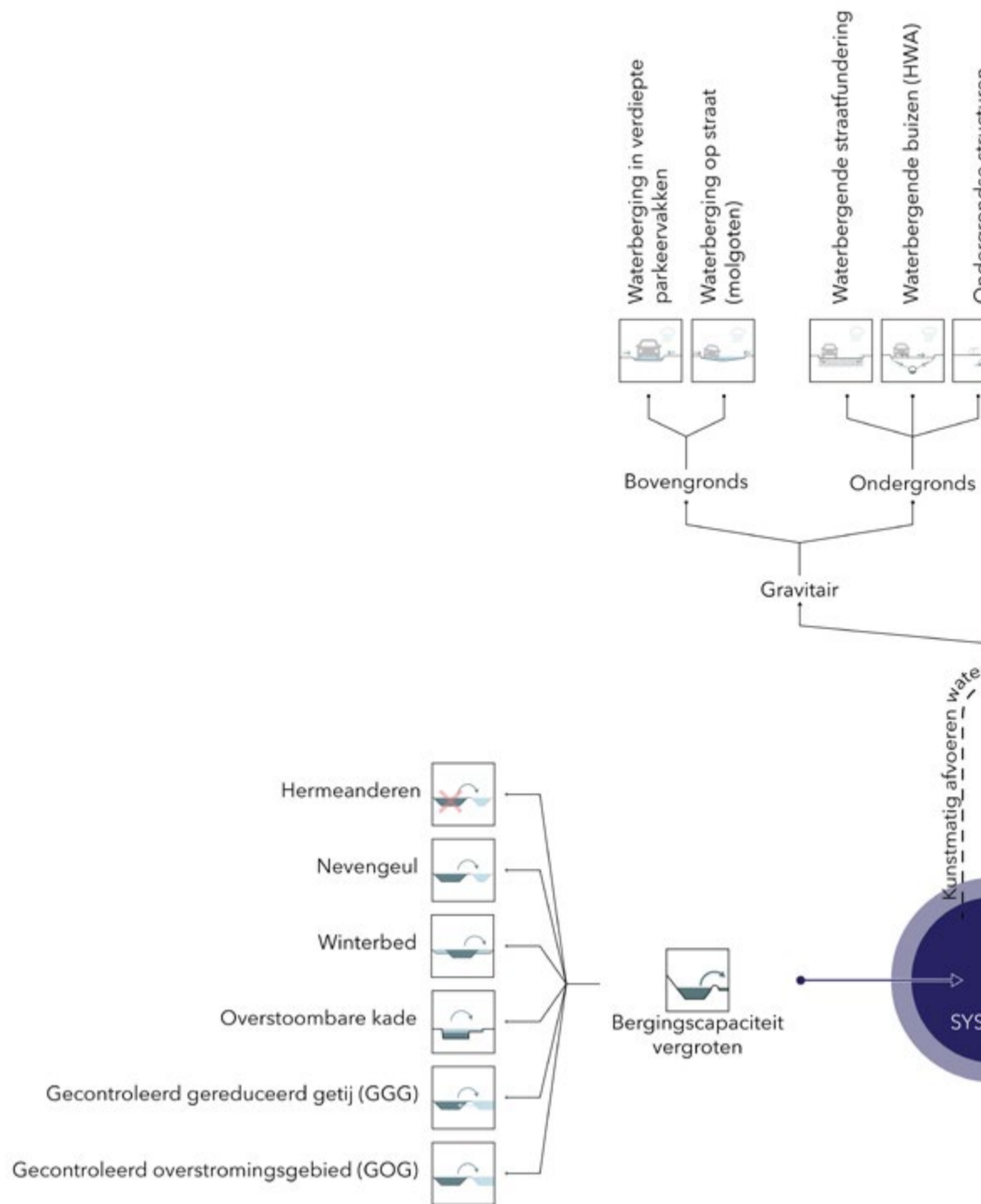
Freshmaker



De Freshmaker infiltreert overtollig zoet water via één of meer ondiepe horizontale putten in een bestaande zoetwaterlens. Met één of meer diepere horizontale putten wordt tegelijkertijd zoutwater onttrokken om ruimte te maken en te voorkomen dat zoet water opdrijft in het zoute water.



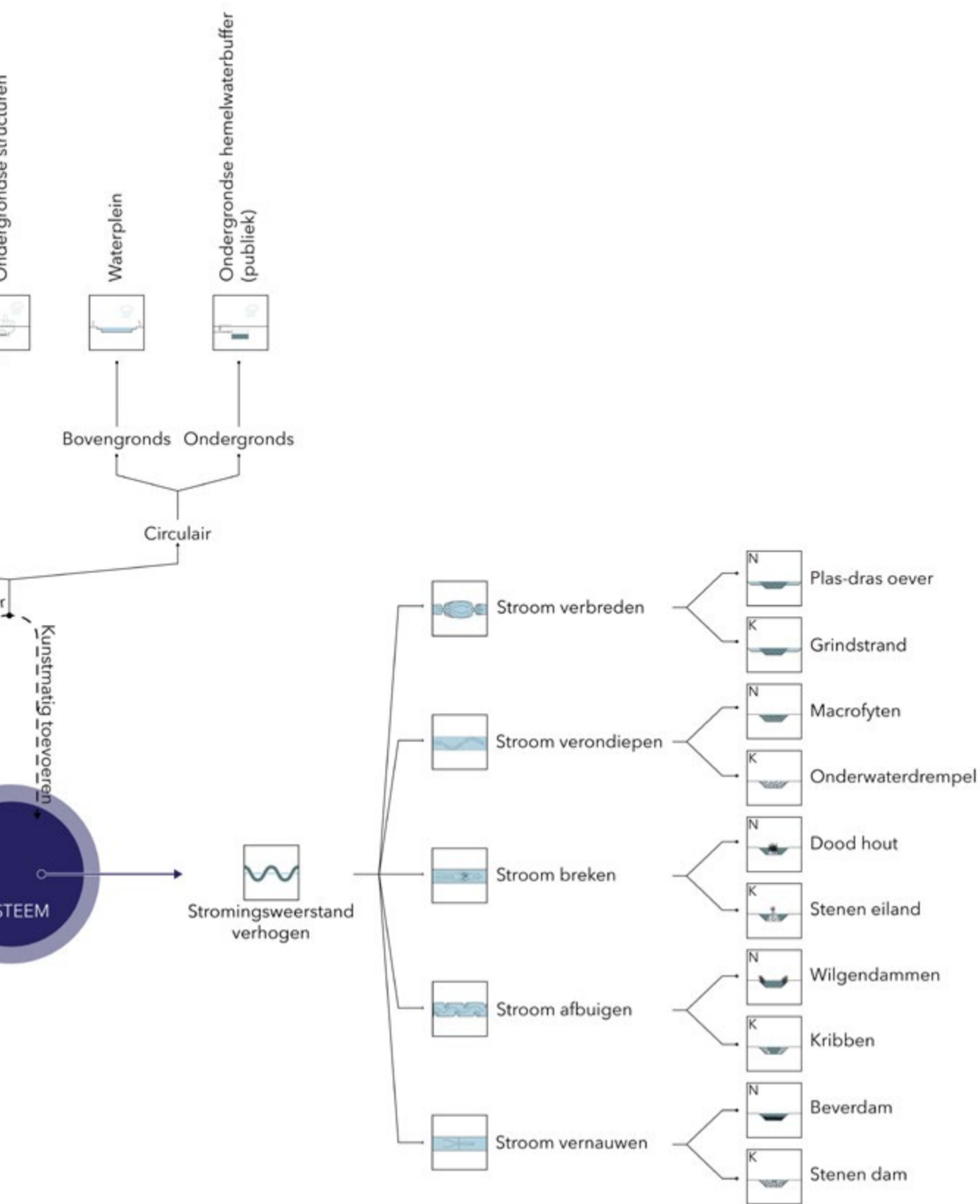
Bovengronds watersysteem



Bouwstenenschema voor bovengronds watersysteem

B. BOVENGRONDS WATERSYSTEEM

Het bovengronds watersysteem heeft betrekking op stromende waterlopen. Waterlopen kunnen op twee manieren worden gestuurd in functie van het vasthouden van water: door het vergroten van de bergingscapaciteit en/of door het verhogen van de stromingsweerstand. Daarnaast is er nog een derde spoor waarbij de kunstmatige aan- en afvoer in beschouwing wordt genomen.



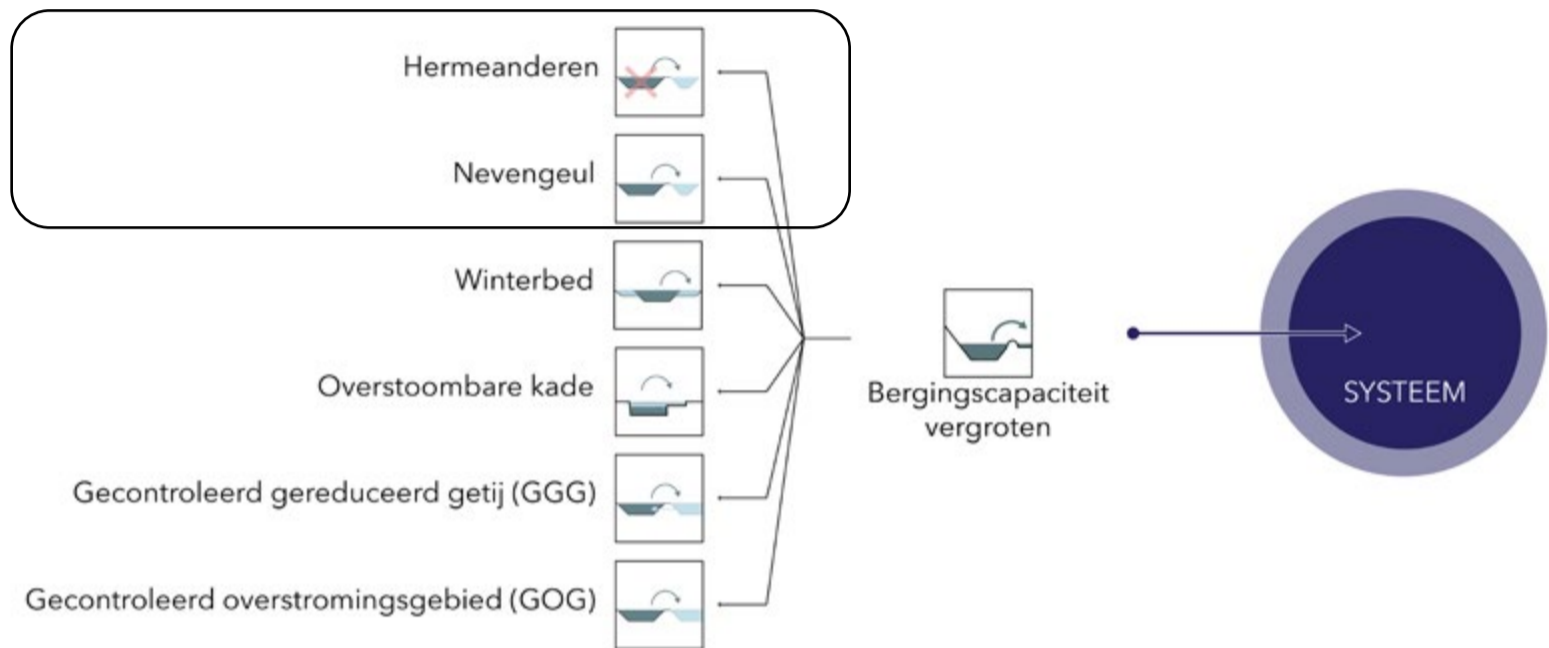
1. Vergroten van de bergingscapaciteit (Input)

Het betreft maatregelen die genomen worden om de bergingscapaciteit van bovengrondse waterlichamen te vergroten. Deze maatregelen kunnen opgedeeld worden in acties die binnen de bedding van de waterloop gerealiseerd worden alsook ingrepen die naast de bedding uitgevoerd kunnen worden.

2. De stromingsweerstand verhogen (Output)

Het betreft maatregelen die genomen worden om de stromingsweerstand van bovengrondse waterlichamen te vergroten. Deze maatregelen kunnen opgedeeld worden in acties die binnen de bedding van de waterloop gerealiseerd worden alsook ingrepen die naast de bedding uitgevoerd kunnen worden.

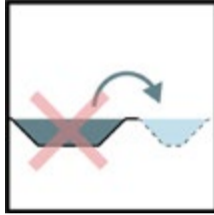
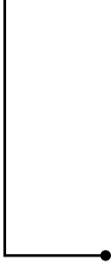
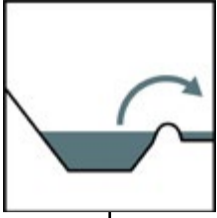
Bovengronds watersysteem - Bergingscapaciteit vergroten



Bergingscapaciteit vergroten

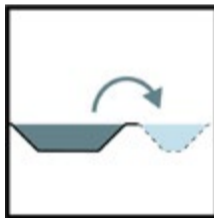
Het vergroten van de bergingscapaciteit kan gebeuren door hermeandering en/of het creëren van nevengeulen. Het volume aan water dat kan worden vastgehouden wordt vergroot waardoor de stromingssnelheid verlaagt en het water meer tijd krijgt om te infiltreren.

WATERVOLUME BUITEN DE STROOM VASTHOUDEN



Hermeanderen

Bij hermeandering wordt een rechte watergang heringericht tot een watergang die meandert. Hiermee wordt de lengte en dus de bergingscapaciteit van de watergang vergroot.

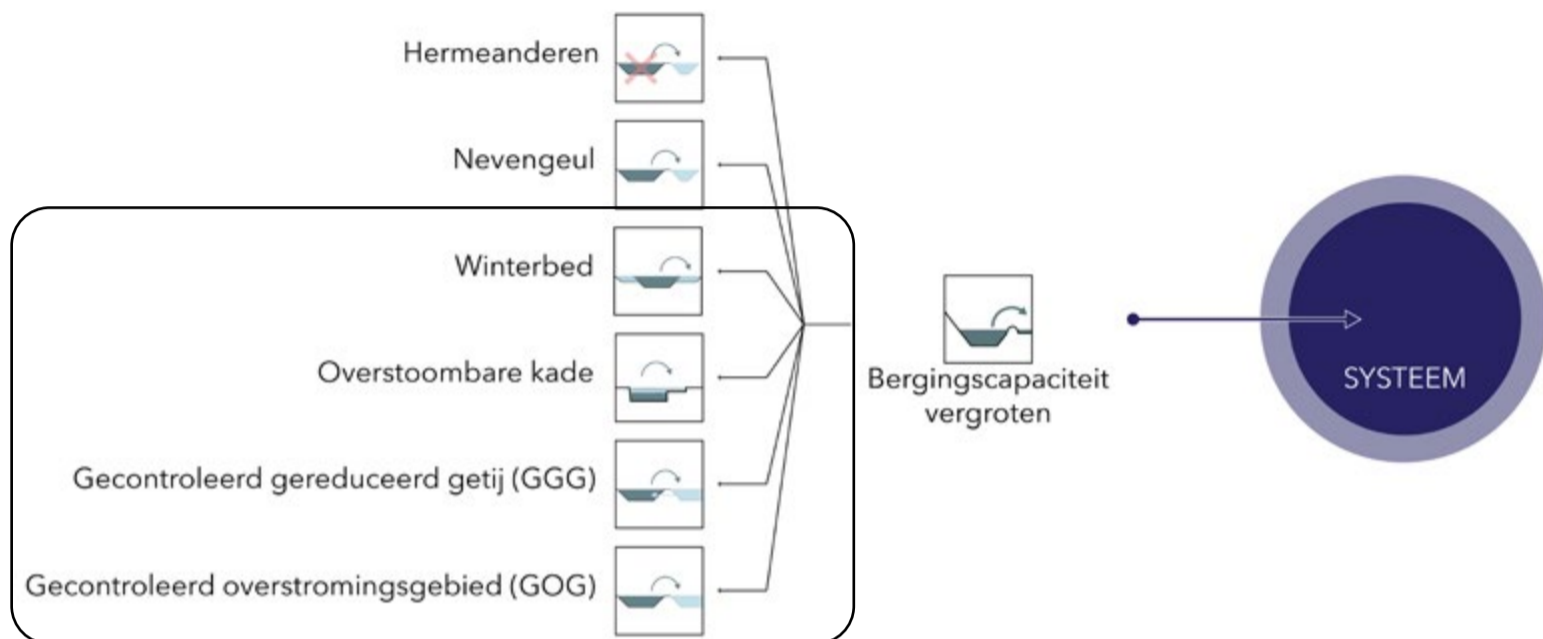


Nevengeul

Een nevengeul is een aftakking van de rivier die ongeveer parallel loopt met de hoofdriever. Door een nevengeul te herintroduceren wint de rivier aan ruimte en volume.

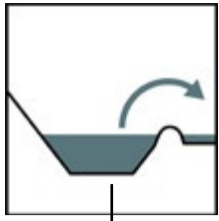


Bovengronds watersysteem - Bergingscapaciteit vergroten



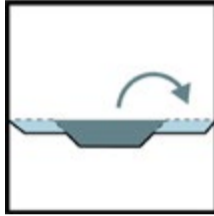
Bergingscapaciteit vergroten

Het vergroten van de bergingscapaciteit kan gebeuren door meer ruimte aan het water buiten de stroom te geven. Bij deze maatregelen wordt de maximale gecontroleerde hoeveelheid oppervlaktewater vergroot. Hierbij geldt dat er een groot oppervlak beschikbaar moet zijn om een zichtbaar effect te realiseren. Deze ingrepen geven het water tijd en ruimte om te infiltreren. Het teveel aan water wordt niet (direct) afgevoerd maar krijgt de kans om (tijdelijk) te worden gestockeerd.



WATERVOLUME BINNEN DE STROOM VASTHOUDEN

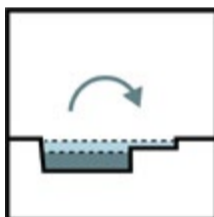
Winterbed



Door in de winter het wateroverschot op te slaan, kan een buffer van schoon water gecreëerd worden voor de drogere zomerperiode. De verbrede winterbedding zorgt voor meer overstromingsruimte. Het water blijft in de winterbedding tot het op natuurlijke wijze terug naar de rivier stroomt, in de grond dringt of verdampt.



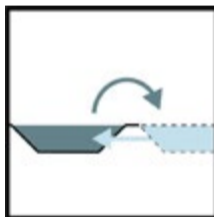
Overstroombare kade



Een overstroombare kade volgt hetzelfde principe als een winterbed. Het grootste verschil tussen beide is dat de overstroombare kade in stedelijke context van toepassing is met strakke, verharde oevers. Lokaal infiltreren is dus niet mogelijk. Dit geeft mogelijkheden om het water vertraagd te laten afvloeien naar een parkzone of het buitengebied en het daar te laten infiltreren.



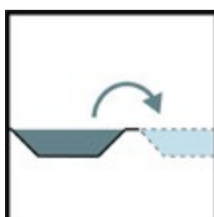
Gecontroleerd gereduceerd getij (GGG)



Een gecontroleerd gereduceerd getijdengebied heeft enkel een natuurfunctie. De instroom van het dagelijkse getij creëert getijdennatuur. Een inwateringssluis laat elke dag water in en uit het gebied stromen – op het ritme van eb en vloed. Bij vloed stroomt er water binnen, bij eb stroomt het terug naar de rivier. Na verloop van tijd ontstaat door dit proces zeldzame getijdennatuur met slikken en schorren.



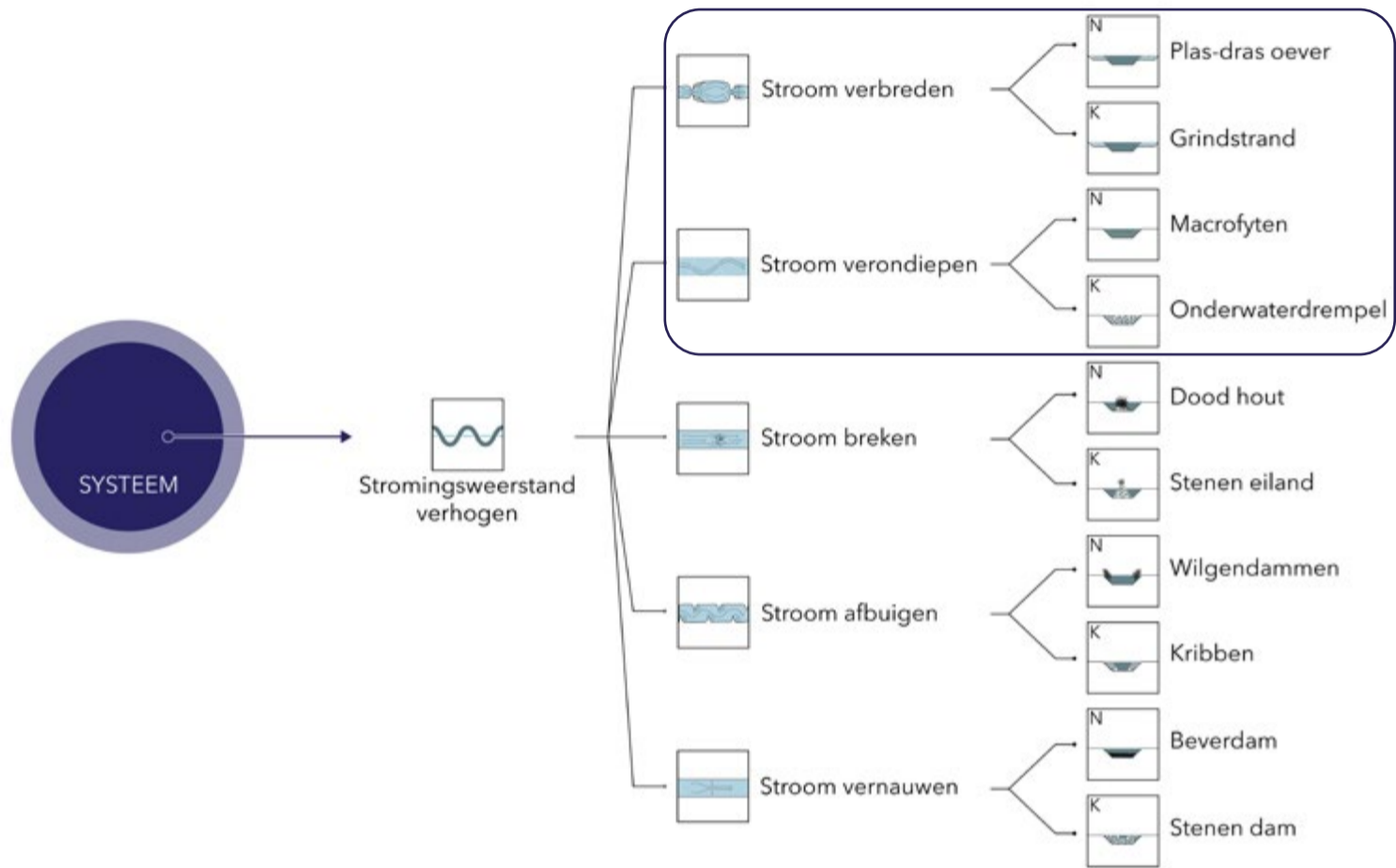
Gecontroleerd overstromingsgebied (GOG)



Een gecontroleerd overstromingsgebied is een polder waar het water bij extreme rivierafvoer wordt opgevangen zodat een ongecontroleerde overstroming op een onvoorspelbare tijd benedenstrooms wordt voorkomen.



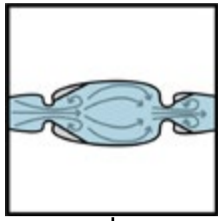
Bovengronds watersysteem - Stromingsweerstand verhogen



Stromingsweerstand vergroten

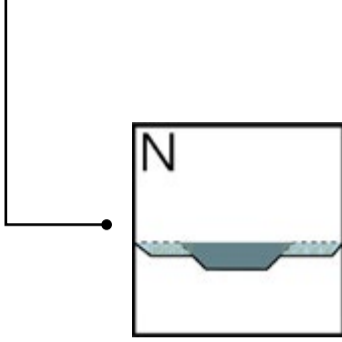
Het vergroten van de stromingsweerstand kan gebeuren door ingrepen binnen en/of naast de rivierbedding. We maken daarbij een onderscheid tussen natuurlijke ingrepen (N) en kunstmatige ingrepen (K).

Door de stroom te verbreden kan de stroomsnelheid worden verlaagd. Indien we dit combineren met extra ruimte voor water en/of verondiepen of extra weerstand voorzien, zal de rivier een minder 'drainerend' effect hebben en kunnen we meer water stockeren in de rivierbedding. De stroom verondiepen zal de rivier verplichten om meer ruimte in te nemen bij behoud van een zelfde debiet. Dit geeft meer tijd en ruimte aan het water. In kleinere lopen zoals grachten kunnen deze ingrepen het water de tijd geven om te infiltreren.



STROOM VERBREDEDEN

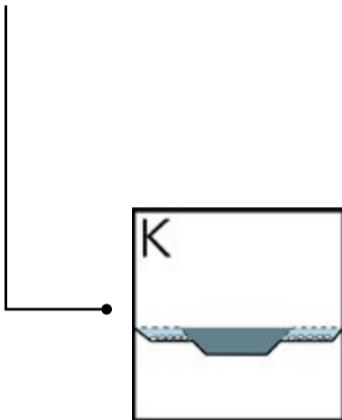
Plas-dras oever



In een plas-dras oeverzone wordt de fauna en flora versterkt door gradiënten tussen nat en droog te creëren.



Gravelstrand

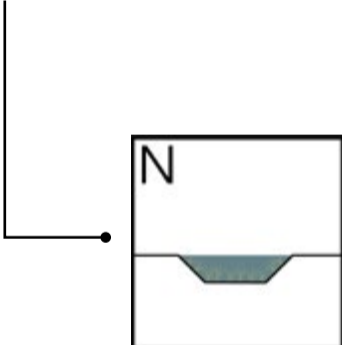


In de binnenbocht van een rivier kunnen gravelstranden ontstaan. Deze vertragen de stroming van de rivier.



STROOM VERONDIEPEN

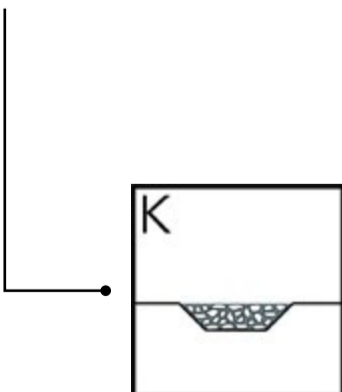
Macrofyten



Macrofyten zijn planten die leven onder water, op het wateroppervlak of langs de oever. Naarmate de ecologische kwaliteit van de waterlopen verbeterd zullen er meer macrofyten voorkomen. Macrofyten vertragen de stroomsnelheid van de rivier.



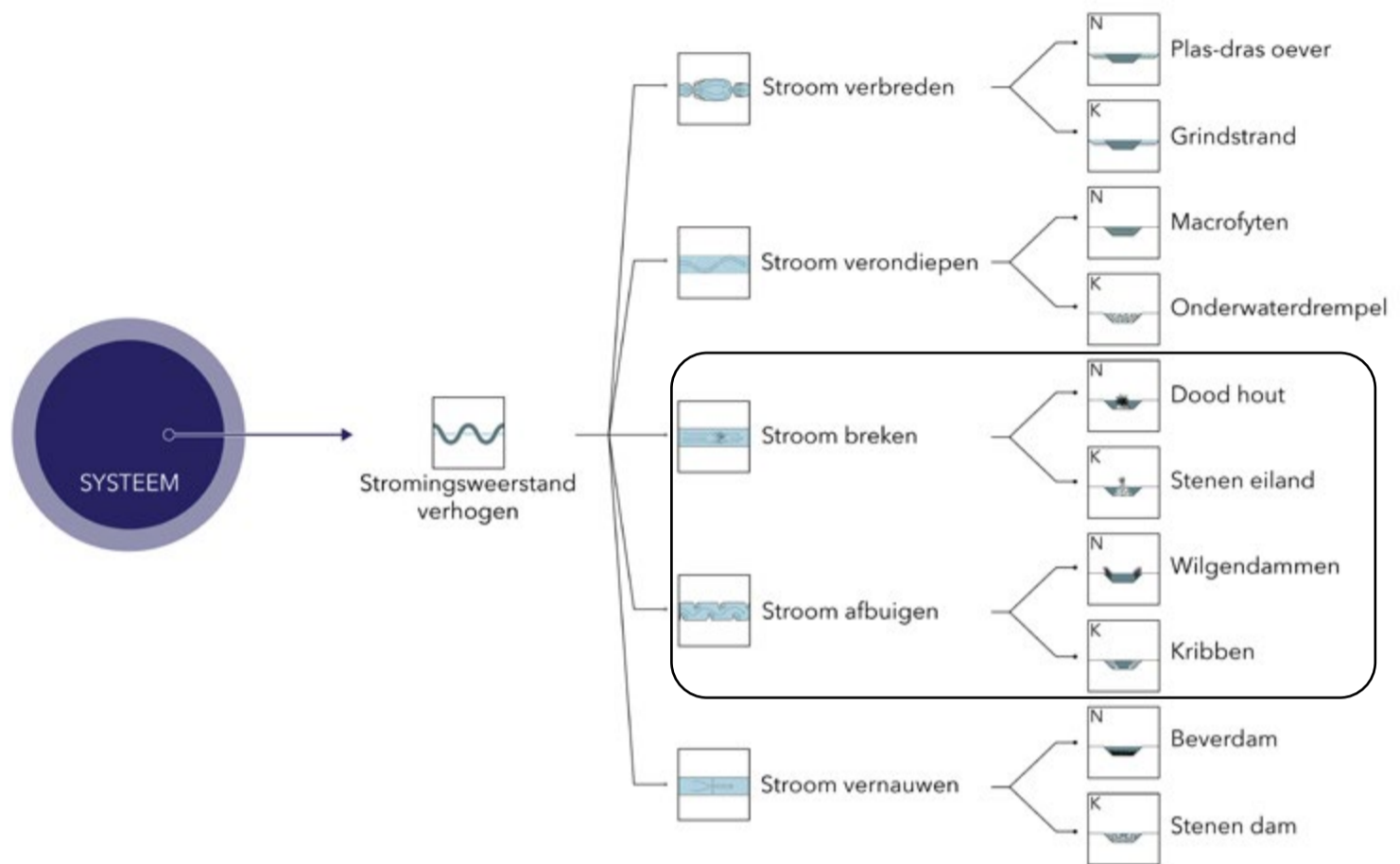
Onderwaterdrempel



Onderwaterdrempels zijn stenen dammetjes die over de volledige lengte van de rivier liggen. Deze drempels houden de stroming plaatselijk op en kunnen een invloed hebben op de stroomrichting van de rivier.

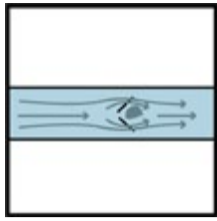


Bovengronds watersysteem - Stromingsweerstand verhogen



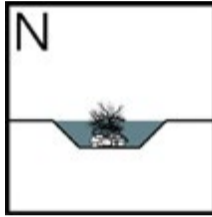
Stromingsweerstand vergroten

Door de stroom te breken en/of af te buigen kan de stroomsnelheid en de dynamiek worden verlaagd waardoor het 'drainerend' effect afneemt. Hierdoor kan meer water in de rivierbedding worden gestockeerd.



STROOM BREKEN

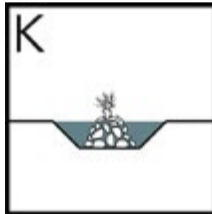
Dood hout



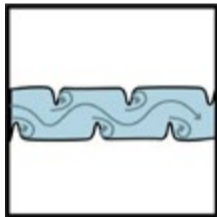
Boomstammen met of zonder takken kunnen als stroombrekend element toegepast worden in rivieren. Deze boomstammen worden verankerd in het rivierbed of met kabels. De boomstammen kunnen dwars op de stroomrichting liggen of maar aan één uiteinde vasthangen.



Stenen eiland

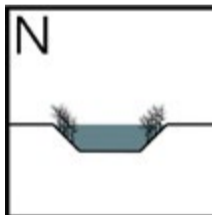


Obstakels zoals een stenen eiland breken de stroming. Er ontstaat turbulentie rond en achter de stenen. Op het eiland kan er een apart habitat ontstaan.



STROOM AFBUIGEN

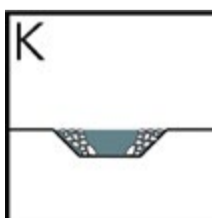
Wilgendammen



Deze wilgendammen bestaan uit gewoven levende wilgentakken en horizontaal liggende takken. Het wortelstelsel van de wilgen zal uitbreiden doorheen de constructie en blijven groeien. Dit vormt een goede basis voor andere soorten om zich op te vestigen.



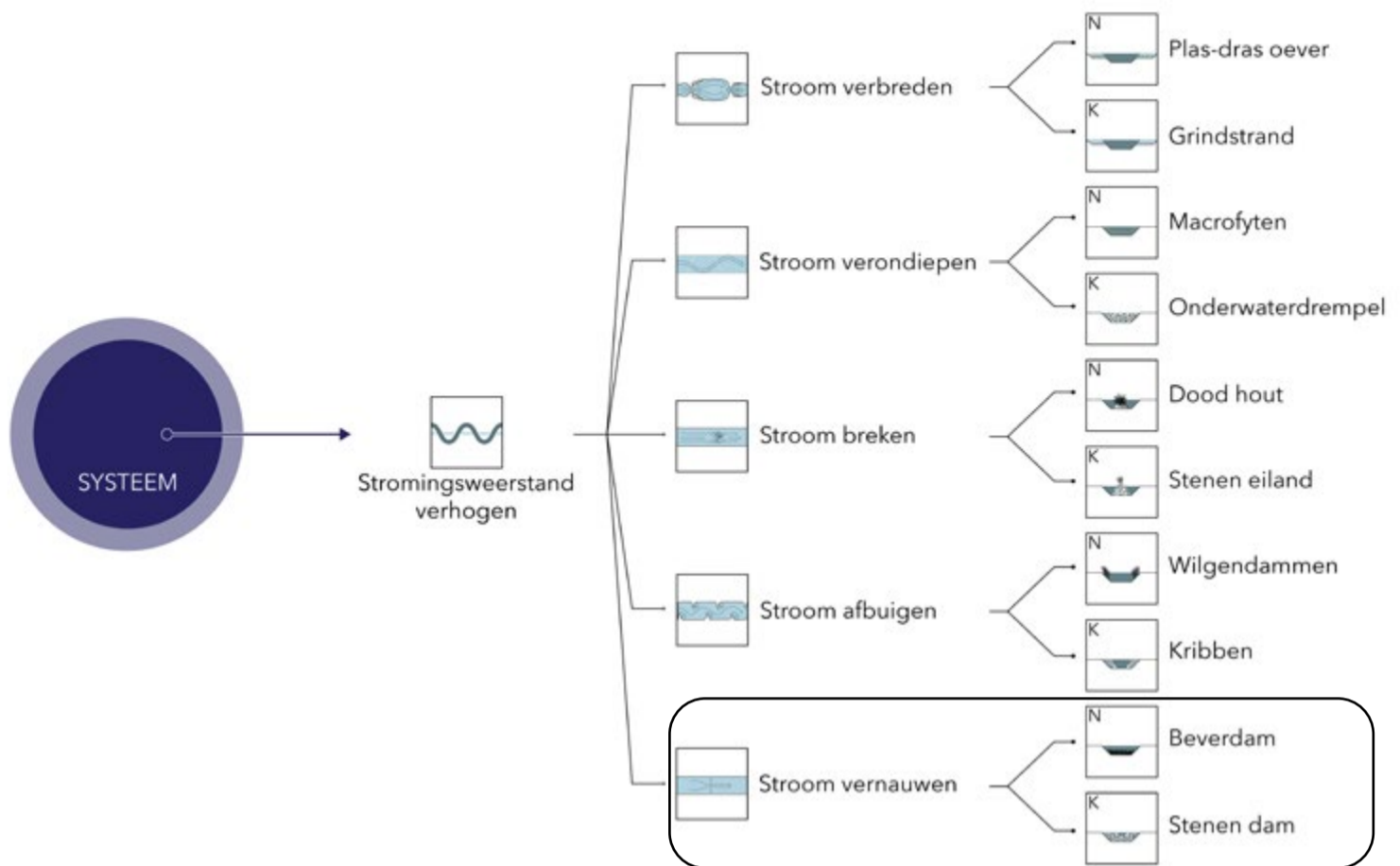
Kribben



Een krib is een korte stenen dam in de rivierbedding, haaks op de zomerkade. Kribben gaan erosie tegen.



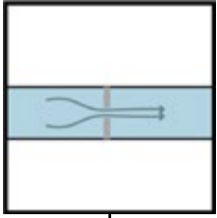
Bovengronds watersysteem - Stromingsweerstand verhogen



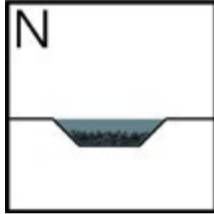
Stromingsweerstand vergroten

Door de stroom te vernauwen kan meer ruimte voor water stroomopwaarts van de vernauwing worden gecreëerd. Hierdoor neemt het 'drainerend' effect van de stroom af.

STROOM VERNAUWEN



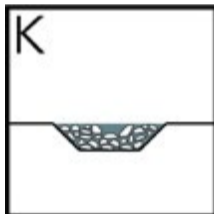
Beverdam



Een beverdam is een versperring in het water gemaakt van voornamelijk takken, stammen en andere natuurlijke materialen.



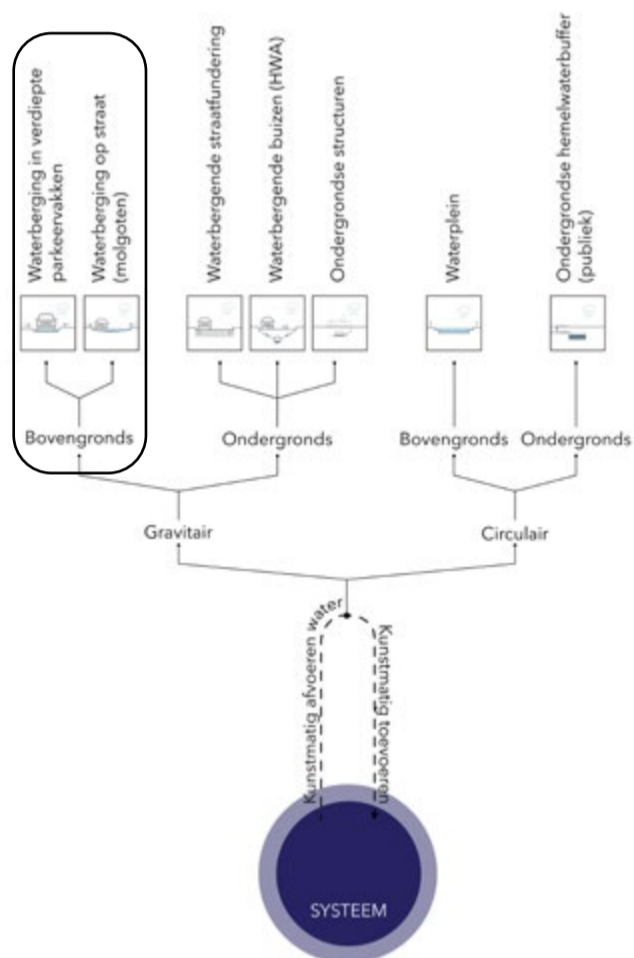
Stenen dam



Een stenen dam is een harde constructie over de breedte van de rivier waarbij het water opgehouden wordt en naar bepaalde delen van de dam gestuurd wordt.



Bovengronds watersysteem - Kunstmatig aan- en afvoeren



Kunstmatig af-en toevoeren water

Onder het kunstmatig af- en toevoeren van water onderscheiden we gravitaire en circulaire systemen. Graviare systemen opereren zonder pompinstallaties, circulaire systemen opereren met pompinstallaties. Beide systemen kunnen tijdelijk overtollig hemelwater opvangen. Dit geeft mogelijkheden om het water te hergebruiken of vertraagd te laten afvloeien en collectief te laten infiltreren.



GRAVITAIR/Bovengronds

Waterberging in verdiepte parkeervakken



Bij hevige regenval kunnen verdiepte parkeervakken een deel van het overtollig water tijdelijk opvangen.



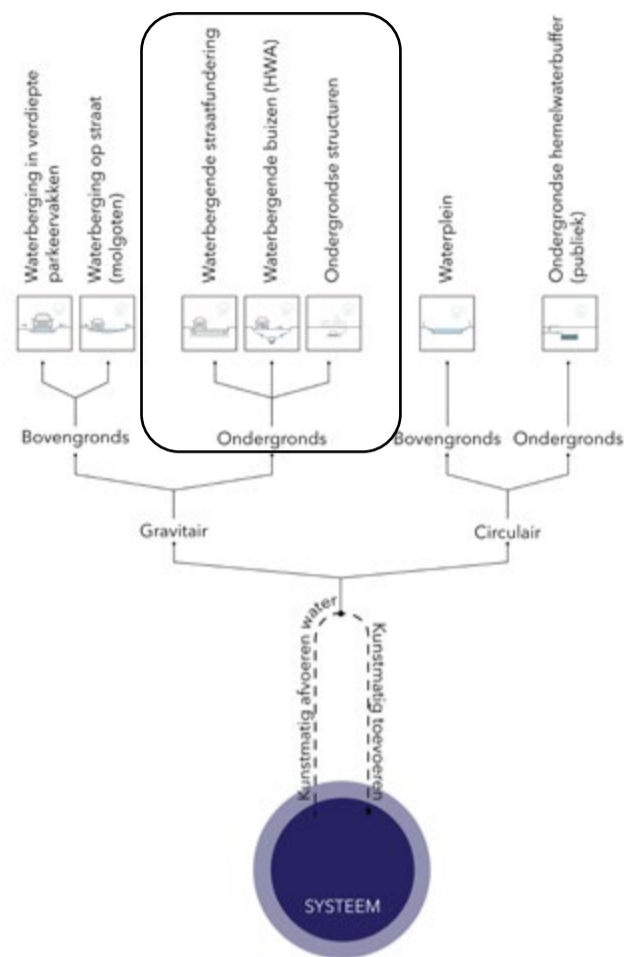
Waterberging op straat (molgoot)



Het profileren van de weg vergroot de bergings- en afvoercapaciteit van de weg en vermindert de kans op wateroverlast in de huizen. Molgoten kunnen meer water bergen en afvoeren dan de gebruikelijke bolle wegen.



Bovengronds watersysteem - Kunstmatig aan- en afvoeren



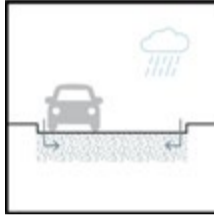
Kunstmatig af-en toevoeren water

Onder het graviar systeem onderscheiden we bovengrondse en ondergrondse inrichtingsmaatregelen die het water vertraagd laten afvloeien om collectief te laten infiltreren.



GRAVITAIR/Ondergronds

Waterbergende straatfundering



Als er weinig ruimte is voor voor waterberging naast de weg kan het water worden opgeslagen in een waterbergende straatfundering.



Waterbergende buizen (HWA)



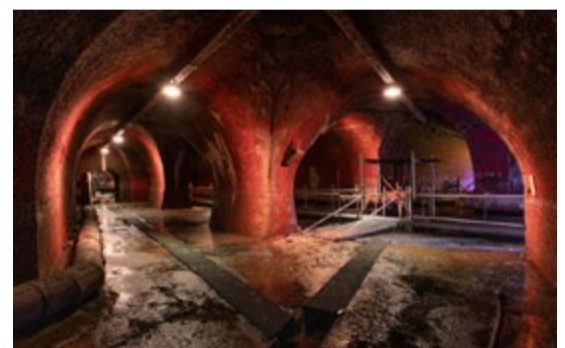
Het regenwater kan in grote waterbergende buizen opgeslagen worden tijdens hevige regenval.



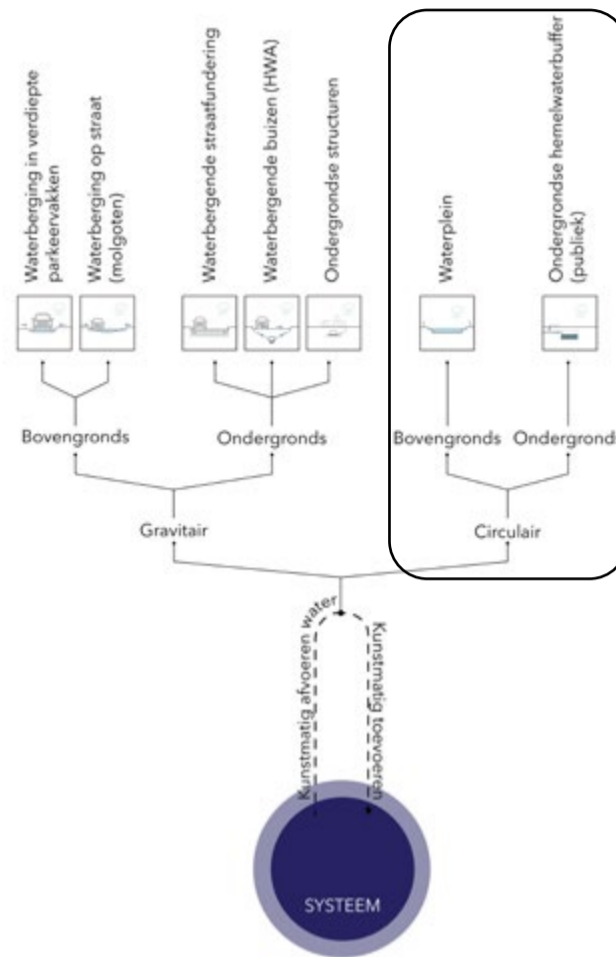
Ondergrondse structuren



Oude ondergrondse structuren die voorzien zijn om water op te slagen of af te voeren kunnen gereactiveerd worden.



Bovengronds watersysteem - Kunstmatig aan- en afvoeren

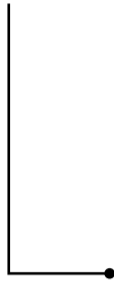


Kunstmatig af-en toevoeren water

Onder het circulair systeem onderscheiden we bovengrondse en ondergrondse inrichtingsmaatregelen die via pompinstallaties worden gereguleerd.



CIRCULAIR/Bovengronds



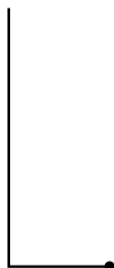
Waterplein



In verschillende steden zijn voorzieningen voor regenwaterretentie ontworpen in de openbare ruimte. Bij deze voorzieningen, de waterpleinen, is een koppeling gelegd met andere stedelijke functies zoals speelvoorzieningen, groen en verblijfsfuncties. Waterpleinen worden in het algemeen toegepast in binnenstedelijke gebieden waar weinig ruimte is voor waterbuffering en waar infiltratie door de hoge grondwaterstanden niet mogelijk is.



CIRCULAIR/Ondergronds



Ondergrondse hemelwaterbuffer (publiek)



Publieke ruimtes zoals ondergrondse parkeergarages kunnen bij voorspelling van hevige regenval gesloten zijn en als waterberging ingezet worden. Door de dubbelfunctie van een parkeergarage met een waterberging wordt de schaarse ruimte in het hart van de stad optimaal benut. De twee functies, het parkeren en het opvangen van water, blijven wel altijd van elkaar gescheiden.



Conclusies

Prioritaire ruimte voor strategische watervoorraad

1. Het waterleverend vermogen van landschappen in Vlaanderen

We definiëren het “waterleverend vermogen” als de natuurlijk hoeveelheid water die de bodem tot op 1 meter onder het maaiveld kan bevatten. Op basis van het huidige grachtenpatroon en landgebruik maakten we een kwantitatieve inschatting van de schaal van de ontwatering. Daaruit blijkt dat heel Vlaanderen letterlijk dooraderd is met grachten, gaande van perceelsgrachten tot echte drainagegrachten.

Vanuit historisch oogpunt is Vlaanderen een regio met zeer veel waterrijke gebieden. Gaandeweg zijn deze “waterzieke” gronden ontgonnen voor verstedelijking en landbouwdoeleinden. Het draineren van veenmoerassen maakte het onder andere mogelijk om organisch rijk bodemmateriaal te ontginnen als meststof voor gewasproductie. In een tijdperk waar meststoffen schaars waren, was dit vaak de enige manier om aan landbouw te doen. Vandaag is deze logica echter achterhaald en zijn het merendeel van de venige bodems verdwenen. Daarenboven heeft ontwatering vaak een omgekeerd effect; in bovenstaand geval zorgt inklinking van de bodem voor nog meer drainage en is het nodig om het overtollige oppervlaktewater af te voeren.

Het gevolg is dat het waterleverend vermogen van het landschap in Vlaanderen sterk is aangetast. Afhankelijk van de aannames gaat 30% tot 60% van het ondiep bodemwater verloren in de seizoenen met meer neerslag (winter en lente). Dit komt overeen met minstens 340 tot maximaal 680 miljoen kubieke meter water dat voortijdig naar zee afgevoerd wordt en dus niet in de bodem kan worden vastgehouden. Hierdoor is er in de zomer minder water beschikbaar. In combinatie met de aantasting van de grondwateraanvulling door verharding, de versnelde afvoer door afstroming en drainage, en de hoge grondwaterwinningsdruk leidt dit tot problemen wanneer er jaren zijn met weinig neerslagoverschot.

Er zijn slechts weinig natuurgebieden waar het waterleverend vermogen nog enigszins intact is. De meest natte veenbodems hebben een natuurbescherming gekregen, doch de omliggende landbouwpercelen worden vaak zwaar gedraineerd. Grotere aaneengesloten natuurcomplexen hebben doorgaans een aangetast waterleverend vermogen omdat er in de directe omgeving intensief landgebruik aanwezig is die grootschalige vernatting in de weg staat. Vlaanderen heeft zo'n 75% van alle historische moerasgebieden verloren. De resterende 25% is vaak sterk gedegradeerd.

Om de problematiek inzichtelijk te maken gebruiken we de metafoor van een badkuip. Voor 9 zones, ‘vensters’ genoemd, werd berekend hoeveel water de bodem van nature kan vasthouden en hoeveel water er verloren gaat. De afbakening van de 9 vensters is gekozen in functie van een evenwichtige geografische spreiding over de verschillende ecoregio's. De potentiële infiltratie bepaalt hoe snel de badkuip in de zone gevuld kan worden. Het natuurlijk waterleverend vermogen bepaalt de grootte van de badkuip. Met de badkuip analogie kan men een waterbalans en de beheersimpact inzichtelijk maken voor leken.

Elk venster biedt een kijk op een specifiek gebied binnen een bepaalde ecoregio. De bevindingen voor het venster zijn niet altijd representatief voor de volledige ecoregio. Zo hebben we voor de ecoregio Polders een gebied gekozen dat relatief gezien veel minder zwaar gedraineerd wordt dan andere poldergebieden. Sommige ecoregio's hebben een relatief kleine badkuip en ook een beperkte mogelijkheid om ze te vullen. Andere ecoregio's hebben dan weer een grote badkuip, maar laten ze bijna volledig leeglopen door drainage.

Uit de analyse kunnen we concluderen dat sommige ecoregio's beperkte mogelijkheden hebben om “water te sparen” door het infiltrerende hemelwater in de dieperliggende grondwaterlagen te laten doordringen, en dat andere ecoregio's net enorme potenties herbergen. Wanneer we de overkoepelende opgave voor wateropslag in Vlaanderen beschouwen, lijkt het evident om de focus te leggen op de gebieden met hoge potenties voor ondergrondse en/of bovengrondse strategische watervoorraden.

Het is immers niet altijd mogelijk of noodzakelijk om de droogte problematiek op te lossen op de plek waar deze zich stelt. Sommige delen van Vlaanderen zullen gevoelig blijven voor droogte. Men kan op een lokaal niveau technische maatregelen nemen om aan de waterbehoefte te voldoen, maar evengoed kan deze watervraag (gedeeltelijk) ingelost worden door aanvoer vanuit gebieden die wél strategische watervoorraden kunnen opbouwen.

2. Nieuwe legenda voor droogtebestrijding in Vlaanderen

In dit onderzoek ontwikkelden we nieuwe legenda voor droogtebestrijding op basis van het potentieel waterleverend vermogen van het landschap. Aan de hand van doorgedreven ontwerpend onderzoek werd een geomorfologische landschapsstructurenkaart gemaakt die de ruimtelijke potenties voor het ontwikkelen van strategische grondwater- en oppervlaktewatervoorraden weergeeft. De verschillende geomorfologische landschapsstructuren vormen ruimtelijke eenheden met een interne hydrologische stromingslogica. De geomorfologische landschapsstructurenkaart kan beschouwd worden als een intermediaire laag tussen de gebiedsdekkende bodemgebruikslaag en de freatisch grondwaterlaag.

We onderscheiden daarbij 8 ruimtelijke typologieën voor de opslag van hemelwater in geomorfologische landschapsstructuren:

1. Drijvende zoetwaterbel
2. Ingesloten zoetwaterbel
3. Inzigg en kwel in poreus zandmassief
4. Inzigg in poreus krijtmassief
5. Zand op klei met een hoog bronniveau
6. Zand op klei met een laag bronniveau
7. Cuestafront met inzigggebied
8. Oppervlaktewater

De link tussen het lokale schaalniveau (kavel, gracht, poel, etc.) en het bovenlokale schaalniveau (kreek, dekzandrug, krijtmassie, etc.) wordt gemaakt door ruimtelijke bouwstenen met daaraan gekoppeld inrichtingsmaatregelen. De ruimtelijke bouwstenen vormen het intermediair tussen lokale inrichtingsmaatregelen en het grootschalig ondergronds grondwaterstromingsstelsel en kunnen gebiedsspecifiek ingezet worden in de strijd tegen waterschaarste.

Naar het beleid toe willen we oproepen tot een gebiedsgericht beleid voor de verschillende geomorfologische landschapsstructuren. Het maximaliseren van de grondwateraanvulling in deze gebieden kan gebeuren door in te zetten op een aangepast landgebruik, het inperken van de drainage en het minimaliseren van de afstroming van hemelwater.

Bepaalde geomorfologische landschapsstructuren staan vandaag zwaar onder druk. Zo is ondermeer de grondwaterwinningsdruk voor de Antwerpse Kempen de laatste 10 jaar sterk toegenomen (+25 %). Als we het strategisch belang van deze regio in functie van het beschermen van zoetwatervoorraden erkennen, moeten we ook het vergunningsbeleid in vraag durven stellen en het grondwater behouden voor hoogwaardige toepassingen en noodsituaties. De lokale watervraag wordt in dit opzicht minder relevant omdat het water kan worden aangeleverd uit aangrenzende regio's die in staat zijn om perioden met neerslagoverschotten te stockeren in de ondergrond. Dit impliceert dat gebieden met strategische watervoorraden anders moeten worden beheerd.

Tenslotte is Vlaanderen ruimtelijk en landschappelijk gedifferentieerd. Dit impliceert dat de opportuniteiten voor de ondergrondse en/of bovengrondse opslag van hemelwater gebiedsspecifiek zijn en per geografische regio sterk kunnen verschillen. Dit vraagt om een diversiteit aan inrichtingsmaatregelen en ontwikkelingsstrategieën. Enerzijds zijn lokale maatregelen altijd mogelijk en kunnen deze ons in staat stellen om beperkte droogteperioden te doorstaan. Anderzijds, om ons voor te bereiden op de "grote droogte" moeten we verder durven kijken en werk maken om de potentiële 'waterschuren' in Vlaanderen aan te vullen. Dat biedt kansen voor watervoorziening, maar ook voor klimaatmitigatie, biodiversiteit, toerisme en recreatie.

3. Aanbevelingen voor fase 2

Het ontwerpend onderzoek op concrete case-studies in fase 2 dient voort te bouwen op de ruimtelijke bouwstenen en inrichtingsmaatregelen die in dit onderzoek werden ontwikkeld. De historische en geomorfologische inzichten kunnen hierbij een duidelijk narratief scheppen. In combinatie met de modelmatige inzichten en bijhorende atlas dient dit een plaats te krijgen in de lopende planprocessen van de desbetreffende case-studies.

Daarenboven zal het toekomstig ontwerpend onderzoek de uitdaging moeten aangaan om de toepassing van inrichtingsmaatregelen en het verbeelden van de kansen die er liggen verder in beeld te brengen.

De combinatie van ontwerpend onderzoek en modelmatig narekenen laat toe om de impact van maatregelen te kwantificeren. Hierdoor kan het kwalitatief ontwerpend onderzoek en de toepassing van de modellen samen sporen. De badkuip wordt een dynamisch gegeven waarbij men kan werken vanuit een analyse van de kansen richting systeemherstel.

De focus in de tweede fase van dit onderzoek ligt op gebieden die kansen bieden voor het ontwikkelen van strategische watervoorraden. Het betreft geomorfologische landschapsstructuren waarbij de opbouw van een grond- of oppervlaktewatervoorraad zich verder kan opbouwen over de jaren heen. Een strategische watervoorraad kan aangesproken worden wanneer er zich meerdere droge jaren voordoen. In andere regio's zullen de maatregelen eerder gericht zijn op het sparen van water voor een droge zomer of lente.

4. Aanbevelingen voor aanvullend onderzoek

De focus van de studie lag op een combinatie van modelmatig onderzoek (kwantitatief) en ontwerpend (kwalitatief). Bijhorende atlas wil vooral verbeelden en inspireren. Deze studie vormt een belangrijk aanknopingspunt voor verder onderzoek.

In eerste instantie is er aanvullend onderzoek nodig om de uitdagingen met betrekking tot waterschaarste verder te kwantificeren. Hoeveel water komen we tekort als we de waterbehoefte in kaart brengen? Iedere niet-ingeloste waterbehoefte heeft een maatschappelijke impact, maar zijn al de waterbehoeften even essentieel en in welke mate kan de waterbehoefte overbrugd worden zonder dat er (onherstelbare) schade is op lange termijn? Het voldoen aan een minimale ecologische waterbehoefte is daarbij essentieel. De ecologische schade is immers vaak onherstelbaar, maar ook daar is nog veel onderzoek nodig. Wat zijn minimale debieten en grondwaterstanden die vanuit ecologisch standpunt noodzakelijk zijn?

Voor veel van de bouwstenen en inrichtingsmaatregelen die we in dit rapport voorstellen, weten we niet exact hoe doeltreffend ze zijn en op welke tijd- en ruimteschaal ze effecten hebben. De meer systematische maatregelen hebben tot doel om de frequentie en duur van een hydrologische droogte te beperken (lage debieten en grondwaterstanden). Vanuit het systeemfunctioneren bekeken, kunnen we aannemen dat ze vrijwel zeker een positief effect hebben ten aanzien van droogte, maar we weten nog niet exact hoeveel en hoelang zo'n maatregel bijdraagt. Ook zal dit variabel zijn van jaar tot jaar en afhangen van de neerslagpatronen. De ideale omstandigheden waar we vanuit gegaan zijn in deze studie – de natte winter gevolgd door een droge zomer – zullen in de praktijk niet jaarlijks voorkomen. Ook dient er nog onderzoek te gebeuren naar de effecten van sommige maatregelen op wateroverlast.

Er is dus veel experimenteel onderzoek en lange termijn monitoring nodig. We moeten echter nu implementeren en gaandeweg leren uit de implementatie. Op die manier kunnen er ook steeds betere richtlijnen voor ontwerp en implementatie van maatregelen ontstaan. Dit impliceert dat er middelen moeten worden voorzien voor monitoring, onderzoek en ontwikkeling.

Naast deze vereiste inzichten op het niveau van individuele maatregelen, is er een grote behoefte aan een beter inzicht in de effecten ervan op schaal van een stroomgebied. We moeten weten in welke mate we maatregelen moeten implementeren om ons aan te passen aan klimaatverandering of waar welke maatregelen het meest effectief zijn. Onderzoek naar de opschalingseffecten van de implementatie van blauwgroene maatregelen op een bekkenschaal is schaars. De meeste hydrologische modellen zijn simpelweg (nog) niet in staat om de impact van vaak kleinschalige ingrepen modelmatig te berekenen. Opslag van oppervlaktewater in kleine maar veel voorkomende landschapsdepressies – met inbegrip van wetlands en andere kleine waterlichamen – wordt bij conventionele hydrologische modelleerpraktijken grotendeels buiten beschouwing gelaten. Het zal echter noodzakelijk zijn om dergelijke ingrepen te integreren in hydrologische modellen, zowel voor droogte als wateroverlast. Daarenboven zal het interessant zijn om diepere grondwatermodellen te betrekken, ondergrondse stromingen en doorstroomtijden te simuleren en te visualiseren.

Er is momenteel een gebrek aan hefboomen en instrumenten voor de uitvoering van blauwgroene maatregelen. Maatregelen in het publiek domein zullen daarbij niet voldoende zijn. Naast het aantal grootschalige blauwgroene buffers in grote eenheden natuur of nationale parken te vergroten op strategische plaatsen zullen het vooral maatregelen op particuliere grond en door particuliere actoren zijn die moeten worden uitgevoerd. Ook komen blauwgroene maatregelen vaak (vooral) ten goede aan het watersysteem en niet alleen aan de actor die deze maatregelen installeert. Hoewel blauwgroene maatregelen worden gezien als een oplossing voor alle belanghebbenden in het stroomgebied, is het onduidelijk door wie en hoe blauwgroene maatregelen op grotere schaal kunnen worden uitgerold.

De belangrijkste onderliggende factoren zijn de beperkingen in beleidsintegratie en -planning, en het onvoldoende vermogen om de financiën over de beleidsdomeinen heen te combineren. Kortom, er is een kloof tussen de meervoudige voordelen van blauwgroene maatregelen en de huidige sectorale benadering van beleidsvorming.

Het is duidelijk dat er behoefte is aan nieuwe governance modellen die de implementatie van blauwgroene maatregelen kunnen vergemakkelijken. Vooral wanneer de kosten en baten van die blauwgroene maatregelen verdeeld zijn in tijd, ruimte en tussen verschillende delen van het sociaaleconomisch systeem. Hoe kunnen we lokale actoren overtuigen om maatregelen te implementeren? Hoe kunnen we draagvlak en hefboomen creëren voor het implementeren van maatregelen waarvan de voordelen niet onmiddellijk zichtbaar zullen zijn?

INTERMEZZO

CASESTUDIE NETEVALLEI



Toekomstvisie Nationaal Veenpark Kleine Nete (anno 2050)

De geomorfologische structuur van de Kempische zandgebieden wordt gekenmerkt door zuidwest-noordoost georiënteerde zandruggen en dalen die topografisch ingesloten zijn door het hoger gelegen Kempisch Plateau en de cuesta van de kleien van de Kempen. Het watersysteem vormt een hiërarchisch georganiseerd geheel van gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels van verschillende grootteorde en verblijfstijden (tot meer dan 100 jaar) met een zeer groot potentieel waterbergend vermogen. Het waterbergende vermogen van dit systeem staat de laatste jaren zwaar onder druk.

In eerste instantie is er een sterke afname van de voeding van het grondwaterstromingsstelsel als gevolg van verminderde infiltratiemogelijkheden. Circa 5% van het regenwater kan niet infiltreren omdat het via verhardingen en rioleringen direct naar gekanaliseerde rivieren wordt afgevoerd. Een nog belangrijker deel van het regenwater kan door bodemcompactering van landbouwgrond evenmin infiltreren.

In tweede instantie kan het regenwater dat alsnog infiltreert niet worden vastgehouden door de permanente drainage van de valleien. In het Netebekken is 70% van de permanent natte gebieden gedraineerd voor de landbouw. Dit zorgt niet enkel voor een peildaling in de valleien maar het trekt ook versneld grondwater aan van de hoger gelegen gebieden. Hierdoor is de drainage tweemaal groter dan het verlies aan infiltratie door verharding en riolering.

In derde instantie zijn er de vele grondwaterwinningen die zorgen voor gemiddelde daling van de oppervlaktepeilen. De winningsdruk ligt op 10% van de actuele infiltratie.

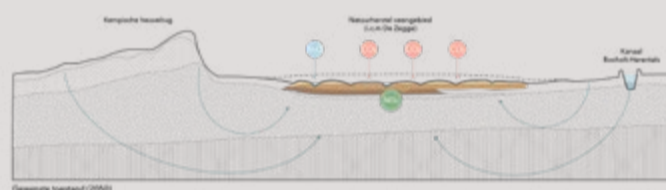
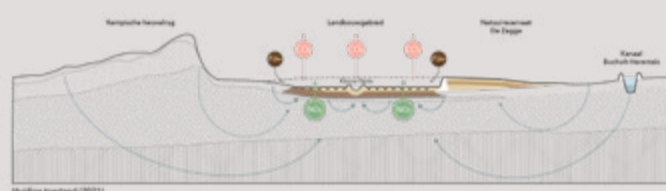
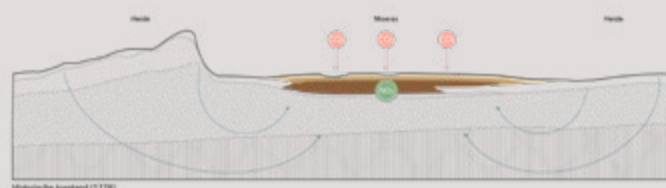
Beleidsmatig wordt er de laatste jaren sterk ingezet op ontharding. Echter, zolang de valleien sterk gedraineerd worden heeft het inzetten op ontharding weinig zin aangezien het grondwaterstromingsstelsels permanent worden leeggetrokken door drainage. De ontginningsgeschiedenis van de Netevallei is exemplarisch voor het openruimtebeleid in Vlaanderen en illustreert waartoe een louter sectorale opdeling van de open ruimte kan leiden.

De vallei van de Kleine Nete was tot begin jaren '60 een uitgestrekt laagveenmoeras met een mythische betekenis. Velen zijn het moeras ingetrokken, maar nooit teruggekeerd. Het infiltrerende hemelwater kwam via diepe en ondiepe kwelstromen in de vallei aan de oppervlakte en genereerde veenmoeras.

In 1958 werd het volledige veenmoeras - op één stukje na, het natuurgebied De Zegge - ontwaterd, verkaveld en ingericht voor landbouwproductie. Het samenhangend watersysteem van inzigg- en, kwelstromen en waterafvoer werd uit elkaar getrokken en sectoraal opgedeeld. Het inzigggebied werd aangeplant met dennen i.f.v. houtproductie en resulteerde in een sterk verminderde infiltratiewerking van de zandruggen. Het veenmoeras, gevoed door diepe kwel, werd gedraineerd i.f.v. landbouwproductie en resulteerde in bodemdaling en de uitstoot van enorme hoeveelheden CO₂ door veenoxidatie. De Kleine Nete zelf werd ingedijkt i.f.v. een versnelde afvoer van het water en resulteerde in stroomafwaartse overstromingen. Met de kennis van vandaag kan men gerust stellen dat dit een historische vergissing van formaat was.

De oplossingen die vandaag worden aangereikt om bovenstaande problematiek op te lossen is niet meer dan een pleister op een houten been. De Kleine Nete wordt weliswaar enkele meters verbreed met een winterbed en oude meanders worden weer aangekoppeld, maar tegelijkertijd staan de landbouwgronden in de winter blank omdat er niet meer gravitair kan worden afgewaterd door de bodemdaling enerzijds en de hogere winterdijken anderzijds.

Het natuurgebied De Zegge, tevens het oudste natuurgebied van België, was ooit het laagste punt van het enorme veenmoeras en werd indertijd door de Koninklijke Maatschappij voor Dierkunde Antwerpen (KMDA vzw) aangekocht omwille van de unieke biodiversiteitswaarden die er tot op de dag van vandaag nog steeds zijn. Door ontwatering van de landbouwgronden langs de Kleine Nete zijn de naastgelegen veenbodems zodanig ingeklonken en gemineraliseerd dat het hoogteverschil tussen het veenmoeras van de Zegge en de omliggende landbouwgebieden ondertussen bijna 1,5 meter bedraagt. Hierdoor passeert het kwelwater onder de Zegge door tot in het landbouwgebied. De diepe ontwateringsgrachten liggen meer dan 2 meter lager dan de Zegge en wordt



Vallei van de Kleine Nete - anno 1904 (foto Massart)



Vallei van de Kleine Nete - anno 2021 (eigen foto)

het gedraineerde kwelwater dag en nacht teruggepompt naar een hoger gelegen ringgracht die de Zegge moet beschermen tegen uitdroging. Maar dit lapmiddel is steeds minder effectief en volgens experts is de Zegge ten dode opgeschreven als niet dringend actie wordt ondernomen. Een drastische omslag in het planologisch hokjesdenken is noodzakelijk om de vallei een nieuw toekomst perspectief te beiden.

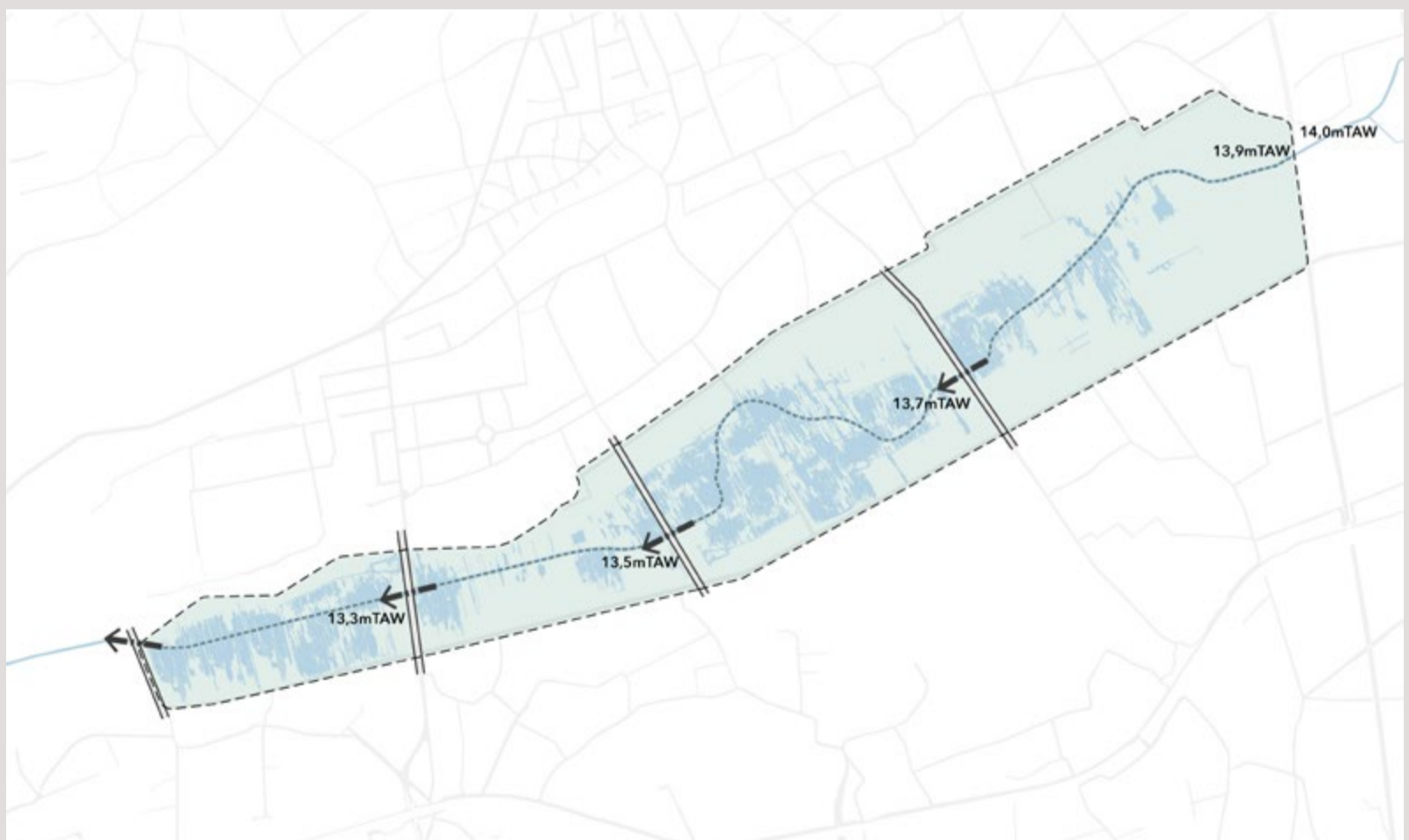
We stellen voor de vallei van de Kleine Nete te herontwikkelen tot een Nationaal Veenpark. Daarbij wordt het volledige drainagesysteem van grachten en sloten gefaseerd opgeheven en het gebied opnieuw vernat. Door het opkwellende grondwater kunnen de onderliggende veenlagen opnieuw gereactiveerd worden. Door middel van dwars georiënteerde lage drempels wordt de vallei gecompartmenteerd. Deze drempels zijn nodig om de verlanding te kunnen sturen en om de kwel beter vast te houden. Geleidelijke peilverhoging per compartiment – zomerpeilen net onder maaiveld leveren de meeste koolstofvastlegging op. Door de peilen optimaal te sturen kan maximale verlanding worden bekomen.

De Kleine Nete zelf wordt lokaal gedempt zodat het zich opnieuw een weg kan vinden doorheen de brede vallei. Het optrekken van het gemiddelde grondwaterpeil in de vallei met ± 60 cm maakt het gebied onvermijdelijk ongeschikt voor de reguliere landbouw. Hiervoor dient een compensatieregeling te worden uitgewerkt. De onteigeningskost van deze 400 hectare landbouwgrond is relatief in vergelijking met de ongekende mogelijkheden die het nieuwe veenmoeras te bieden heeft. In samenhang met de reeds bestaande natuurgebieden en bosgebieden op de Kempense Heuvelrug ontstaat een veenwoud van ca. 2400 hectare met ongeziene recreatieve mogelijkheden.

Daarnaast werkt het veenpark als een enorme waterbuffer en voorziet de Kleine Nete van een stevig basis debiet. Het gebied van 400 hectare kan een watervolume van 4 miljoen m³ bergen. Benedenstroomse landbouwgebieden kunnen dit in periodes van langdurige droogtes gebruiken. Het basisdebiet van de Kleine Nete ter hoogte van Herentals zal door de aanleg van het veenpark toenemen met zo'n 0.5m - 0,75m/ seconde tijdens droogteperiodes. Door dit extra basisdebiet kunnen de captatieverboden sterk worden gereduceerd.

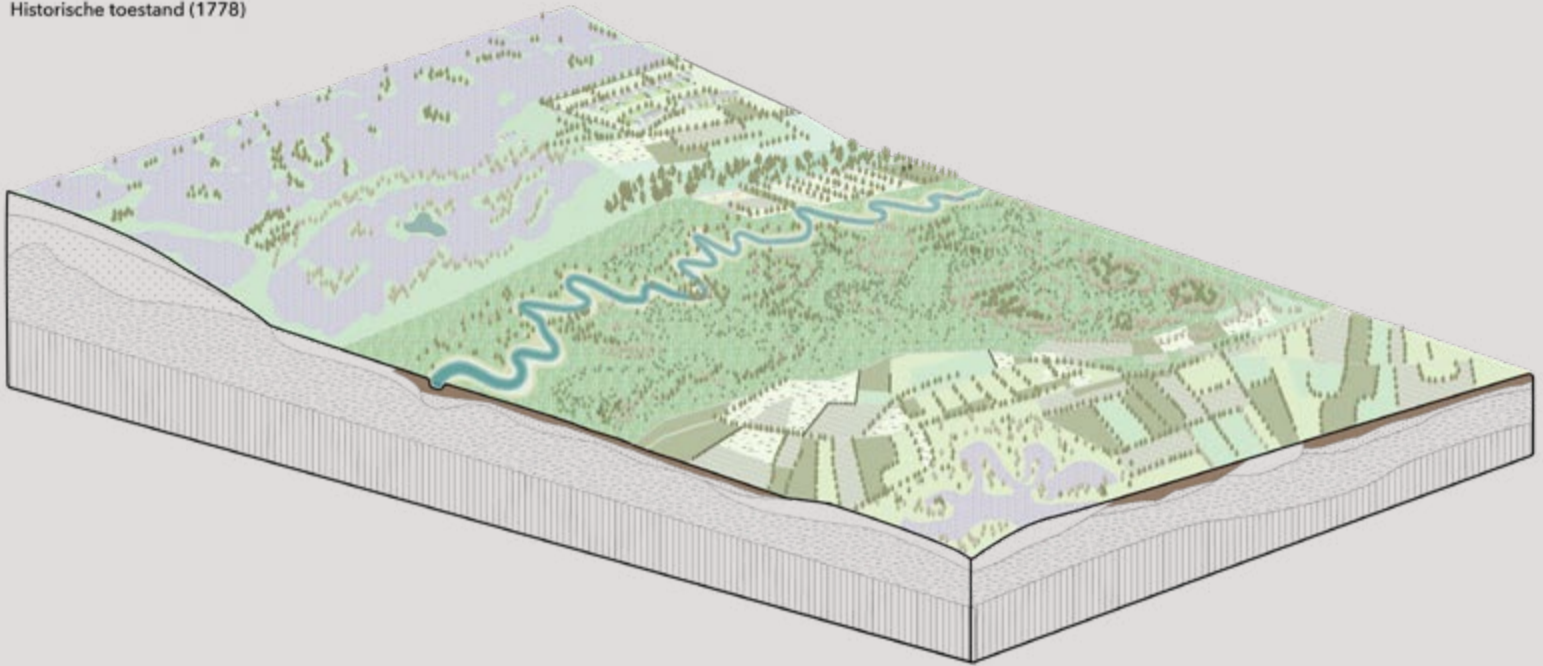
De landbouwfunctie in de vallei hoeft niet noodzakelijk te verdwijnen zolang het zich aanpast aan het onderliggende veensysteem.

We stellen voor de klassieke landbouwbedrijfsvoering om te vormen tot een landbouwsysteem op basis van paludicultuur. Paludicultuur is een vorm van landbouwbedrijfsvoering op natte bodemtypes. Het concept is ontwikkeld aan de vakgroep landschapsecologie van de Universiteit Greifswald en wordt sinds een tiental jaren met succes in veengebieden in Noordoost Duitsland toegepast. Gewassen op basis van paludicultuur zijn ondermeer lisdodde, kroosvaren en veenmos. Lisdodde kan verwerkt worden tot isolatiemateriaal voor de bouwsector. Veenmos vormt een basismateriaal voor de productie van ondermeer potgrond. De vallei van de Kleine Nete zou een ideaal proefstation kunnen worden om het concept in Vlaanderen uit te testen en te optimaliseren.

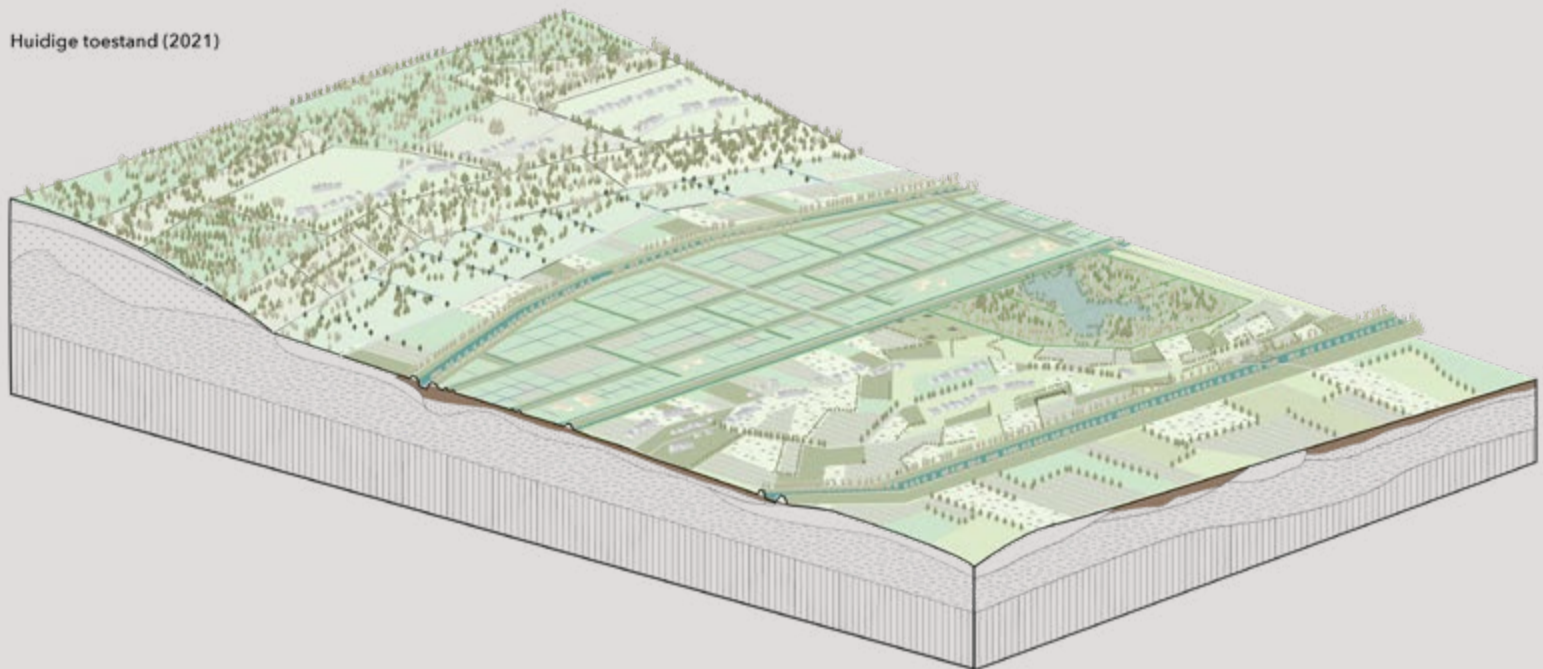


Toekomstig watersysteem

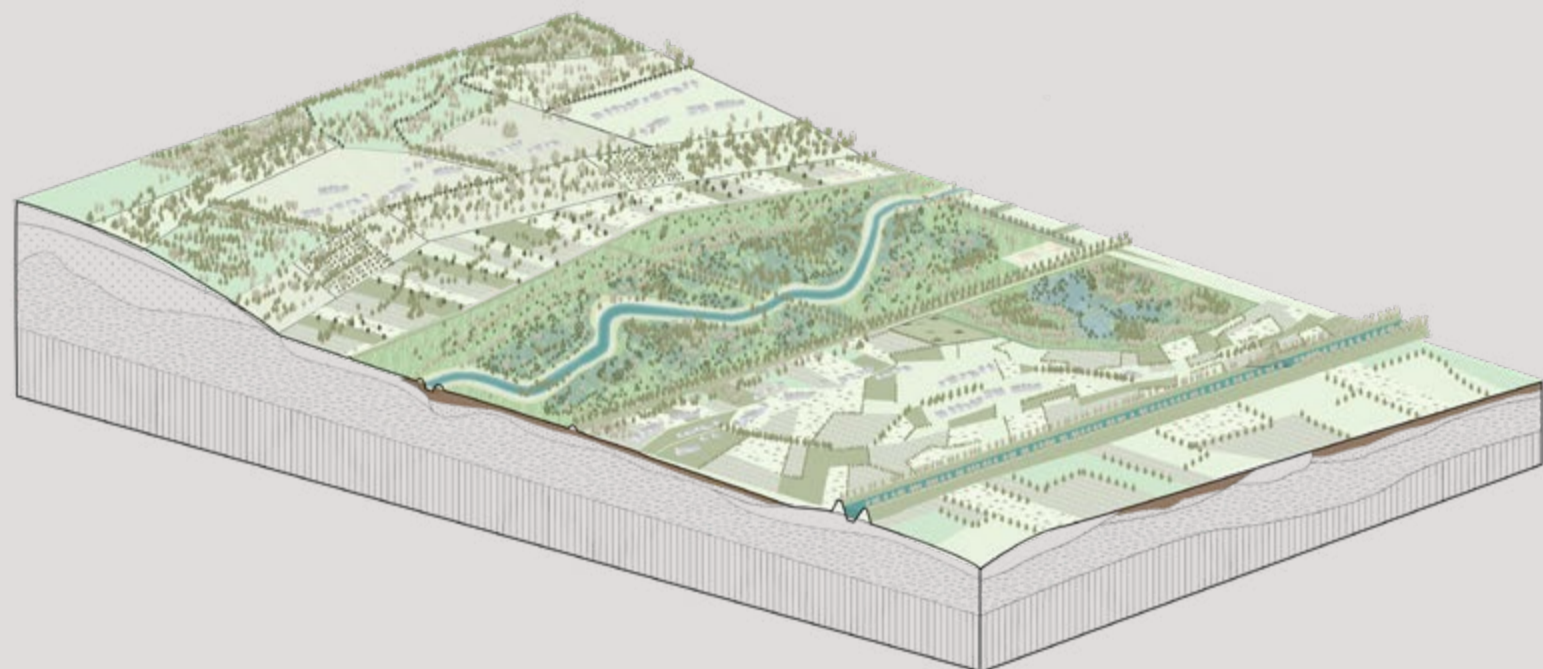
Historische toestand (1778)



Huidige toestand (2021)



Gewenste toestand (2050)



Bijlages

Afwegingskader beleid vs. Interventies

1913 Oprichting Nationale Maatschappij der Waterleidingen (NMDW) De taak van de Nationale Maatschappij der Waterleidingen was om zelf tussen te komen waar het gemeentelijk initiatief het liet afweten. De NMDW kreeg als historische opdracht mee om voldoende, kwaliteitsvol en betaalbaar drinkwater te leveren, ook in de meest afgelegen streken van het land .

Om tot de meest afgelegen delen van het land drinkwater te voorzien werden kilometers waterleidingen aangelegd om het drinkwater tot aan de Vlaamse huizen te leveren. De dienst bestendigt afhankelijkheid van buitenlandse aanlevering en zal ook naarmate uitbreiding van infrastructuur vordert meer vatbaar zijn met lekkage.

1930 Bouw snelwegen

De bouw van het snelwegennet en de daar bijhorende weginfrastructuur verhardt het maaiveld en vermindert de infiltratie naar het grondwater. Daarenboven opent de uitbouw van het snelwegennet de opportuniteit om te wonen in het buitengebied en te werken in de stad, wat de urbanisatietrend een handje heeft geholpen.

Voor de aanleg van het snelwegennet zijn open ruimtegebieden versnipperd en zijn kleine landschapselementen verwijderd. Het doorsnijden van waterlopen en valleien kon leiden tot het doorbreken van kostbare ecosystemen en landschappen die zelf hun waterhuishouding reguleren.

1945 Plan-Mansholt

Sicco Mansholt had als Europees commissaris van het landbouwbeleid het revolutionair plan om de landbouw te moderniseren, hiervoor moesten kleine landbouwfamilies plaatsmaken voor grootschalige landbouwbedrijven.

Sicco Mansholt pleitte voor een meer rationelere en grootschalige manier van landbouw. Om meer geschikte gronden te gebruiken voor landbouw werd over heel Vlaanderen massaal gedraineerd in functie van de landbouwactiviteit.

1948 Wet De Taeye

Alfred De Taeye vaardigde op 29 mei 1948 een wet uit die later gekend zou worden als Wet De Taeye. Deze wet voorzag in de bouw van 50.000 goedkope woningen voor de Belgische bevolking.

Alfred De Taeye leerde de Vlaming bouwen en werkte de betonisering van het Vlaamse landschap in de hand. De subsidiëring van het individuele bouwrecht speelt tot op vandaag in op de versnippering van de open ruimte.

1950 Wet op de bescherming van de oppervlaktewateren & afvalwaterzuivering

Ook wel de Waterwet genoemd. Deze hield in dat huishoudelijk afvalwater niet geloosd mocht worden in het buitengebied maar via rioleringen naar waterzuiveringsinstallaties dient afgevoerd te worden.

Het privaat eigendomsrecht van onbevaarbare waterlopen resulteerde in het kanaliseren en rechttrekken van grachten.

1962 Gewest- & streekplannen

De gewestplannen zijn zoneringsplannen en bakent zones af waar men het juridisch recht had om te bouwen. Doordat verschillende woongebieden in landelijke gemeentes juridisch waren verankerd dienen deze ook verder opgenomen te worden tot het Vlaams rioleringsnet. Anderzijds zorgden de zoneringsplannen er ook voor dat natuurlijke en landschappelijke waardevolle gebieden bouwvrij moesten zijn.

De gewestplanbestemmingen zoals natuur-, bos- en landbouwgebied worden vrijgesteld van harde bestemmingen en bieden een ecologisch ontwikkelingsperspectief.

De gewestplannen hebben veel reservezones aangeduid die een verspreide bebouwing verder in de hand heeft gewerkt. Hierdoor worden vandaag nog steeds 'greenfields' omgezet naar verharde en bebouwde omgevingen.

1971 Gemeentelijke verplichting Algemeen Rioleringsprogramma	De individuele gemeentelijke aanpak van het rioleringsnet heeft een gebrek aan uniformiteit en voegt alleen meer rioleringen toe in de grond.
1971 Ramsar conventie	De Conventie van Ramsar is een internationale overeenkomst inzake waterrijke gebieden zoals moerasen en draslanden die van internationale belang zijn. Het doel van deze overeenkomst is "het behoud en het oordeelkundig gebruik van alle watergebieden door middel van plaatselijke, regionale en nationale acties en internationale samenwerking, als bijdrage aan het tot stand komen van een duurzame ontwikkeling in de gehele wereld".
1976 Tussengemeentelijke Vereniging / voor Zuivering van Afvalwaters van de Kust	
1977 Opstart Waterwegen en Zeekanaal	Via het Sigmaphan is er grootschalige dijkinfrastructuur aangelegd in het volledige bekken van de Zeeschelde om hoge grondwaterstanden bij stormvloed op te vangen. Het overtollig water wordt in gecontroleerde overstromingsgebieden opgevangen waarbij het waterpeil unieke natuurwaarden oplevert zoals wetlands, broekbossen, slikken en schorren. Waterwegen en zeekanalen hebben als duidelijke hoofdprioriteit het economisch 'uitbaten' van de waterwegen. In sommige regio's verliezen ze andere doelstellingen uit het oog.
1978 Fusie gemeenten: Totaal Rioleringsplan	De fusie van gemeenten in functie van een totaal rioleringsplan realiseert uniformiteit in de werking van het rioleringsnetwerk, maar heeft nog steeds het doel om water zo snel mogelijk af te voeren.
1979 Vogelrichtlijn	Speciale Beschermingszone aangewezen ter uitvoering van de Vogelrichtlijn. Deze gebieden zijn aangeduid om Europees beschermde habitattypes en soorten de kans te geven duurzaam te overleven en zo de Europese biodiversiteit te bewaren. Samen met de Speciale Beschermingszones in uitvoering van de Habitatrichtlijn vormen ze het Natura 2000-netwerk. Bouwen in een vogelrichtlijngebied wordt juridisch ten strengste afgeraden in functie van de instandhouding van de aanwezige natuurwaarden en het behoud van de goede waterhuishouding.
1987 Nieuwe Richtlijnen voor het ontwerp en de berekening van rioolstelsels in Vlaanderen	
1988 Vlaamse Maatschappij voor Waterzuivering	
1990 Vlaamse Milieu Maatschappij	De VMM coördineert het integraal waterbeleid. Ze volgt de toestand van de watersystemen op, beheert de onbevaarbare waterlopen van eerste categorie en het grondwater, plant en houdt toezicht op de zuiveringsinfrastructuur en ontwikkelt beleidsinstrumenten om de gewenste milieudoelstellingen voor water te bereiken
1990 Administratie voor Ruimtelijke Ordening en Leefmilieu wordt Aministratie	

1990 nv AQUAFIN	<p>Aquafin beheert de bovengemeentelijke zuiveringsinfrastructuur waarbij alle rioleringen hun weg vinden naar waterzuiveringsinstallaties.</p> <p>Aquafin beheert meer dan 1000 pompstations. Een pompstation is een installatie die de nodige druk levert om afvalwater naar een hoger gelegen punt te vervoeren zodat het vuile water op het einde van de rit in een rioolwaterzuiveringsinstallatie verwerkt kan worden.</p> <p>De opvulregel zorgde ervoor dat een onderbroken huizenrij tot over een afstand van zeventig meter kon worden opgevuld met extra huizen, op niet-bouwgrond. Deze regel werkte de lintbebouwing en de daar bijhorende extra verharding in de hand.</p>
1992 Opvulregel	Landbouwpercelen gelegen tussen woningen verliezen hun agrarische functie en worden bestemd voor de individuele woningbouw.
1992 Habitatrichtlijn	<p>Speciale Beschermingszone aangewezen ter uitvoering van de Habitatrichtlijn. Deze gebieden zijn aangewezen om Europees beschermde habitattypes en soorten de kans te geven duurzaam te overleven en zo de Europese biodiversiteit te bewaren. Samen met de Speciale Beschermingszones in uitvoering van de Vogelrichtlijn vormen ze het Natura 2000-netwerk.</p> <p>Bouwen in een habitatrichtlijngebied wordt juridisch ten strengste afgeraden in functie van het behoud van de goede waterhuishouding en bescherming van de aanwezige natuurwaarden.</p>
1997 Structuurplanning (Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen)	Het RSV introduceerde het begrip van “gedeconcentreerde bundeling”. Hierin wordt bedoeld dat we demografische groei ruimtelijk niet zullen opvangen in één grote stad maar deze wordt gebundeld in de bestaande woonkernen. Het RSV bakende ook het Vlaams Ecologisch Netwerk af samen met de agrarische gebieden. Via dit voorstel is er nog steeds ruimte voor morfologische ontwikkelingen maar kwam er een rem op het aansnijden van het buitengebied.
1997 Kyoto-protocol	Het Kyoto-protocol heeft als doelstelling de de uitstoot van broeikasgassen in de periode 2008-2012 met acht procent te verlagen ten opzichte van 1990. Indirect zijn hier boscompensaties en beheer en conservatie van natuurgebieden aangekoppeld.
2000 Europese kaderrichtlijn water	De Kaderrichtlijn Water is in 2000 van kracht geworden en heeft als doel de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater in Europa te waarborgen. De ecologische toestand van oppervlaktewateren wordt niet enkel bepaald door de biologische en fysische-chemische kwaliteit. Een belangrijke factor die de ecologische toestand mee bepaalt, is de hydromorfologie of structuurkwaliteit van de waterloop. Hoe meer variatie in hydromorfologische kenmerken van een oppervlaktewater, hoe meer verschillende biotopen er kunnen bestaan. Die verscheidenheid van biotopen betekent op haar beurt een potentieel grotere diversiteit van dier- en plantensoorten in het water. Een goede ecologische toestand van onze oppervlaktewateren hangt af van een goede biologische waterkwaliteit, die onder andere onrechtstreeks bepaald wordt door een betere structuurkwaliteit.
2003 Decreet Integraal Waterbeleid	<p>Één van de beginselen binnen het decreet integraal waterbeleid is “Meer ruimte voor water”. Via het decreet wordt er een instrumentarium ontwikkeld dat aandacht schenkt aan het hele watersysteem en zorg draagt tot de zones buiten de oevers.</p> <p>Het decreet biedt een instrumentarium aan waarin hermeanderingsprojecten van waterlopen worden ondersteund.</p>

2003/2006 Watertoets	<p>De watertoets is een instrument waarmee de overheid die beslist over een vergunning, een plan of een programma inschat welke de impact ervan is op het watersysteem. Het resultaat van de watertoets wordt als een waterparagraaf opgenomen in de vergunning of in de goedkeuring van het plan of het programma. Indien een bouwproject een schadelijk effect heeft op het watersysteem kan de vergunning niet verleend worden.</p> <p>De waterparagraaf in de omgevingsvergunning kan juridische verplichtingen bevatten waaraan de ruimtelijke ingrepen zich aan moeten voldoen. Deze ingrepen staan in om de bebouwde omgeving in harmonie te laten zijn met het watersysteem.</p> <p>De manier hoe de watertoets vandaag wordt toegepast is gefocust op wateroverlast (en zeer eng benaderd). Er wordt onderzocht hoe we de initiële doelstellingen van de watertoets kunnen waarmaken en koppelen aan droogteopgevas.</p>
2012 Vernieuwde Code van goede praktijk: CIW	<p>De code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen is de handleiding voor Aquafin, rioolbeheerders, gemeenten en studiebureaus bij het ontwerpen van rioleringsinfrastructuur. De code moet ervoor zorgen dat de verschillende onderdelen van het rioleringsysteem consistent ontworpen, op elkaar afgestemd en beheerd worden.</p>
2013 Hemelwaterplannen	<p>Hemelwaterplannen worden opgemaakt op gemeentelijk niveau en hebben als uitgangspunt om op een duurzame manier om te gaan met regenwater, om droge bodems te helpen voorkomen en de gevolgen van zware buien te beperken. In hemelwaterplannen wordt er bekeken hoe hemelwater, indien het niet lokaal kan infiltreren, kan afwateren.</p> <p>Bij de opmaak van een hemelwaterplan wordt er bekeken waar er water kan opgehouden en gestuurd worden ter bevordering van infiltratie van de afvoer.</p> <p>Huidige hemelwaterplannen hebben geen (bindend) kader om ook droogte en waterschaarste op te nemen.</p>
2016 Parijs-akkoord	<p>Het Parijs-akkoord heeft als doel om de klimaatsopwarming te beperken tot max 1,5C°, een eind aan het gebruik van fossiele brandstoffen en bij te dragen aan de CO2-reductie. Het behoud en de conservatie van natuurgebieden is opportuun om CO2 te capteren en komt de waterhuishouding ten goede.</p> <p>Alle bemalingen in Vlaanderen hebben een constante energiekost en dragen indirect bij aan de CO2-uitstoot.</p>
2017 De Vlaamse Waterweg	<p>Agentschap van de Vlaamse Overheid die de bevaarbare Vlaamse waterlopen beheert. Aanleg van wachtbekkens en pompstations om overstromingen tegen te gaan.</p>
2018 Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV-witboek)	<p>De strategische doelstelling uit het witboek luidt "Robuuste open ruimte". Open ruimte is ook belangrijk voor de opvang, infiltratie en berging van water. Een veerkrachtig ruimtelijk systeem, ondersteund door een netwerk van groene verbindingen en waterlopen, pakt wateroverlast en watertekort in samenhang aan en garandeert het behoud, het herstel en de ontwikkeling van biodiversiteit.</p> <p>Het realiseren van een fijnmazig groenblauw netwerk. Dit betekent een substantiële vermeerdering van het aandeel wateroppervlakte en groen in open ruimte en steden en dorpen ten opzichte van 2015.</p>
2040 Bouwshift (betonstop)	<p>Een definitief halt toe roepen van het aansnijden van de open ruimte en niet gunstige ruimtelijke locaties gaan ontharden, heeft een positief effect op de grondwaterinfiltratie. Deze maatregel vergroot de grondwaterbuffercapaciteit van zowel het stedelijk als het buitengebied.</p>

Modelmatige aanpak

We hebben een model opgemaakt dat een volledig infiltratie profiel simuleert, gaande van de neerslagpatronen, de vegetatielaag, strooisellaag, de toplaag van de bodem, de teetlaag en de diepere ondergrond (moedermateriaal). We maken daarbij gebruik van hoge resolutie landgebruik en bodembedekkingskaartlagen. Voor de parameterisatie van het model maakten we gebruik van uitgebreide literatuurstudies. Het spreekt voor zich dat we niet altijd alle details weten van de exacte toestand van de vegetatie en de bodem, maar het laat toe om analyses uit te voeren die de effecten van bepaalde trends kunnen aantonen met de nodige nuance.

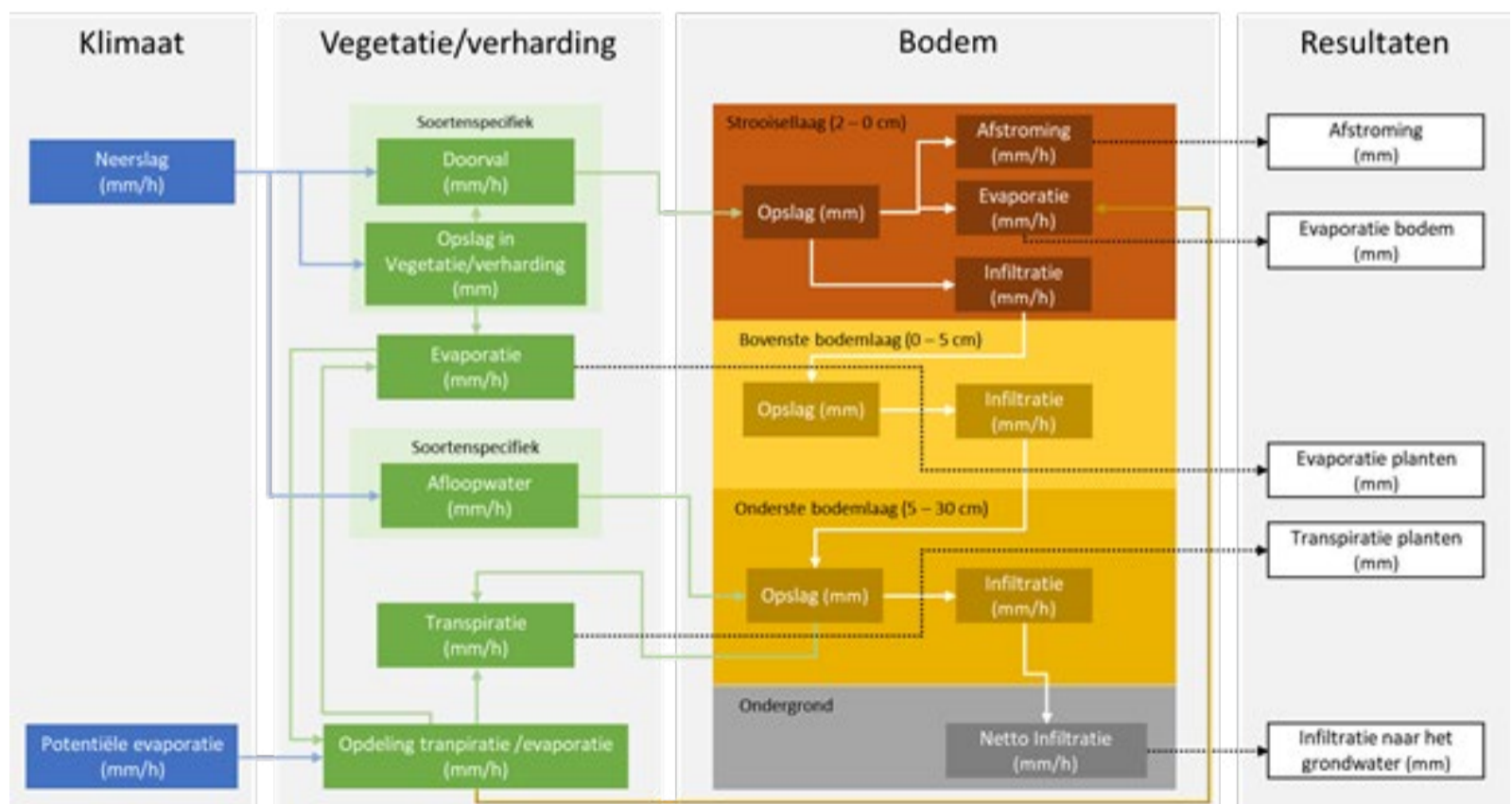
Het model rekt in uur tijdstappen en omvat drie grote compartimenten:

- Veranderingen in klimaat kunnen worden geëvalueerd door een aparte module die neerslagpatronen genereert waarbij neerslagfrequentie, -duur en -intensiteit kunnen worden aangepast doorheen het jaar.
- Variatie in interceptie door vegetatie en verharding worden berekend door rekening te houden met de seizoenale variatie in vegetatie ontwikkeling en potentiële evaporatie.
- Infiltratie in de bodem wordt berekend door rekening te houden met de eigenschappen van de verschillende bodemtypes (infiltratiesnelheid, opslagcapaciteit, etc.) en de seizoenale variatie in transpiratie door de bovengrondse vegetatie en evaporatie van de bodem.

Deze compartimenten werden opgebouwd in functie van specifieke bodem- en bodembedekkingstypen. Voor de berekeningen van akkergewassen wordt er bijvoorbeeld geen rekening gehouden met een strooisellaag, terwijl dit bij bossen wél gebeurt. Voor verharding wordt de vegetatiemodule sterk gereduceerd tot een beperkt aantal fysische processen (e.g. evaporatie en infiltratie).

Het model is momenteel gericht op het beoordelen van de effecten van land en bodemgebruik op infiltratie en retentieverliezen. We brengen voor elke pixel van het Vlaamse grondgebied potentiële afstroming, verdamping, drainage en infiltratie in beeld zonder een concrete uitspraak te doen over de lokale impact op sectoren (landbouw, natuur). We berekenen afstroming en schatten in of deze afstroming alsnog zeer lokaal kan infiltreren (secundaire infiltratie). We modelleren echter niet naar waar deze afstroming afgevoerd wordt, noch welke consequenties dat heeft op die locaties. We modelleren ook geen ondergrondse waterstromen, niet in de onverzadigde zone (bodem) en niet in het grondwater.

Het model laat echter wel toe om verschillende aspecten in rekening te brengen waar conventionele hydrologische modellen abstractie van maken. De meeste hydrologische modellen zijn niet ruimtelijk verdeeld. Op basis van tijdreeksen met gemeten neerslag en debiet worden wiskundige relaties bepaald die toelaten om te voorspellen hoeveel afstroming er gegenereerd wordt. Het afstromen zelf wordt dus niet gesimuleerd en de modellen tonen niet waar die afstroming gegenereerd wordt.



Afbeelding: Schematisch overzicht van de verschillende modules en bijhorende resultaten. Afhankelijk van het type bodemgebruik: natuurlijke vegetatie, landbouw of verharding worden bepaalde compartimenten in de verschillende modules wel of niet opgenomen in de berekening.

Neerslag

- Het model rekent een serie van neerslagevents door. Neerslagpatronen werden gekarakteriseerd op basis van de reële neerslaggegevens voor een 10-tal weerstations en op basis van gegevens uit de laatste 10 jaar. Deze karakterisering laat vervolgens toe om jaarreeksen van neerslagevents te simuleren waarbij rekening wordt gehouden met de seizonale variatie in neerslagpatronen. Voor een typisch droog, nat en gemiddeld jaar werden telkens 500 simulaties van de jaarneerslag doorgerekend. Maar het is ook mogelijk om een specifiek jaar te simuleren op basis van de gegevens van één weerstation, uniform toegepast over heel Vlaanderen.

Vegetatielaag

- De opslag, doorval en mogelijke evaporatie van water in de vegetatielaag wordt gesimuleerd. Deze opslag en evaporatie kan relatief hoog zijn bij bepaalde vegetatievormen. Dit kunnen bomen zijn, maar dus ook andere vegetatie en gewassen.
- De transpiratie door vegetatie wordt eveneens gesimuleerd. Hierbij voorzien we een terugkoppeling vanuit de bodemlaag waarbij het beschikbaar bodemvocht een limiterende factor kan zijn. Wanneer het beschikbare water in de teeltlaag zeer laag wordt (wilting point) zal gewasverdamping afnemen.
- Het capillair effect van ondiep grondwater op de waterbeschikbaarheid in de wortelzone wordt (nog) niet meegenomen, maar dit is in principe ook minder aan de orde op locaties die belangrijk zijn voor grondwater aanvulling. De analyse is immers gericht op het kwantificeren van verliezen die potentieel ten koste gaan van grondwateraanvulling.

Strooisellaag

- De opslag, doorval en mogelijke evaporatie van water in de strooisellaag wordt apart gesimuleerd. Hoe dikker de strooisellaag, hoe beter extreme neerslag gebufferd kan worden, maar er is ook een deel dat rechtstreeks verdampt. Directe verdamping uit de strooisellaag kan significant zijn bij bepaalde weerpatronen in de lente.
- We maken onderscheid tussen verschillende vegetatietypen.
- Akkers worden verondersteld geen strooisellaag te hebben.

Toplaag bodem onverhard

- We simuleren de opslag en infiltratie van water in de toplaag van de bodem.
- De toplaag vormt een belangrijke barrière bij intense neerslag en kan afstroming genereren. De infiltratiesnelheid van de toplaag wordt bepaald door textuur, maar ook door het gehalte organische stof in de bodem.
- Organische stof helpt de opslagcapaciteit én porositeit van de toplaag te verhogen. Het organisch materiaal zorgt ervoor dat bodemdeeltjes kunnen samenklitten in grotere structurele eenheden met een grotere variatie aan poriën. Ook is het een voedingsbron voor allerlei bodemleven dat op haar beurt met gangen en holen de bodemstructuur verder vorm geeft.

- Landbouwbodems met een laag gehalte organische stof en/of onderhevig aan verdichting kunnen dan weer wel aanzienlijke afstroming genereren. Het gehalte organische stof wordt ingeschat op basis van de bodembedekking. Momenteel hanteren we slechts een paar arbitraire klassen op basis van aannames. Dit is uiteraard een sterke vereenvoudiging van de realiteit.
- We houden (nog) geen rekening met microreliëf, hellingsgraad en eventuele afstromingslijnen. We nemen voorlopig aan dat beide effecten elkaar een beetje opheffen. Door geen helling in rekening te brengen zal de afstroming lager ingeschat worden, anderzijds zal een deel van de effectieve afstroming ook weer infiltreren in plassen en grachten. We nemen nu aan dat de gesimuleerde afstroming afgevoerd wordt. Bij de aanleg van infiltratiepoelen en/of het compartimenteren van dergelijke niet permanent watervoerende grachten kunnen we een buffervolume en infiltratieoppervlakte specificeren en zo een deel van die afstroming alsnog laten infiltreren. Maar dit laatste is momenteel nog niet geïmplementeerd.

Toplaag bodem verhard

- Dezelfde methodiek wordt ook toegepast op verharde oppervlakken. Bodemafdichting wordt gesimuleerd, waarbij we rekening houden met de opslagfactor en de doorlaatbaarheid. Dus vorming van plassen en barsten bij bv verouderde verharding, waarvan dan een groot deel terug kan verdampen of doorsijpelen.
- We hebben waarden opgezocht voor verschillende vormen van verharding en kunnen spelen met deze factoren. Dergelijke informatie is natuurlijk niet beschikbaar op niveau Vlaanderen, maar kan dus wel gesimuleerd worden. Voorlopig maken we de aanname dat opslag en doorlaatbaarheid beperkt is.
- We simuleren afstroming op de toplaag van de bodem. Voor verharde oppervlakken wordt hier opslag en doorlaatbaarheid in rekening gebracht. We maken onderscheid tussen verschillende vormen van verharding (daken, wegen,...). Het afstromend water kan vervolgens verschillende wegen volgen.
- Indien er riolering (RWA of gemengd) aanwezig is, wordt verondersteld dat het afstromingswater 100% afgevoerd wordt.
- We houden géén rekening met hemelwaterputten. We gaan er van uit dat de meest huizen deze nog niet hebben en/of dat de meeste putten toch nog een overloop hebben op riolering. De impact op infiltratie/ grondwateraanvulling verschilt trouwens niet ten opzichte van volledige afvoer van afstromingswater.
- Indien er geen riolering is of RWA mét infiltratievoorzieningen simuleren we bij gebrek aan details met betrekking tot de dimensionering een afstroming onder gras voor eenzelfde oppervlakte als de verharding. Dus bij extreme neerslagintensiteit of hoeveelheden zal ook die toplaag verzadigd raken en afstroming genereren (zij het beperkt).

Modelmatige aanpak

- Deze aannames zijn (op termijn) lokaal aanpasbaar op basis van het buffervolume en infiltratieoppervlakte van de infiltratievoorzieningen. We kunnen deze dan ook simuleren en enkel de overloopvolumes als afstroming beschouwen.

Teeltlaag bodem

- De teeltlaag (5-30 cm) wordt apart beschouwd om de effecten van intensieve landbouw te simuleren.
- De teeltlaag zelf heeft een bepaalde water opslag capaciteit en doorlaatbaarheid. Deze parameters worden positief beïnvloed door hogere koolstofgehalte in de bodem.
- Onder de teeltlaag definiëren we een ondergrond met opnieuw een specifieke doorlaatbaarheid. Dit bepalen we op basis van de doorlaatbaarheid van het moedermateriaal (de basis textuur zonder organische stof). Eénmaal water in de ondergrond zit, nemen we aan dat dit bijdraagt tot diepe grondwater aanvulling. We houden hierbij (nog) geen rekening met diepwortelende vegetatie.
- We kunnen de doorlaatbaarheid van de ondergrond wel manipuleren. Hiermee hebben we de mogelijkheid om de aanwezigheid van een ploegzool (diepe compactie) in rekening te brengen. Als de infiltratie doorheen de toplaag hoger is dan de diepe infiltratie kan bij aanhoudende neerslag de gehele teeltlaag verzadigd geraken en afstroming genereren.
- Het is ook deze laag die vocht levert aan gewassen en eventueel limiterend kan worden voor verdamping door gewassen (gesteld dat er geen irrigatie is).
- Het watervasthoudend vermogen wordt voornamelijk bepaald door de textuur. Recente studies tonen aan dat het effect van organische stof op het watervasthoudend vermogen beperkt is. Een hoge OC zal leiden tot meer opslag capaciteit om neerslag te bufferen, maar het zal geen verschil maken eenmaal dat bodemwater geïnfiltreerd is.

Ondergrond

- De doorlaatbaarheid van de ondergrond is mee bepalend voor de opslag in de teeltlaag en het risico op afstroming door verzadiging.
- De interactie is opnieuw complex en in sommige omstandigheden positief voor landbouw, maar in alle gevallen negatief voor grondwateraanvulling.
- Het kan bijdragen tot verhoogde waterbeschikbaarheid voor gewassen bij matige neerslag tijdens de zomer omdat het een barrière vormt voor diepere infiltratie.
- Anderzijds zorgt het tijdens de winter voor verzadiging en extra afstroming. Ook tijdens het groeiseizoen kunnen extreme neerslaghoeveelheden zorgen voor een verzadiging die nefast is voor de gewasontwikkeling.

Grondwater

- Nog complexer is de interactie met ondiep grondwater (quartair). De ondiepe grondwaterlagen hebben natuurlijke fluctuaties (GHG/GLG) en wanneer dat grondwater voldoende ondiep zit zullen er bijkomende interacties optreden. Er zal dan opstijgend grondwater zijn naar de teeltlaag, maar ook zal infiltratie mogelijk beperkt worden. Om dit methodologisch uit te klaren hebben we de volgende aanpak/rationale uitgewerkt.
- Op basis van de bodemkaart hebben we de historische drainageklassen gebruikt en geïnterpoleerd naar een glooiend grondwaterhoogtemodel voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Hierbij zijn vergraven gronden gecorrigeerd en zones zonder bodemkaart gegevens opgevuld. Deze historische referentie blijft erg belangrijk. In 2020, startte een opdracht om deze drainageklassen te updaten. De watersysteemkaart gaat toch uit van de eerste versie van de drainageklassen, omdat deze dichter bij de ‘natuurlijke’ toestand liggen.
- We gebruikten de bodemkaart en topografische indices om eveneens een (gemiddeld laagste grondwaterstand) GLG af te leiden en vervolgens peilen op maandbasis te berekenen. Het grondwaterpeil bereikt zijn hoogste punt in februari en zal gedurende het groeiseizoen gestaag dalen om eind september het laagste punt te bereiken.
- Uiteraard kan het actuele grondwaterregime vandaag de dag geheel anders zijn, het blijft wel een potentiële toestand die terug kan komen wanneer winningen en drainage worden stopgezet. Zich baseren op de actuele GHG/GLG kan misleidend zijn, omdat het een herstel van de ‘natuurlijke’ toestand hypothekeert.
 - Het bouwen op plaatsen die droger zijn geworden door grote winningen hypothekeert immers een eventuele stopzetting van dergelijke winningen.
 - Hetzelfde kan ook voorkomen in urbane gebieden waar er door verharding een dergelijk impact is op grondwaterpeilen dat de voormalig natte (en nog onbebouwde zones) toch bebouwbaar worden geacht. Bij een doorgedreven infiltratiebeleid zullen het ook deze zones zijn die problematisch zullen worden. Er zijn ook anekdotes waarbij het vervangen van kapotte en drainerende rioolbuizen leidt tot vernatting en grondwateroverlast. Het argument van de “achterhaalde” bodemkaart is niet correct en mag niet misbruikt worden om nog meer fouten te maken.
 - De recente droogte leidt eveneens tot perverse effecten in de landbouw. Door de lagere grondwaterstanden kan men vandaag landbouwgronden die voorheen té nat waren voor intensieve landbouw toch bewerken en omvormen van grasland naar akkerbouw. Dus de gronden die vroeger niet productief waren omdat ze té nat zijn, hebben nu wél een goed rendement. Er gebeuren dus verschuivingen die best niet leiden tot onomkeerbare veranderingen.

Drainageverliezen en hoe deze te interpreteren

- De watersysteemkaart maakt onderscheid tussen infiltratiegebieden, tijdelijk natte gebieden (met een van nature grote fluctuatie tussen GHG en GLG) en permanent natte gebieden (de echte kwelgebieden met een zeer ondiepe grondwaterstand en een klein verschil tussen GHG en GLG). De redenen om deze potenties te gebruiken en geen actuele toestand werd eerder al beargumenteerd.
- Infiltratie wordt momenteel reeds beperkt op basis van de GHG/GLG. Er is momenteel geen actieve koppeling om de GHG/GLG te manipuleren op basis van de berekende grondwateraanvulling en winningsdruk. Dit kan op termijn voorzien worden, maar vergt verder onderzoek naar hoe dit te implementeren.
- Wat we wél doen is het bepalen van een actuele GHG/GLG op basis van landgebruik, bodembedekking en de aanwezigheid van grachten.
 - De drainagediepte wordt berekend en de GHG_{nat}/GLG_{nat} worden naar beneden bijgesteld tot een GHG_{act} en GLG_{act}.
 - Wanneer gronden niet gedraineerd worden zal een deel van dat bodemwater verdampen en een deel traag zijn weg vinden naar de waterloop (basisdebiet).
 - Wanneer deze gronden wél gedraineerd worden is dat volume water niet meer beschikbaar, noch voor verdamping en zeker niet meer om een basisdebiet te voeden. Dit volume water berekenen we als drainageverliezen. We maken momenteel de aanname dat dit volume bodemwater éénmalig, maar totaal verloren gaat. In realiteit zal er een deel water achterblijven in de bodem en een deel terug aangevuld worden door opwellend grondwater.
 - We berekenen twee indicatoren: een seizoenale waterlevering en een maximale waterlevering.
 - De seizoenale waterlevering is in feite het natuurlijk waterleverend vermogen en is het verschil tussen GHG en GLG. Soms is de drainage beperkt en is er nog een zeker water leverend vermogen. Soms betekent dit dat de GHG en GLG gelijk komen te staan en is er geen waterleverend vermogen.
 - De maximale waterlevering is tevens bepaald omdat onze waterlopen toch vaak dieper liggen dan oorspronkelijk. In dit geval is het waterleverend vermogen bepaald als het watervolume dat aanwezig is tot één meter onder maaiveld.
- Wanneer van nature permanent natte gebieden actief gedraineerd worden creëert men in principe een beperkte ruimte voor infiltratie en waterberging (net zoals het ledigen van een wachtbekken). Retentie en infiltratie zijn in de van nature permanent natte gebieden vaak communicerende vaten. We gaan binnen het kader van droge delta het effect van vernatting op afstroming niet kwantificeren omdat dit in feite geen invloed heeft op grondwateraanvulling maar willen dit conceptueel toch even aanhalen.
 - Bij drainage heb je een voordeel tijdens een nat voorjaar of zomer. Er is nog ruimte voor infiltratie en er is minder afstroming. Maar bij een droge zomer zal het bodemwater té diep wegzakken.
 - Bij vernatting heb je een voordeel tijdens een droog voorjaar of zomer. Er is meer water beschikbaar in de bodem, de teeltaag droogt minder snel uit en er is nog waterlevering naar de waterlopen. Als het een natte zomer wordt kan men de stuwen alsnog open zetten.
 - Ook naar waterhuishouding zijn er wel bepaalde wisselwerkingen die de afweging bemoeilijken. Het ideale waterretentiegebied is nat, maar behoudt toch nog een zekere capaciteit om bijkomende neerslag/afstroming te bufferen. Gedraineerde valleisystemen zijn vlak, zonder vegetatie en dooraderd met grachten. Wanneer de drempel van verzadiging overschreden wordt zal er een plotse en hoge hydrologische connectiviteit zijn richting waterloop. Dit fenomeen zal zich ook stellen bij peilgestuurde drainage of stuwpeilbeheer. Bij natuurlijke valleisystemen zonder grachten is er immers door de vegetatie en veenrijke bodem een trage afvoer waarbij er oppervlaktewaterberging mogelijk is.
 - Het is dus ieder jaar opnieuw afwachten of retentie zal opbrengen of niet. Uiteraard is het onder de huidige situatie met extreem lage grondwaterpeilen een evidentie dat het wel zal opbrengen. Een belangrijke beperking is de bewerkbaarheid van de landbouwgronden tijdens het voorjaar. De grote vraag is of de retentie van winterneerslag in valleigebied (van nature permanent natte gronden) wel opbrengt wanneer je deze in het voorjaar alsnog gaat draineren om aan landbouw te kunnen doen. Het uiteraard ook de ontwatering van hoger gelegen zones beperken. De theorie is dat het water in de iets hoger gelegen zones vervolgens terug zijn weg vindt naar de lager gelegen zones tijdens het groeiseizoen. Maar dan moet men die principes wel toepassen op een heel gebied. Een individuele stuw zal onvoldoende zijn.

Berekeningswijzen van de kaartlagen

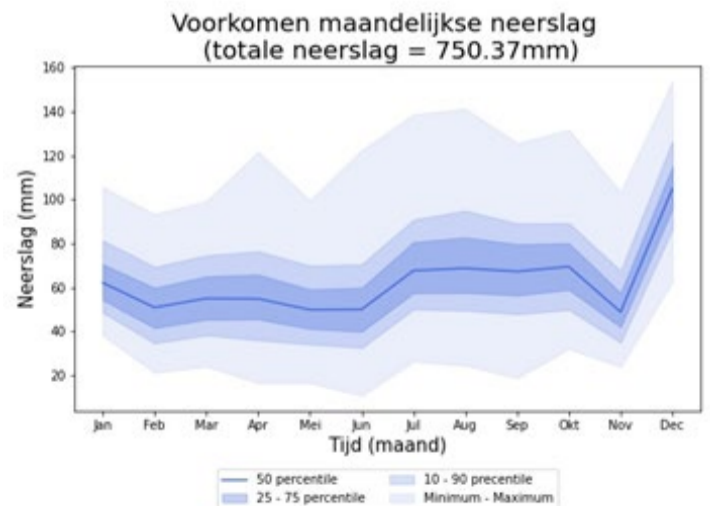
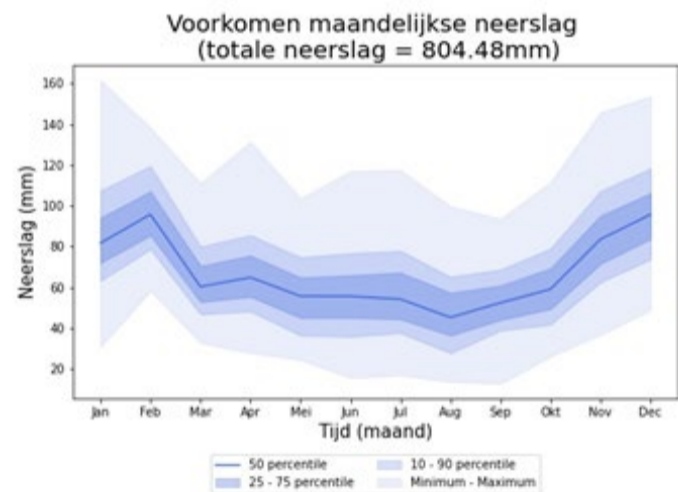
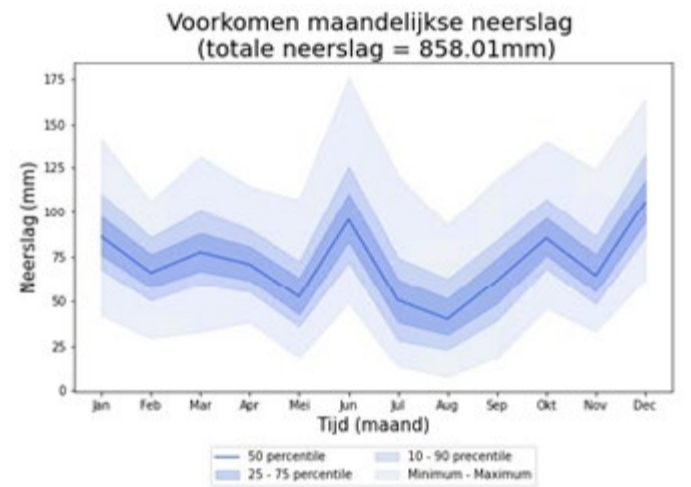
Afstroming

Afstroming werd apart becijferd. Niet alle afstroming kan omgezet worden in infiltratie en niet alle afstroming is vermijdbaar. Op zeer zware bodems kan een deel afstroming onvermijdbaar zijn (bij zeer zware neerslag). Afstroming wordt bijvoorbeeld ook gegenereerd op valleibodems waar het grondwater zeer ondiep zit en de bodem vlug verzadigd geraakt. Ook oppervlaktewater resulteert in afstroming (toch modelmatig).

Daarom maken we onderscheid naar de bronnen van de afstroming:

- Door de aanwezigheid van ondiep grondwater: strikt genomen zal droogte leiden tot dalingen in het grondwaterpeil en zal het ruimte creëren voor infiltratie en zo afstroming verminderen. Deze koppeling tussen infiltratie en fluctuaties in grondwaterpeilen werd nog niet geïmplementeerd. Voor Droge Delta is dit ook niet erg relevant. De extra infiltratie door voorafgaande verdroging van moerassen en valleien kunnen we bezwaarlijk grondwateraanvulling noemen. We begroten immers ook de drainageverliezen en beide zijn communicerende vaten. Deze vorm van afstroming is voor een deel gebufferd en verloopt trager. Het kan beschouwd worden als een bron van "trage afstroming".
- Door bodemgebruik: de afstroming veroorzaakt door verharding zal veel sneller waterlopen bereiken. We berekenen de afstroming op alle verharde oppervlakte, maar houden daarbij rekening met opslag en verdamping. We kunnen modelmatig verschillende soorten verharding toepassen (bv. klinkers, doorlatend asfalt) die elk hun eigen specifieke opslag en doorlaatbaarheid hebben. Er zal maar afstroming ontstaan wanneer de opslag overschreden wordt. Maar deze gegevens ontbreken op de schaal van Vlaanderen en daarom passen we hier overal de kengetallen voor asfalt toe. Voor daken veronderstellen we eveneens overal een pannendak. Maar ook hier kunnen we modelmatig verschillende soorten daken toepassen. Het toepassen van groendaken is bijvoorbeeld ook mogelijk. Platte daken hebben volgens de literatuur ook beduidend meer plassen dan hellende daken en genereren minder snel afstroming en meer verdamping.

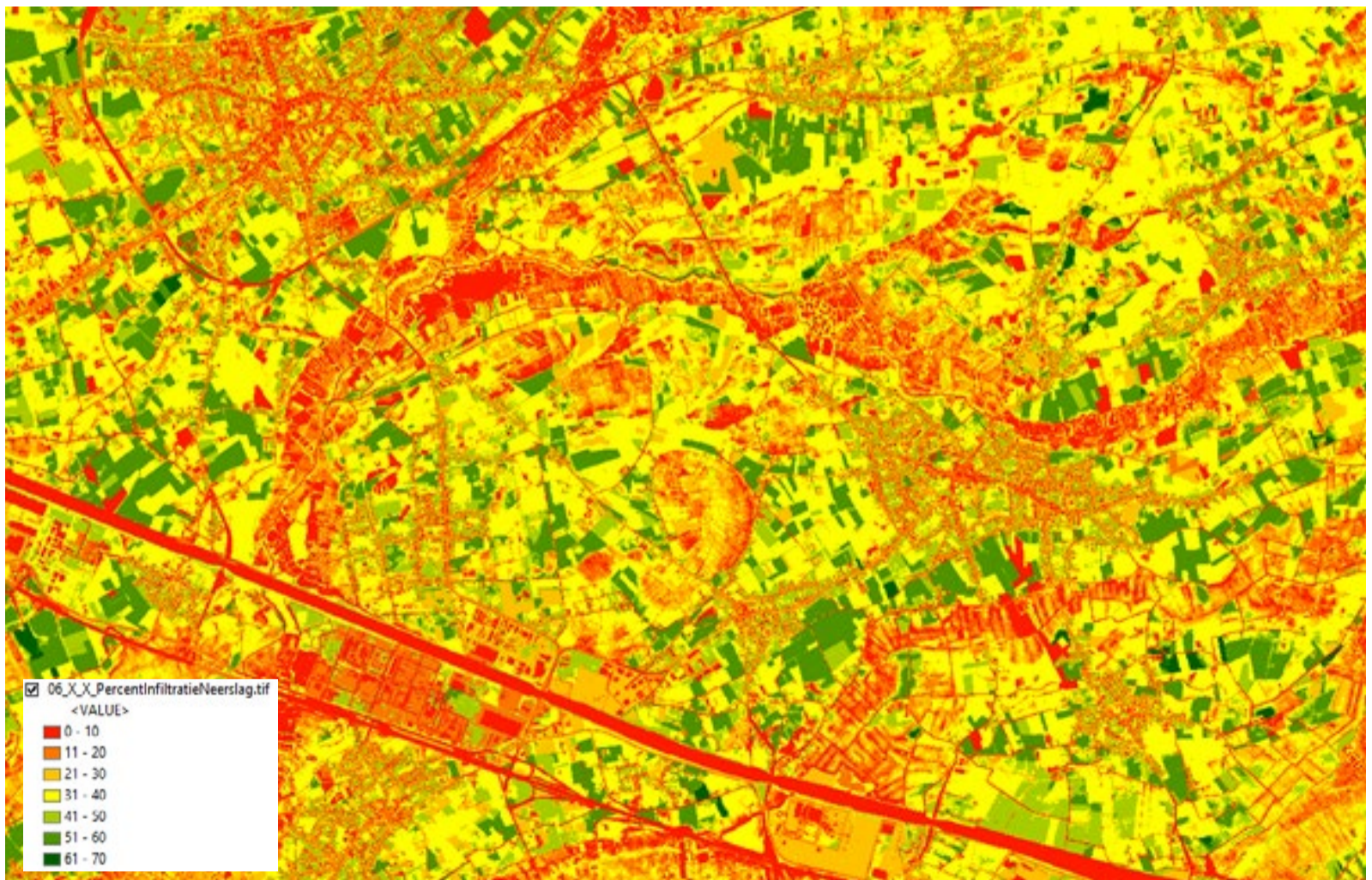
Neerslagpatroon van de simulatie (grafiek)
 Overzicht van de maandtotalen. Er zijn drie scenario's doorgerekend. Een eerder nat jaar, een gemiddeld jaar en een droog jaar.



Afbeelding: Schematisch overzicht van de verschillende modules en bijhorende resultaten. Afhankelijk van het type bodemgebruik: natuurlijke vegetatie, landbouw of verharding worden bepaalde compartimenten in de verschillende modules wel of niet opgenomen in de berekening.

- Afstroming kan voor een deel alsnog infiltreren. Dit noemen we secundaire infiltratie. We weten echter niet voor elke locatie of er infiltratievoorzieningen zijn aangelegd. Op basis van de aanwezigheid van hemelwatergrachten, RWA/DWA of gemengde riolering maken we een inschatting van de secundaire infiltratie. Dit is érg lastig om te veralgemenen. We veronderstellen daarom dat de verharding die aangesloten is op gemengde riolering volledig afgevoerd wordt. Voor alle verharding die niet is aangesloten op gemengde riolering veronderstellen we dat een deel alsnog infiltreert. Hierbij maken we (voorlopig) de aanname dat de verharde oppervlakte gelijkgesteld wordt aan een zelfde oppervlakte onder gras. Afhankelijk van de aanwezigheid van RWA/DWA, grachten of als grachten of riolering afwezig zijn wordt aangenomen dat een bepaald deel van de verharde oppervlakte alsnog kan infiltreren in de naastgelegen niet-verharde delen of ondergrond. De opslag kan dus ook overschreden worden en er kan afstroming optreden bij hevige of aanhoudende neerslag. Indien er lokale informatie beschikbaar is kan men voor ieder deel verhard oppervlak de parameters specificeren.

Percentage van neerslag dat diep infiltreert.
Deze kaartlaag toont simpelweg het percentage van de totale neerslag dat uiteindelijk in de diepe ondergrond terecht komt. Voor 2018 bedraagt het gemiddelde voor Vlaanderen 27 %.



Berekeningswijzen van de kaartlagen

Verdampingsverliezen: Evaporatie en transpiratie

De teeltlaag (5-30 cm) wordt apart beschouwd om de opgeslagen in de vegetatie (druppeltjes aan de bladeren) en de strooisellaag. Afhankelijk van de weersomstandigheden en de duurtijd tussen de buien zal een deel terug verdampen. Daarnaast zal de vegetatie tijdens het groeiseizoen ook water verdampen door fotosynthese (groei). Deze drie componenten samen vormen de verdampingsverliezen.

In deze versie van het model houden we geen rekening met de effecten van ondiep grondwater of doorstroming met oppervlakte water. Het model voor verdampingsverliezen gaat momenteel uit van een vrije drainage waarbij het grondwater zeer diep zit. Uiteraard zal de verdamping in valleigebieden en kwelgebieden veel hoger liggen. Aangezien in dergelijke zones geen sprake is van grondwateraanvulling, kan er ook geen sprake zijn van verdampingsverliezen die ten koste gaan van grondwateraanvulling. De balans van de verdampingsverliezen moet dan ook gemaakt worden ten opzichte van de potentiële grondwateraanvulling. Deze wordt immers beperkt door de grondwaterdiepte.

We begroten drie aspecten van verdampingsverliezen:

- Evaporatie via interceptie: Iedere vegetatie heeft een zeker bladoppervlak en een bepaalde capaciteit om waterdruppeltjes vast te houden. Dit heeft te maken met de dichtheid en de eigenschappen van het bladoppervlak. De vegetatie zal dus een deel van de neerslag opslaan alvorens deze zal doorvallen naar de bodem of kan afstromen via takken en stam. Op basis van literatuuronderzoek bepaalden we de opslagcapaciteit, doorval en afstroming via takken en stam voor verschillende gewassen, boomsoorten en grassen. Voor blad- en naaldverliezende vegetatie wordt er gebruik gemaakt van aparte cijfers voor winter en zomerseizoen. Terwijl we voor landbouwgewassen rekening houden met het groeiseizoen en gewasgroei-curves. Voor bossen nemen we wel aan dat alle bossen een volwassen standdichtheid hebben. Bossen die gedund worden of beheerd worden om een open karakter te houden, zullen in werkelijkheid een lagere interceptie hebben. Het is geen probleem om een factor standdichtheid in rekening te brengen, maar gegevens over bosleeftijd, standdichtheid, beheer ontbreken. Daarnaast moeten we dat effect ook niet overschatten, want meer open bossen hebben doorgaans een dichtere ondergroei die op zich ook interceptie veroorzaakt.
- Evaporatie van bodemvocht: Uit de bodem zelf kan ook water verdampen, zeker in de periode vlak na het neerslagevent. De toplaag (strooisellaag) van de bodem heeft een bepaalde opslag en vochthoudend vermogen. Na het neerslagevent zal de opslag deels infiltreren en deels verdampen. Ook voor verharde oppervlakte definiëren we een opslag en doorlaatbaarheid. Aangezien deze doorlaatbaarheid zeer beperkt is, zal het deel dat niet afstroomt grotendeels verdampen.
- Transpiratie door vegetatie: Dit is de verdamping door de fotosynthetische activiteit van de vegetatie. We baseren ons op gewasgroei-curves voor de belangrijkste

landbouwgewassen. Deze verdamping door gewassen wordt gelimiteerd door de beschikbaarheid van bodemvocht in de teeltlaag (tot 30 cm). Wanneer het bodemvocht dicht komt bij het verwelkingspunt, zal de verdamping stilvallen. Opstijgend vocht uit de diepere ondergrond is momenteel slechts beperkt in rekening gebracht.

- Voor bossen is de opdeling tussen interceptie en transpiratie moeilijker in te schatten. Experimentele gegevens zijn schaars en voor welbepaalde omstandigheden (bv lucht vochtigheid, wind, bodemvocht). Wanneer we gebruik maken van kengetallen die gebruikt worden in modellen stellen we vast dat de globale evapotranspiratie vaak vergelijkbaar is, maar de opdeling tussen evaporatie (interceptie) en transpiratie wel eens verschillend kan zijn.

Actuele infiltratie

De actuele infiltratie wordt berekend door de neerslag te verminderen met alle mogelijke verliezen.

Infiltratie = neerslag – evaporatie vegetatie – evaporatie bodem – transpiratie plant – afstroming bodem + secundaire infiltratie.

Daarnaast begrenzen we de grondwateraanvulling door de “natuurlijk” grondwaterdiepte in rekening te brengen. We nemen hiervoor de geïnterpoleerde drainageklasse van de bodemkaart. Deze grondwaterdiepte kaart werd ontwikkeld door Jan Staes tijdens zijn doctoraalstudie. De drainageklasse van de bodemkaart geeft indicatie van de algemene grondwaterdiepte voor een gehele polygoon. Dit is in het verleden vaak fout toegepast door aan te nemen dat die algemene grondwaterdiepte geldig is voor iedere locatie binnen zo'n polygoon. Dit terwijl er binnen die polygonen vaak nog substantiële variaties zijn in hoogteligging. Door enkel representatieve punten te selecteren binnen de polygonen en deze vervolgens te interpoleren bekomen we een glooiend hoogtemodel van het grondwater. Zoals eerder aangehaald nemen we deze historische referentie als basis, omdat strategische grondaanvulling in zones met een van nature ondiepe grondwaterstand niet mogelijk is. Met strategische grondwater aanvulling bedoelen we dat de aanvulling niet onmiddellijk weggepompt of gedraineerd kan worden. Dit kan uiteraard relevant zijn naar afstroming en wateroverlast, maar de infiltratie op dergelijke locaties kan bezwaarlijk als positief beschouwd worden ten aanzien van droogte.

Potentiële infiltratie

De potentiële infiltratie is eveneens begrensd door de “natuurlijke” grondwaterdiepte. Maar voor alle andere factoren hebben we het land en bodemgebruik geoptimaliseerd. Dit omvat een modelmatige optimalisatie van het bodemgebruik met de hoogste infiltratie onder die bodemcondities. Op zware bodems is dit vaak bos, op lichte bodems zal dat gras zijn.

Om dit inzichtelijk te maken hebben we eveneens potentieelkaarten voor infiltratie waarbij we geheel Vlaanderen respectievelijk onder eikenbos (2104), grove den (2207), natuurgrasland (3101) en mais (6102) leggen.

Opmaak van balansen en interpretaties

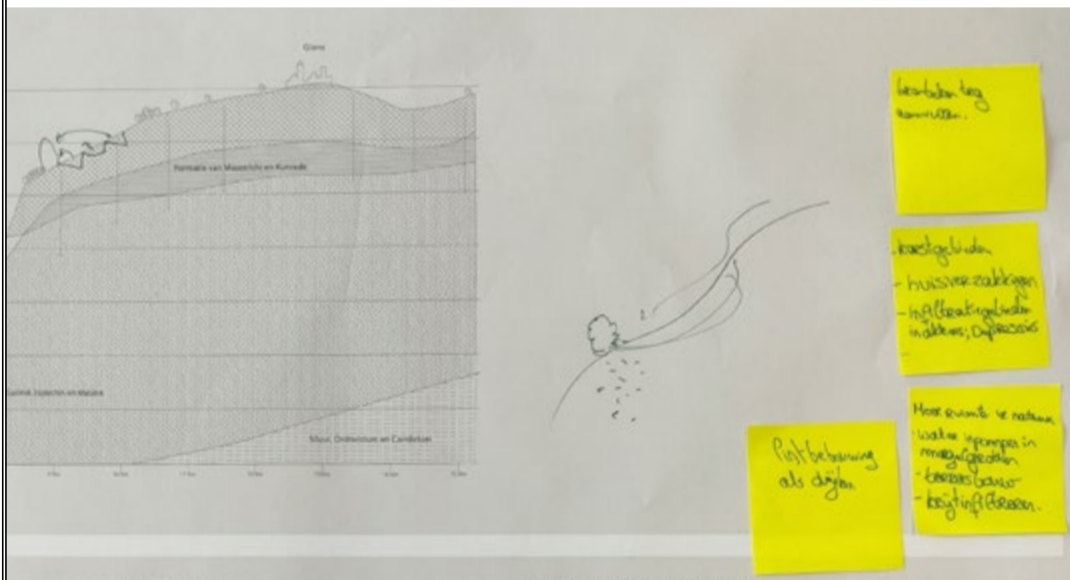
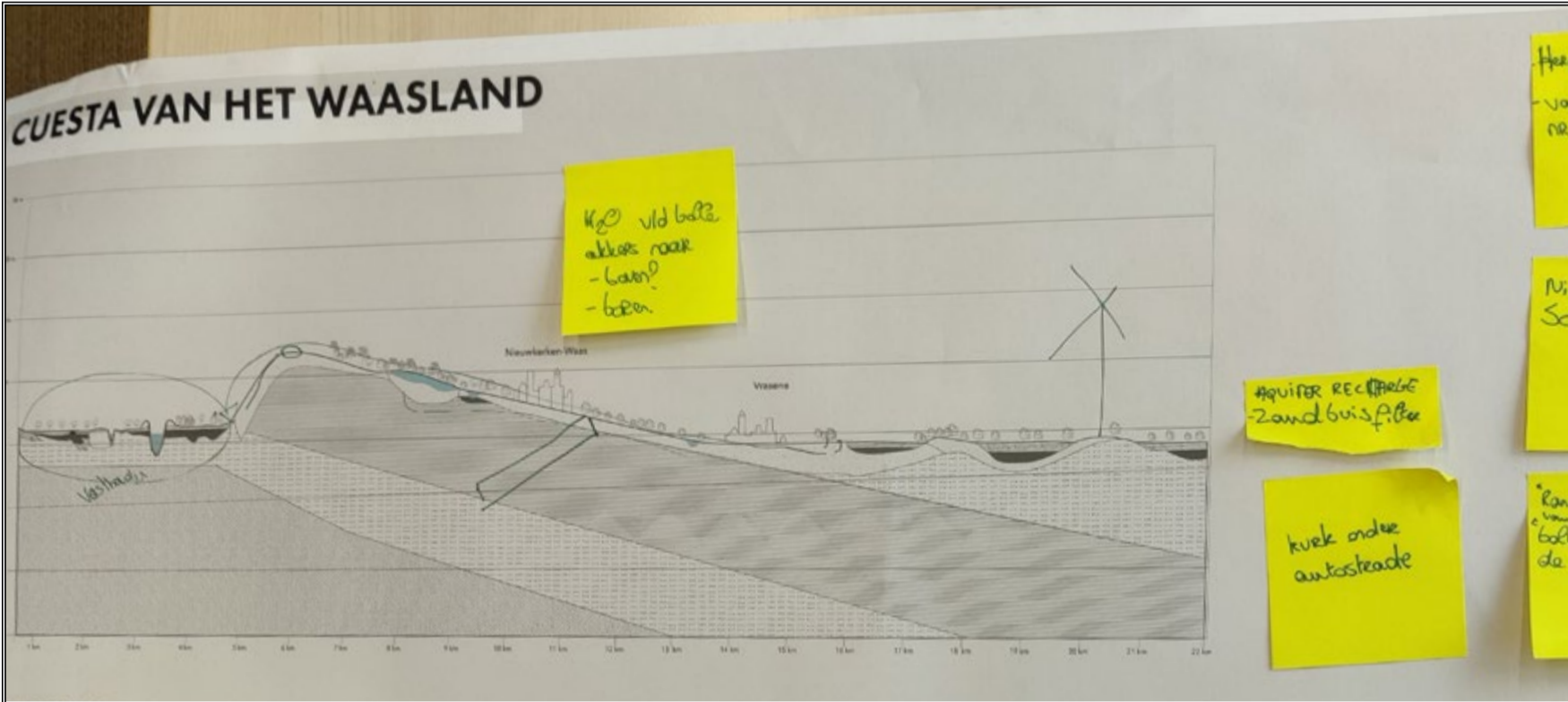
De output van het model kan verwerkt worden in waterbalansen. Daarbij is het essentieel om de infiltratiegebieden en de kwelgebieden apart te bekijken. De GHG/GLG kaarten en de watersysteemkaart worden gebruikt om Vlaanderen op te delen in infiltratiegebied, tijdelijk natte gebieden en permanent natte gebieden.

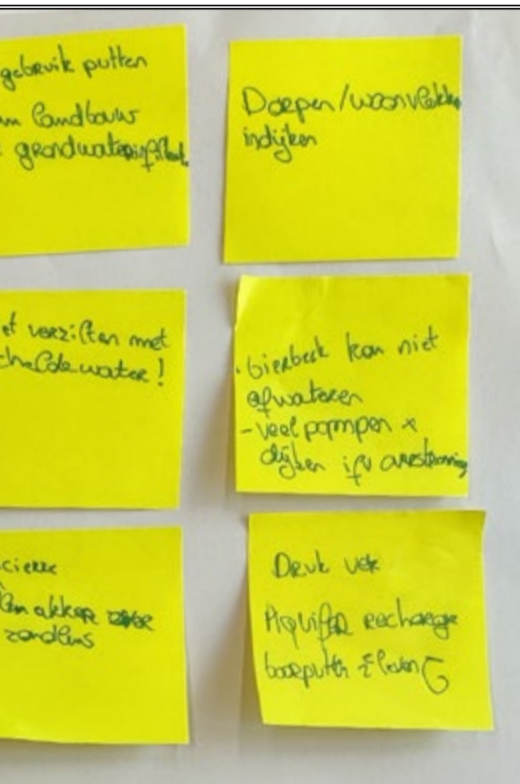
- Voor de infiltratiegebieden maken we een balans van de infiltratieverliezen ten opzichte van de potentiële infiltratie.
- Voor de tijdelijk natte gebieden berekenen we de drainageverliezen ten opzichte van het natuurlijk waterleverend vermogen. Deze zones zitten op de wip tussen infiltratie en retentie. Het vasthouden van water in deze zones kan leiden tot uitgestelde grondwateraanvulling. We rekenen deze drainageverliezen tot de verloren grondwateraanvulling.
- Voor de permanent natte gebieden is er geen grondwateraanvulling mogelijk, maar uiteraard wél een zekere mate van infiltratie. Voor deze gebieden berekenen we enkel de drainageverliezen.

Voor een bepaalde polygoon willen we dus de volgende informatie:

Watersysteemkaart		Eenheid
Infiltratiegebied	Potentiële infiltratie optimaal Potentiële infiltratie eikenbos Potentiële infiltratie mais Potentiële infiltratie naaldbos	
% Permanent Droge Gebieden	Potentiële infiltratie natuurgrasland % neerslag dat infiltreert Actuele infiltratie Totale afstroming Totale evapotranspiratie Infiltratieverliezen tov potentieel optimaal Performantie (actueel/potentieel)	
% Tijdelijk Natte gebieden	Tijdelijk Natte gebieden Natuurlijke levering uitgestelde grondwateraanvulling Verschil in uitgestelde grondwateraanvulling (drainageverliezen) Performantie (actueel/potentieel)	
% Permanent Natte gebieden	Permanent Natte gebieden Natuurlijke levering uitgestelde grondwateraanvulling Verschil in uitgestelde grondwateraanvulling (drainageverliezen) Performantie (actueel/potentieel)	

Werk sessie





Samen met actoren uit het werkveld willen we tijdens de sessies onderzoeken hoe generieke concepten m.b.t. droogtebestrijding gebiedsspecifiek kunnen worden uitgewerkt.

De werksessie die de Oostelijke helft van Vlaanderen (Antwerpen, Limburg, Vlaams-Brabant) zal vastpakken zal doorgaan op maandag 30/08 vanaf 13u00. De werksessie zal in Brussel georganiseerd worden met de nodige corona-maatregelen die dan van kracht zijn. We verwachten jullie in lokaal 01.05 in het Herman Teirlinck-gebouw. Na een introductie splitsen we ons op in kleinere groepen om (meer in detail) in gesprek te gaan.

We starten met een introductie die de opdracht van De Droge Delta wat breder kadert en het geleverde werk wordt gepresenteerd. Op basis van een geomorfologische analyse worden grotere structuren gedetecteerd die kunnen fungeren voor boven- of ondergrondse waterbuffering. In deze sessie wordt extra aandacht besteed aan de bouwstenen die het stockeren van het water in de ondergrond of bovengrond kunnen realiseren. Na de introductie splitsen we ons op in kleinere groepen om (meer in detail) in gesprek te gaan. De doelstelling van de werksessie is om de bouwstenen (en de hieraan gekoppelde impact-inschatting) die het ontwerpteam heeft voorbereid te verifiëren, te lokaliseren en verder aan te vullen. Hiermee hopen we samen met jullie verdere input te verwerven om deze fase (de atlas) af te ronden.

Literatuur

Geraadpleegde literatuur

- Allaert, G., Leinfelder, H., Vanden Abeele, P., Verhoestraete, D. (2006). Hoe boeren agrarische ondernemers werden. Na een ruimtelijke planning van agro-industriële landschappen op maat van de aanwezige dynamieken. In: *Ruimte&Planning*, jaargang 24, nr. 4.
- Ameryckx, J. (1960). De jongste geologische geschiedenis van de Belgische zeepolders. De jongste geologische geschiedenis van de Belgische zeepolders.
- Baetenman, C. (2007). Ontstaansgeschiedenis van onze kustvlakte. Ontstaansgeschiedenis van onze kustvlakte.
- Beerten, K. (2011). Fysische geografie van het Netebekken en omgeving. SCK-CEN.
- Borremans, M. (2015). *Geologie van Vlaanderen*. Amsterdam University Press
- De Breuck, W., Van Dyck, D., Steyaert, M. (1987). Kwetsbaarheid van het grondwater provincie Oost-Vlaanderen verklarende nota.
- De Breuck, W., Bolle, I. (1993). *Toegepaste geologie en hydrologie*. Universiteit Gent.
- De Moor, G., De Breuck, W. (1969). De freatische waters in het Oostelijk Kustgebied en in de Vlaamse Vallei. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*. Published.
- De Moor, G. (2002). Bijdrage tot de quartairgeologische kartering in Vlaanderen. *Geologica Belgica*.
- Demoulin, A. (2018). *Landscapes and Landforms of Belgium and Luxembourg*. World Geomorphological Landscapes. Springer.
- Denis, J. (1992). *Geografie van België*. Gemeentekrediet.
- De Urbanisten, Witteveen+Bos & Common Ground. (2019). *Waterplan Antwerpen (Nr. 2)*. Stad Antwerpen.
- Heyse, I. (1997). Bijdrage tot de geomorfologische kennis van het noordwesten van Oost-Vlaanderen (België) (Vol. 55). *Paleis de Academiën*.
- Kellens, W. (2006). Het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen als basis voor hydrografisch onderzoek. Universiteit Gent.
- Lootens, M. (1976). Bijdrage tot de kennis van de geomorfologie in het Mandel-Leie gebied. Rijksuniversiteit Gent.
- Paulissen, E. (1973). De morfologie en de kwartairstratigrafie van de Maasvallei in Belgisch Limburg. *Academie voor Wetenschappen*.
- Pötz, H. (2016). *Groenblauwe netwerken / Green-blue grids (1ste ed.)*. Atelier Groenblauw.
- Prominski, M., Stokman, A., Zeller, S., Stimberg, D., Voermanek, H. (2012). *River.Space.Design*. Birkhauser.
- Rottier, H., Arnoldus, H. (1984). *De Vlaamse kustvlakte*. Lannoo.
- Snacken, F., Verhoeve, A. (1972). *Bodem en landschap in centraal West-Vlaanderen*. Universiteit te Gent faculteit der wetenschappen.
- Staes, J., Meire, P. (2019). *Kaartlagen watersysteemkennis ter ondersteuning van de opmaak van hemelwaterplannen*
- Staes, J., Meire, P. (2013). *Overzichtsrapport van mogelijke aanpassingen aan het Vlaams ecologisch netwerk in relatie tot klimaatverandering*. CcASPAR: Valoriseringsrapport 4, Universiteit Antwerpen, Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer.
- Stouthamer, E., Cohen, K. (2020). *Berendsen - Fysische geografie van Nederland - De vorming van het land*. Perspectief Uitgevers.
- Uyttenhoven, P., Vanbelleghem, D., Van Bouwel, I., Nottenboom, B., Debergh, R., Willequet, B. (2018). *Recollecting Landscapes - Rephotography, Memory And Transformation 1904-1980-2004-2014*. Roma Publications.
- Vandenbergh, J. (1977). *Geomorfologie van de Zuiderkempfen*. Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België.
- Vanmaercke-Gottigny, M. C. (1967). *De geomorfologische kaart van het Zwalmbekken*. Erasmus Ledeborg.

- Vanoppen, M., Verlinden, T. (2021). Weg van water. Lannoo.
- Verbruggen, M. (2018). De vallei van de Kleine Nete met de Zegge en de tijd van toen.
- Verhoestraete, D., Meire, P. (2009). Ecosysteemdiensten als theoretisch kader voor nieuwe ruimtelijke concepten voor de open ruimte in stedelijke netwerken. In: BOUMA, G. (red). Tussen droom en werkelijkheid, Stichting Planologische Discussiedagen, Delft, p. 507-518.
- Verstraeten, G. (2018). De Kracht Van Het Water - Pracht Van De Vallei. Meer Dan 10.000 Jaar Landschapsdynamiek in De Dijlevallei
- VMM (2008). Grondwater in Vlaanderen: het Sokkelsysteem. Vlaamse Milieumaatschappij. Aalst
- VMM (2008). Grondwater in Vlaanderen: het Brulandkrijtsysteem. Vlaamse Milieumaatschappij. Aalst
- VMM (2008). Grondwater in Vlaanderen: het Centraal Kempisch Systeem. Vlaamse Milieumaatschappij. Aalst
- Vakgroep bosbouw. (1994). Verloofing: msibruik van bossen of acceptable bosbeheersmaatregelen. A.M Filius, 226–234.
- Wouters, L., Vandenberghe, N. (1994). Geologie van de Kempen. NIRAS

