



Het gebruik van de watersysteemkaart bij de opmaak van hemelwater- en droogteplannen

(versie 2021/05/31)

Dr. Jan Staes m.m.v. Lorens Coorevits

Nota ECOBE 021-R271 Antwerpen, Juni 2021

Colofon

Nota Ecosystem Management Research Group ECOBE 021-R271

Tekst: Jan Staes

Dit rapport dient als volgt geciteerd te worden: Staes. J. (2021) Het gebruik van de watersysteemkaart bij de opmaak van hemelwater- en droogteplannen. (versie 2021/06/14), Universiteit Antwerpen, onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, ECOBE 021-R271.

Jan Staes
Postdoc Researcher

University of Antwerp
Department of Biology
Ecosystem Management Research Group
Universiteitsplein 1
2610 Wilrijk

tel.: +32 (0)3 265.23.85

e-mail: jan.staes@uantwerpen.be

INHOUDSTAFEL

INLEIDING	3
DE WATERSYSTEEMKAART	5
De Landschapspositie – index als basis.....	9
De drie lagen van de watersysteemkaart	12
BESPREKING TYPE-MAATREGELEN	16
Bovengrondse infiltratie	17
Infiltratiegrachten.....	21
Ondergrondse infiltratievoorzieningen	22
Groendaken	24
Ontharding/bodemafdichting.....	24
Landgebruik en beheer in het buitengebied	28
Bosvorming.....	29
Aandacht voor bodemstructuur	30
Infiltratiepoelen op landbouwpercelen	32
Verminderde drainage van landschapsdepressies (groene zones)	33
Natuur, Land en bosbouw in de permanent natte gebieden (blauwe zones)	34
GEBRUIK VAN DE WATERSYSTEEMKAART BIJ VISIEVORMING	36
Tabellen	37
ANNEX: Synthesetabel.....	52
LITERATUURBRONNEN	53

INLEIDING

Droogte en overstromingen hebben op steeds extremere wijze een impact op de ruimte in Vlaanderen. Het klimaat in Vlaanderen verandert en daar zullen we ook ons waterbeheer aan moeten aanpassen. We ondervinden nu reeds dat we te maken hebben met langere perioden van zowel extreem nat als extreem droog weer. De ontwikkeling in de richting van drogere en warmere zomers in combinatie met veranderingen in de neerslaghoeveelheid zal een bijzonder negatieve invloed hebben op de kwaliteit en beschikbaarheid van het grond- en oppervlaktewater. De oorsprong van deze water gerelateerde problemen zijn complex en vaak afhankelijk van een veelheid van factoren. Een deel van de oorzaken is terug te vinden in hoe wij ruimte innemen en gebruiken. Ondanks een ingezette transitie naar verduurzaming van de ruimte in Vlaanderen, zien we in de huidige planningspraktijk nog té weinig aandacht voor grondwateraanvulling. Enerzijds te wijten aan onwetendheid, maar anderzijds door ook een gebrek aan kader en instrumenten vanuit het beleid. Zo bestaan er bijv. wel al signaalgebieden om overstromingszones te vrijwaren van bebouwing, maar nog geen signaalgebieden om belangrijke infiltratiegebieden te vrijwaren van verharding.

De laatste jaren is het aspect waterbeschikbaarheid en het behalen van ecologische minimumdebieten tijdens droogte immers een bijkomende bekommernis geworden. Op jaarbasis valt er gemiddeld voldoende water,

maar tijdens droge jaren verbruiken we méér water, terwijl er minder aanvulling gebeurt. Grondwaterpeilen staan laag en daardoor reageren waterlopen sneller op droogte - er is immers minder 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. Maar om in de toekomst over genoeg grondwater te beschikken, moeten we anders omgaan met het watersysteem. Heel het watersysteem is immers afgestemd op een historische situatie waarbij afvoer van water een hoofdfunctie was. Bijna alle locaties waar water zich verzamelt zijn geconnecteerd met het waterlopen netwerk. 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.

Ondanks de toenemende watertekorten tijdens de zomer blijft wateroverlast ook een belangrijke problematiek. De belangrijkste bekommernis van lokale besturen is vaak het voorkomen en remediëren van wateroverlast. Dit is een acuut en zichtbaar probleem met zowel economische en sociale impact. Deze wateroverlast kan zijn oorsprong vinden in waterlopen die buiten hun oevers treden en/of de overbelasting van rioolinfrastructuur. De situatie waarbij een bepaald weerbeeld voor een langere periode aanhoudt, lijkt toe te nemen. Daarbij denken we enerzijds aan lange perioden met aanhoudende neerslag die fluviale overstromingen veroorzaken. Anderzijds zal de temperatuurstijging ook zorgen voor occasionele extreme neerslaghoeveelheden die pluviale overstromingen kunnen veroorzaken. Synergetische maatregelen die zowel ongewenste pluviale en/of fluviale overstromingen voorkomen én tegelijk de waterbeschikbaarheid verhogen, zijn dus gewenst. Het is duidelijk dat een beleid inzake infiltratie en retentie een belangrijke rol kan vervullen, zowel wat betreft grondwateraanvulling als naar het afvlakken van piekdebieten. Méér infiltreren, langer vasthouden en minder draineren.

Vanuit verschillende beleidskaders is er dan ook een toenemende aandacht voor het lokaal vasthouden en infiltreren van hemelwater. Maar retentie- en infiltratiemaatregelen kunnen, afhankelijk van de geofysische context, verschillende effecten hebben. Retentie en infiltratie kunnen daarenboven ook verschillende doelstellingen hebben. Om te zorgen dat de effecten overeenstemmen met de beoogde doelstellingen is het belangrijk om een systeemperspectief op het functioneren van het watersysteem te hanteren bij het selecteren van maatregelen en hun ruimtelijke implementatie.

In het verleden werden maatregelen al te vaak geïmplementeerd omwille van een opportuniteit en niet vanuit een visie. Het voorkomen van problemen bij nieuwe verkavelingen of bij vernieuwing van infrastructuur zou een evidentie moeten zijn. Maar daarbuiten zijn er wellicht ook vele mogelijkheden. Daarom is de opmaak van een hemelwater- en droogteplan onontbeerlijk. Het meenemen van een systeemperspectief op het functioneren van het watersysteem is daarbij erg belangrijk. We willen die locaties en maatregelen selecteren die het grootste potentieel hebben om invloed te hebben op de beoogde doelstellingen. Op basis van topografie, bodem en hydrologie identificeren we de potentiële hotspots voor infiltratie en retentie.

In het verleden zijn er wellicht een aantal projecten geweest die de doelstelling hadden om riolen te ontlasten om zo pluviale overstromingen te voorkomen. Het afkoppelen en afvoeren van regenwater naar de dichtstbijzijnde beek is wellicht wél een oplossing voor het voorkomen van pluviale overstromingen, maar zal weinig bijdragen tot waterbeschikbaarheid en zelfs fluviale overstromingen doen toenemen. Vervolgens werden er bij dergelijke projecten bufferbekkens aangelegd, maar deze zijn vaak vlak aan de ontvangende waterloop gelegen. Hierdoor is de impact op fluviale overstromingen wellicht gemilderd, maar blijft er een enorm potentieel aan grondwateraanvulling verloren gaan. Vandaag zal er meer ingezet worden op lokale buffering en infiltratie. Eenzelfde verhaal van voortschrijdend inzicht is van toepassing op de hemelwaterputten. Het effect van hemelwaterputten op overstromingen blijkt zeer beperkt te zijn bij langdurige natte perioden omdat de

meeste putten verzadigd zijn en hun overloop aangesloten blijft op rioolinfrastructuur. Sinds 2014 is een bijkomende infiltratieput verplicht. Maar wat met alle bestaande huizen?

Voor een duurzaam waterbeheer in Vlaanderen zijn proactieve maatregelen die de grondwateraanvulling versterken een absolute prioriteit. Vandaag wil men eerder inzetten op een hoge diversiteit aan lokale ingrepen op niveau van percelen, straten en wijken. Er bestaat veel variatie in mogelijke maatregelen. De nieuwe watersysteemkaarten bieden handvaten om de implementatie van maatregelen ruimtelijk te optimaliseren. Op deze manier wordt het mogelijk een systeemperspectief op het functioneren van het watersysteem mee te nemen in het waterbeheer. Op basis van topografie en hydrologie identificeren we de potentiële hotspots voor infiltratie en retentie. Dit biedt de mogelijkheid om beter om te gaan met de nieuwe realiteit van klimaatextremen: tijdens periodes van hevige regenwaterval vangen we het water beter op, waarna duurzame infiltratie onze weerbaarheid tegen latere droogte grondig versterkt.

DE WATERSYSTEEMKAART

Waterstromen zijn een complex gegeven. Voor de opmaak van de watersysteemkaarten ontwikkelden we slimme algoritmes om de topografie te analyseren. Dit gebeurde op vele ruimtelijke schalen om zo het samenspel van waterstromen binnen een landschap in kaart te brengen (*Figuur 1*).

We onderscheiden de volgende zones op de watersysteemkaart:

Hoger gelegen, permanent droge bodems, met een diepe grondwaterstand bieden kansen voor het opbouwen van een grondwatervoorraad waarmee we droge jaren kunnen overbruggen. Deze zones worden aangeduid in het **donkerbruin** op de watersysteemkaart.

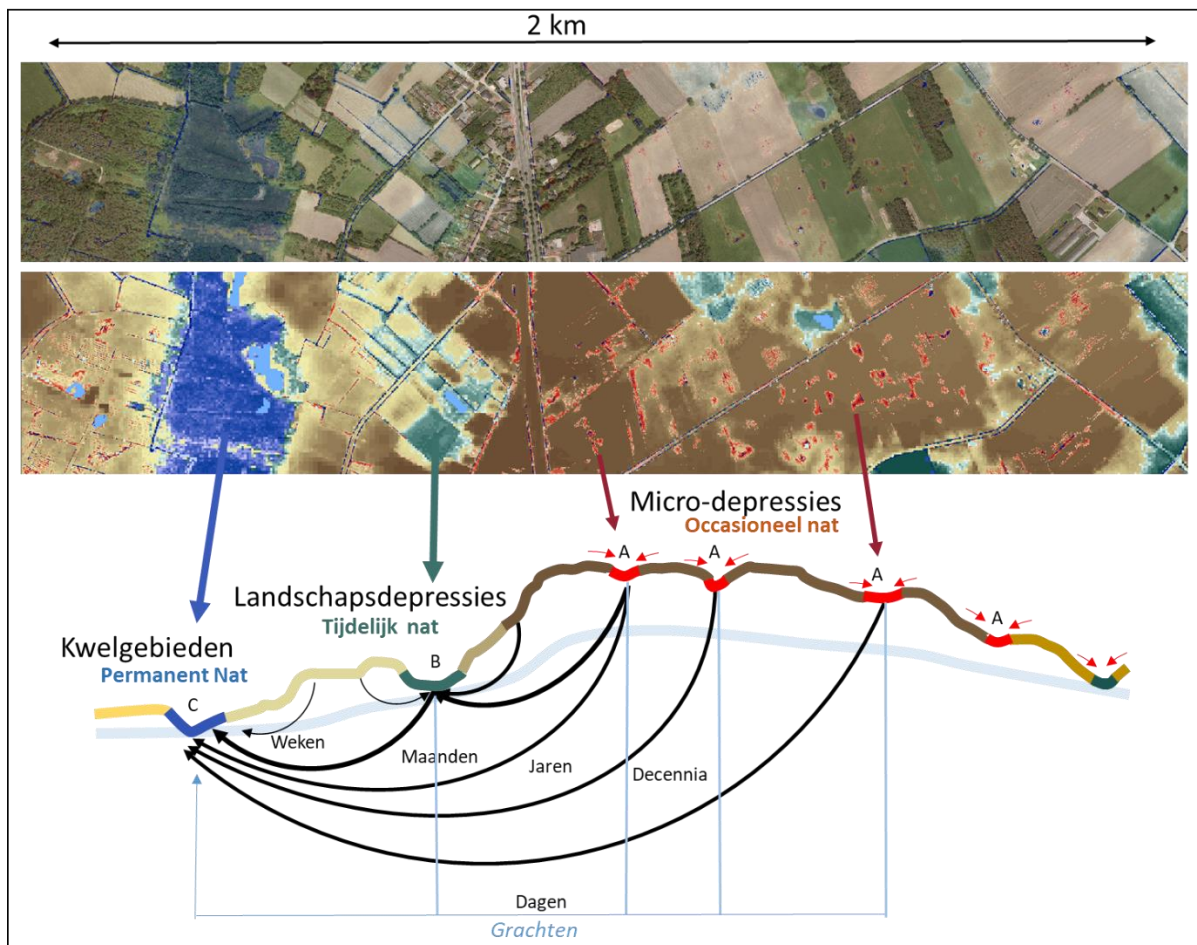
Het andere uiterste zijn de **lager gelegen, permanent natte zones**, waar grondwater uit de bodem treedt. Deze zones duiden we aan in het **donkerblauw**. In dergelijke zones ontwikkelen zich veenbodems die kunnen **fungeren als een natuurlijke spons**. Vernatting van dergelijke zones zorgt voor een buffering, waardoor de voeding van waterlopen minder fluctueert.

Daarnaast hebben we tal van **gebieden die tijdelijk nat** zijn, aangeduid in het **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 en topografische ligging worden deze gebieden van nature gekenmerkt door een grote fluctuatie in de waterstand. De meeste van deze landschapsdepressies werden eeuwen geleden reeds ontgonnen en gedraineerd. Met de hand gegraven grachten verbinden ze rechtstreeks met het netwerk van waterlopen. Dergelijke landschapsdepressies hebben de potentie om hun **rol als natuurlijk waterreservoir** terug te vervullen. In een aantal recente wetenschappelijke publicaties wordt specifiek aandacht besteed aan de regulerende functies van waterrijke gebieden die niet hydrologisch verbonden zijn met het rivierennetwerk. 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 zijn van minder belang voor grondwateraanvulling. Bij elke maatregel moet ook de impact op de nabijgelegen blauwe zone bekeken worden. Als aanpalende blauwe zones gedraineerd worden, is de impact van maatregelen op de waterbeschikbaarheid eerder beperkt. Water dat daar geïnfiltrerd wordt, zal slechts enkele weken onderweg zijn naar de waterloop. Uiteraard zullen maatregelen die afstroming beperken ook hier bijdragen tot het beperken van wateroverlast.

Bijkomend hebben we ook **grachten** en **micro-depressies** in kaart gebracht. De toplaag van een bodem is niet altijd even goed doorlaatbaar. Op lokaal niveau analyseerden we afstromingspatronen die ontstaan bij hevige regenval. We identificeerden waar water zich verzamelt op het niveau van een perceel. Vaak zijn dat de grachten, maar ook vaak **micro-depressies** waar zich plassen vormen. Als we dat afstromingswater kunnen

vasthouden, kunnen we enorme infiltratiewinsten boeken. In de praktijk wateren deze meestal af naar **grachten** die het water dat normaal jaren onderweg zou zijn naar de waterlopen in slechts enkele dagen afvoert.



Figuur 1: 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.

Bij het gebruik van de watersysteemkaart moet men ook aandacht hebben voor de samenhang die bestaat tussen de verschillende zones (Figuur 3). De centrale gedachte is dat men ook aandacht moet hebben voor 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. Het is ook minder effectief in bruine zone de infiltratie te versterken zonder ook de drainage te verminderen in de groene zones.

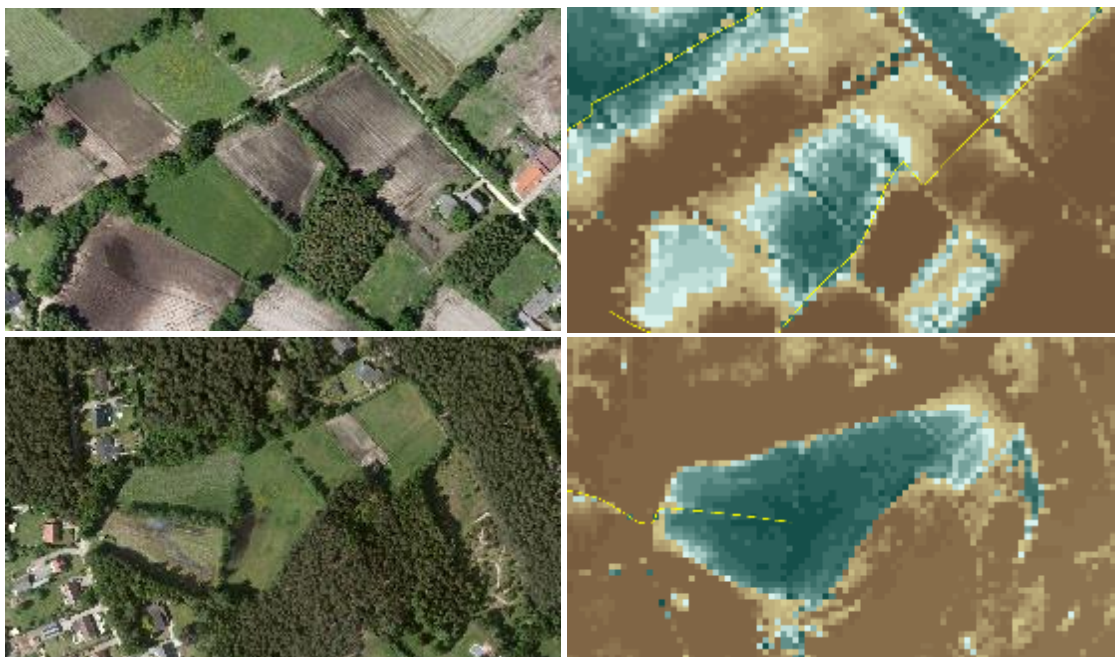
De watersysteemkaart is géén grondwatermodel. Het belangrijke verschil met grondwatermodellen is dat we ons richten op het gedrag van het (zeer) ondiepe bodemwater en dit analyseren op een lokaal schaalniveau (max. 5 km). De watersysteemkaart is enkel gebaseerd op topografie en houdt geen rekening met bodemkenmerken en/of de aanwezigheid van ondoordringbare lagen. Ze houdt ook geen rekening met allerlei ingrepen die de hydrologie van grond- en oppervlaktewater sterk beïnvloeden, denk maar aan dijken, bodemafdichting, grondwateronttrekkingen, ontwatering en bemaling, etc... Dus de zones die aangeduid staan als tijdelijk nat of permanent nat kunnen in de praktijk door dergelijke ingrepen beïnvloed zijn. De sterkte van de kaart is dat het vooral de natuurlijke potenties toont voor retentie en infiltratie. De watersysteemkaart geeft

een beeld van de potentieel natuurlijke situatie. Het houdt geen rekening met bodem, geologie, infrastructuur, onttrekkingen en drainage. De kaart is dan ook bedoeld voor visievorming. Waar mogelijk kan men rekening houden met deze natuurlijke potenties voor infiltratie en retentie.

In de eerste plaats moet het duidelijk zijn dat elke vorm van infiltratie wenselijk is, maar dat het zeker wenselijk is in gebieden die van strategisch belang zijn voor grondwateraanvulling. We hebben bewust geen rekening gehouden met de bodemkaart omdat de bodemtextuur en de daarmee geassocieerde infiltratiesnelheid (mm/uur) lokaal sterk kan variëren. Een klei- of leembodem met een stevig gehalte aan humus en een goede doorworteling kan immers even goed infiltreren als een zandbodem. Daarenboven zou de infiltratiesnelheid van de ondergrond enkel een reden mogen zijn om de infiltratievoorziening groter te dimensioneren. Om eenzelfde reden, maken we geen gebruik van de drainageklasse van de bodemkaart om de bergingscapaciteit te bepalen. Wanneer de infiltratiecapaciteit (m^3/m^2) van de bodem beperkt wordt, kan het in gebieden die van belang zijn voor grondwateraanvulling net de moeite zijn om water langer vast te houden om dit water alsnog te laten infiltreren. Maar ook in zones waar grondwateraanvulling niet echt aan de orde is, kan een infiltratie- en retentiebeleid ook bijdragen aan het afvlakken van piekdebieten in riolen en waterlopen. Lokale testen en studies kunnen vervolgens bepalend zijn voor de dimensionering van de installaties.

Kortom, hoe meer bodemwater er aanwezig is en hoe langer we dat kunnen vasthouden, hoe meer kans dat het grondwater wordt. Maar zelfs wanneer het blijft stagneren op eventuele minder doordringbare lagen en de grondwatertafel niet aanvult, blijft dat bodemwater belangrijk om droge perioden te overbruggen.

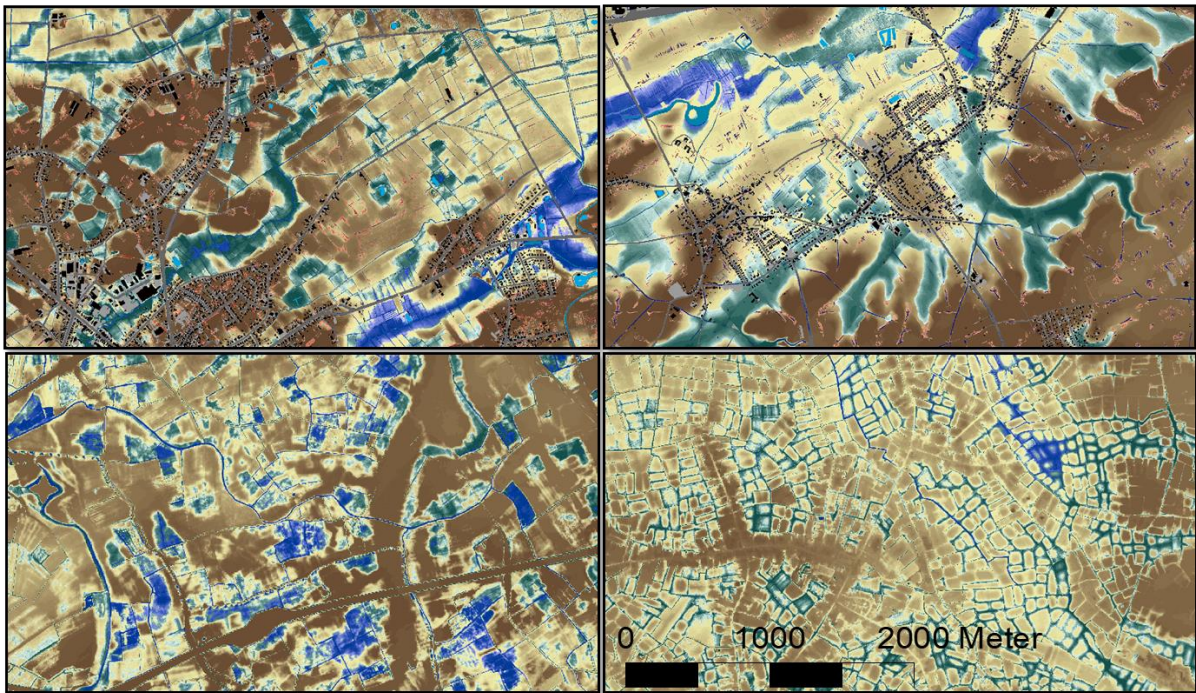
De watersysteemkaart werd visueel gevalideerd voor enkele relatief onverstoorde gebieden in de Antwerpse Kempen en blijkt de actuele bodemhydrologie vrij goed te benaderen. De luchtfoto's van 23 mei 2012 geven een uitzonderlijk goed beeld van de tijdelijk natte gebieden omdat april 2012 uitzonderlijk nat was (104,1 mm neerslag op 21 dagen).



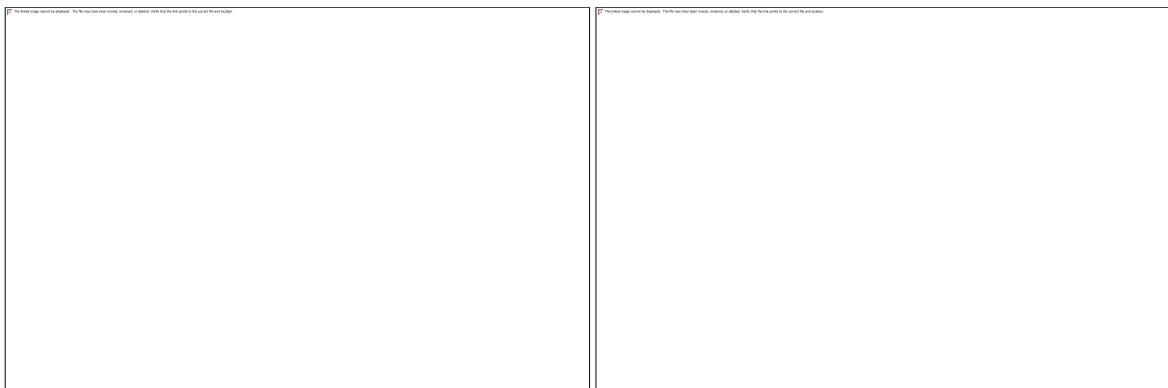
Figuur 2: voorbeeld van een visuele validatie voor enkele tijdelijk natte zones in de gemeente Mol

De watersysteemkaart is dus vrij accuraat in het weergeven van een potentieel natuurlijke toestand en kan derhalve ook gelden als een referentiebeeld voor herstel van gebieden die momenteel nog sterk beïnvloed worden door antropogene factoren zoals grondwaterwinningen, drainage of een verminderde grondwateraanvulling door bodemafdicthting. Dergelijke gebieden kunnen, na het nemen van maatregelen mogelijks terug natter worden. Zo zijn er voorbeelden waarbij het vervangen van oude kapotte riolering – die

drainerend werkt – leidt tot vernatting. Hoewel de watersysteemkaarten initieel ontwikkeld werden voor de Kempen, tonen ze voor elke regio van Vlaanderen typische patronen van de natuurlijke waterhuishouding (Figuur 3). Soms vereist dat een gebied-specifieke interpretatie van de kaartlagen, met aandacht voor geologie en bodem.



Figuur 3: De watersysteemkaart voor verschillende regio's in Vlaanderen: Kempen (links boven), Leemstreek (rechts boven), polders (links onder) en het Waasland (rechts onder). Legende: permanent natte zones (staalblauw, gradatie in 100 klassen), tijdelijk natte zones (groenblauw, gradatie in 100 klassen) en drogere (infiltratie)zones (bruin, gradatie in 100 klassen).



Figuur 4: de kaartlaag micro-depressies laat toe om het grachtensysteem te analyseren.

Het doel van de watersysteemkaart is niet om een kwantitatieve beoordeling te maken van de huidige toestand, maar wel om te inspireren en waar mogelijk gebruik te maken van de natuurlijke potenties. Wanneer plannen en ingrepen systematisch in overeenstemming zijn met deze potenties, kan het functioneren van het watersysteem hersteld worden. Zelfs in gebieden waar er geen sprake kan zijn van grondwateraanvulling door de aanwezigheid van ondoordringbare lagen, is het wenselijk om het bodemwater lokaal te infiltreren en vast te houden. De principes van de watersysteemkaart blijven ook hier overeind.

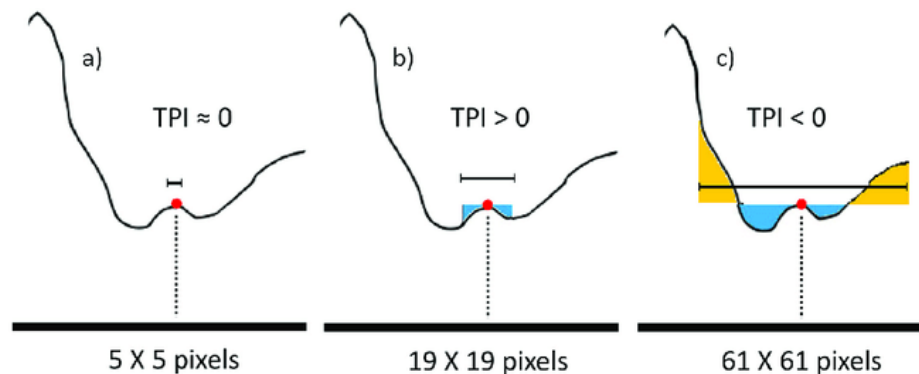
Omdat er bij de opmaak van de watersysteemkaart altijd gebruik gemaakt wordt van een relatieve positie binnen een bepaalde invloedssfeer, is het eindresultaat ook altijd aangepast aan een bepaalde streek. In relatief vlakke gebieden, zullen kleine verhevenheden in het landschap als belangrijk infiltratiegebied aangeduid worden. In meer heuvelachtige gebieden, zullen dat de landruggen zijn.

Kan ik de watersysteemkaart verkrijgen?

De watersysteemkaarten zijn tegen vergoeding verkrijgbaar bij de onderzoeksgroep Ecosysteembeheer aan de Universiteit Antwerpen en verkrijgbaar per gemeente, stroombekken, provincie en op schaal Vlaanderen.

Voor inhoudelijke vragen kan u terecht bij jan.staes@uantwerpen.be. Voor vragen met betrekking tot het gebruiksrecht en de licentieovereenkomst voor het gebruik van de data kan u contact opnemen met bram.verbinnen@uantwerpen.be.

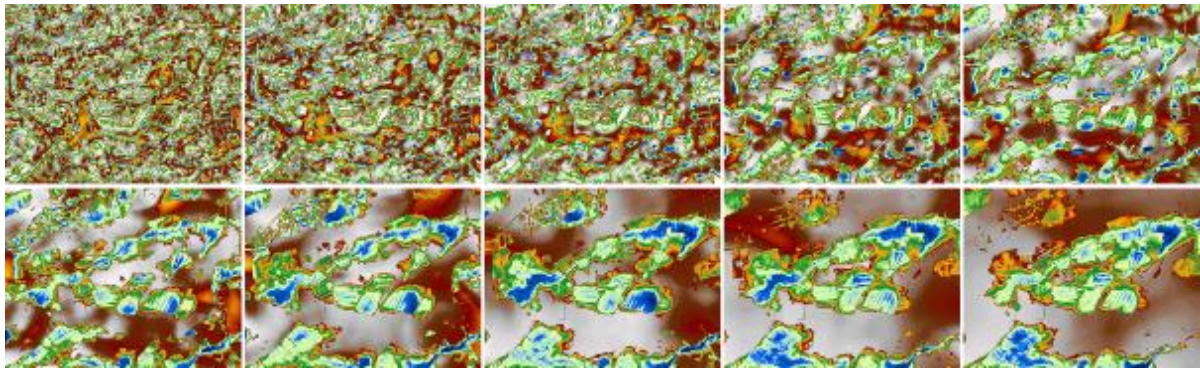
Een topografische positie-index (TPI) vormt de basis om de patronen voor infiltratie-kwel te identificeren. De TPI is een schaalafhankelijke indicator en bepaalt de relatieve positie van elke pixel ten opzichte van de omliggende pixels in het landschap (Figuur 5). Een TPI is simpelweg het verschil tussen de hoogteligging van een locatie ten opzichte van de gemiddelde hoogteligging van de omgeving rond die cel (Weiss, 2001; Jenness, 2006). De "omgeving" wordt door de gebruiker gedefinieerd door een bepaalde afstand (straal) in te stellen waarmee de positie van een pixel wordt vergeleken. Bijkomend doen we bij elke ruimtelijke schaal een voorbewerking op het digitaal hoogte model alvorens we de TPI berekenen. Daarnaast wordt er een nabewerking toegepast waarbij we variatie van de topografie in rekening brengen. In gebieden met een lage topografische variatie (bv. polders) zal de gemiddelde hoogteligging immers minder sterk variëren dan in andere delen van Vlaanderen.



Figuur 5: Afhankelijk van het schaalniveau van de observatie, kan de relatieve positie van een pixel zeer verschillend zijn. Het kan zijn dat je je op kleine schaal op een hoger gelegen zone bevindt ($TPI > 0$), maar tegelijk ook in een landschapsdepressie als je het op grotere schaal ($TPI < 0$) beschouwt.

Een groot voordeel van de TPI is de eenvoud van de redenering in relatie tot de duur van de bodemverzadiging (hydroperiode) van moerassen. Hoe groter het hoogteverschil tussen een punt in een depressie en zijn omgeving, hoe meer water er naar de pixel zal stromen. De kans dat het reliëf de grondwaterspiegel doorsnijdt neemt toe met het hoogteverschil, waardoor de watertoevoer naar het moerasland stabiel wordt en de verzadiging langer duurt. Wanneer een locatie een lage TPI heeft betekent dit dat de cellen/pixels in de omgeving allemaal hoger liggen en er dus toestroming is naar die locatie. We kunnen dat bekijken op verschillende schaalniveaus. We kunnen bijvoorbeeld kijken op niveau van een landschap (tot 1 km in de omtrek van een locatie) en op schaal van een stroombekken (tot 5 km in de omtrek). Een lage TPI op het grote schaalniveau betekent dat er toestroom is vanuit een ruime omgeving en deze aanvoer zal dus vrij stabiel zijn. Een lage TPI op niveau van een landschap heeft een veel beperkter voedingsgebied en zal dus minder stabiel zijn. De aanvoer zal dan sneller reageren op een periode met neerslagoverschot, maar ook sneller terug afnemen. Door de TPI waarden van de analyse op landschapniveau te combineren met de TPI waarden op bekkenniveau, kunnen we onderscheid maken tussen moeraszones die gevoed worden door lokale kwel, bovenlokale kwel of beide. Dit maakt het mogelijk om het type wetland dat in het landschap voorkomt (bovenstroomse landschapsdepressies, bronbeek systemen, laagveen moerassen) te identificeren en in kaart te brengen.

De berekening van de TPI waarden wordt dus herhaald voor een reeks ruimtelijke schalen (Figuur 6). Voor elke "ruimtelijke schaal" wordt een index (0-100) berekend die de infiltratie-kwel patronen weergeeft (0 = kwel, 100 = infiltratie). Elke klasse komt overeen met 1% van de oppervlakte van het geanalyseerde gebied. Elke ruimtelijke schaal komt impliciet ook overeen met een bepaalde reactietijd op neerslagoverschot. Infiltratie-kwel en stagnerend water relaties die zich afspelen binnen enkele honderden meters zullen dynamischer zijn dan infiltratie-kwel patronen die zich uitstrekken over meerdere kilometers. Door de analyse te maken voor verschillende schaalniveaus kunnen we het samenspel tussen de lokale infiltratie-kwel en stagnerend water patronen en de bovenlokale infiltratie-kwel en stagnerend water patronen ontrafelen.



Figuur 6: We herscalen de waarden van de topografic position index naar een schaal 0 tot 100 op bekkenschaal. Iedere klasse komt dus overeen met 1 % van de oppervlakte binnen het stroombekken. Een lage waarde (blauw-groen) duidt op convergentie van waterstromen, een hoge waarde (bruin-grijs) duidt op eerder hoger gelegen zones van waaruit het water wegstroomt.. Voor elke ruimtelijke schaal worden de dergelijke patronen berekend. De blauwe kleuren bedragen zo'n 10 % van de oppervlakte en duiden op plaatsen waar het water samenkomt. Linksboven zien we kleinschalige patronen (infiltratie-kwel binnen een straal van 200 meter) en rechtsonder grootschalige patronen (infiltratie-kwel binnen een straal van 1000 meter).

Macro-schaalniveau

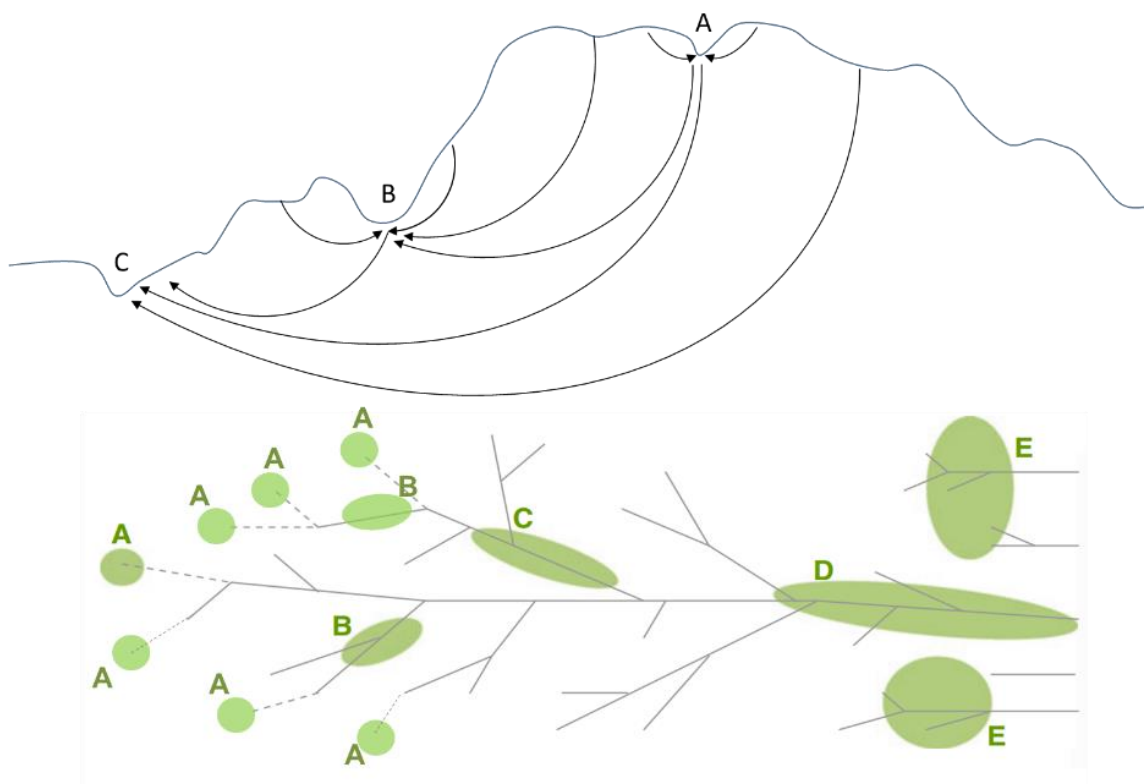
Op een 10 m DHM wordt de infiltratie-kwel-index berekend voor de volgende stralen (resp. 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 9000, 12000, 16000 en 20000 meter). Er wordt vervolgens een gewogen gemiddelde berekend. Dit geeft een beeld van de grootschalige (1 km-20 km) infiltratie kwelpatronen (Figuur 8, rechts).

Op het grootschalig niveau (macro-schaalniveau) kunnen we de belangrijkste infiltratiegebieden en (potentiële) moerasgebieden identificeren. Deze potentiële moerasgebieden krijgen een stabiele en permanente grondwaterstroming uit het bovenstrooms gelegen stroomgebied (C-type wetlands, Figuur 7). De berekening van de macro-schaalniveau patronen analyseert de topografie binnen een invloedssfeer van 1 tot 20 km rond iedere pixel. Aangezien er geen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van aquitards (minder doordringbare lagen in de ondergrond), kan het zijn dat bepaalde kwelzones fout ingeschat worden. De watersysteemkaart is meer accuraat in de Kempen (Centraal Kempisch Systeem) omdat daar geen ondiepe aquitards aanwezig zijn (met uitzondering van de Noorderkempen).

Meso-schaalniveau

Op een 5 m DHM wordt de infiltratie-kwel-index berekend voor de volgende stralen (resp. 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 meter). Een gemiddelde TPI wordt vervolgens berekend en geeft een beeld van kleinschalige (200 meter tot 1000 meter) infiltratie kwelpatronen (Figuur 8, links).

Op kleinere schaal (meso-schaalniveau) kunnen we een meer gedifferentieerd infiltratiepatroon waarnemen. Vooral in stroomopwaarts gelegen gebied kunnen we de (tijdelijke) bovenstroomse moerassen en hun lokaal infiltratiegebied detecteren. Omdat het infiltratiegebied relatief klein is, is er een sterk seizoensgebonden effect van de kwelintensiteit. Perioden met een hoog neerslagoverschot leiden tot afstroming of de vorming van een schijngrondwaterstand op een minder doordringbare laag in de ondergrond. Onder natuurlijke omstandigheden wordt dit water opgevangen in natuurlijke landschapsdepressies die niet zijn aangesloten op het hydrologische netwerk (A type wetlands, Figuur 7). Deze kleinschalige tijdelijke moerasgebieden houden het overtollige water vast en maken een langzame maar gestage uitgestelde infiltratie mogelijk.



Figuur 7: Samenspel van infiltratie- en kwelrelaties binnen een landschap. Type A: Bovenstroomse landschapsdepressies (vennen) die tijdelijk nat zijn door afstroming en lokale toestroom. Type B: Bovenstroomse moerassen die een basisdebiet leveren voor de vorming van kleine beekjes. Type C: vallei begeleidende moerassen met permanente kwel. Type D: Overstromingsgebied van de grotere rivieren. Type E: Moerassen onder invloed van getijdenregimes.

De rol van deze kleinschalige landschapsdepressies (A) en potentiële brongebieden (B) is grotendeels over het hoofd gezien, vooral omdat dergelijke kleine moerasgebiedjes als problematisch gezien worden voor de landbouwproductie en daardoor vaak gedraineerd worden of zelfs opgevuld werden. Hun beperkte omvang en het aanwezige reliëf maken ook dat ze relatief gemakkelijk gravitair draineren. Op basis van een visuele analyse voor de Kempen kunnen we inderdaad concluderen dat een zeer groot aandeel van deze landschapsdepressies daadwerkelijk het beginpunt vormen van de drainagenetwerken. Opvallend is ook dat dit niet alleen voor landbouwgrond het geval is, maar ook voor veel bosgebieden. We nemen aan dat de afwatering van de vele kleine depressies in het landschap ook een impact zal hebben op de aanvulling van het diepe grondwater.

DE DRIE LAGEN VAN DE WATERSYSTEEMKAART

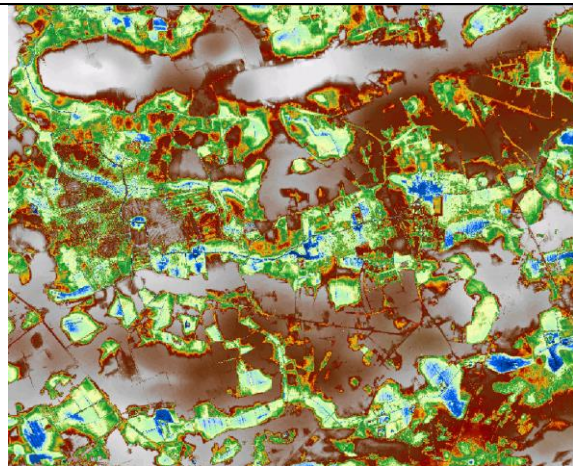
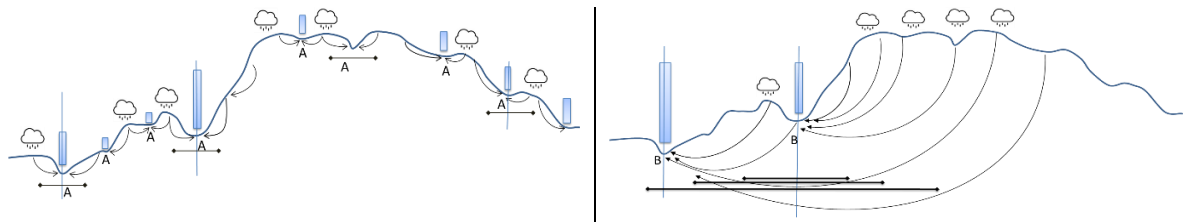
Vanuit een beheerstrategie is het nuttig om te onderscheiden welke zones permanent nat zijn en welke zones tijdelijk nat zijn. De watersysteemkaart is dan ook een combinatie van de kleinschalige (0,2-1 km) en de grootschalige (1-20 km) toestromingspatronen (infiltratie-kwel relaties). Afhankelijk van de balans tussen de kleinschalige infiltratie-kwel patronen en de grootschalige infiltratie-kwel patronen kunnen we onderscheid maken tussen infiltratiegebieden, tijdelijk natte gebieden en permanent natte gebieden.

Meso-schaal analyse:

Relatieve positie in het landschap op meso-schaalniveau (100 m – 1000 m)

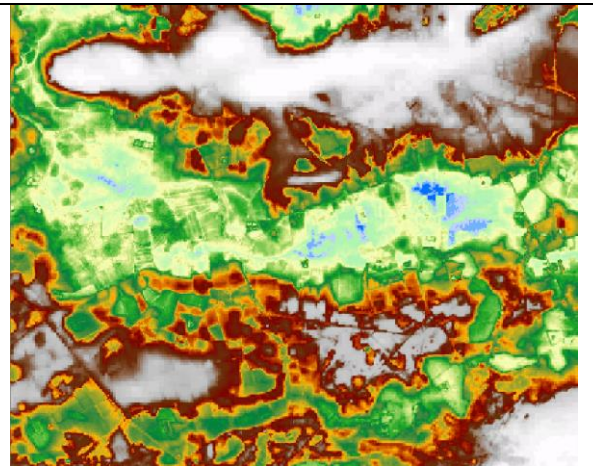
Macro-schaal analyse:

Relatieve positie in het landschap op macro-schaalniveau (1 km – 5 km)



Blauwe kleuren duiden op lokale depressies in het landschap waar overtollig water zich verzamelt.

Wanneer het water niet wordt afgevoerd, ontstaan er in de blauwe zones (tijdelijke) moerassen. De watertoevoer naar deze zones zal reageren op het neerslagoverschot van de voorafgaande maanden. Over het algemeen zijn deze zones enkel nat in het voorjaar of na een periode met extreme neerslagoverschot.



Blauwe kleuren duiden op de aanwezigheid van permanente kwel.

Voor bovenstaande illustratie kunnen de blauwe zones worden beschouwd als (potentiële) permanente moerassen. De grondwatertoevoer is permanent aanwezig en relatief stabiel. Door de permanente natte omstandigheden is veenvorming mogelijk.

Figuur 8: Kleinschalige (<1 km) en grootschalige (1 km-5 km) patronen op basis van een gewogen gemiddelde.

De 12% pixels met de hoogste toestroming van bodemwater op groot schaalniveau (1-20 km) worden geselecteerd als **permanent nat (staalblauw)**. Binnen deze zone differentiëren we op basis van het klein schaalniveau om de verschillen in kwelintensiteit aan te geven. Deze zones geven we een gradatie van kwelintensiteit (0-100) en dus ook een gradueel belang om niet te draineren. In deze gebieden zou men onnodige drainage moeten vermijden en dus zeker moeten vrijwaren van bebouwing.

⇒ Naam kaartlaag: PermWet.tif



De 25% pixels met de hoogste toestroming op klein schaalniveau die NIET samenvallen met de permanent natte gebieden op groot schaalniveau, worden geacht **tijdelijk nat** te zijn en potenties te hebben voor uitgestelde infiltratie (**groenblauw**). Deze zones geven we een gradatie (0-100) die aangeeft hoe belangrijk het is om water vast te houden. De hoogste waarde komt overeen met de laagste zones binnen de landschapsdepressie. Deze zones zou men moeten vrijwaren van bebouwing. Ook hier kan men best niet draineren. Dit zijn de zones waar men afstromingswater mogelijk kan verzamelen en vasthouden.

⇒ Naam kaartlaag: TempWet.tif

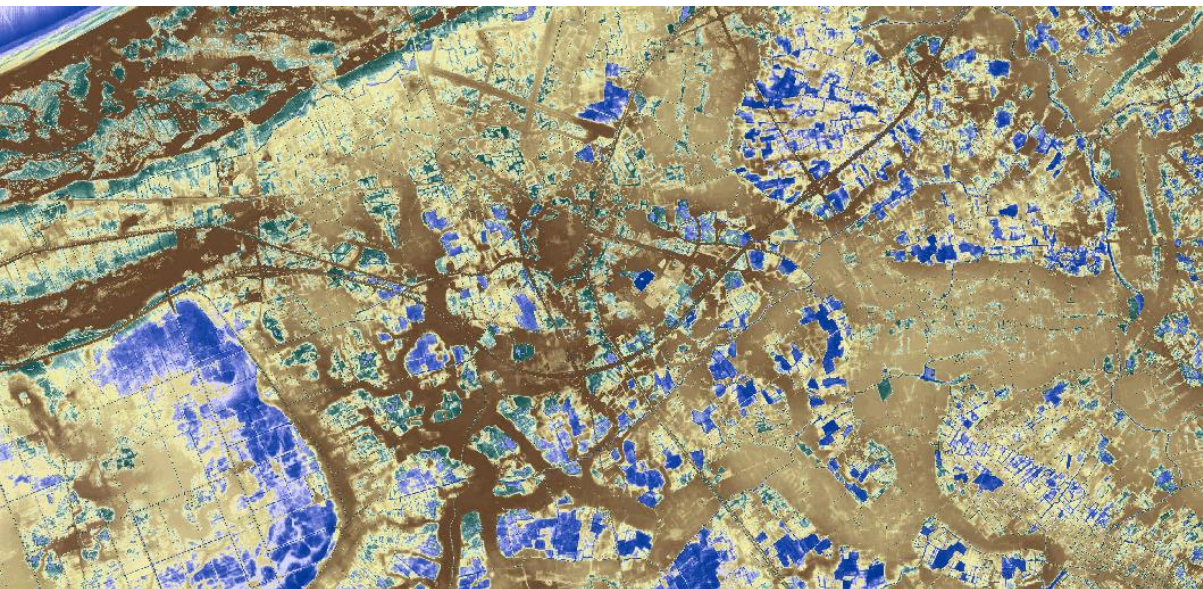
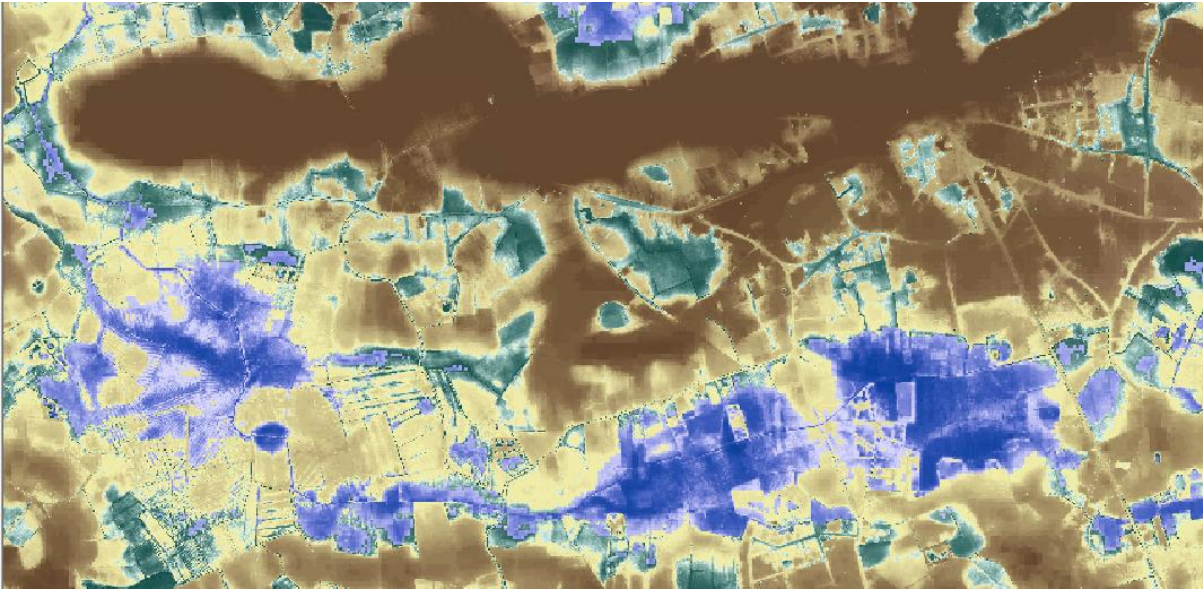


Voor alle zones die niet tot de voorgaande categorieën behoren berekenen we een index voor **infiltratiegeschiktheid (bruin)**. Door de grootschalige en kleinschalige TPI te vermenigvuldigen, bekomen we een gecombineerde infiltratiegeschiktheid. Hoe hoger de waarde (0-100), hoe langer de verblijftijd van het geïnfiltreerde water. Omdat de index gebaseerd is op relatieve hoogteverschillen op verschillende schaalniveau, is een relatie tot de verblijftijden eveneens relatief. In overwegend vlakke gebieden zullen kleine verhevenheden aangeduid worden als relatief belangrijk. Zo zal een kreekrug in de poldergebieden relatief gezien even belangrijk zijn als een landduin in de Kempen.

⇒ Naam PermDry.tif



Om toch een indicatie te geven van verblijftijden, hanteren we de volgende verbanden. De klasse 0-25 duidt op een verblijftijd van enkele weken tot maanden, de klasse 25-50 op maanden tot seizoenen, de klasse 50-75 op jaren tot decades en 75-100 op decades tot centennia. Alle gele én bruine zones zijn geschikt voor infiltratie, maar voor het bewerkstelligen van een strategische grondwateraanvulling zijn de zones die een waarde hebben die hoger is dan 50 (donkerbruin) zéér belangrijk. In de gele zones is er meer kans op de aanwezigheid van grachten die een drainerende werking kunnen hebben.



Figuur 9: Watersysteemkaart waarbij we onderscheid maken tussen permanent natte (kwe)gebieden (staalblauw, gradatie in 100 klassen), tijdelijk natte zones (groenblauw, gradatie in 100 klassen) en drogere (infiltratie)zones (bruin, gradatie in 100 klassen). Boven Laakdal (Kempen). Onder Veurne (Polders).

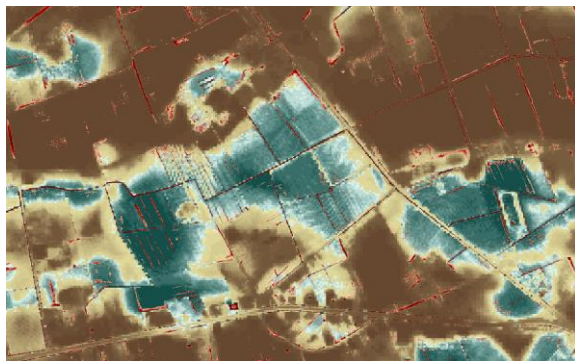
De watersysteemkaart kan verder gecombineerd worden met de resultaten van de TPI analyse op veldschaal (10 tot 100 meter). De 10 % laagst gelegen pixels op dit schaalniveau komen overeen met zones waar afstromingswater zich mogelijk kan verzamelen bij extreme neerslag.

⇒ Naam kaartlaag: Micro-depressies_1-10.tif

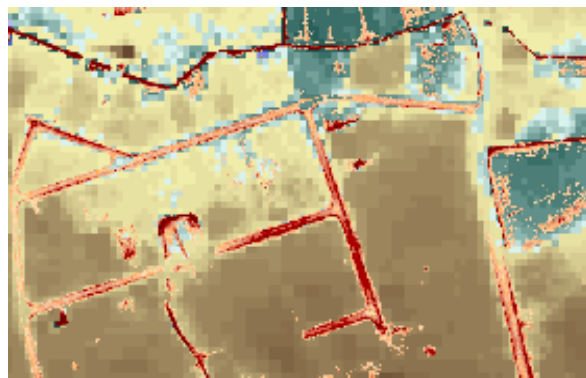


Wanneer we deze selectie verder vernauwen naar de 5 % laagst gelegen pixels blijkt het dat deze selectie een goede basis is voor de identificatie van grachten en poelen. Hierbij worden soms ook holle wegen en allerlei kleine depressies (bvb bouwputten) geselecteerd.

⇒ Naam kaartlaag: Potentiële gracht_1-5.tif



Figuur 10: Voorbeeld van de grachten en poelen kaartlaag in landelijk gebied. Zowel baangrachten als drainagegrachten zijn goed zichtbaar. In bosgebied zien we zelfs de rabatten. Rabatten zijn afwisselende greppels en ophogingen die werden aangelegd op zeer natte, moerasachtige bodems maar soms ook op wat drogere grond.



Figuur 11: Voorbeeld van de grachten en poelen kaartlaag in urbaan gebied. Baangrachten en (al dan niet aangelegde) wadi's zijn zichtbaar, maar ook de zones die gevoelig zijn voor het verzamelen van hemelwater bij extreme neerslag. In combinatie met de watersysteemkaart, kan men afleiden waar directe infiltratie wenselijk is (gele-bruine zones) en waar buffering meer aangewezen is.

BESPREKING TYPE-MAATREGELEN

We vertrekken hier vanuit de type-maatregelen die kunnen helpen om van een hemelwater- en droogteplan een breed klimaatbestending plan te maken. Deze type-maatregelen zijn:

- Bovengrondse infiltratie
- Infiltratiegrachten

- Ondergrondse Infiltratievoorzieningen
- Groendaken
- Ontharding

De type-maatregelen worden eerst met een kritische blik geëvalueerd. Sommige maatregelen scoren misschien goed op het voorkomen van wateroverlast, maar dragen daarbij veel minder bij tot grondwateraanvulling. Sommige oplossingen zullen misschien sneller hun effectiviteit verliezen of meer onderhoud vereisen dan andere oplossingen. Ook is het niet altijd duidelijk binnen welke grenzen maatregelen oplossingen kunnen bieden. Bij extreme neerslagintensiteiten en hoeveelheden kan het zijn dat maatregelen die anders goed werken plots niet meer toereikend zijn.

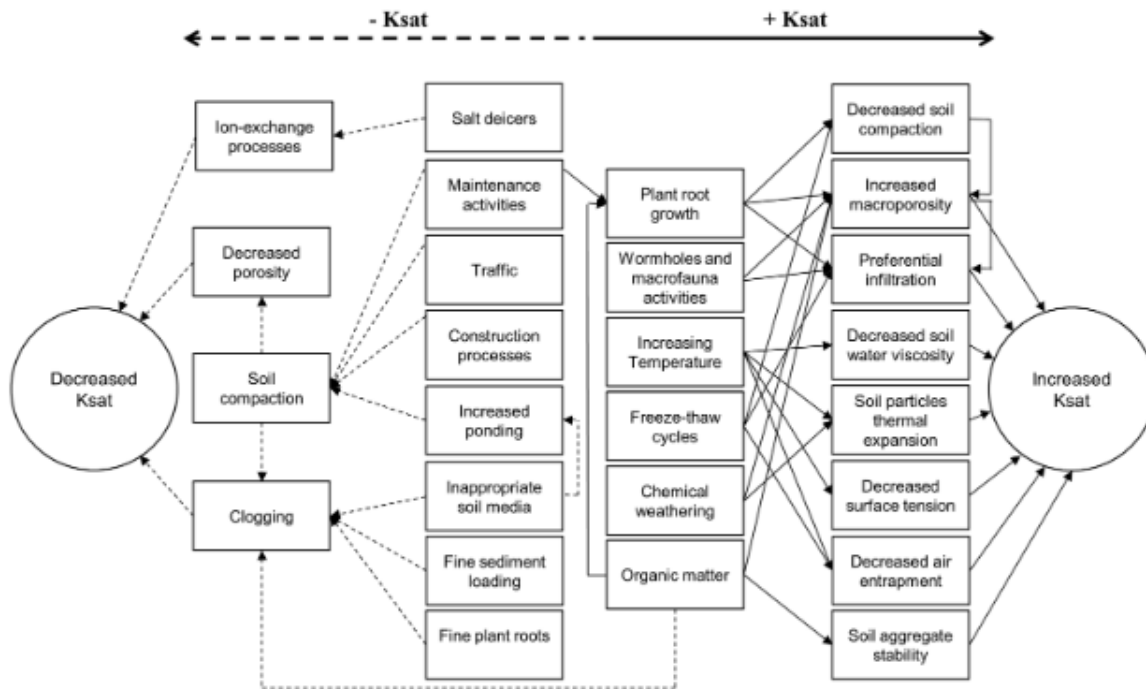
De evaluatie die in dit rapport gepresenteerd wordt, zal geenszins volledig zijn, maar anderzijds is het wel wenselijk dat er een objectieve en onafhankelijke evaluatie gebeurt die de vele aspecten beoordeelt. Dit vormt hopelijk een aanzet voor verdere evaluatie en innovatie. Het spreekt voor zich dat de bestaande situatie niet altijd omkeerbaar is en dat men moet bekijken wat verantwoord is voor behoud of verandering. Nieuwe ontwikkelingen zouden echter wel rekening moeten houden met de gestelde potenties voor waterhuishouding, ook als deze niet compatibel zijn met harde bestemmingen.

Afhankelijk van de combinatie met de watersysteemkaart geven we aangepaste aanbevelingen voor implementatie. We houden ook rekening met 3 klassen van doorlaatbaarheid (hoog, matig, laag). Deze doorlaatbaarheid wordt vaak ingeschat op basis van de bodemtextuur (bodemkaart). Een dergelijke interpretatie op basis van de bodemkaart zal echter leiden tot tal van gemiste kansen. In de praktijk is een bodem zelden een homogene structuur, maar rijk aan macro- en microporiën die infiltratiewater kunnen geleiden naar diepere lagen. Enkel infiltratietesten en sonderingen kunnen uitsluitsel geven over de lokale doorlaatbaarheid van de bodem.

BOVENGRONDSE INFILTRATIE

Het plaatsen van een ondoordringbare laag bovenop de bodem leidt tot bodemafdichting. De meeste vormen van verharding zijn weinig doordringbaar voor water. Dit leidt tot enorme volumes afstroming bij (hevige) regenval met vaak wateroverlast tot gevolg. Zelfs doorlaatbare verharding heeft een zekere beperking inzake infiltratiesnelheid en het is dus aangewezen om bij alle verharding voorzieningen te hebben om afstromingswater weg te leiden en lokaal te infiltreren. Infiltratievoorzieningen kunnen ook gemakkelijk compenseren voor de misgelopen grondwateraanvulling door verharding omdat er veel minder verliezen zijn door verdamping (Bhaskar, Hogan and Archfield, 2016). Aangezien het water van dakoppervlakken over het algemeen zuiverder is dan de afstroming van wegen en parkings, is het wenselijk om maximaal in te zetten op afkoppeling en infiltratie.

Bovengrondse infiltratievoorzieningen zijn vaak economischer dan ondergrondse systemen en bieden tevens kansen voor biodiversiteit. Er valt een onderscheid te maken tussen de zeer ondiepe en brede verlaagde bermen, de aanleg van verzamelbekkens en de aanleg van baangrachten. Daarbij zijn er een hoop factoren die de infiltratiesnelheid kunnen beïnvloeden. Uit studies blijkt dat de aanvoer van fijne deeltjes in het afstromingswater en compactie van de bodem door betreding een negatieve invloed kan hebben op de infiltratiecapaciteit. Anderzijds zal de aanwezigheid van vegetatie en bodemfauna de infiltratiesnelheid herstellen of zelfs vergroten. De doorworteling en de aanwezigheid van bodemleven zal zorgen voor de nodige porositeit.

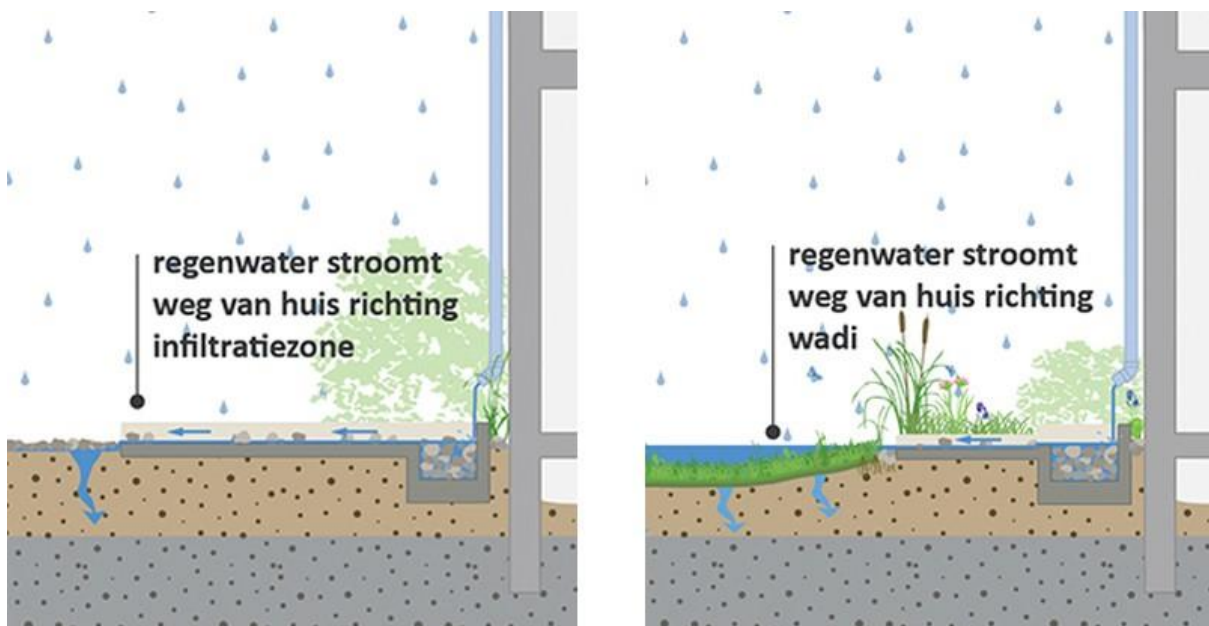


Figuur 12: Invloeden op de infiltratiecapaciteit van infiltratievoorzieningen (Ebrahimian *et al.*, 2020)

Oppervlakkige bovengrondse infiltratie is haalbaar in bijna alle situaties, zeker wanneer de oppervlakte verhouding verhard/ infiltratiezone onder de 20 blijft. Zeker voor bodems die begroeid zijn met gras en kruiden, is de toplaag voldoende doorlatend en zal deze snel terug droogvallen. In principe is voor de afvoer van een dakgoot helemaal géén ingewikkelde infiltratievoorziening nodig. Enkele meters afvoeren van de gevel weg en laten uitvloeien volstaat. Een zeer ondiepe kom op het grasveld volstaat. De infiltratiezone zal zich bij extreme neerslag uitbreiden. Dergelijke kleinschalige systemen voor individuele daken van particulieren zijn in bijna alle omstandigheden mogelijk als er voldoende plaats voorhanden is. Dergelijke infiltratiezones zijn overal mogelijk en wenselijk, zowel in infiltratiegebieden (geel-bruin) als tijdelijk natte gebieden (groen). In de praktijk zal dit ook mogelijk zijn in de van nature permanent natte zones omdat deze gebieden tot op zeker niveau gedraineerd worden. Dergelijke kleinschalige infiltratievoorzieningen kunnen de rioolbelasting aanzienlijk verlagen en zullen geen grote effecten hebben op de watertafel. Dergelijke oplossingen zijn zeker in de van nature permanent natte zones te verkiezen boven grachten (zie verder).



Figuur 13: voorbeeld van een kleinschalige infiltratievoorziening in een voortuintje © foto Giel Van Eck



Figuur 14: Schematische doorsnede afgekoppelde regenpijp met afstroming richting infiltratiestrook of wadi. ©Atelier GROENBLAUW

De aanleg van **verlaagde bermen en komvormige depressies** (WADI's) is aangewezen voor afstroming van wegooppervlakten of grotere dakoppervlakten. Deze zijn zeer effectief voor infiltratie, zeker als de oppervlakte voldoende is, deze begroeid is en weinig betreden wordt. Voor een open bevoeiing op een grasveld wordt aangeraden om voor de verhouding infiltratiezone (oppervlakte) en dakoppervlakte minimaal een ratio van 1 op 7 te hanteren (1 m² infiltratiezone voor 7 m² dak). Dit is bedoeld voor systemen waarbij er geen buffering van watervolume voorzien is. Wanneer er een buffering voorzien is kan deze ratio verlaagd worden. Het gebruik van lavasteen of houtsnippers zal de infiltratiecapaciteit van de toplaag versterken. Zeker in stedelijk gebied, biedt dit ook kansen om stedelijk groen te creëren. Er is weinig kans om de ondergrond te verzadigen met infiltratiewater. Er is weinig kans op het dichtslibben en aantasten van de infiltratiecapaciteit. Een eenvoudige oppervlakte ratio volstaat om te dimensioneren waarbij het natuurlijk belangrijk is dat de vegetatie niet verdrinkt. Voor de infiltratiezones (geel-bruin) op de watersysteemkaart zal men een lagere ratio kunnen

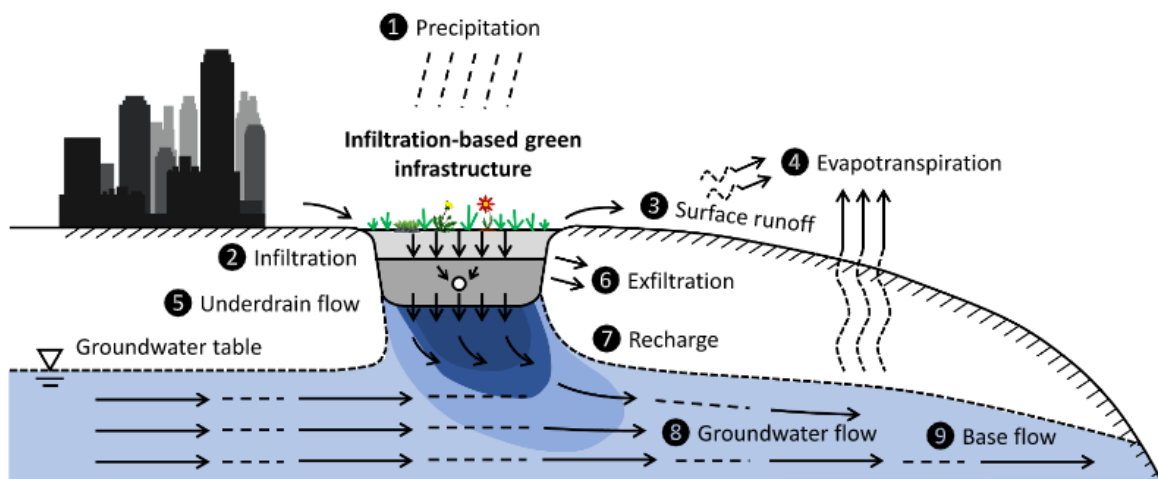
voorzien dan voor de tijdelijk natte zones (groen). Voor de tijdelijk natte zones zijn dergelijke verlaagde bermen zéker wenselijk omdat deze voor toplaag infiltratie zorgen (in tegenstelling tot poelen en grachten).



Figuur 15: Voorbeelden van berm infiltratie systemen (Wong, 2006)

Infiltratiepoelen zijn open vijvers waar gedurende een groot deel van het jaar water blijft staan en die afstromingswater bufferen van een relatief grote oppervlakte. Bij dergelijke grotere infiltratiepoelen die aanzienlijke hoeveelheden afstromingswater verzamelen, is het belangrijk om deze zo hoog mogelijk in het landschap te plaatsen. Dit is niet evident, want de meeste DWA/RWA systemen voeren gravitair af naar lager gelegen zones waardoor men vaak uitkomt in de groene en blauwe zones op de watersysteemkaart. Bij voorkeur worden infiltratiepoelen (WADI's) aangelegd in de geel-bruine zones. Decentraal infiltreren is wellicht effectiever dan collectieve infiltratievoorzieningen. Eénmaal geïnfilteerd zal het water zich érg langzaam verplaatsen. Het is dan ook belangrijk om te infiltreren op locaties die zo hoog mogelijk gelegen zijn. Bij voorkeur liggen deze voorzieningen ook ver weg van drainerende grachten. Bij het toepassen van centrale infiltratievoorzieningen op wijkniveau is er een risico dat men die infiltratievoorziening plaatst op de meest laag gelegen locatie in de wijk. Verzadiging van de ondergrond zal op dergelijke locaties sneller plaatsvinden. Dit kan een groot verschil maken naar de effectiviteit van de infiltratievoorziening. Als er dan onvoldoende buffervolume voorzien wordt zal de overloop drempelwaarde zeer regelmatig bereikt worden. Men moet dus vermijden dat men afstromingswater wegleidt naar lager gelegen zones (bv. van bruine naar gele zones).

In sommige gevallen is er wellicht geen andere mogelijkheid en moet men het water toch afleiden naar lager gelegen depressies (de groene zones op de watersysteemkaart). De tijdelijk natte zones zijn in feite grote natuurlijke infiltratiepoelen en ontvangen afstromingswater en bodemwater vanuit de omgeving. De infiltratiesnelheid kan mogelijk tijdelijk beperkt zijn waardoor er nood is aan grotere buffervolumes en/of een overloopsysteem. De aanleg van retentievijvers kan hier een elegante oplossing zijn mét kansen voor biodiversiteit en kwalitatief groen. Deze vijvers zullen in het diepere deel zelden droogvallen, terwijl ze toch ook een variabel waterpeil hebben om te bufferen. De aanleg van dergelijke retentievijvers in de van nature permanent natte zones kan uiteraard ook. Hier zal enkel tijdens drogere perioden ook infiltratie plaatsvinden. Het is in die situatie erg belangrijk om hier niet te diep te graven (bv. maximaal 50 cm) of enkel voor beperkte zones waar men permanent water wenst. Diep graven zal immers opwelling van grondwater versterken en een drainerend effect hebben. Dit is uiteraard niet het geval wanneer duidelijk aantoonbaar is dat de gemiddeld hoogste grondwaterstand aanzienlijk dieper zit.



Figuur 16: Schematische weergave van de belangrijkste hydrologische processen die betrokken zijn bij de interactie tussen infiltratie gebaseerde groene infrastructuur en ondiep grondwater (Zhang and Chui, 2019)

INFILTRATIEGRACHTEN

Infiltratiegrachten (baangrachten) kunnen effectief zijn voor het infiltreren en/of vertraagd afvoeren. Bij voorkeur houden deze het water op in de infiltratiezones (geel-bruin). Dergelijke baangrachten zouden standaard gecompartmenteerd moeten worden in de geel-bruine infiltratiegebieden. De grachten zullen daar van nature droogvallen na infiltratie van het gebufferde water. De mate van compartimentering hangt af van het verval in de gracht. Men zou in ieder geval zéker meer compartimenten moeten voorzien wanneer er op de watersysteemkaart een gradiënt zichtbaar is van bruin naar geel naar groen. Ook geldt er hier dat een overloopprofiel meer zal bufferen dan een knijpprofiel aangezien dat laatste toch nog zorgt voor een weliswaar vertraagde drainage.



Figuur 17: Voorbeelden van baangrachten gecompartmenteerd door middel van betonnen stuwen met overloopprofiel. Rechts is duidelijk zichtbaar dat het effect op licht hellende grachten groot kan zijn. Dergelijke stuwen zijn te verkiezen boven knijpconstructies met een opening onderaan. © Staes Jan

Wetenschappelijk studies tonen aan dat het belangrijk is dat de bodem van dergelijke droogvallende grachten begroeid is. Brede ondiepe begroeide grachten zijn effectiever dan diepe smalle grachten. Bij de smalle diepe grachten zal sediment en bezinksel de bodem van de gracht doen dichtslibben. Enerzijds heeft vegetatie bij smalle diepe grachten beperkingen door het lichtklimaat op de bodem van de gracht. Verder zal het dichtslibben zorgen voor verdere stagnatie en bezinking van deeltjes waardoor vegetatie zal afsterven. Ruimingen kunnen noodzakelijk zijn om de verslepte bodem te verwijderen, maar dit gebeurt bij voorkeur op het einde van de winter zodat vegetatie de kans krijgt om de bodem te koloniseren. Uit studies blijkt dat zelfs hoge mate van sedimentafzettingen in de lagere gedeelten geen probleem vormen voor de infiltratiecapaciteit, zolang deze maar begroeid kan blijven. De vegetatie zorgt voor een betere spreiding van de sedimentatie en de graswortels creëren macroporiën in de bodem (Ahmed, Gulliver and Nieber, 2015).

Een bijkomend aandachtspunt is dat dergelijke grachten ook drainerend kunnen werken in de van nature permanent natte gebieden (blauwe zones op de watersysteemkaart). Compartimentering is ook hier aangewezen. In het geval van baangrachten, kan het zijn dat deze dergelijke natte gebieden doorsnijden. In dat geval moet men door compartimentering vermijden dat afstromingswater zijn weg vindt naar deze lager gelegen zones. De aanleg van dergelijke grachten bij nieuwe wegen of verkavelingen zou men moeten vermijden. In principe zou men de permanent natte (blauw) en tijdelijk natte (groen) gebieden maximaal moeten vrijwaren van nieuwe bebouwing. Indien dit onvermijdelijk is, moet men drainage maximaal vermijden. Ook zou men in en rond dergelijke zones moeten opleggen dat men keldervrij moet bouwen. Tijdelijk ondiepe grondwaterstanden kunnen dan mogelijk zijn, zonder schade aan gebouwen. Wanneer deze zones reeds bebouwd zijn of in landbouwgebruik, moet men drainage trachten te beperken door de grachten minder diep te maken en/of te compartimenteren. Bij afkoppeling van RWA naar grachten is dit een aandachtspunt. Zeker wanneer het zones betreft die tijdelijk nat zijn (groen), is een lokale buffering zeer gewenst.

ONDERGRONDSE INFILTRATIEVOORZIENINGEN

Als we bij de aanleg van wegen het afstromingswater kunnen wegleiden naar buffer- en infiltratievoorzieningen in bermen en plantsoenen, is dit evenzeer een effectieve vorm van ontharding. Voor de meer technisch-innovatieve **ondergrondse systemen** (bv. boombunkers, ...) zijn er vaak technische fiches voorhanden die de dimensionering van dergelijke systemen voorschrijven. Daarbij zijn er twee aspecten belangrijk, namelijk de diepte van het grondwater en de horizontale en verticale infiltratiesnelheid van de ondergrond. Over ondergrondse systemen zoals infiltratiebuizen is nog niet alles geweten. De aanleg van **lijnvormige ondergrondse infiltratiesystemen** bevelen we enkel aan in de gele en bruine gebieden en raden we af in de groene en blauwe gebieden. Concreet gaat dat over de aanleg van doorlaatbare buizen of leidingen voor

regenwaterafvoer, vaak met daarrond een grindlaag. Indien aangelegd in de geel-bruine zones, zullen deze nooit of zeer zelden interageren met het grondwater. Dit is echter niet het geval in de groene en blauwe zones waarbij het grondwater potentieel ondiep aanwezig is.

De infiltratiebuizen fungeren daarbij als ondergrondse snelwegen voor grondwaterafvoer en draineren zo de ondergrond (Bonneau *et al.*, 2017). Zeker wanneer RWA-systemen uiteindelijk uitmonden in een lager gelegen retentiebekken is de impact aanzienlijk. Dit is trouwens niet enkel het geval voor RWA-systemen, maar ook andere ondergrondse infrastructuur creëert gangen met een hogere porositeit waardoor preferentiële stroombanen ontstaan (Bonneau *et al.*, 2017). In de groene en blauwe zones kan men gebruik maken van klei of leem om dit te voorkomen. Om eenzelfde reden moet men speciale aandacht hebben voor de kwaliteit van rioolinfrastructuur en het voorkomen van barsten en spleten. In de geel-bruine zones zal er exfiltratie optreden, met mogelijk grondwatervervuiling, terwijl er een eerder drainerende werking zal zijn in de groene en blauwe zones (Zhang and Chui, 2019).



Figuur 18: infiltratiekralen (links) en een geperforeerde hemelwater put (rechts). Dergelijke geperforeerde hemelwaterputten worden rondom aangevuld met kiezel om het infiltratieoppervlak te vergroten.

De watersysteemkaart kan enig inzicht geven in de nodige dimensionering zonder hier concrete getallen op te plakken. De bruine gebieden hebben bij afwezigheid van minder doordringbare lagen wellicht een erg diepe grondwaterstand en hierdoor zal zowel de verticale als horizontale infiltratiesnelheid hoog zijn met als gevolg een kleinere dimensionering. De gele gebieden hebben een voldoende diepe grondwaterstand, maar de verticale infiltratiesnelheid kan tijdelijk beperkt zijn. Daarom is het belangrijk om de vorm en dimensies zo aan te passen dat de horizontale infiltratie versterkt kan worden. Diepe infiltratieputten waarbij enkel de onderkant open is, kunnen mogelijk trager infiltreren tijdens de winter/voorjaarsperiode. In de gele gebieden kan men best kiezen voor een groter oppervlak en minder diepte. In de lichtgroene gebieden zijn ondergrondse infiltratievoorzieningen nog steeds mogelijk, maar deze kunnen na een erg natte periode mogelijk sterk beperkt worden in hun infiltratie door tijdelijke ondiepe grondwaterstanden. In de donkergroene zones, gaat de

voorkeur uit naar bovengrondse verzamel- en infiltratiebekkens. Maaiveldinfiltratie in ondiepe kommen (wadi's) is perfect mogelijk in de groene zones.

Bodemonderzoeken kunnen helpen om de grondwaterdynamiek te bepalen. Maar er zijn risico's aan verbonden om blindelings af te gaan op dergelijke metingen om toch diepe ondergrondse infiltratiesystemen aan te leggen. Ten eerste leveren dergelijke onderzoeken een beeld voor één bepaald jaar, waarbij het voorgaande jaar bijvoorbeeld relatief droog is geweest. Zeker bij de tijdelijk natte gebieden kan het zijn dat men de werkelijke dynamiek niet capteert. De actuele grondwaterdynamiek is daarenboven vaak verstoord door een verminderde grondwateraanvulling, de aanwezigheid van winningen of drainagevoorzieningen in de omgeving. Als een zone aangeduid is als (donker)groen of (donker)blauw, mag je er vrij zeker van zijn dat herstelmaatregelen in de omgeving een invloed zullen hebben op deze grondwaterdynamiek. Dus zelfs wanneer actuele metingen een diepe grondwaterstand aantonen, moet men toch ten alle vermijden dat er ondergrondse voorzieningen geplaatst worden die een drainerende werking kunnen hebben. Bovendien zou men de installaties dan ook moeten voorzien van de nodige oplossingen voor hoge grondwaterstanden, zodat een eventuele wateroverlast vermeden kan worden naar de toekomst toe.

GROENDAKEN

Aan groendaken worden belangrijke waterbufferende kwaliteiten toegeschreven. Groendaken zijn evenwel niet combineerbaar met hemelwateropslag voor hergebruik en verdampen een groot deel van het neerslagwater. Daarom zouden we groendaken vooral aanraden in omstandigheden waarbij hergebruik en/of infiltratie niet mogelijk is. Dat kan het geval zijn wanneer er geen plaats is voor infiltratie en waarbij het groendak enerzijds water vasthoudt en vertraagd afgeeft, waardoor een eventuele infiltratievoorziening veel kleiner gedimensioneerd kan worden. Ook wanneer de bodem weinig doorlatend is en/of het grondwater te ondiep zit voor infiltratie (blauwe zones), kan een groendak bufferen en zo de rioolbelasting verlagen. In dergelijke situaties moet men er dan ook voor zorgen dat een groendak voldoende kan bufferen. In principe zou men tot 50 mm moeten kunnen bufferen, wat betekent dat de substraatdikte minimaal 10-12 cm moet zijn.

Voor gebieden die zeer geschikt zijn voor grondwateraanvulling (bruine zones) zouden we groendaken zelfs afraden ten voordele van infiltratie. De interceptiewaarde van een groendak is immers aanzienlijk en men loopt een belangrijk volume grondwateraanvulling mis. Er is immers een aanzienlijke neerslag nodig vooraleer er drainage optreedt.

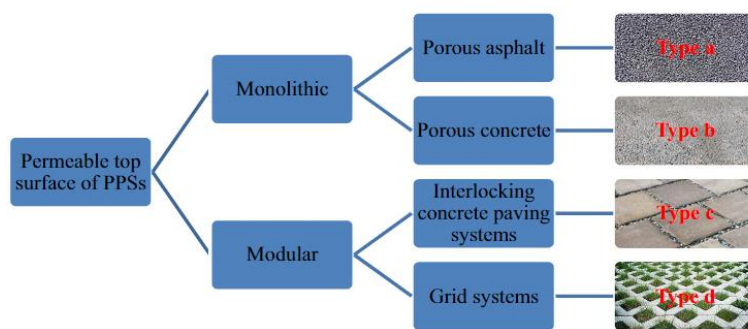
In de context waarbij men een groendak wil omwille van esthetische redenen, kan een extensief groendak in combinatie met een infiltratievoorziening aangewezen zijn. Door dergelijke extensieve groendaken is er minder interceptie en kan een groot aandeel toch nog infiltreren. Zeker bij extreme onweders kan het groendak bijkomend bufferen en zo voorkomen dat de infiltratievoorziening/riolering onvoldoende capaciteit heeft.

Alhoewel een groendak zeker bij zomeronweders een groot bufferend vermogen heeft, mogen we ons daar echter niet op blindstaren. Bij voorafgaande droge en warme perioden is het beschikbaar buffervolume immers maximaal. Bij aanhoudend natte en koude omstandigheden zal dat buffervolume al voor een aanzienlijk deel in gebruik zijn en is het bijkomend bufferend vermogen beperkt. Dit wordt bevestigd in wetenschappelijke studies (Versini *et al.*, 2015). Zowel de totale neerslag als de initiële verzadiging van het substraat hebben invloed op de effecten van het groendak. In deze context lijken de bestudeerde groendaken nuttig om de effecten van de normale regenval te verzachten, maar blijken ze minder nuttig te zijn voor aanhoudende neerslag (wat immers ook geldt voor hemelwaterputten). We concluderen dat groene daken, in combinatie met andere infrastructuren, een interessante bijdrage leveren aan het stedelijk waterbeheer van de toekomst, maar dat het in combinatie moet zijn met andere buffer- en infiltratiemechanismen.

ONTHARDING/BODEMAFDICHTING

Het plaatsen van een ondoordringbare laag bovenop de bodem leidt tot bodemafdicthting. De meeste vormen van verharding zijn weinig doordringbaar voor water. Dit leidt tot enorme volumes afstroming bij hevige regenval met vaak wateroverlast tot gevolg. De aanleg van nieuwe verharding is dan ook niet wenselijk. Naast het verzamelen en infiltreren van het afstromend water, kan ook ontharding of doorlaatbare verharding een deel van de oplossing zijn. Doorlaatbare verharding is in principe wenselijk voor alle infiltratiegebieden (zowel de gele als bruine zones op de watersysteemkaart). De focus van ontharden ligt in de groene en blauwe gebieden op het beperken van de afstroming en veel minder op grondwateraanvulling. Er zijn verschillende vormen van doorlaatbare verharding, gaande van kiezel, grasdals, klinkers met open voegen tot allerhande poreuze materialen (poreus asfalt of beton). We zullen deze verschillende systemen en de voor- en nadelen kort bespreken. In het algemeen is er een dalende performantie van alle doorlaatbare verhardingen omdat roet, fijn stof en sediment de poriën geleidelijk zullen opvullen (Selbig and Buer, 2018). Daarom is doorlaatbare verharding een misleidende term en is het aangewezen om de (doorlaatbare) verharding steeds te combineren met opvang- en infiltratiebekkens. Zeker omdat het aantal extreme neerslaggebeurtenissen verder zal toenemen. Volledig doorlaatbare verharding (bv. grasdal) is vooral aangewezen bij oppervlakten die niet al te zwaar belast worden en toelaten om voor een hoge porositeit (maar lage draagkracht) te kiezen.

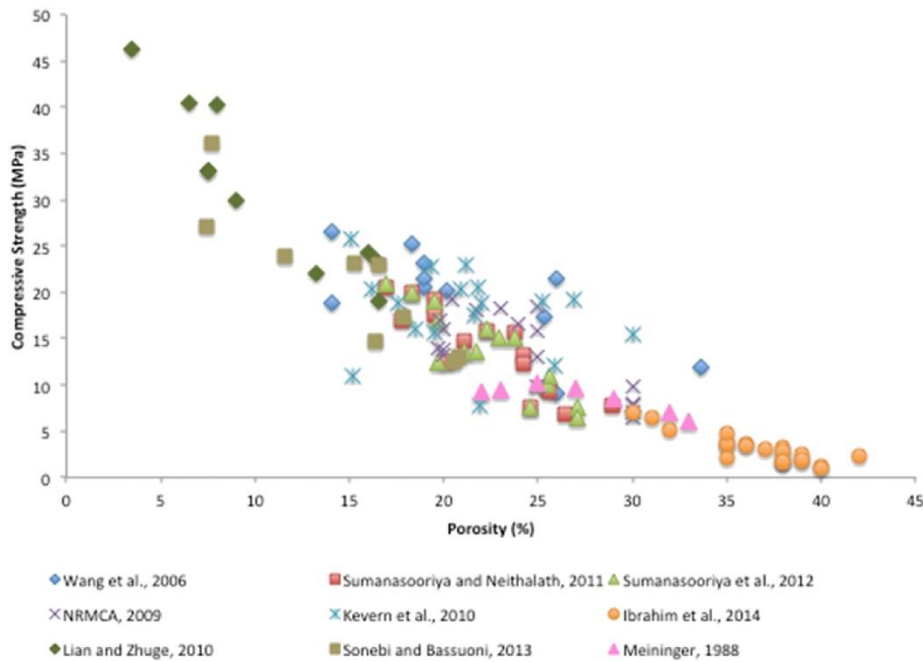
Er zijn dus verschillende types van doorlaatbare verharding. Poreus asfalt, poreus beton, systemen met open voegen en grid systemen (Pratt, Mantle and Schofield, 1995; Kuruppu, Rahman and Rahman, 2019).



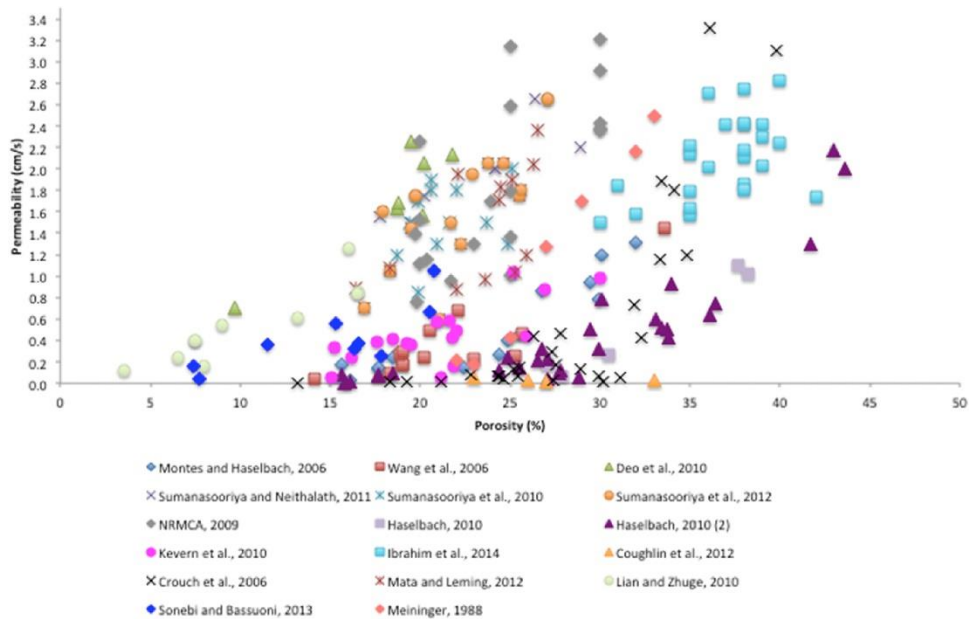
Figuur 19: Verschillende types van doorlaatbare verharding. Poreus asfalt, poreus beton, systemen met open voegen en grid systemen (Kuruppu, Rahman and Rahman, 2019)

Om effectief te zijn, moet zowel de bovenlaag voldoende doorlaatbaar zijn én dient men een onderlaag te voorzien die ook voldoende watervolume kan bufferen. Dat is echter niet altijd mogelijk. De poriën in de bovenlaag van sommige vormen van doorlaatbare verharding slibben snel dicht waarna er onderhoud nodig is om deze poriën terug open te maken. Hoe fijner de poriën, hoe gevoeliger deze zijn voor dichtslibbing. Wanneer slib en roet zich uiteindelijk opstapelen in de onderlaag zal ook deze een dalende infiltratiecapaciteit hebben. Algemeen zal de infiltratiesnelheid met de jaren sterk afnemen en zal doorlaatbare verharding niet meer in staat zijn om extreme neerslag te verwerken (Selbig and Buer, 2018). Bij extreme neerslag zal doorlaatbare verharding dus nog altijd een aanzienlijk deel afstroming genereren. De studie door Pratt (1995) toont aan dat bij een onweer (15-25 mm/u gedurende 15 min), meer dan de helft van de neerslag toch afstroomt (Ranieri, 2002). Het blijkt dus aangewezen om deze waar mogelijk te combineren met buffer- en infiltratiesystemen.

Een hoge initiële porositeit met grotere gaten en spleten is de beste garantie om dichtslibbing te vermijden, maar uiteindelijk zullen ook bij dergelijke systemen partikels diep doordringen en de infiltratiekanalen verstoppen. Er is daarenboven, zeker voor poreus asfalt en beton, een zekere wisselwerking tussen draagkracht en porositeit. Dus het toepassen van doorlaatbare verharding op plaatsen die onderhevig zijn aan zware (verkeers)belasting, is niet evident.



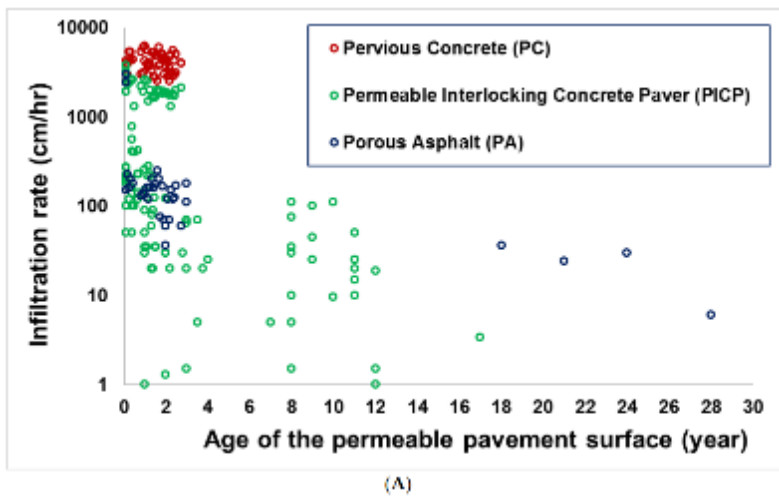
Figuur 20: Correlatie tussen druksterkte en porositeit voor een breed scala aan doorlaatbare betonsoorten die in de literatuur worden vermeld (Kia, Wong and Cheeseman, 2017).



Figuur 21: Correlatie tussen doorlaatbaarheid en poreusheid voor een breed scala aan doorlaatbare betonsoorten die in de literatuur worden vermeld (Kia, Wong and Cheeseman, 2017).

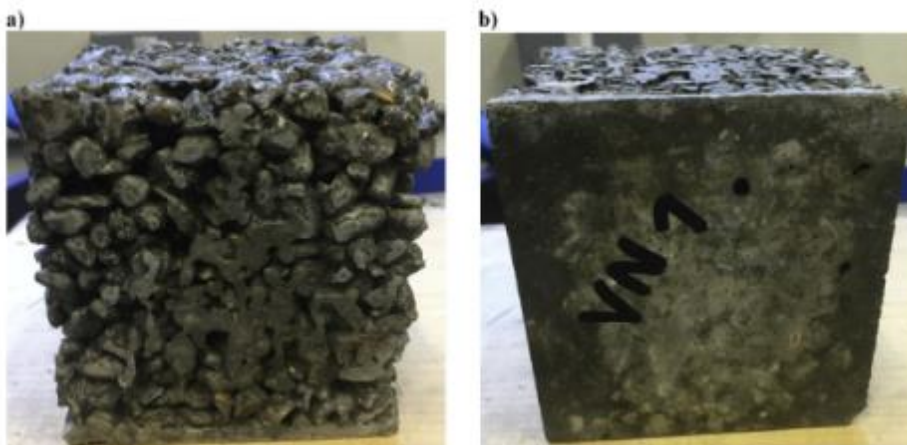
De infiltratiecapaciteit zal bij de poreuze verhardingen na 10-15 jaar sterk gereduceerd zijn. Het is mogelijk om de infiltratiecapaciteit te herstellen. Hiervoor zijn machines nodig die de partikels losweken en vervolgens verwijderen. Het alternerend toepassen van stoom, hoge druk en vacuüm zuigen zou effectief zijn. Machines die een dergelijk onderhoud toelaten, zijn nog niet commercieel beschikbaar. Er wordt in de literatuur ook melding gemaakt dat dergelijke technieken niet altijd een oplossing bieden voor het verstopping van de dieper gelegen kanalen. Reiniging met hoge druk zonder vacuüm cyclus zal de fijne partikels bijvoorbeeld net dieper in de poriën duwen (Kia, Wong and Cheeseman, 2017). Er zal dus nog wel een zekere infiltratie- en buffercapaciteit aanwezig zijn, maar er zal weinig of geen effectieve infiltratie plaatsvinden. Dit maakt dat een deel van het water aanwezig blijft in de poriën en dat er vorstschade kan optreden. Tijdens warme perioden zal er een hoge

verdamping zijn van het aanwezige water in de poriën. Er is dus netto vermindering van afstroming, maar dit is eerder een interceptie-verdamping effect, met weinig invloed op grondwateraanvulling.



Figuur 22: Achteruitgang van de maximale infiltratiesnelheid van doorlaatbare verharding na verloop van tijd (Razzaghmanesh, 2018)

In de studie van Kia (2017) wordt er ook melding gemaakt van foute technieken bij het plaatsen van doorlaatbaar asfalt/beton. De granulaten worden immers gemengd met een cement of asfalt pasta en dan gestort op de onderlaag. In de praktijk zal een aanzienlijk deel van het vloeibaar gedeelte uitlekken naar de onderlaag en zich daar consolideren. In de praktijk betekent dit dat er alsnog een totaal ondoordringbare laag gevormd wordt. In dat geval heeft de “doorlaatbare verharding” geen effect op de grondwateraanvulling. De term doorlaatbaar is immers voor interpretatie vatbaar. Er bestaan wel firma’s die de granulaten in dunne laagjes aanbrengen (5-10 cm), waardoor dit effect sterk beperkt wordt en er een volledig doorlaatbaar asfalt ontstaat.



Figuur 23: Doorlatend beton (a) zoals gegoten en (b) en bij zicht op de onderkant, waarbij de bodem volledig is geblokkeerd door het uitlekken van de pasta, als gevolg van het te hoge gehalte aan cementpasta, de water/cement-verhouding en/of de verdichtingsbewerkingen. Het monster is een 100 mm kubus (Kia, Wong and Cheeseman, 2017).

Een “doorlaatbare” toplaag, impliceert geen volledige doorlaatbaarheid tot in de ondergrond. Echte ontharding dient gepaard te gaan met een volledig alternatief landgebruik, waarbij er sprake is van permanente vegetatie met beperkte betreding en belasting. Een sterk betreden bodem zal immers van nature verhard tot een ondoordringbare laag. Wanneer het gaat over bodems die sterk belast zijn geweest, zal het ook nodig zijn om de bodem tot op aanzienlijke diepte te de-compacteren door diepe bodembewerking en een voldoende diepe poreuze laag aan te leggen (bv. steenslag).

Bovenstaande argumenten maken duidelijk dat doorlaatbare verharding wenselijk is, maar beperkingen heeft. De combinatie met buffer- en infiltratiebekkens blijft vaak aangewezen. Er valt zelfs te verwachten dat we in de toekomst te maken zullen krijgen met neerslagintensiteiten die zelfs de infiltratiesnelheid van de meeste bodems overstijgt.

LANDGEBRUIK EN BEHEER IN HET BUITENGEBIED

Klimaatverandering zal ook in het buitengebied uitdagingen stellen. Het waterbeheer is gedurende vele eeuwen vooral gericht geweest op het ontwateren van landschappen. Een situatie van wisselvallig weer en weinig onttrekkingen, maakte dat water abundant aanwezig was in grote delen van Vlaanderen. Het ontginnen van moerasgebieden voor de landbouw was één van de weinige haalbare opties om de bevolking te voeden. De langzame afbraak van organisch materiaal en het daarmee gepaard gaande vrijkomen van voedingsstoffen waren cruciaal voor de productie in een tijdperk waarin men geen meststoffen kon kopen. Die visie op waterbeheer heeft zich nog voortgezet tot ver in de twintigste eeuw. De afgelopen 50 jaar is bijna 75% van de wetlands in het Vlaamse Gewest verdwenen (Decler *et al.*, 2016).

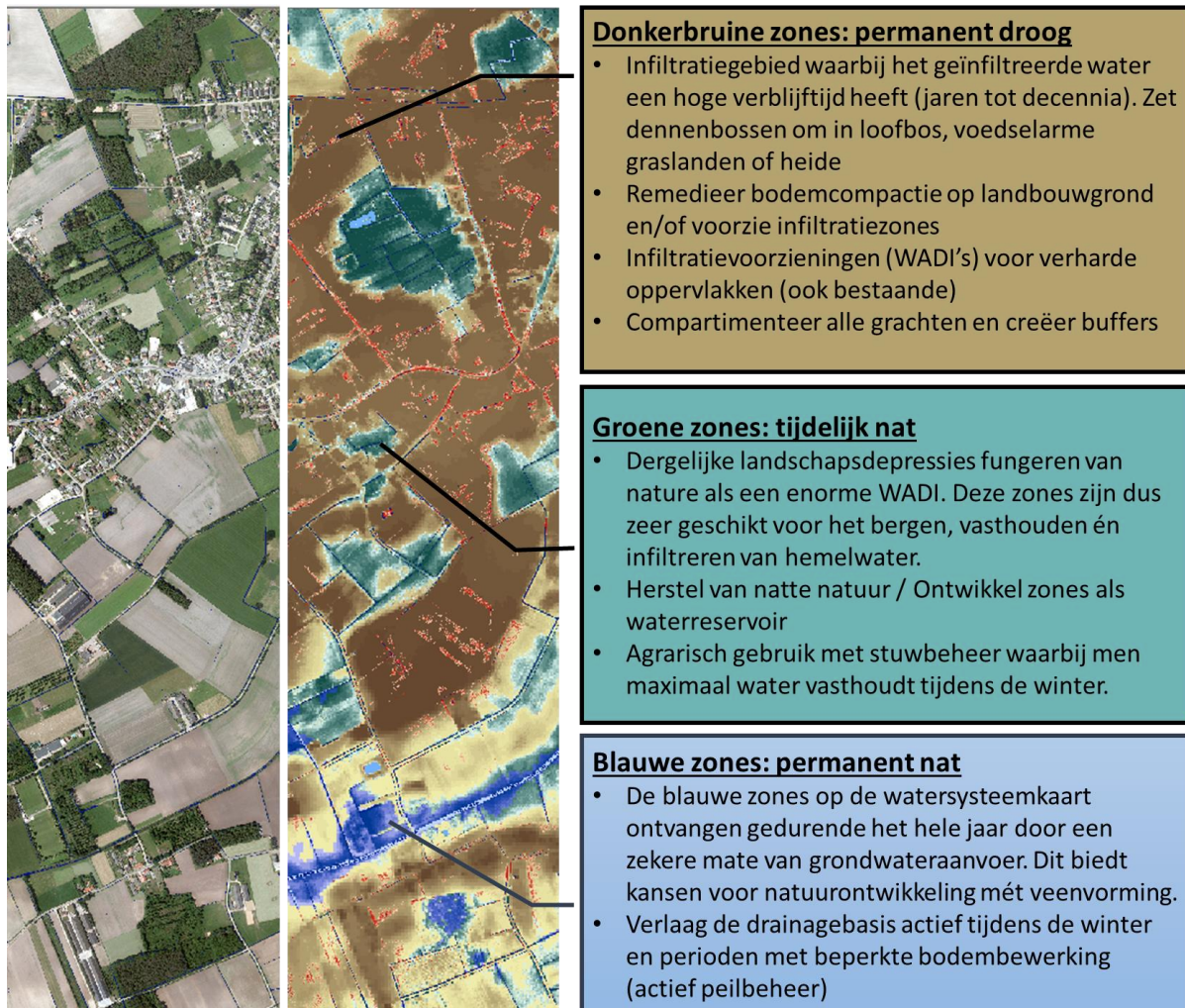
Het is duidelijk dat de huidige situatie anders is. We moeten ons aanpassen aan een situatie waar het wisselvallige weer langzaam verschuift naar een weerbeeld met aanhoudend natte of droge perioden. Standvastige weerbeelden komen steeds meer voor in alle seizoenen en zijn te wijten aan een minder strakke straalstroom. Dit is op zich een gevolg van kleinere temperatuurverschillen tussen pool en evenaar. Maar vooral in de zomer zullen lange warme droge perioden voor acute problemen zorgen. Grondwaterpeilen staan systematisch laag en geraken steeds moeilijker aangevuld. Water is niet langer abundant aanwezig in het landschap en we moeten een watersysteem dat gericht is op het afvoeren van water transformeren naar een beheer dat gericht is op het vasthouden van water.

Dat is een uitdaging, want neerslag valt ook steeds vaker sterk geconcentreerd in de tijd. Aanhoudend natte perioden en extreme neerslag leiden niet altijd tot de nodige aanvulling van watervoorraden. De toplaag van de bodem kan bij aanhoudende neerslag verzadigd geraken en zo afstroming genereren.

Maar men kan veel ingrepen uitvoeren die het watersysteem minder gevoelig maken voor extreme neerslag en droogte. Er zijn immers veel mogelijkheden om infiltratie en retentie te versterken.

Figuur 24 geeft een overzicht van mogelijke maatregelen in het buitengebied. We delen deze op in een aantal categorieën die we verder bespreken.

- Bosvorming: beheer en omvorming van bossen kan grondwateraanvulling versterken
- Aandacht voor bodemstructuur
- Infiltratiepoelen op landbouwpercelen
- Verminderde drainage van landschapsdepressies
- Natuur en bosbouw in permanent natte gebieden
- Peilgestuurde drainage bij agrarisch gebruik in permanent natte gebieden



Figuur 24: Algemeen overzicht van land en bodembeheer maatregelen geassocieerd met de watersysteemkaart. ++++ = maximaal effect, +++ = hoog effect, ++ matig effect.

Bosomvorming

In de loop van de 19e eeuw werden grote stukken gemengd loofbos in West-Europa omgevormd tot productief naaldbos (Verstraeten, 2013). Dit heeft ernstige gevolgen gehad voor de waterhuishouding van het landschap. Veranderingen in de bosbedekking hebben invloed op de wateropbrengst, de afvloeiing, de infiltratie en de verdamping en daarmee op de aanvulling van het grondwater (Allen and Chapman, 2001). Verschillende studies bewijzen in het algemeen dat naaldbomen meer water verbruiken dan loofbomen. Dit kan worden toegeschreven aan een hogere verdamping en interceptie in vergelijking met loofbomen (Brown *et al.*, 2005; Nisbet, 2005; Dams, Woldeamlak and Batelaan, 2008; Filoso *et al.*, 2017; Adane *et al.*, 2018). Omvorming naar loofbos of meer open vegetatietypen maakt het mogelijk om meer aanvulling te realiseren, waardoor de gevolgen van droogte worden gematigd. De voornaamste reden waarom er minder aanvulling is onder bosvegetaties is interceptie.

Interceptie is het proces waarbij regenval wordt opgevangen in de overkapping en terug verdampt in de atmosfeer. Dit water wordt niet actief gebruikt in een biologisch proces. Interceptie en bosbedekking heeft een sterk positief effect op zware gronden, omdat het extreme neerslaghoeveelheden buffert, afvloeiing en erosie vermindert en zo infiltratie bevordert. De interceptieverliezen zijn gering in vergelijking met de afvloeiingsverliezen die een schaars begroeide bodem zou veroorzaken. Op zanderige, goed doorlatende

bodems treedt het omgekeerde op. Het is onwaarschijnlijk dat deze bodems afvloeiing genereren en interceptieverliezen verminderen de aanvulling van het grondwater.

Vooraf (onbeheerde) sparren en dennen hebben een hogere interceptie en verminderen daardoor de infiltratiecapaciteit. In Limburg en Antwerpen zijn dergelijke dennenbossen vaak net aangeplant op de hoger gelegen delen van het landschap. Deze landruggen hebben overwegend droge en zanderige bodems die ongeschikt waren voor landbouwkundige exploitatie. Deze sites zijn echter zeer belangrijk voor de grondwateraanvulling omdat het grondwaterpeil diep zit en ver verwijderd is van afwateringskanalen. Bosconversie naar gemengde bossen, loofbossen of meer open vegetatietypen (bv. heide) maakt het mogelijk om tijdens de winter extra grondwater op te bouwen, waardoor de gevolgen van droogte worden beperkt. De interceptieratio wordt ook sterk beïnvloed door de neerslagpatronen zelf. De doorval van extra neerslag zal 100 % zijn zodra de kroonlaag (resp. strooisellaag) verzadigd is. Dit betekent dat interceptieverliezen minder belangrijk worden wanneer we evolueren naar neerslagpatronen die meer geconcentreerd zijn in de tijd.

Aandacht voor bodemstructuur

Aangezien infiltratie wordt beïnvloed door de bodemstructuur, zullen processen die leiden tot de verslechtering van de bodemstructuur ook invloed hebben op de infiltratie. Bodemaantasting verandert de eigenschappen van de bodem aanzienlijk en vermindert de infiltratiecapaciteit en het watervasthoudend vermogen van de bodem. Verminderde infiltratie kan leiden tot een toename van de afstroming op het land en draagt bij tot het risico op overstromingen. Bodemcompactie en bodemverslemping worden beschouwd als hoofdoorzaken voor verminderde infiltratie. Deze problematiek speelt niet enkel in landbouwgebieden, maar is bijvoorbeeld ook een probleem voor publieke parken (Sarah and Zhevelev, 2007; Zhevelev and Sarah, 2008). Het gebruiken van parken voor evenementen kan leiden tot onomkeerbare bodemcompactie, met afstroming tot gevolg en ook vaak gevolgen voor de vegetatie door een verminderde waterbeschikbaarheid (bodemvocht).

Verslemping van de toplaag is een probleem bij akkerbouw en vormt een eerste barrière voor waterinfiltratie. De kruimelige toplaag wordt kapot geslagen door de harde regen. De losgeslagen deeltjes spoelen mee met de regen en slibben de bovenste poriën van de bodem toe, met afstroming tot gevolg. Het vocht kan zo moeilijk in en uit de grond. Wanneer de bodem opdroogt, is dit een harde korst die bij volgende regenbuien opnieuw afstroming zal genereren. Het is daarom beter om de bodem niet fijn te frezen en te zorgen voor voldoende organisch materiaal in de toplaag. Een laag gehalte aan (ruwe) organische stof verhoogt de kans op verslemping en maakt dat er weinig bodemleven aanwezig is in de toplaag van de bodem. Een bodem met een belangrijke populatie aan regenwormen zal aanzienlijk beter draineren dan een bodem zonder regenwormen.

In het algemeen vermindert grondbewerking de bodemporeusheid, verlaagt het de hydraulische geleidbaarheid en verlaagt het de bulkdichtheid van bodems die de bodem onder de grond verdicht (Gómez et al. 1999). Basche en DeLonge (2019) beoordeelden in een meta-review van de opties voor bodembeheer de effecten van vijf belangrijke bodembeheerpraktijken (niet-kerend ploegen, bedekkingsgewassen, vruchtwisseling, invoering van vaste planten, gewas- en veeteeltsystemen) op de infiltratiesnelheid in vergelijking met de conventionele praktijken. Er werd aangetoond dat dekkingsgewassen de infiltratie in vergelijking met conventionele grondbewerking gemiddeld met 34,8% verhogen, onafhankelijk van de droogte- en neerslagregimes, maar ze leken beter te presteren op grovere bodems. Ook nam hun effect aanzienlijk toe als ze meer dan vier jaar lang werden toegepast. Zij vonden ook dat het effect van enkel niet-kerend ploegen niet significant was, maar in combinatie met mulch en gewasresten werd een structurele toename van de infiltratie waargenomen.

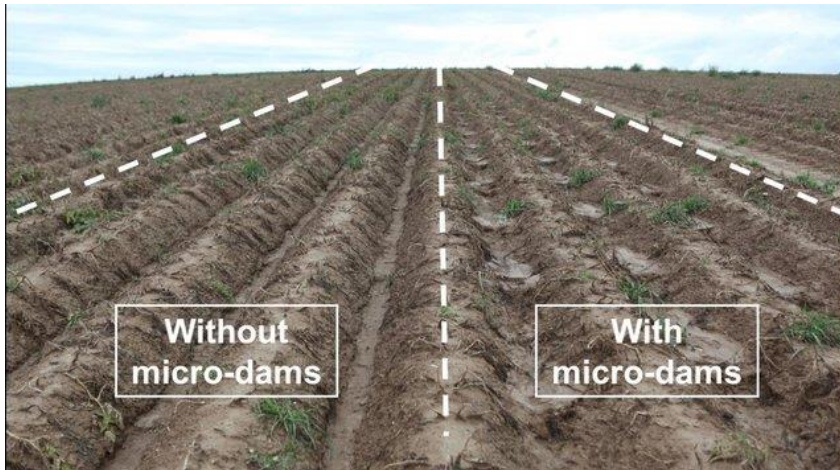
Een tweede barrière voor grondwateraanvulling ontstaat door bodemcompactie (bodemverdichting). Door intensieve bodembewerking kan een ploegzool ontstaan. De ploegzool ontstaat net onder de ploegdiepte en is een harde laag van enkele centimeters dik. Ze wordt gevormd doordat de bodem telkens tot op dezelfde diepte bewerkt wordt. De onderkant van de ploeg smeert als het ware de bodem dicht. Dit kan opgelost worden door occasioneel dieper te ploegen bij optimale veldcondities (niet té nat of té droog).

Ondergrondcompactie is mogelijk een derde barrière voor grondwateraanvulling. Ondergrondcompactie is de diepere verdichting van de bodem tot tientallen centimeters diep onder de ploegzool. Bij zware bodembewerking wordt de bodem door de bandendruk van zware machines samengedrukt en vervolgens wordt enkel de bovenste laag terug losgewerkt. Bodemverdichting treedt voornamelijk op wanneer natte gronden worden bewerkt. Hoe hoger het kleigehalte, hoe hoger het vermogen van de bodem om hogere spanningen te dragen bij een hoger aanvankelijk watergehalte zonder dat er sprake is van ernstige verdichting. Het aanvankelijke watergehalte speelt een belangrijke rol in klei- en leemgronden. Voor zandgronden daarentegen zijn de mechanische parameters minder afhankelijk van het aanvankelijke watergehalte, maar meer gerelateerd aan de aanvankelijke dichtheid van de bodem (Saffih-Hdadi *et al.*, 2009). Verdichting kan bijna alle fysische, chemische en biologische eigenschappen en functies van de bodem negatief beïnvloeden. De vegetatie lijdt onder een beperkte bewortelingsdiepte, vermindering van de opname van voedingsstoffen en de vorming van doordrenkte of anoxische zones, wat kan leiden tot denitrificatie en de emissie van lachgas (Batey, 2009; Cui *et al.*, 2010).

Het spreekt voor zich dat bodemverslemping vooral een probleem vormt bij extreme neerslaggebeurtenissen. Zomeronweders met intensiteiten van meer dan 1 mm/minuut komen immers steeds meer voor. Bodemcompactie zal dan weer een probleem vormen bij een aanhoudende natte periode. Het water stagneert op de ploegzool tot de gehele toplaag verzadigd is. Eénmaal verzadigd zal alle bijkomende neerslag afstromen. De weerpatronen van de laatste 10 jaar zijn minder wisselvallig. Dat betekent dat er ook meer aanhoudend natte perioden zijn. Een aanhoudend natte periode tijdens het groeiseizoen kan dan leiden tot gewasschade.

Verslemping kan aangepakt worden door het gehalte aan organische stof te verhogen. Dat kan door toevoegen van compost en biochar, maar evengoed door het inploegen van lokale biomassa (houtsnippen) uit beheer van houtkanten. Maar het tegengaan van verslemping heeft weinig zin op een gecompacteerd bodem. Het remediëren van bodemcompactie is daarentegen niet eenvoudig. Men kan éénmalig iets dieper (niet-kerend) ploegen om de ploegzool te breken en vervolgens nagaan waar er nog compactie aanwezig is (door dit te meten). Na de remediatie moet men uiteraard vermijden dat de bodem opnieuw compacteert. Het reduceren van de bodembewerking, niet-kerend ploegen en aanzienlijk minder diepe bodembewerking zal uiteindelijk resulteren in een gezonde bodem. Deze overgang maken is lastig, aangezien de bodemstructuur en het bodemleven zich langzaam aanpast aan de nieuwe condities. Er is dus een periode waarbij er kans is op lagere opbrengst, maar op langere termijn zijn er veel meer baten.

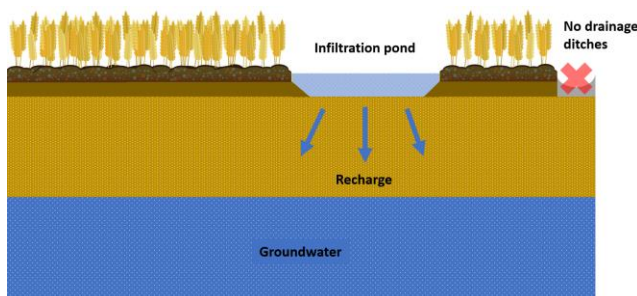
Een andere doeltreffende oplossing om deze afspoeling sterk te reduceren is het aanleggen van drempels in de werkgangen bij ruggenteelten zoals aardappelen, asperges,... Deze drempels worden ook wel barbuttes – de eerste producent van machines die de aanleg van deze drempels automatiseerde – genoemd (Figuur 25). Deze drempels houden het water tegen waardoor het langzaam in de grond kan sijpelen in plaats van af te spoelen. Er moet echter ook hier aandacht zijn voor de diepere infiltratie. Anders blijft het water staan op de ploegzool wanneer er zich een extreme neerslag voordoet. Dus eerst diepe compactie aanpakken.



Figuur 25: Vergelijking van een perceel zonder micro-dammen (links) en een perceel met micro-dammen (rechts) aan het einde van het seizoen (Olivier *et al.*, 2014)

Infiltratiepoelen op landbouwpercelen

Infiltratiepoelen kunnen het water dat afstroomt van verslechte en gecompacteerde bodems opvangen en laten infiltreren. Het zijn kunstmatig aangelegde poelen op locaties waar het afstromingswater passeert en ze zijn over het algemeen beperkt in grootte. Zoals eerder besproken, resulteert bodemdegradatie in verhoogde afstroming en bodemerosie. Omdat bodemherstel en een aangepaste bodembewerking niet altijd haalbaar zijn, kan hetzelfde effect worden bereikt door actief creëren van retentie-infiltratievijvers op plaatsen waar het water zich van nature verzamelt in plaats van het af te voeren (Figuur 26).



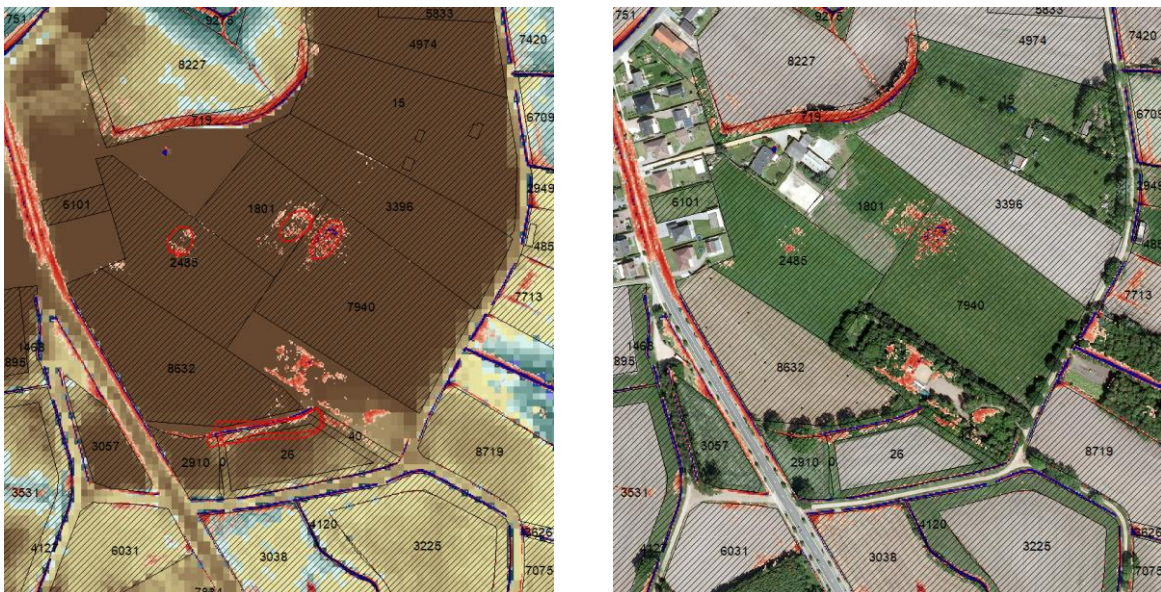
Figuur 26: Illustratie van een agrarische infiltratievijver. Afwateringsloten worden niet aanbevolen, omdat ze het aanvullen van het grondwater verhinderen.

Een grootschalige inzet van dergelijke infiltratiepoelen kan een groot verschil maken in het aanvullen van het grondwater (Beganskas and Fisher, 2017). Net als urbane infiltratiesystemen, zijn ook deze installaties gevoelig voor verstopping (Gette-Bouvarot *et al.*, 2014). Daarom is het belangrijk om faciliteiten te ontwerpen die voldoende capaciteit of noodopslag hebben, vooral gezien de klimaatverandering en extreme neerslaghoeveelheden.

De kaartlaag micro-depressies (zie p 12-13 en figuur 25) geeft een indicatie van de potenties voor de aanleg van dergelijke poelen. Micro-depressies zijn relatief laag gelegen zones op perceelsniveau (binnen een straal van 100 meter). Dit zijn van nature geschikte zones om een infiltratiepoel aan te leggen omdat er natuurlijke toestroming is van afstromingswater. Zeker indien dergelijke micro-depressies gelegen zijn op hoger gelegen gronden met een hoog infiltratiepotentieel. Ze kunnen afstromingswater bij extreme en/of langdurige neerslag verzamelen en infiltreren.



Figuur 27: aanduiding van micro-depressies met een oranje schakering. We zien dat deze kaartlaag ook de grachten identificeert. Deze grachten hebben meestal de klasse 1-2 en het is dus mogelijk deze te onderscheiden.



Figuur 28: Detailbeeld van mogelijke locaties voor infiltratiepoelen op een hoger gelegen infiltratiegebied. Op de luchtfoto is evenwel te zien dat sommige percelen onder grasteelt liggen. Afstroming zal vooral een probleem zijn bij akkerbouw.

Deze kaartlaag is dus bruikbaar om te identificeren waar water zich (tijdelijk) verzamelt bij zeer extreme neerslag. Dat zijn ideale locaties om een ondiepe infiltratieput aan te leggen. Een bijkomende voorwaarde is dat deze gelegen moeten zijn in infiltratiegebied (bruine-gele zones) of in tijdelijk natte zones (groene zones).

Verminderde drainage van landschapsdepressies (groene zones)

In een aantal recente publicaties wordt specifiek aandacht besteed aan de regulerende functies van waterrijke gebieden die niet hydrologisch verbonden zijn met het rivierenetwerk. In de wetenschappelijke literatuur wordt verschillende terminologie gebruikt om te verwijzen naar dergelijke wetlands, namelijk "depressional

wetlands" (Evenson *et al.*, 2018), "non-floodplain wetlands" (Lane *et al.*, 2018; Jones *et al.*, 2019) of "geografisch geïsoleerde wetlands" (Cohen *et al.*, 2016; Evenson *et al.*, 2016; Rains *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2018). Het gaat dus om natuurlijke depressies in het landschap waar water zich verzamelt en die (oorspronkelijk) niet verbonden zijn met de waterlopen. Dergelijke systemen krijgen vooral lokale aanvoer van afstromingswater en ondiep bodemwater dat zich verzamelt op minder doordringbare bodemlagen. Door hun relatief klein voedingsgebied en topografische ligging worden deze gebieden van nature gekenmerkt door een grote fluctuatie in de waterstand.

De meeste van deze landschapsdepressies werden eeuwen geleden reeds ontgonnen en gedraineerd. Dat was relatief eenvoudig door ze via hand gegraven grachten te verbinden met het waterlopen netwerk. Meestal gebeurde dat voor landbouwdoeleinden. Vanuit die tijdgeest is dat uiteraard goed te begrijpen. Dergelijke depressies hadden organisch rijke bodems en de afbraak van dat organisch materiaal zorgde voor een zekere vorm van bemesting met een goede opbrengst tot gevolg. Met de klimaatverandering en een stijgende prevalentie van extreem natte en extreem droge perioden, wordt het natuurlijk bufferend vermogen van dergelijke landschapsdepressies steeds belangrijker. De landschapsdepressies bieden immers mogelijkheden om lokaal afstromingswater te verzamelen en vast te houden. Een groot deel van dat water zal dan langzaam infiltreren en zo de grondwaterreserves aanvullen. Maar dat impliceert dat de drainagegrachten gedempt of (tijdelijk) gestuwd worden. Beschikbare studies tonen aan dat de daadwerkelijke aanvulling van het grondwater door wetlands afhankelijk is van het samenspel van buffervolume, retentietijd en hydraulische conductiviteit van de ondergrond. Het beperken van de drainage biedt in ieder geval mogelijkheden om zowel droogte als (benedenstroomse) wateroverlast aan te pakken. Tijdens de winter zou men dergelijke depressies gerust enkele maanden blank kunnen zetten. Ook kan men nagaan of er zich in deze depressies minder doordringbare lagen hebben gevormd, hetzij door bodemcompactie of door natuurlijke processen. Vaak ontstaan er in dergelijke depressies ijzerafzettingen die minder waterdoorlatend zijn en waarop zich dan vennen kunnen vormen. Het mechanisch doorbreken van deze lagen kan leiden tot een verbeterde grondwateraanvulling en dus ontwatering. Anderzijds kan dit ook leiden tot een versnelde ontwatering en verdroging tijdens de zomer en mag dit niet ondoordacht gebeuren.

Drainage beperken in de permanent natte gebieden (blauwe zones)

De blauwe zones op de watersysteemkaart ontvangen (van nature) het hele jaar door een zekere mate van grondwateraanvoer. Dit biedt uitstekende kansen voor natuurontwikkeling en veenvorming. Maar een zeer groot deel van de historische moerassen werden ontgonnen voor landbouw. Historisch gezien is het niet onlogisch dat organisch rijke bodems ontgonnen werden voor landbouw. De afbraak van de veenbodem zorgde ook hier voor een beschikbaarheid aan nutriënten en ook vandaag de dag zijn deze bodems nog altijd rijk aan organisch materiaal, zij het veel minder dan oorspronkelijk. De zones met de hoogste kweldruk zijn in sommige gevallen niet ontgonnen en herbergen ook vandaag nog een hoge biodiversiteit. Idealiter vormen de blauwe zones een blauwdruk voor de afbakening van groen-blauwe linten doorheen het landschap. Zeker voor de bovenlopen, waar dit een relatief smal lint is en er veel baten zijn inzake waterhuishouding (Figuur 29).



Figuur 29: voorbeeld van een permanent natte zone op een bovenloop dat ontwikkeld kan worden als een blauw-groen lint.

Indien een volledige blauwe zone in natuurbeheer is, kan niet enkel drainage gestopt worden, maar kan men ook de waterloop vrij laten ontwikkelen. Dit kan enorm veel opleveren inzake waterretentie en waterkwaliteit, maar ook veenvorming terug mogelijk maken en zo bijdragen tot klimaatmitigatie. Daarnaast zal men ook naar beheer veel kosten uitsparen. Vandaag is het echter vaak een spagaat tussen natuur en landbouw, waarbij de allernatste zones gedegradeerde natuur zijn door verdroging en de iets minder natte zones zwaar gedraineerd worden om toch landbouw mogelijk te maken.

De laatste decennia zien we steeds vaker lage grondwaterpeilen, wat ook leidt tot een verminderde kweldruk in de kwelzones. De permanent natte gebieden uit het verleden zijn daardoor vandaag vaak slechts tijdelijk nat. Dit heeft enorme gevolgen voor de biodiversiteit in de grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Maar ook in de landbouwgebieden heeft dit gevolgen. In de praktijk is er vaak ondergrondse drainage aanwezig om de meer intensieve teelten mogelijk te maken. De intensieve drainage schiet zijn doel echter voorbij en men kampt vervolgens met te lage waterpeilen in de zomer. Men moet hierbij absoluut vermijden dat intensieve teelten zich uitbreiden naar de nattere zones waar landbouw voorheen simpelweg onmogelijk was. Men moet immers uitgaan van een herstelscenario waarbij men werkt naar hydrologisch herstel. Om deze situatie te herstellen, zijn er vooral bovenstrooms maatregelen nodig (infiltratie versterken in de bruine-gele en groene zones).

In de blauwe zones kan men echter ook een beperkte winst boeken door niet onnodig te draineren. Wanneer de kweldruk lager is, kan men zonder probleem minder diep draineren zodat de peilen in de lente en zomer minder diep dalen. Dit kan gerealiseerd worden door het plaatsen van peilgestuurde drainage. Peilgestuurde drainage is van toepassing op percelen die momenteel reeds gedraineerd worden via ondergrondse buizen. Vaak

zijn dat vlakke percelen die eerder dicht tegen de waterloop aan liggen. Via peilgestuurde drainage heeft men controle over de drainagediepte en kan men deze beperken wanneer er geen bodembewerkingen nodig zijn.

Vanuit het perspectief van de landbouwer is het niet onlogisch om buiten het groeiseizoen te draineren en tijdens het groeiseizoen pas op te stuwen. Maar dit is bijzonder nefast voor de waterbeschikbaarheid. De waterlopen ontvangen daarmee nog minder water tijdens de zomermaanden. Men moet het water immers vooral ophouden tijdens natte perioden. Het beste is uiteraard geen enkele vorm van drainage. Enkel indien er al ondergrondse drainage aanwezig is kan peilgestuurde drainage een deel van de oplossing bieden. Peilgestuurde drainage is daarbij vooral een oplossing voor de landbouwer, maar zal voor het watersysteem relatief weinig opleveren.

Bij het plaatsen van peilgestuurde drainage zou men daarom best ook altijd kijken naar oplossingen op de iets hoger gelegen percelen. In principe zou men altijd meerdere stuwen moeten plaatsen. Eén stuw wordt geplaatst op het lager gelegen deel om een tijdelijke snelle ontwatering mogelijk te maken. De andere stuwen plaatst men bij voorkeur aan de randen van de blauwe zones (bij de overgang naar geel). Deze stuwen geven de mogelijkheid om water op te stuwen in de wintermaanden.

Samengevat krijgen we de volgende volgorde:

- Drainage stopzetten waar mogelijk
- Verondieping en verbreding van de grachten
- Plaatsen van meerdere stuwen op het gehele grachten netwerk
- Peilgestuurde drainage
- Klassieke drainage

GEBRUIK VAN DE WATERSYSTEEMKAART BIJ VISIEVORMING

Voor een aantal typische elementen van een hemelwater- en droogteplan (woningen, wegen,...) wordt hier besproken welke aandachtspunten men in acht moet nemen inzake infiltratie en retentie. Hierbij maken we gebruik van de watersysteemkaart om onderscheid te maken in de aanpak. We delen de watersysteemkaart theoretisch op in zes zones, die we benoemen met kleuren en schakeringen.

We gaan evenwel niet over tot een harde opdeling in zones. Waar exact de grenzen liggen tussen de zones wordt een beetje opengelaten. Hierbij is immers ook lokale terreinkennis en ervaring voor nodig en er zijn in de praktijk ook geen abrupte overgangen tussen droog en nat. Het verschil tussen donkerblauw en lichtblauw op de watersysteemkaart is dan ook eerder te interpreteren als een gradatie tussen zeer nat en nat. Voor een belangrijk deel vergt dat interpretatie van de gebruiker.

Kleur	Beschrijving
Donkerbruin	Infiltratiegebied waarbij het geïnfilterde water een hoge verblijftijd heeft (jaren tot decennia). Hier altijd infiltreren.
Geel	Infiltratiegebied waarbij het geïnfilterde water een kortere verblijftijd heeft (maanden tot jaren). Hier altijd infiltreren.
Lichtgroen	De randen van zones die tijdelijk nat worden na perioden met hoog neerslagoverschot. Deze gebieden worden evenwel snel terug droog en zeker aan de randen. Als je water hier kan ophouden, zal het alsnog infiltreren en kan het maanden tot jaren verblijven in de ondergrond. Bv. 10 % van het jaar nat, 90 % van het jaar droog
Donkergroen	De kernen van zones die tijdelijk nat worden na perioden met hoog neerslagoverschot. Deze gebieden worden eveneens terug droog, maar minder snel dan aan de randen. Als je water hier kan ophouden, zal het alsnog infiltreren en kan het maanden tot jaren verblijven in de ondergrond. Bv. 25 % van het jaar nat, 75 % van het jaar droog

Lichtblauw	Gebied waar zwakke grondwaterkwel aanwezig is. Tijdens droge perioden zal de kweldruk onvoldoende zijn om verdamping bij te houden. Als je water hier kan ophouden, zal het langer beschikbaar zijn voor vegetatie en basisdebiet waterlopen. Bv. 50 % van het jaar nat, 50 % van het jaar droog
Donkerblauw	Gebied waar sterke grondwaterkwel aanwezig is. De kweldruk is voldoende sterk voor permanent natte omstandigheden. Als je water hier kan ophouden, zal er zich moerasvegetatie ontwikkelen met veenbodem. Bv. 75 % van het jaar nat, 25 % van het jaar droog

Natuurlijk zijn er bij de opmaak van hemelwater- en droogteplannen ook andere opgaven dan het bevorderen van infiltratie en grondwateraanvulling, zoals het vermijden van wateroverlast en het ontlasten van rioleringen. Maar de oplossingen voor deze problemen zijn meestal te combineren met grondwaterriendelijke oplossingen. Het verzamelen en gravitair afvoeren van afstromingswater om het vervolgens te bufferen in lageregelegen wachtbekkens langs de beken is een praktijk die enkel gericht is op het vermijden van wateroverlast. Deze maatregelen bieden geen oplossing naar de droogteproblematiek maar versterken deze problematiek tijdens extreme droge jaren, gedurende het ganse jaar. Uiteraard zullen deze technieken nodig blijven zolang we niet voldoende lokale buffer en infiltratiecapaciteit kunnen realiseren. Heel extreme buien zorgen voor een zodanig grote en snelle afstroom van water (bijvoorbeeld van landbouwpercelen) dat wachtbekkens nog de enige manier zijn om piekafvoeren op de beken af te toppen.

Kernboodschappen:

- In de donkergroene en donkerblauwe zones moet men streven naar minimale drainage van het kwelwater. Deze zones worden best gevrijwaard van bebouwing.
- In donkerbruine zones zou men verharding absoluut moeten beperken en zou men er naar moeten streven om alle verharding te voorzien van infiltratievoorzieningen. Ook bij reeds bestaande verharding en voor zware bodems.
- Voor de gele zones zijn de acties inzake ontharding van bestaande bodemafdichting iets minder urgent vanuit het watersysteem perspectief. De extra infiltratie zal niet diep infiltreren en een beperkte verblijftijd hebben. Hierbij dient een actief beleid voor het ontharden van bestaande bodemafdichting vooral te gebeuren in synergie met andere opgaven zoals het ontlasten van rioolinfrastructuur.

Om het met een analogie te benoemen kan je het vergelijken met sparen. De bruine tot gele zones zijn te vergelijken met een lange-termijn rekening. In de echt donkerbruine zones kan je pensioensparen. Wat we daar infiltreren kan ons helpen om een reeks van droge jaren in de verre toekomst te overbruggen. Hoe minder bruin, hoe minder lang de verblijftijd zal zijn. De groene zones zijn als het ware de spaarrekening voor het komende jaar. De blauwe zones zijn de zones waar het water onherroepelijk uit de grond komt, en dat is de zichtrekening waar we water kunnen afhalen. Als we te weinig aan pensioen- en termijn sparen doen, zijn we niet in staat om extreem droge jaren op te vangen. Momenteel hebben we erg weinig rente van het termijnsparen en zijn we érg afhankelijk geworden van de maandelijkse stortingen onder de vorm van neerslag. En eigenlijk zijn de vele grondwaterwinningen geen oplossing voor het onderliggend probleem, we plunderen daarmee het pensioenspaarfonds.

TABELLEN

De tabellen in dit deel vormen een soort samenvatting van de voorgaande hoofdstukken. Ze geven een beknopt overzicht van de do's en dont's voor de verschillende zones van de watersysteemkaart.

Er zijn zes tabellen.

- **Tabel 1: buitengebied**
- **Tabel 2: Woningen**
- **Tabel 3: Verharde oppervlakten (wegen, pleinen, parkings, etc.)**
- **Tabel 4: Industrie en winkelpanden (>250 m²)**
- **Tabel 5: Inrichting en beheer van grachten**

Tabel 1: buitengebied

Buitengebied	Akkerland	Weiland	Bos en natuur
BRUIN – GEEL	<p>Bodemcompactie voorkomen of remediëren. Dit kan door diepe bodembewerking en vervolgens aangepaste tracking (vaste wielsporen).</p> <p>De infiltratiecapaciteit van de toplaag vergroten door inwerken van organisch materiaal, niet-kerende bodembewerking, inwerken gewasresten.</p> <p>Gebruik van drempelmachines (drempels in ruggenteelten kunnen gezien worden als tijdelijke gecompartmenteerde infiltratiegrachten)</p> <p>Infiltratiepoelen voorzien (vb.: wadi's) op plaatsen waar water zich verzamelt (ipv naar grachten).</p> <p>Perceelsgrachten voorzien van compartimentering en retentiepoelen (afstromingswater niet afvoeren!)</p> <p>Gewasresten en bodembedekking (bv tussenteelten, vanggewassen) remmen het afstromend water af waardoor de kans op infiltratie stijgt.</p>	<p>Bodemcompactie voorkomen of remediëren. Dit kan door diepe bodembewerking en vervolgens aangepaste tracking (vaste wielsporen).</p> <p>Infiltratiepoelen voorzien (vb.: wadi's)</p> <p>Perceelsgrachten voorzien van compartimentering en retentiepoelen (afstromingswater niet afvoeren!)</p>	<p>Dennenbos omzetten in voedselarme graslanden en heide (de vaak onverteerde laag naalden op de verzuurde bodem vormt een extra barrière voor infiltratie).</p> <p>Converteren naar loofbos of gemende bossen.</p> <p>Bosbeheer toepassen (dunnen van de stand). Meer open bossen intercepteren minder.</p>

LICHTGROEN	<p>(Omvorming naar) peilgestuurde drainage. Maximaal opstuwen tijdens winter.</p> <p>Drainage afleiden naar lokale retentie- en infiltratiebekkens (in donkergroene zones).</p>	<p>Omvormen van (permanente) graslanden naar akkerland is weinig wenselijk.</p>	<p>Dergelijke zones zijn in bosgebieden vaak voorzien van rabatten en drainage. Dit stamt uit een tijd dat het te nat was voor bosbouw. De stopzetting van drainage en de omvorming naar meer natte bossen (Els, Wilg, Es) is wenselijk. Het occasioneel afsterven van bomen door een hoge waterstand maakt deel uit van een natuurlijke cyclus.</p> <p>De aanplanten van Canadese populier kunnen best uitgedoofd worden.</p>
DONKERGROEN	<p>Akkerteelten zijn hier niet aangewezen.</p> <p>De donkergroene zones zijn de laagst gelegen zones van de landschapsdepressies en vaak ook moeilijk te draineren.</p> <p>De aanleg van retentiebekkens voor uitgestelde infiltratie is aangewezen. De bekkens vullen zich met het drainage- en afstromingswater uit de lichtgroene zones. Vallen droog tijdens de zomer.</p> <p>(Omvorming naar) peilgestuurde drainage in combinatie met de infiltratiebekkens.</p>	<p>Behoud van permanent of blijvend grasland is zeer wenselijk.</p> <p>De aanleg van retentiebekkens voor uitgestelde infiltratie is aangewezen. De bekkens vullen zich met het drainage- en afstromingswater uit de lichtgroene zones. Vallen droog tijdens de zomer.</p>	<p>Dergelijke zones zijn in bosgebieden vaak voorzien van rabatten en drainage. Dit stamt uit een tijd dat het te nat was voor bosbouw. De stopzetting van drainage en de omvorming naar meer natte bossen (Els, Wilg, Es) is wenselijk. Het occasioneel afsterven door een hoge waterstand maakt deel uit van een natuurlijke cyclus.</p> <p>De aanplanten van Canadese populier kunnen best uitgedoofd worden.</p>
LICHTBLAUW	<p>Deze gebieden zijn nat zonder drainage en voormalig moerasgebied. Waarschijnlijk is hier nog steeds een hoog gehalte</p>	<p>Natuurvriendelijke oever (flauwe oevers) en meandering</p>	<p>Vernatting via hemelwater vermijden indien de natuurwaarden gerelateerd zijn aan</p>

	<p>aan bodemorganische stof. Deze is gevoelig aan verdroging. Drainage dient beperkt te worden. Hier zou men best opteren voor gewassen die men vroeg kan oogsten. Drainage beperken wanneer er geen bewerkingen plaatsvinden. Hier ook zeker aandacht voor bandendruk.</p>	<p>Grasland in rotatie, kruidenrijker</p> <p>Herstel vochtig grasland (beperkte afwatering door ondiepe sloten) Scheuren van graslanden is niet wenselijk</p>	<p>vernatting via grondwater. Het aanvoeren van hemelwater naar sites met grondwaterafhankelijke vegetatie kan zware impact hebben op de biodiversiteit (het ene water is het anderen niet).</p> <p>De aanplanten van Canadese populier kunnen best uitgedoofd worden.</p>
DONKERBLAUW	<p>Akkerteelten zijn hier niet aangewezen. Hier zijn veel kansen voor klimaatmitigatie en natuurherstel. Uitrusten van gronden is aangewezen.</p> <p>Minimaal draineren en graslandbeheer (permanent, niet scheuren) kan zorgen voor aanzienlijke grasproductie tijdens de zomer mét kansen voor biodiversiteit.</p>	<p>Drainagebasis actief verlagen tijdens de winter en perioden met beperkte bodembewerking (actief peilbeheer) Bij landbouwgraslanden streven naar behoud of ontwikkeling van permanent grasland.</p>	<p>Vernatting via hemelwater vermijden indien de natuurwaarden gerelateerd zijn aan vernatting via grondwater. Het aanvoeren van hemelwater naar sites met grondwaterafhankelijke vegetatie kan zware impact hebben op de biodiversiteit (het ene water is het anderen niet).</p> <p>De aanplanten van Canadese populier kunnen best uitgedoofd worden.</p>

Tabel 2: Woningen

Woningen	Bestaand	Nieuw
BRUIN	Actief inzetten op lokale infiltratie, zelfs indien er geen probleem is inzake rioolcapaciteit. Ook bij relatief zware bodems (leem, klei) is infiltratie zeker mogelijk mits aangepast ontwerp.	Hier geldt de vigerende wetgeving. Hemelwateropslag én infiltratie op overloop is wettelijk verplicht. Infiltratie kan gemakkelijk ondergronds, maar ook

	<p>Gezien het grote belang van de bruine zones voor grondwateraanvulling wordt er geadviseerd om in deze zones een sterk proactief beleid te voeren en de aanleg van infiltratievoorzieningen te stimuleren.</p> <p>Bij vrijwel alle huizen met een tuin kan men een infiltratievoorziening maken (toch zeker voor dakoppervlak achteraan het huis). Er wordt geadviseerd om de afkoppeling van regenpijp naar tuin wadi (lage kost) of ondergrondse infiltratieputten te stimuleren.</p> <p>Centrale infiltratievoorzieningen op wijkniveau zijn hier zeker een mogelijkheid – er is weinig kans op verzadiging van de ondergrond. Men moet de infiltratievoorziening dan wel plaatsen binnen de bruine zones.</p> <p>Groendaken zijn niet wenselijk vanuit het oogpunt grondwateraanvulling omdat deze relatief hoge verdampingsverliezen hebben. Men kan dan vanuit oogpunt grondwateraanvulling beter infiltreren.</p>	<p>bovengronds gebeuren. Ook bij zware bodems is infiltratie mogelijk mits aangepast ontwerp. Hier zou men niet van mogen afwijken.</p> <p>Centrale infiltratievoorzieningen op wijkniveau zijn hier zeker een mogelijkheid – er is weinig kans op verzadiging van de ondergrond.</p> <p>Groendaken zijn niet wenselijk vanuit het oogpunt grondwateraanvulling omdat deze relatief hoge verdampingsverliezen hebben. Men kan dan vanuit oogpunt grondwateraanvulling beter infiltreren.</p>
<p>GEEL</p>	<p>Indien er een probleem is inzake rioolcapaciteit zou men hier ook actief kunnen inzetten op lokale infiltratie. Ook bij relatief zware bodems (leem, klei) is infiltratie zeker mogelijk mits aangepast ontwerp.</p> <p>Bij vrijwel alle huizen met een tuin kan men een infiltratievoorziening maken (toch zeker voor dakoppervlak achteraan het huis). Er wordt geadviseerd om de afkoppeling van regenpijp naar tuin wadi (lage kost) of ondergrondse infiltratieputten te stimuleren.</p> <p>Centrale infiltratievoorzieningen op wijkniveau of grote oppervlakten zijn hier een risico – er is kans op verzadiging van de ondergrond</p>	<p>Hier geldt de vigerende wetgeving. Hemelwateropslag én infiltratie op overloop is wettelijk verplicht. Infiltratie kan ondergronds of bovengronds gebeuren. Ook bij zware bodems is infiltratie mogelijk mits aangepast ontwerp.</p> <p>Groendaken zijn niet wenselijk vanuit het oogpunt grondwateraanvulling omdat deze relatief hoge verdampingsverliezen hebben.</p> <p>Men kan dan vanuit oogpunt grondwateraanvulling beter infiltreren.</p> <p>Centrale infiltratievoorzieningen op wijkniveau of grote oppervlakten zijn</p>

	<p>waardoor de WADI niet goed functioneert. Lokale en decentrale voorzieningen zijn effectiever.</p>	<p>hier een risico – er is kans op verzadiging van de ondergrond waardoor de WADI niet goed functioneert. Lokale en decentrale voorzieningen zijn effectiever.</p>
<p>LICHTGROEN</p>	<p>Het bodemwater kan occasioneel en tijdelijk ondiep aanwezig zijn. Gedurende 90% van het jaar is er infiltratie mogelijk.</p> <p>Enkel decentrale en lokale infiltratie is hier aangewezen. Dus geen collectieve voorzieningen op straat of wijkniveau.</p> <p>De aanleg van infiltratievoorzieningen blijft wenselijk wanneer er een acute opgave is om de rioolbelasting met hemelwater te reduceren.</p> <p>Het is aangewezen om de infiltratievoorziening groter te dimensioneren en/of een buffervolume te voorzien. Infiltratie verspreiden over een groter oppervlak.</p> <p>Men zou in dat geval ook de aanleg van groendaken kunnen stimuleren. De maximum haalbare substraatdikte zal op bestaande daken beperkt zijn.</p>	<p>Hier geldt de vigerende wetgeving. Hemelwateropslag én infiltratie op overloop is wettelijk verplicht.</p> <p>Enkel decentrale en lokale infiltratie is hier aangewezen. Dus geen collectieve voorzieningen op straat- of wijkniveau.</p> <p>Het bodemwater kan occasioneel en tijdelijk ondiep aanwezig zijn. Gedurende 90% van het jaar is er infiltratie mogelijk. Enkel inzetten op lokale infiltratie, als er een probleem is inzake rioolcapaciteit. Infiltratie dient oppervlakkig te gebeuren en niet ondergronds. Infiltratie kan best bovengronds of net onder maaiveld gebeuren.</p> <p>Dit impliceert ook dat wanneer de hemelwaterput (te) diep geplaatst wordt een gravitaire overloop naar een infiltratievoorziening niet effectief is. De overloop van de hemelwaterput bevindt zich dan té diep onder maaiveld. Men moet dan ofwel water verpompen of het hemelwater afleiden voor de hemelwaterput.</p> <p>Het is aangewezen om de infiltratievoorziening groter te dimensioneren en/of een buffervolume te voorzien (bv. 5 l/m²). Infiltratie verspreiden over een groter oppervlak.</p> <p>Bij voorkeur zijn de lichtgroene zones bouwvrij omdat ze in de toekomst wel eens te maken kunnen hebben met wateroverlast.</p> <p>Indien er toch gebouwd wordt aan de randen van de groene zone kan</p>

		<p>men best rekening houden met occasioneel hoge grondwaterstanden. Deze hoge grondwaterstanden moeten mogelijk blijven. Drainage is niet gewenst. Men kan evenwel het maaiveld ophogen voor de woning en/of keldervrij bouwen. De kern van de groene zone (donkergroen) moet behouden en bouwvrij blijven voor waterberging.</p>
DONKERGROEN	<p>Er dient gestreefd te worden om donkergroene zones bouwvrij te houden. Er zijn in verstedelijkte zones mogelijkheden om zulke zones in te richten als waterparken. Er is een grote kans dat deze zones nu reeds frequent inunderen.</p> <p>Dergelijke landschapsdepressies fungeren van nature als een enorme WADI. Deze zone is dus zeer geschikt voor het bergen, vasthouden én infiltreren van hemelwater op wijkniveau.</p> <p>Infiltratie is er regelmatig erg beperkt en wellicht wordt het gebied momenteel gedraineerd om wateroverlast te vermijden.</p> <p>Buffering en geleidelijke afvoer van hemelwater blijft evenwel wenselijk. Men kan hiervoor best bovengronds werken (bv. kleine wadi).</p> <p>Het aanleggen van diepe, open grachten (> 50 cm) voor hemelwaterafvoer is NIET wenselijk. Gedurende perioden met neerslagoverschot zullen deze grachten een drainerende werking hebben. Het hemelwater dat men toevoegt aan die grachten zal (meestal) niet infiltreren en zo bijdragen aan wateroverlast. Infiltratie dient oppervlakkig te gebeuren (bv. via een netwerk van infiltratiebuizen vlak onder maaiveld).</p>	<p>Dit moet een bouwvrije zone blijven. Er is een grote kans dat deze zones frequent inunderen.</p> <p>Dergelijke landschapsdepressies fungeren van nature als een enorme WADI. Deze zone is zeer geschikt voor het bergen, vasthouden én infiltreren van hemelwater op wijkniveau. Deze zone zou men moeten inrichten als een waterpark. Op het laagste punt kan men eventueel een vijver/poel voorzien. Ook een avontuurlijke speelzone is een mogelijkheid.</p> <p>Zelfs als de zone reeds gedeeltelijk bebouwd is, moet men bijkomende bebouwing vermijden. Op termijn moet bebouwing uitgefaseerd worden.</p> <p>Het is goed mogelijk dat de zone door drainage momenteel weinig wateroverlast ondervindt, maar de bestaande drainagecapaciteit kan mogelijk onvoldoende zijn bij verdere klimaatverandering. Extreem natte perioden zoals bv in het voorjaar van 2016 zullen immers ook meer voorkomen. Het voorjaar van 2016 kan hier gebruikt worden als een referentie situatie. Het is daarbij aangewezen om in te zetten op extra buffering en niet op (bijkomende) drainage en afvoer.</p>

	Hier zou de aanleg van groendaken op bestaande gebouwen wenselijk zijn om hemelwater te bufferen.	
LICHTBLAUW	<p>Het bodemwater is hier systematisch ondiep aanwezig (50-100 cm onder maaiveld) en vooral in de winter en het voorjaar kan het mogelijk vrij nat zijn. Gedurende de zomer en herfst is er infiltratie mogelijk.</p> <p>Buffering en geleidelijke afvoer van hemelwater blijft evenwel wenselijk. Men kan hiervoor best bovengronds werken (bv. kleine wadi).</p> <p>De aanleg van infiltratievoorzieningen blijft wenselijk wanneer er een acute opgave is om de rioolbelasting met hemelwater te reduceren. Men zou in dat geval ook de aanleg van groendaken kunnen stimuleren. De maximum haalbare substraatdikte zal op bestaande daken beperkt zijn.</p> <p>Indien er geen opgave is i.v.m. het ontlasten van het rioolstelsel, heeft dit een lage prioriteit en zijn steunmaatregelen voor ingrijpende oplossingen niet aangewezen. Eenvoudige ingrepen op vrijwillige basis kan men uiteraard blijven stimuleren (bv. afkoppelen van de regenpijp).</p>	<p>Hier geldt de vigerende wetgeving.</p> <p>Bij voorkeur zijn de lichtblauwe zones bouwvrij omdat ze in de toekomst wel eens te maken kunnen hebben met wateroverlast.</p> <p>Indien er toch gebouwd wordt aan de randen van de blauwe zone kan men best het terrein ophogen en/of keldervrij bouwen. De kern van de blauwe zone moet behouden en bouwvrij blijven voor waterberging.</p> <p>Infiltratievoorzieningen zijn hier weinig nuttig en ondergrondse systemen kunnen vanwege een ondiepe grondwaterstand gedurende langere perioden problemen ondervinden (winter en het voorjaar). Men kan evenwel voorzien in een (gedeeltelijk bovengrondse) buffercapaciteit om het water geleidelijk te laten afvloeien of te infiltreren (zomer-herfst) via een ondiepe gracht (< 50 cm). Directe afvoer zou niet toegelaten mogen worden.</p>
DONKERBLAUW	<p>Dit moet op termijn een bouwvrije zone worden. Er is een grote kans dat deze zones frequent inunderen.</p> <p>Indien deze zone momenteel bebouwd is, zal deze wellicht sterk gedraineerd worden. Tracht na te gaan of het mogelijk is om minder diep te draineren of om de drainage regelbaar te maken. Misschien dat het drainagewater nuttig aangewend kan worden en/of verpompt kan worden om opnieuw te infiltreren.</p> <p>Het aanleggen van diepe, open grachten (> 50 cm) voor hemelwaterafvoer is NIET wenselijk.</p>	<p>Dit moet een bouwvrije zone blijven. Er is een grote kans dat deze zones frequent inunderen.</p> <p>Zelfs als de zone reeds gedeeltelijk bebouwd is, moet men bijkomende bebouwing vermijden. Op termijn moet bebouwing in donkerblauwe zones uitgefaseerd worden.</p> <p>Het is goed mogelijk dat de zone door drainage momenteel weinig wateroverlast ondervindt. Maar bij verdere klimaatverandering zal de bestaande drainagecapaciteit wellicht onvoldoende zijn. Het verder ontwikkelen van bebouwing</p>

	<p>Gedurende perioden met neerslagoverschot zullen deze grachten een drainerende werking hebben. Het hemelwater dat men toevoegt aan die grachten zal (meestal) niet infiltreren en zo bijdragen aan wateroverlast. Infiltratie dient oppervlakkig te gebeuren (bv. via een netwerk van drainagebuizen vlak onder maaiveld. Indien er al wateroverlast is, kan men beter hemelwater via gesloten buizen afvoeren om elders te bufferen.</p> <p>Er is een hoge kans dat de aanwezige riolering via barsten hier parasitair water opneemt. Tracht de riolering te inspecteren en te vervangen door volledig gesloten systemen.</p>	<p>in blauwe zones is niet wenselijk, zowel vanuit oogpunt droogte als overstromingen.</p> <p>Het is daarbij aangewezen om in te zetten op extra buffering en niet op (bijkomende) drainage en afvoer.</p>
--	--	--

Tabel 3: Verharde oppervlakten (wegen, pleinen, parkings, etc.)

Verharde oppervlakten (wegen, pleinen, parkings, etc.)	Bestaand	Nieuw
ALGEMEEN	<p>Baangrachten worden best breed en ondiep aangelegd. Wanneer er vegetatie kan groeien in de bedding, bevordert dit de infiltratie en ecologische waarde.</p> <p>Compartimenteringssystemen met overloop genieten de voorkeur boven compartimenteringen met een knijpconstructie (gat onderaan). De knijpconstructie onderaan is aangewezen wanneer men enkel vertraagd wil afvoeren (bufferen), maar is minder effectief naar infiltratie/grondwateraanvulling.</p> <p>Doorlaatbare verharding (grind, grastegels, klinkers met open voegen) is vooral toepasbaar op trage wegen, parkings en pleinen. Voor wegen met hogere verkeersbelasting wordt soms geopteerd voor doorlaatbaar beton of asfalt. De infiltratiecapaciteit van dergelijke doorlaatbare verharding is doorgaans onvoldoende bij zware neerslag. Er is daarbij slechts een beperkte infiltratie naar de ondergrond, maar eerder een bufferend vermogen in de poriën van het materiaal. De capaciteit van doorlaatbaar asfalt/beton zal immers onvoldoende zijn bij zware neerslag, waardoor buffer- en infiltratievoorzieningen alsnog nodig zijn.</p>	
BRUIN	<p>Ontharding van versteende oppervlakte is het meest wenselijk in de bruine zones. Afkoppeling en infiltratie is hier dan ook absoluut wenselijk, door bij voorkeur</p>	<p>Afkoppeling en infiltratie is hier absoluut wenselijk, door bij voorkeur infiltratievoorzieningen (boven- of ondergronds).</p>

	<p>infiltratievoorzieningen (boven- of ondergronds).</p> <p>Indien de wegenis nog niet voorzien is van baangrachten, is het waarschijnlijk dat de straatkolken nog aangesloten zijn op rioleringsinfrastructuur.</p> <p>Indien er reeds baangrachten aanwezig zijn, kan men deze eventueel compartimenteren. Op lichte bodems (zand tot licht zandleem) is compartimentering van de grachten niet nodig omdat deze vrijwel het hele jaar droog staan en het afstromingswater snel infiltreert. Bij zwaardere bodems (leem tot zware klei) in hellend gebied kan het wel wenselijk zijn om drempels aan te brengen. De grachten mogen diep zijn als dat noodzakelijk is voor het gewenste buffervolume.</p> <p>Als de aanleg van baangrachten niet mogelijk is, kan men het water via een verlaagde berm afleiden naar een infiltratiepoel. Dit kan op plaatsen waar het water zich van nature gravitair verzamelt. Bij lichte bodems, kan de WADI gewoon gras zijn en gemaaid worden. Bij zware bodems dient men de wadi te voorzien van ruigte, struiken en bomen. Op die manier kan men snelle, diepe infiltratie bevorderen.</p> <p>Indien er geen plaats is voor dergelijke voorzieningen, kan men ook ondergronds infiltreren door middel van infiltratiebuizen (bv onder fiets- of voetpaden).</p> <p>Gesloten RWA-leidingen moeten vermeden worden als oplossing. Deze voeren het water vaak nog vrij snel af naar de waterlopen, waar in het beste geval nog een bufferbekken voorzien is.</p>	<p>Indien mogelijk worden bij het ontwerp reeds brede, ondiepe baangrachten voorzien. Op lichte bodems is compartimentering van de grachten niet nodig omdat deze vrijwel het hele jaar droog staan en het afstromingswater snel infiltreert. Bij zwaardere bodems in hellend gebied kan het wel wenselijk zijn om drempels aan te brengen. De grachten mogen diep zijn als dat noodzakelijk is voor het gewenste buffervolume.</p> <p>Verlaagde bermen met overloop naar wadi's is ook een mogelijkheid. Bij lichte bodems, kan de WADI gewoon gras zijn en gemaaid worden. Bij zware bodems dient men de wadi te voorzien van ruigte, struiken en bomen. Op die manier kan men snelle, diepe infiltratie bevorderen.</p> <p>Het afvoeren van afstromingswater via een RWA-leiding is absoluut te vermijden in de bruine zones. Er kan immers lokaal geïnfilteerd worden.</p>
GEEL	In principe gelden hier dezelfde aanbevelingen als voor de bruine	In principe gelden hier dezelfde aanbevelingen als voor de bruine

	zones. Compartimentering van baangrachten is hier aangewezen.	zones. Compartimentering van baangrachten is hier aangewezen.
LICHTGROEN	<p>Wanneer wegen groene zones doorkruisen dient men zeker de grachten frequent te compartimenteren.</p> <p>Het is ook een optie om een groene zone langs een weg te gebruiken als een natuurlijke WADI en het afstromingswater naar daar af te leiden.</p>	<p>Tracht te vermijden dat nieuwe wegen de (kernen van de) groene zones doorkruisen. Wanneer wegen toch groene zones doorkruisen, dient men zeker de grachten frequent te compartimenteren. De weg kan verhoogd aangelegd worden.</p> <p>Het is ook een optie om een groene zone langs een weg te gebruiken als een natuurlijke WADI en het afstromingswater naar daar af te leiden.</p>
DONKERGROEN	<p>De kernen van de groene zones kunnen tijdelijk inunderen in perioden met hoog neerslagoverschot. Wanneer de weg niet verhoogd is aangelegd, zijn dit typisch plaatsen waar er wateroverlast is en de wegen overstromen. Het afvoeren van dit water is geen duurzame oplossing. Diepe grachten die de depressie ontwateren zijn dan ook niet wenselijk.</p> <p>Men kan de toevloed naar de depressie beperken door de grachten hogerop te compartimenteren. Het creëren van extra bergingsruimte in de depressie is eveneens wenselijk. Het water zal alsnog traag infiltreren en grondwater aanvullen tijdens droge perioden.</p>	<p>De kernen van de groene zones kunnen tijdelijk inunderen in perioden met hoog neerslagoverschot. Tracht te vermijden dat nieuwe wegen de donkergroene kernen doorkruisen.</p> <p>Men kan de toevloed naar de depressie beperken door de grachten hogerop te compartimenteren. Het creëren van extra bergingsruimte in de depressie is eveneens wenselijk. Het water zal alsnog traag infiltreren en grondwater aanvullen tijdens droge perioden.</p>
LICHTBLAUW	<p>Baangrachten hebben hier vaak een drainerende werking, dit is niet wenselijk. Zorg voor brede, ondiepe grachten. Zorg voor een compartimentering om de drainerende werking te beperken.</p> <p>Indien er rioolinfrastructuur aanwezig is, dient men na te gaan of deze geen drainerende werking heeft (parasitair water).</p>	<p>Tracht te vermijden dat nieuwe wegen blauwe zones doorkruisen. Indien dit toch nodig is, zorg dan dat de weg verhoogd is aangelegd. Afstromingswater kan dan vrij afvloeien naar de blauwe zone. Grachten zijn te vermijden, omdat ze een drainerende werking hebben.</p>
DONKERBLAUW	<p>Baangrachten hebben hier vaak een drainerende werking, dit is niet wenselijk. Zorg voor brede, ondiepe grachten. Zorg voor een</p>	<p>Tracht te vermijden dat nieuwe wegen blauwe zones doorkruisen. Indien dit toch nodig is, zorg dan dat de weg verhoogd is aangelegd. Afstromingswater kan dan vrij</p>

	<p>compartimentering om de drainerende werking te beperken.</p> <p>Indien er rioolinfrastructuur aanwezig is, dient men na te gaan of deze geen drainerende werking heeft (parasitair water).</p> <p>Omdat dit vaak een laag punt is, zijn dit typisch locaties waar er ook overstorten aanwezig zijn.</p>	<p>afvloeien naar de blauwe zone. Grachten zijn te vermijden, omdat ze een drainerende werking hebben.</p>
--	--	--

Tabel 4: Industrie en winkelpanden (>250 m²)

Industrie en winkelpanden (>250 m²)	Bestaand	Nieuw
BRUIN	<p>Zeer wenselijk om lokaal te infiltreren. Panden in de bruine zones die nog afwateren naar riolering of RWA zou men zeker moeten activeren om actie te ondernemen. Zowel boven- als ondergronds infiltreren is mogelijk. Ook bij zware bodems zou men hier naar moeten streven. Voorzie in dat geval grote ondiepe poelen mét begroeiing (wilgen) om de doordringbaarheid te vergroten (wortels = macroporiën).</p>	<p>Hier geldt de vigerende wetgeving. Hemelwateropslag én infiltratie op overloop is wettelijk verplicht. Ook bij zware bodems. Voorzie in dat geval grote ondiepe poelen mét begroeiing (wilgen) om de doordringbaarheid te vergroten (wortels = macroporiën).</p>
GEEL	<p>Wenselijk om lokaal te infiltreren. Panden in de gele zones die nog afwateren naar riolering of RWA zou men zeker moeten activeren om actie te ondernemen. Zowel boven- als ondergronds infiltreren is mogelijk.</p>	<p>Hier geldt de vigerende wetgeving. Hemelwateropslag én infiltratie op overloop is wettelijk verplicht.</p>
LICHTGROEN	<p>Afkoppeling van hemelwater op gemengde riolering is wenselijk indien dat het geval zou zijn in functie van rioolbelasting.</p> <p>Ondergronds infiltreren kan hier al lastiger zijn en er is wellicht meer infiltratieoppervlakte en buffervolume nodig.</p> <p>In deze zones kan de combinatie groendak – infiltratievoorziening helpen om watervolumes te bufferen.</p>	<p>Hier geldt de vigerende wetgeving. Hemelwateropslag én infiltratie op overloop is wettelijk verplicht.</p> <p>Bij voorkeur zijn de lichtgroene zones bouwvrij. Bij verdere klimaatverandering zullen deze zones wellicht te</p>

		<p>maken hebben met wateroverlast.</p> <p>Indien er toch gebouwd wordt aan de randen van de groene zone dient drainage vermeden te worden. Keldervrij bouwen is aangewezen. De kern van de groene zone moet behouden en bouwvrij blijven voor waterberging.</p>
DONKERGROEN	<p>Dit moet op termijn een bouwvrije zone worden. Er is een grote kans dat deze zones nu reeds frequent inunderen.</p> <p>Dergelijke landschapsdepressies fungeren van nature als een enorme WADI. Deze zone is dus zeer geschikt voor het bergen, vasthouden én infiltreren van hemelwater.</p> <p>Infiltratie is er regelmatig erg beperkt en wellicht wordt het gebied momenteel gedraineerd om wateroverlast te vermijden.</p> <p>Buffering en geleidelijke afvoer van hemelwater blijft evenwel wenselijk. Men kan hiervoor best bovengronds werken (bv. kleine wadi).</p> <p>Als de zone reeds gedeeltelijk bebouwd is, moet men bijkomende bebouwing vermijden. Op termijn kunnen dergelijke zones best herbestemd worden.</p> <p>Het voordeel van industriepanden is dat deze meestal keldervrij zijn. Diepe kelders en ondergrondse infrastructuur zijn absoluut niet aangewezen.</p>	<p>Dit moet een bouwvrije zone blijven. Er is een grote kans dat deze zones in de toekomst frequent inunderen.</p> <p>Dergelijke landschapsdepressies fungeren van nature als een enorme WADI. Deze zone is zeer geschikt voor het bergen, vasthouden én infiltreren van hemelwater.</p> <p>Als de zone reeds gedeeltelijk bebouwd is, moet men bijkomende bebouwing vermijden. Op termijn moet de zone herbestemd worden.</p>
LICHTBLAUW	<p>Het bodemwater is hier systematisch ondiep aanwezig (50-100 cm onder maaiveld) en vooral in de winter en het voorjaar kan het mogelijk vrij nat zijn. Gedurende de zomer en herfst is er infiltratie mogelijk.</p> <p>Buffering en geleidelijke afvoer van hemelwater blijft evenwel wenselijk. Men kan hiervoor best bovengronds werken (bv. kleine wadi).</p>	<p>Hier geldt de vigerende wetgeving.</p> <p>Bij voorkeur zijn de lichtblauwe zones bouwvrij omdat ze in de toekomst wel eens te maken kunnen hebben met wateroverlast.</p> <p>Indien er toch gebouwd wordt aan de randen van de</p>

	<p>De aanleg van infiltratievoorzieningen blijft wenselijk wanneer er een acute opgave is om de rioolbelasting met hemelwater te reduceren. Men zou in dat geval ook de aanleg van groendaken kunnen stimuleren. De maximum haalbare substraatdikte zal op bestaande daken beperkt zijn.</p> <p>Indien er geen opgave is i.v.m. rioolbelasting, heeft dit een lage prioriteit en zijn steunmaatregelen voor ingrijpende oplossingen niet aangewezen. Eenvoudige ingrepen op vrijwillige basis kan men uiteraard blijven stimuleren (afkoppelen regenpijp).</p>	<p>blauwe zone kan men best het terrein ophogen en/of keldervrij bouwen. De kern van de blauwe zone moet behouden en bouwvrij blijven voor waterberging.</p> <p>Infiltratievoorzieningen zijn hier weinig nuttig en ondergrondse systemen kunnen vanwege een ondiepe grondwaterstand gedurende langere perioden problemen ondervinden (winter en het voorjaar). Men kan evenwel voorzien in een (gedeeltelijk bovengrondse) buffercapaciteit (bv. 10 l/m² dakoppervlak) om het water geleidelijk te laten afvloeien of te infiltreren (zomerherfst) via een ondiepe gracht (< 50 cm). Directe afvoer zou niet toegelaten mogen worden.</p>
DONKERBLAUW	<p>Dit moet op termijn een bouwvrije zone worden. Er is een grote kans dat deze zones frequent inunderen.</p> <p>Indien deze zone momenteel bebouwd is, zal deze wellicht sterk gedraineerd worden. Tracht na te gaan of het mogelijk is om minder diep te draineren of om de drainage regelbaar te maken. Misschien dat het drainagewater nuttig aangewend kan worden en/of verpompt kan worden om opnieuw te infiltreren.</p>	<p>Dit moet een bouwvrije zone blijven. Er is een grote kans dat deze zones occasioneel inunderen.</p> <p>Zelfs als de zone reeds gedeeltelijk bebouwd is, moet men bijkomende bebouwing vermijden. Op termijn moet bebouwing in donkerblauwe zones uitgefaseerd worden.</p> <p>Het is goed mogelijk dat de zone door drainage momenteel weinig wateroverlast ondervindt, maar de bestaande drainagecapaciteit zal wellicht onvoldoende zijn in de toekomst.</p>

Tabel 5: Inrichting en beheer van grachten

Grachten (algemeen)	Bestaand	Nieuw
BRUIN	<p>Infiltratiegracht – altijd compartimenteren. Zéker indien er verhang is op de gracht.</p> <p>Baangrachten worden best breed en ondiep aangelegd. Wanneer er vegetatie kan groeien in de bedding, bevordert dit de infiltratie en ecologische waarde.</p> <p>Compartimenteringssystemen met overloop genieten de voorkeur boven compartimenteringen met een knijpconstructie (gat onderaan).</p> <p>De knijpconstructie onderaan is aangewezen wanneer men enkel vertraagd wil afvoeren (bufferen), maar is minder effectief naar infiltratie/grondwateraanvulling.</p>	Idem
GEEL	Infiltratiegracht – altijd compartimenteren. Zéker indien er verhang is op de gracht.	Idem
LICHTGROEN	Deze gracht kan tijdelijk watervoerend/drainierend zijn. Schotten met overloop kunnen er voor zorgen dat het drainerend effect beperkt is.	Idem
DONKERGROEN	<p>De gracht werkt gedurende een hele tijd drainerend. De afvoer uit de zone sterk beperken door drempels/stuwen in de gracht te plaatsen en/of de gracht te dempen.</p> <p>Indien er toevoer naar deze zone is (via bv baangrachten) kan men het toegevoerde water laten overlopen in deze zone en hier berging en retentie voorzien.</p>	<p>Hier geen bijkomende grachten aanleggen. Het gebied mag niet verder gedraineerd worden.</p> <p>Infiltratiebermen en wadi's zijn te verkiezen boven grachten.</p>
LICHTBLAUW	De gracht werkt gedurende een hele tijd drainerend. De afvoer uit de zone sterk beperken door drempels/stuwen in de gracht te plaatsen of de gracht te dempen.	Idem als bij donkergroene zones
DONKERBLAUW	De gracht werkt sterk drainerend. De afvoer uit de zone sterk beperken door drempels/stuwen in de gracht te plaatsen of de gracht te dempen.	Idem als bij donkergroene zones

ANNEX: SYNTHESSETABEL

Tabel 6: Synthese tabel voor wenselijkheid maatregelen en landgebruiksconversie in functie van behoud en aanvulling van grondwatervoorraden.

	BRUIN	GEEL	LICHT GROEN	DONKER GROEN	LICHT BLAUW	DONKER BLAUW
Hemelwaterputten stimuleren voor bestaande woningen (hergebruik)	Nee, infiltratie geniet voorkeur	Nee, infiltratie geniet voorkeur	Ja	Ja	Ja	Ja
Bufferbekkens voor vertraagde afvoer op openbaar domein (bovengronds of ondergronds)	Nee, infiltratie geniet voorkeur	Nee, infiltratie geniet voorkeur	Ja	Ja	Ja	Ja
Infiltratievoorzieningen stimuleren voor bestaande woningen	Ja, zeer hoge prioriteit	Ja, hoge prioriteit	Ja, lagere prioriteit	Ja, mits voorziening van waterbuffer	Minder effectief	Weinig effectief
Ondergrondse (diepe) infiltratievoorzieningen (infiltratieput)	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
Infiltratie regenwater in open grachten	Ja	Ja	Mits stuwen	Mits stuwen	Mits stuwen	Nee
Infiltratiebuizen	Ja	Ja	Enkel vlak onder maaiveld (<30 cm)	Enkel vlak onder maaiveld (<20 cm)	Enkel vlak onder maaiveld (<30 cm)	Enkel vlak onder maaiveld (<20 cm)
WADI die droogvalt	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee
WADI met permanente waterpartij	Nee, tenzij met folie	Nee, tenzij met folie	Nee, tenzij met folie	Ja, op natuurlijke wijze	Ja, op natuurlijke wijze	Ja, op natuurlijke wijze
Groendaken (functie waterbuffer)	Nee, wél maximaal infiltreren	Nee, wél maximaal infiltreren	Bij lokale wateroverlast	Ja	Ja	Ja
Drainage met open grachten vermijden	Nvt	Nvt	Hoge prioriteit om stuwen of drempels te plaatsen	Zeer hoge prioriteit om stuwen of drempels te plaatsen	Wenselijk om stuwen of drempels te plaatsen	Wenselijk om stuwen of drempels te plaatsen
Keldervrij bouwen	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
Bouwvrij houden	Nee, mits minimale verharding en infiltratievoorzieningen	Nee, mits minimale verharding en infiltratievoorzieningen	Bij voorkeur	Ja	Bij voorkeur	Ja
Omvorming bossen naar meer open	Zeer wenselijk	Wenselijk op	niet nodig	niet nodig	niet nodig	niet nodig

vegetatie (naaldbos naar loofbos, dunningen, heide of grasland).	op zandgronden. Niet wenselijk op leembodemms.	zandgronden. Niet wenselijk op leembodemms.				
Bodemkwaliteit verbeteren om infiltratiecapaciteit te verbeteren	Zeer wenselijk	Zeer wenselijk	Wenselijk	Behoud	Behoud	Behoud
Remediëren bodemcompactie	Zeer wenselijk	Zeer wenselijk	Wenselijk	Behoud	Behoud	Behoud
Akkerbouw	Geschikt	Zeer geschikt	Mogelijk geschikt	Niet geschikt	Niet geschikt	Niet geschikt

LITERATUURBRONNEN

Adane, Z. A. *et al.* (2018) 'Impact of grassland conversion to forest on groundwater recharge in the Nebraska Sand Hills', *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Elsevier, 15(June 2017), pp. 171–183. doi: 10.1016/j.ejrh.2018.01.001.

Ahmed, F., Gulliver, J. S. and Nieber, J. L. (2015) 'Field infiltration measurements in grassed roadside drainage ditches: Spatial and temporal variability'. Elsevier BV, 530, pp. 604–611. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.10.012.

Allen, A. and Chapman, D. (2001) 'Impacts of afforestation on groundwater resources and quality', *Hydrogeology Journal*, 9(4), pp. 390–400. doi: 10.1007/s100400100148.

Basche, A. and DeLonge, M. (2019) 'Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: a meta-analysis', *PLoS ONE*, p. 22. doi: 10.1101/603696.

Batey, T. (2009) 'Soil compaction and soil management – a review', *Soil Use and Management*. Blackwell Publishing Ltd, 25(4), pp. 335–345. doi: 10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x.

Beganskas, S. and Fisher, A. T. (2017) 'Coupling distributed stormwater collection and managed aquifer recharge: Field application and implications', *Journal of Environmental Management*, 200, pp. 366–379. doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.058.

Bhaskar, A. S., Hogan, D. M. and Archfield, S. A. (2016) 'Urban base flow with low impact development', *Hydrological Processes*. doi: 10.1002/hyp.10808.

Bonneau, J. *et al.* (2017) 'Stormwater infiltration and the "urban karst" - A review', *Journal of Hydrology*, 552, pp. 141–150. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.06.043.

Brown, A. E. *et al.* (2005) 'A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation', *Journal of Hydrology*, 310(1–4), pp. 28–61.

Cohen, M. J. *et al.* (2016) 'Do geographically isolated wetlands influence landscape functions?', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(8), pp. 1978–1986. doi: 10.1073/pnas.1512650113.

- Cui, K. *et al.* (2010) 'Soil compaction by wheeling: changes in soil suction caused by compression', *European Journal of Soil Science*, 61(4), pp. 599–608. doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01245.x.
- Dams, J., Woldeamlak, S. T. and Batelaan, O. (2008) 'Predicting land-use change and its impact on the groundwater system of the Kleine Nete catchment, Belgium', *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(6), pp. 1369–1385. doi: 10.5194/hess-12-1369-2008.
- Declerck, K. *et al.* (2016) 'Mapping wetland loss and restoration potential in Flanders (Belgium): An ecosystem service perspective', *Ecology and Society*, 21(4). doi: 10.5751/ES-08964-210446.
- Ebrahimian, A. *et al.* (2020) 'Temporal and spatial variation of infiltration in urban green infrastructure', *Hydrological Processes*. Wiley, 34(4), pp. 1016–1034. doi: 10.1002/hyp.13641.
- Evenson, G. R. *et al.* (2016) 'An improved representation of geographically isolated wetlands in a watershed-scale hydrologic model', *Hydrological Processes*, 30(22), pp. 4168–4184. doi: 10.1002/hyp.10930.
- Evenson, G. R. *et al.* (2018) 'Depressional wetlands affect watershed hydrological, biogeochemical, and ecological functions', *Ecological Applications*, 28(4), pp. 953–966. doi: 10.1002/eap.1701.
- Filoso, S. *et al.* (2017) 'Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review', *PLoS ONE*, 12(8), pp. 1–26. doi: 10.1371/journal.pone.0183210.
- Gette-Bouvarot, M. *et al.* (2014) 'Coupling hydraulic and biological measurements highlights the key influence of algal biofilm on infiltration basin performance', *Ecohydrology*, 7(3), pp. 950–964. doi: 10.1002/eco.1421.
- Jenness, J. S. (2006) 'Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.'
- Jones, C. N. *et al.* (2019) 'Modeling Connectivity of Non-floodplain Wetlands: Insights, Approaches, and Recommendations', *Journal of the American Water Resources Association*, 55(3), pp. 559–577. doi: 10.1111/1752-1688.12735.
- Kia, A., Wong, H. S. and Cheeseman, C. R. (2017) 'Clogging in permeable concrete: A review', *Journal of Environmental Management*. Elsevier BV, 193, pp. 221–233. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.02.018.
- Kuruppu, U., Rahman, A. and Rahman, M. A. (2019) 'Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion', *Environmental Earth Sciences*. doi: 10.1007/s12665-019-8312-2.
- Lane, C. R. *et al.* (2018) 'Hydrological, Physical, and Chemical Functions and Connectivity of Non-Floodplain Wetlands to Downstream Waters: A Review', *Journal of the American Water Resources Association*, 54(2), pp. 346–371. doi: 10.1111/1752-1688.12633.
- Lee, S. *et al.* (2018) 'Assessing the cumulative impacts of geographically isolated wetlands on watershed hydrology using the SWAT model coupled with improved wetland modules', *Journal of Environmental Management*, 223, pp. 37–48. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.06.006.
- Lefebvre, M. *et al.* (2015) 'Agricultural landscapes as multi-scale public good and the role of the Common Agricultural Policy', *Journal of Environmental Planning and Management*, 58(12), pp. 2088–2112. doi: 10.1080/09640568.2014.891975.
- Nisbet, T. (2005) *Water Use by Trees - Forestry Commission Information Note FCIN065*. Edinburgh.
- Olivier, C. *et al.* (2014) 'USE OF MICRO-DAMS IN POTATO FURROWS TO REDUCE EROSION AND RUNOFF AND MINIMISE SURFACE WATER CONTAMINATION THROUGH PESTICIDES', *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 79, pp. 513–524.
- Pratt, C. J., Mantle, J. D. G. and Schofield, P. A. (1995) 'UK research into the performance of permeable pavement, reservoir structures in controlling stormwater discharge quantity and quality', *Water Science and Technology*. IWA Publishing, 32(1), pp. 63–69. doi: 10.2166/wst.1995.0016.

- Rains, M. C. *et al.* (2016) 'Geographically isolated wetlands are part of the hydrological landscape', *Hydrological Processes*, 30(1), pp. 153–160. doi: 10.1002/hyp.10610.
- Ranieri, V. (2002) 'Runoff Control in Porous Pavements', *Transportation Research Record*, 1789(1), pp. 46–55. doi: 10.3141/1789-05.
- Razzaghamanesh, M. (2018) 'A Review of Permeable Pavement Clogging Investigations and Recommended Maintenance Regimes', *Water*, 10. doi: 10.3390/w10030337.
- Saffih-Hdadi, K. *et al.* (2009) 'A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density', *Soil and Tillage Research*, 105(1), pp. 96–103. doi: 10.1016/j.still.2009.05.012.
- Sarah, P. and Zhevelev, H. M. (2007) 'Effect of visitors' pressure on soil and vegetation in several different micro-environments in urban parks in Tel Aviv', *Landscape and Urban Planning*. doi: 10.1016/j.landurbplan.2007.05.001.
- Selbig, W. R. and Buer, N. (2018) *Hydraulic, water-quality, and temperature performance of three types of permeable pavement under high sediment loading conditions, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2018–5037*.
- Versini, P. A. *et al.* (2015) 'Assessment of the hydrological impacts of green roof: From building scale to basin scale', *Journal of Hydrology*, 524, pp. 562–575. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.020>.
- Verstraeten, G. (2013) *Conversion of deciduous forests to spruce plantations and back: evaluation of interacting effects on soil, forest floor, earthworm and understorey communities*. Ghent University. doi: 10.1021/ac301764q.
- Weiss, A. D. (2001) 'Topographic Position and Landforms Analysis', in The Nature Conservancy (ed.). Seattle: The Nature Conservancy, p. 200. doi: http://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC_18x22.pdf.
- Wong, T. (2006) 'Water Sensitive Urban Design – The Journey Thus Far', *Aust. J. Water Resour.*, 10.
- Zhang, K. and Chui, T. F. M. (2019) 'A review on implementing infiltration-based green infrastructure in shallow groundwater environments: Challenges, approaches, and progress', *Journal of Hydrology*. Elsevier BV, 579, p. 124089. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124089.
- Zhevelev, H. and Sarah, P. (2008) 'The effect of visitors' pressure on the spatial variability of sandy soil in an urban parks in Tel Aviv', *Environmental Monitoring and Assessment*. doi: 10.1007/s10661-007-9906-9.