



Vlaanderen
is water

© Royal Eijkelkamp

BLUE DEAL

Praktijkgids Monitoring

COÖRDINATIECOMMISSIE
**INTEGRAAL
WATERBELEID**



Vlaamse
overheid

bluedeal.vlaanderen

Colofon

De Praktijkgids monitoring – Blue Deal is een uitgave van de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW) en is uitgewerkt door Sumaqua en UAntwerpen, in het kader van de ondersteuningsopdracht voor het programmamanagement van de Blue Deal.

Verantwoordelijke uitgever:

Bernard De Potter, voorzitter CIW, Dr. De Moorstraat 24-26, 9300 Aalst

Redactie:

Jan Staes, Universiteit Antwerpen

Maikel Ooms, KPMG

Jorn Van de Velde, Sumaqua

Vincent Wolfs, Sumaqua

Vormgeving & illustraties:

Karolien Van Dyck, Common Ground

Lin Seminck, Common Ground

Depotnummer:

D/2023/6871/009

DOI:

10.13140/RG.2.2.20020.32647

© Copyright informatie:

Te citeren als volgt: Staes, Jan; Ooms, Maikel, Van de Velde, Jorn en Wolfs, Vincent (2023): Praktijkgids Monitoring – Blue Deal in opdracht van Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW)

Contact:

bluedeal.vlaanderen

bluedeal@vmm.be

Disclaimer

Sumaqua en diegenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van kennis en wetenschap. Desondanks kunnen zich onjuistheden in deze publicatie bevinden. Gebruikers aanvaarden het risico daarvan. Sumaqua sluit, mede ten behoeve van hen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

BLUE DEAL

Praktijkgids Monitoring

Inhoudstafel

Voorwoord

Samenvatting

1. INLEIDING

- 1.1 Context
- 1.2 Doelstelling van dit document
- 1.3 Leeswijzer

2. BASISPRINCIPES OM HET WATERSYSTEEM VEERKRACHTIGER TE MAKEN TEGEN DROOGTE

- 2.1 Problematiek
- 2.2 Ingrijpen in de systeemwerking
- 2.3 Aandachtspunten

3. MEETTECHNIEKEN

- 3.1 Inleiding
- 3.2 Bemeten van grondwaterstanden via peilbuizen
- 3.3 Bemeten van debieten en waterhoogte
- 3.4 Bemeten van bodemvocht

4. WERKING EN MONITORING VAN TERREINMAATREGELEN

- 4.1 Inleiding
- 4.2 Stuwen op perceelsgrachten en kleine beken
- 4.3 Ingrijpen op bodemkwaliteit
- 4.4 Infiltratiezones in het buitengebied
- 4.5 Structuurherstel
- 4.6 Hermeanderen van waterlopen

5. DATABEHEER EN –ANALYSE

- 5.1 Inleiding
- 5.2 Terminologie
- 5.3 Aandachtspunten
- 5.4 Herbruikbaar
- 5.5 Kwalitatief

6. CONCLUSIES

7. REFERENTIES



Voorwoord

Door Bernard De Potter,
Voorzitter van de
Coördinatiecommissie
Integraal Waterbeleid

De “Blue Deal” vormt een vliegwiel dat aanspoort tot actie. Met de “Blue Deal” realiseren we tal van maatregelen om de sponswerking te versterken en meer duurzaam om te gaan met water. Met elk Blue Deal project maken we ons watersysteem meer klimaatrobust. De vele terreinmaatregelen die ondertussen zijn uitgevoerd tonen de impact van de Blue Deal. Niettemin is het nodig om onze inspanningen vol te houden zodat we nog beter gewapend zijn tegen droogte en waterschaarste.

Deze Blue Deal praktijkgids steunt op de kennis die we hebben kunnen opbouwen door een diepgaande studie van de terreinmaatregelen die met steun van de Blue Deal zijn tot stand gekomen. Hierdoor hebben we de impact van maatregelen, hun rol in het watersysteem en het watersysteem zelf beter kunnen begrijpen. Deze gids bevat wegwijzers voor het kiezen van laagdrempelige monitoringstechnieken en toont hoe we deze voor enkele courante terreinmaatregelen kunnen toepassen. Door deze kennis te delen leren we samen hoe we nog gericht kunnen investeren in het watersysteem. Zo versterken we de positieve impact van de Blue Deal verder.

Deze gids is het resultaat van vele uren werk en is tot stand gekomen dankzij de input van verschillende actoren en diensten. Ze brengt inzichten samen die getuigen van vele jaren ervaring met het watersysteem. Deze gids blijft evenwel een ‘werk in uitvoering’. Het is aangewezen om deze gids uit te breiden met andere terreinmaatregelen en ook meer participatieve onderzoeksmethodes zoals citizen science op te nemen. Bepaalde onderwerpen zoals databeheer verdienen verdere uitdieping. Niettemin is deze gids een mooi en bovenal nuttig werkinstrument geworden. Ik wil iedereen die hiervoor een bijdrage leverde dan ook van harte danken en feliciteren met het resultaat.

Graag nodig ik jullie uit om actief met deze Blue Deal Praktijkgids Monitoring aan de slag te gaan, om de ideeën en suggesties uit te voeren en zo meer te leren over de impact van maatregelen. Verbetervoorstellen en aanvullingen op basis van jullie praktijkervaringen zijn zeker welkom. Deze zullen de volgende versies van deze gids ongetwijfeld versterken.

We wensen jullie alvast veel leesplezier en veel leerrijke lessen over het watersysteem in Vlaanderen!

Samenvatting

Het land- en waterbeheer in Vlaanderen staat voor grote uitdagingen. Het klimaat in Vlaanderen is reeds veranderd met meer extremen in hitte, droogte en neerslag. Deze trends zullen zich doorzetten en het is noodzakelijk dat we ons land- en waterbeheer aanpassen aan deze nieuwe uitdagingen. Met de Blue Deal en andere initiatieven zetten we hier de eerste stappen naar. Maar veel van deze ingrepen zijn vandaag nog kleinschalig, op vrijwillige basis en soms zelfs experimenteel van aard. Vooraleer we dergelijke maatregelen op grote schaal kunnen uitrollen, moeten we leren uit wat we vandaag reeds implementeren... en dat is vaak met vallen en opstaan. Niet alle ingrepen zullen doordacht zijn en soms zal de impact op het watersysteem zelfs eerder beperkt zijn. We willen jullie als lezer en/of gebruiker van de Praktijkgids graag meenemen om hier gericht en kritischer te kunnen over nadenken.

Want het watersysteem wordt niet altijd centraal geplaatst bij het bedenken en uitvoeren van maatregelen. Al te vaak gaat het om het verhogen van lokale waterbeschikbaarheid voor landbouw, natuur of industrie. Maar dat draagt niet altijd bij tot de broodnodige verhoging van de waterbeschikbaarheid voor het watersysteem zelf. Wat we hebben geleerd uit de droogte van de voorbije jaren is dat grondwaterpeilen en rivierdebieten té ver wegzakken om duurzaam te zijn. We moeten beter gebruik maken van natte perioden en water opslaan in onze landschappen om zo een verhoogde waterbeschikbaarheid te hebben tijdens

droge perioden. Die reflex om te redeneren vanuit het watersysteem wordt in dit rapport centraal geplaatst. Hoe grijpt een maatregel in op het watersysteem? Welke parameters moeten we meten om de impact te bepalen en hoe kunnen we deze meten en interpreteren?

We starten met de uitdagingen voor het watersysteem scherp te stellen en gaan vervolgens in op een aantal basisprincipes om seizoensberging te versterken. Daarna bespreken we kernprocessen in het watersysteem en de samenhang tussen deze kernprocessen. We leren hieruit dat één parameter misschien voldoende is om aan te geven dat er een probleem is, maar zelden voldoende is om de juiste diagnose te stellen. We moeten meer integraal gaan monitoren. We behandelen vervolgens een aantal meettechnieken voor grond en oppervlaktewater. Door parameters te combineren of meetreeksen te analyseren krijgen we inzicht in het functioneren en de toestand van het watersysteem. Op lange termijn zijn het die systeemp parameters die we langzaam in de juiste richting moeten zien evolueren. Op termijn willen we immers dat grondwaterpeilen en debieten trager reageren op afwijkingen in neerslag (neerslagoverschot/ neerslagtekorten). Meer systeemberging moet tegelijk leiden tot minder wateroverlast.

Voor de maatregelen zelf is vaak een andere monitoring nodig. We bespreken hier de principes en werking van een aantal maatregelen en gaan vervolgens in op eventuele voorafgaande monitoring die kan helpen om de maatregel op de juiste manier te ontwerpen en te implementeren. Vervolgens gaan we in op methoden om de impact te bemeten. Vaak gaat het om monitoring die beperkt is in budget, tijd en ruimte. Het is echter niet altijd mogelijk om die impact op een eenvoudige manier te bemeten omdat er nu eenmaal verschillende processen spelen. Waar mogelijk geven we tips voor eventuele huis-, tuin- en keukenmethodes om de juiste diagnose te stellen.

De maatregelen die we bespreken zijn zeker niet compleet, maar we behandelen de ingrepen die vandaag frequent toegepast worden. Zo behandelen we het effect van stuwen op infiltratie en drainagegrachten, de mogelijkheden van peilgestuurde drainage en subirrigatie. We hebben ook aandacht voor monitoring van bodemkwaliteit en maatregelen om deze te verbeteren. Goed doorlaatbare bodems zullen immers essentieel zijn om méér water vast te houden. Wanneer er toch afstroming plaatsvindt is het essentieel om deze lokaal te sturen naar infiltratiezones. We bespreken de mogelijkheid voor de prospectie en aanleg van infiltratiezones. Tenslotte behandelen we ook de vele voordelen van structuurkwaliteit. Herstel van structuurkwaliteit is niet enkel van belang voor grotere waterlopen, maar kan op elk niveau

van het watersysteem bijdragen tot meer retentie, meer grondwateraanvulling én biedt kansen voor tal van soorten om extreme droogte te overleven. Monitoring richt zich hier vooral op inventarisatie van structuurkwaliteit, waarbij we tegelijk ook aanbevelingen geven om deze te verhogen.

Finaal gaan we in op de mogelijkheden voor databeheer en -analyse. Het spreekt voor zich dat er nog een lange weg te gaan is vooraleer we een systematische en gestandaardiseerde monitoring hebben voor het watersysteem én alle mogelijke maatregelen die we nemen in dat watersysteem. Het rapport geeft een aanzet tot reflectie en leidt hopelijk tot méér en doordachte monitoring.



1

Inleiding



1. Inleiding

1.1 CONTEXT

Het veranderend klimaat heeft een grote impact op onze watersystemen. We zien dat droogteperioden frequenter voorkomen en ook langer aanhouden. Al dan niet gecombineerd met hogere temperaturen zorgt dit voor veel druk op oppervlaktewater- en grondwatervoorraden. Daarnaast observeren we ook dat extreem natte perioden, al dan niet onder de vorm van extreme onweders, toenemen.

Ingrepen in het landschap hebben ervoor gezorgd dat de neerslag vlugger wordt afgevoerd naar waterlopen en minder tijd krijgt om te infiltreren en het grondwater aan te vullen. Nattere gebieden zijn doorheen de eeuwen steeds sterker ontwaterd door het aanleggen van grachten en dijken om deze zo beschikbaar te maken voor landbouw en bebouwing. Hierdoor wordt neerslag sneller afgevoerd en het oppervlakkige grondwater gedraineerd. De toenemende verharding in Vlaanderen heeft een steeds grotere impact op de mogelijke infiltratie en aanvulling van het grondwater. In 2018 was ruim een kwart (28,3 % of 3.855 km²) van de oppervlakte in Vlaanderen bebouwd (1). Ook nu nog neemt de bebouwde oppervlakte dagelijks toe. In 2019 steeg de oppervlakte aan bebouwde percelen zo met gemiddeld 4,58 ha per dag (1). De bebouwde percelen zijn echter niet 100% verhard en omvatten ook tuinen en parken. De verharde oppervlakte werd in 2015 geschat op 15,9% van oppervlakte van Vlaanderen (1). Deze verharding maakt dat neerslag niet langer lokaal in de bodem kan infiltreren en vaak versneld wordt afgevoerd naar nabijgelegen beken via grachten en riolering. Naast verharding hebben ook andere ingrepen een effect op de infiltratiecapaciteit van de bodem. De steeds grotere en zwaardere machines die gebruikt worden in de landbouw en bosbouw, zorgen voor bodemverdichting. Ook dit leidt tot een verminderde infiltratiecapaciteit van de bodem en minder aanvulling van het grondwater.

Door dit menselijk ingrijpen hebben onze landschappen dus een verminderd vermogen om water te infiltreren en bufferen, wat resulteert in verhoogde piekdebieten, verminderde aanvullingspercentages en landschappen die steeds kwetsbaarder worden voor droogte en overstromingen.

Dit heeft negatieve gevolgen voor de aanvulling van de grondwaterlagen en heeft ertoe geleid dat op veel plaatsen in Vlaanderen de freatische grondwaterstanden gedaald zijn (2). Vlaanderen is voor een belangrijk deel van zijn watervoorziening afhankelijk van grondwaterwinningen. Grondwater is kwalitatief hoogwaardig water met een veel stabielere samenstelling dan oppervlaktewater. Dit maakt grondwater aantrekkelijk voor o.a. de drinkwatervoorziening en industrieel gebruik. Alhoewel het totaal vergunde debiet voor grondwaterwinning de voorbije jaren is gedaald (3), blijkt dat er voor de provincies Antwerpen en Limburg een stijging is. In Antwerpen en Limburg is het totaal vergunde debiet dat mag opgepompt worden met respectievelijk 25% en 10 % toegenomen (4). De provincies met de hoogste natuurwaarden en de meeste kwetsbare waterlopen, hebben proportioneel de hoogste winningsdruk en die is de laatste jaren verder gestegen.

Om de bevoorrading vanuit grondwater te verzekeren, is een duurzaam beheer noodzakelijk waarbij de opgepompte hoeveelheden grondwater in evenwicht zijn met aanvullingen door infiltrerend regenwater en verliezen via waterlopen. Een aantal trends zetten dit evenwicht echter steeds verder onder druk. Uit een vergelijking van de ondiepe grondwaterstanden tussen 2000 en 2020 blijkt dat er een daling is op maar liefst 70% van de meetplaatsen (2). En dat heeft uiteraard ook een weerslag op de basisdebieten van de waterlopen, met grote ecologische gevolgen.

We moeten dus proberen om zoveel mogelijk water vast te houden en te laten infiltreren in de bodem. Door water te stockeren in grond- en oppervlaktewater, kunnen we ons wapenen tegen droogte. Maar dit stelt uitdagingen. We zien steeds frequenter dat het regent in extreme hoeveelheden en/of intensiteiten en steeds vaker de capaciteit van onze bodems om water op te nemen overschreden wordt. De reeds bestaande buffervoorzieningen (grachten, hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen) zijn ook niet altijd voorzien op dergelijke hoeveelheden neerslag en zijn dus niet altijd in staat om wateroverlast te voorkomen, wat ons extra kwetsbaar maakt.

Wat we de laatste jaren hebben meegemaakt inzake extremen is erger dan voorzien door de meeste klimaatmodellen. Een extreem nat voorjaar in 2016 werd gevolgd door een droge winter en lente in 2017. De zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022 waren extreem droog. In het jaar 2021 maakten we kennis met de natste zomer sinds het begin van de metingen.

Onderzoek leidt nog steeds tot nieuwe inzichten met betrekking tot de impact van klimaatverandering. Zo blijkt uit een recente studie (5) dat hittegolven en droogte-episodes boven Europa drie tot vier keer sneller toegenomen zijn dan in de rest van de noordelijke mid-latitudes zoals bv. de VS of Canada. Een internationaal team van wetenschappers bekeek waarnemingsgegevens van de afgelopen 40 jaar en toonde voor het eerst aan dat deze snelle toename verband houdt met veranderingen in de atmosferische circulatie. Er zijn veranderingen waar te nemen in de grootschalige winden op 5 tot 10 km hoogte, de zogenaamde polaire straalstroom, boven Eurazië. Perioden waarin de straalstroom in twee takken wordt gesplitst – de zogenaamde dubbele straaltoestanden – zijn langer geworden. Deze dubbele straaltoestanden verklaren bijna de volledige opwaartse trend van hittegolven

in West-Europa, en ongeveer 30 procent over het grotere Europese gebied. De mechanismen waarmee de klimaatverandering dit soort straalstroomgedrag beïnvloedt, zijn niet goed in kaart gebracht in de huidige geavanceerde klimaatmodellen, wat betekent dat modelsimulaties misschien niet het volledige effect van de klimaatverandering op deze extreme hittegebeurtenissen weergeven. Met een globale gemiddelde opwarming van ongeveer 1,2°C op dit moment, en een nog hoger gemiddelde in Europa, zien we nu al de effecten van de klimaatverandering, en dan vooral in de zomermaanden. Met een gemiddelde stijging tot 2° C zal dit nog verder toenemen.

Aangezien te verwachten valt dat de klimaatverandering zich verder zal doorzetten en dat ook de polaire straalstroom ons parten zal blijven spelen, is er nood aan een grootschalige uitrol van bijkomende maatregelen en ingrepen die water op alle mogelijke manieren meer water kunnen infiltreren en vasthouden. De doelstelling is immers om ervoor te zorgen dat een meteorologische droogte (weinig neerslag) minder snel evolueert naar een hydrologische droogte (lage waterpeilen en debieten). Door de maatregelen zouden de waterpeilen minder snel en minder diep mogen wegzakken. Tal van pioniersprojecten, die al dan niet onder de Blue Deal vallen, zijn bezig met de implementatie van deze maatregelen.

1.2 DOELSTELLING VAN DIT DOCUMENT

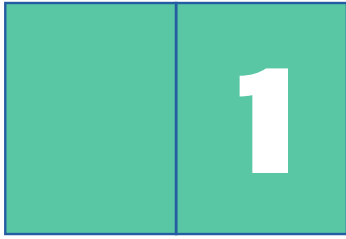
Het doelpubliek voor dit rapport zijn personen die in de praktijk staan en via allerhande projecten maatregelen implementeren. Met dit rapport willen we hen inzicht geven in het hoe en waarom van monitoring en op weg helpen naar de juiste instrumenten en technieken. Vaak zijn dit geen specialisten inzake ecohydrologie en monitoring. Het is dan ook niet de bedoeling om exhaustief te zijn in de beschrijving van maatregelen en monitoringsmogelijkheden, maar vooral om het toegankelijk te houden.

Met dit rapport willen we helder weergeven hoe de belangrijkste maatregelen tegen droogte functioneren en in welke context ze al dan niet toegepast kunnen worden. Het betreft vooral maatregelen die op één of andere manier geïmplementeerd worden in het natuurlijke watersysteem en daar mee interageren. Met de Blue Deal gebeuren er tal van innovatieve en soms experimentele ingrepen, maar we weten vaak niet hoe groot de impact is van deze ingrepen. Door te vertrouwen op aannames en maatregelen blindelings op te schalen, kunnen er mogelijk ongekende risico's optreden. De plaatsing/ inrichting en het beheer kunnen daarbij zeer bepalend zijn en er kunnen mogelijk zelfs negatieve neveneffecten optreden, waar onvoldoende bij stilgestaan wordt.

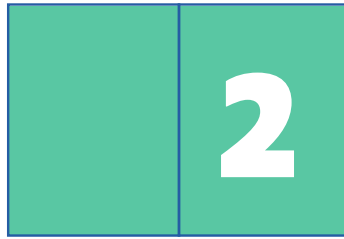
Om de impact en de neveneffecten te bestuderen, kijken we onder meer naar de relatieve locatie in het landschap, de interactie met het grondwater en de variatie in de buffercapaciteit. Ook bekijken we in welke mate het watersysteem baat heeft bij de maatregel. Ingrepen die de lokale waterbeschikbaarheid vergroten voor landbouw en/of natuur, kunnen bijvoorbeeld ten koste gaan van de ecologische debieten benedenstrooms.

Tenslotte geven we concrete aanbevelingen voor monitoring en evaluatie. Meestal is geavanceerde monitoring nodig om op alle aspecten antwoorden te bieden. Dit zal niet haalbaar zijn in de praktijk voor alle maatregelen. We proberen evenwel suggesties te geven hoe we de beperkte middelen voor monitoring

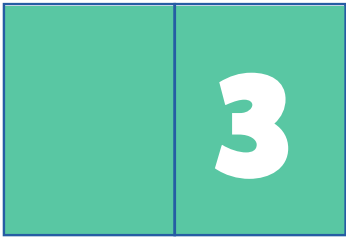
zo zinnig mogelijk kunnen inzetten. Deze metingen kunnen een zeker 'huis-, tuin- en keukengehalte' hebben, maar zijn bij voorkeur goedkoop én robuust. We hopen dat deze richtlijnen voor een basismonitoring gevolgd kunnen worden en dat we na verloop van tijd toch een systematische analyse kunnen maken van deze (voorstellen tot) monitoring. De metingen zouden in ieder geval na verloop van tijd een onderlinge vergelijking van de effectiviteit van maatregelen inzake locatiekeuze, ontwerp en beheer mogelijk moeten maken.



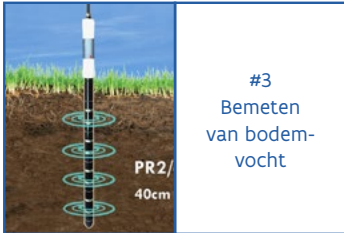
Inleiding



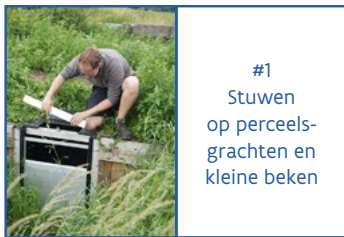
Basisprincipes



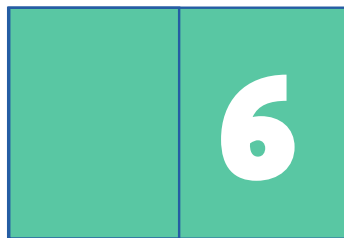
Meettechnieken



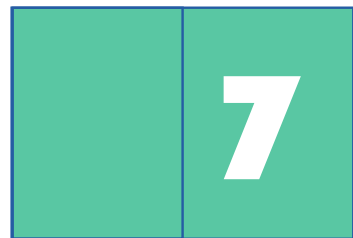
Werking & monitoring



Databeheer



Conclusie



Referenties

1.3 LEESWIJZER

Het rapport is opgebouwd om vanuit de uitdagingen voor water en landbeheer en bredere inzichten inzake watersysteemwerking af te dalen naar meer gedetailleerde informatie en aanbevelingen. In **hoofdstuk één** staan deze zaken dan ook centraal zodat de lezer goed weet dat de maatregelen eigenlijk vooral gericht moeten zijn op het vergroten van de waterbeschikbaarheid voor het watersysteem en niet de watergebruiker.

In **hoofdstuk twee** behandelen we de algemene problematiek en de opgaven voor het waterbeheer. We benadrukken dat het vooral nodig is om in te grijpen op het watersysteem en dat de meest effectieve maatregelen op lange termijn niet noodzakelijk een direct voordeel opleveren voor een gebruiker of eigenaar. We sluiten hoofdstuk twee dan ook af met enkele belangrijke aandachtspunten.

In **hoofdstuk drie** gaan we met het watersysteem indachtig op zoek naar processen en parameters die informatie kunnen geven over de evolutie van dat watersysteem. Vervolgens bespreken we meettechnieken voor grondwater, oppervlaktewater en bodemwater. Hierbij trachten we ook telkens te duiden welke mogelijke informatie de monitoring (op termijn) kan opleveren. Vaak geeft een tijdreeksanalyse of een bepaalde relatie tussen parameters véél meer informatie dan een individuele parameter.

In **hoofdstuk vier** gaan we in op de werking en monitoring van terreinmaatregelen. We bespreken 5 types van ingrepen. We starten met de bespreking van allerhande types van stuwen en het belang van hun plaatsing binnen een landschapscontext. Een stuw hogerop in het landschap op een infiltratiegracht zal immers héél andere effecten hebben dan een stuw op een drainagegracht. Dé belangrijkste parameter

om te monitoren, zal het beheer van de stuw zijn. We bespreken dan ook uitvoerig het belang van een goed stuwpeilbeheer. Ten tweede behandelen we aspecten van bodemkwaliteit en maatregelen om bodemkwaliteit te verbeteren. Hierbij gaat er veel aandacht naar de mogelijke gevolgen van bodemcompactie. Ten derde gaan we in op het benutten van de landschapsmorfologie. In een landschap zullen er bij extreme neerslag intensiteiten of hoeveelheden waterstromen ontstaan. Deze kunnen we benutten door kunstmatige infiltratiezones aan te leggen of gebruik te maken van de natuurlijke depressies die aanwezig zijn in het landschap. De vierde groep maatregelen gaat vooral over structuurkwaliteit en herstel op alle mogelijke niveaus in het watersysteem. De laatste ingreep gaat over het hermeanderen van waterlopen. Hermeandering wordt vaak aangehaald als een maatregel die positief is ten aanzien van droogte, maar er zijn vele voorbeelden waarbij vooral vismigratie centraal stond en er té weinig aandacht of mogelijkheden waren om ook vernatting te realiseren. We geven ook hier aanbevelingen voor ontwerp en monitoring.

In **hoofdstuk vijf** in op databeheer en analyse. Hierbij wordt vooral een technische analyse gegeven over de terminologie en goede praktijken.

Tenslotte koppelen we in de **Conclusie (hoofdstuk 6)** terug over de doelstellingen van deze praktijkgids en schetsen we enkele uitdagingen, reflecteren we over de haalbaarheid hiervan en geven we enkele aanbevelingen voor het beleid.





Basisprincipes om het watersysteem veerkrachtiger te maken tegen droogte



2. Basisprincipes om het watersysteem veerkrachtiger te maken tegen droogte

2.1 PROBLEMATIEK

Vlaanderen was historisch gezien een natte regio met relatief veel moerassen en waterlopen. Er was weinig verharding, er waren geen grondwateronttrekkingen en het klimaat was nat en mild.

Het in cultuur brengen van zogenaamde “waterzieke gronden” werd dan ook beschouwd als een goede zaak. Initieel gebeurde dat vooral door het graven van grachten en greppels om lokale depressies te ontwateren. De aanleg van leigrachten, bedijkingen en het rechtekken van rivieren maakte ook de ontginning van valleien mogelijk. Deze laatste ingrepen gebeurden

tevens om transport over water mogelijk te maken. In de periode na de Tweede Wereldoorlog kwamen deze praktijken door Europese landbouwinvesteringen in een stroomversnelling. De technologische mogelijkheden (pompen, graafmachines ...) waren ondertussen ook geëvolueerd, wat toeliet om in die periode veel waterlopen recht te trekken en te verdiepen.

De bevolkingstoename en technologische ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat nagenoeg alle gronden werden ontgonnen voor menselijk gebruik. Ondertussen is héél Vlaanderen dan ook letterlijk dooraderd met grachten en

wordt het water véél te snel afgevoerd. Sinds de tweede wereldoorlog is de bevolking ook aanzienlijk toegenomen. Vlaanderen werd volgebouwd, met de nodige bodemafdichting tot gevolg. Met de aanleg van riolering en de uitrol van afvalwaterzuivering sinds de jaren '70 werd het hemelwater vervolgens ook nog eens versneld afgevoerd naar beken (overstorten) en zuiveringsstations. Zelfs met de nodige buffering en zuivering, blijft het een gegeven dat zuiveringsstations aanzienlijk stroomafwaarts liggen van hun voedingsgebied. Met die bevolkingstoename en de industrialisering van Vlaanderen steeg ook de waterbehoefte. Het aantal winningen voor industrie en drinkwaterproductie is daarmee sterk toegenomen.

Men kan het de landbouw vanuit het historische kader niet echt kwalijk nemen dat men Vlaanderen heeft ontwaterd, maar de context is ondertussen wel veranderd. Er wordt méér grondwater onttrokken én het klimaat is veranderd. Vlaanderen is vandaag droog en het ondiep bodemwater moet opnieuw de tijd krijgen om grondwater te worden. De beperkte waterbeschikbaarheid voor landbouw heeft grote gevolgen voor de sector. Aan de vraag naar water voor irrigatie kan de laatste jaren onvoldoende voldaan worden. Toch blijven al die grachten en waterlopen water draineren. Vele ontwateringsgrachten en waterlopen hebben het potentieel om opnieuw water vast te houden in plaats van het af te voeren.

Tegelijk is in de landbouwgebieden wateroverlast een even grote uitdaging. Vele landbouwbodems hebben een té laag gehalte aan organische stof waardoor er minder ruimte is voor water. Nu we steeds meer te maken hebben met extreme neerslagintensiteiten, wordt dit een aandachtspunt. Maar het is niet enkel oppervlakkige afstroming waar we aandacht voor moeten hebben. Ook ondergronds stellen zich uitdagingen. Door het jarenlange gebruik van zware machines onder slechte omstandigheden is er op vele percelen een zogenaamde ploegzool ontstaan – een harde, slecht doorlaatbare laag die zich nèt onder de ploegdiepte bevindt. Bovendien is de verdichting vaak niet meer beperkt tot de ploegzool, maar zijn ook de onderliggende lagen reeds verdicht. Dergelijke landbouwbodems zijn dan niet meer doorlatend genoeg om grote hoeveelheden neerslag te laten infiltreren. Daarenboven hebben bodems met structuurbederf minder ruimte om water te bufferen, waardoor deze sneller verzadigd raken. De hoeveelheid grondwateraanvulling die we zo mislopen, wordt enorm onderschat (6–8). Er is dan ook een grote nood om de bodemkwaliteit te verbeteren.

2.2 INGRIJPEN IN DE SYSTEEMWERKING

Het spreekt voor zich dat er een kentering nodig is in de manier waarop we met water omgaan. Wateropslag, -hergebruik en -besparing zijn mogelijk in veel sectoren en toepassingen, maar ook daar zijn grenzen aan. Er is nood aan een systemische en strategische waterberging. Ook dienen we kritisch te zijn ten aanzien van maatregelen en deze altijd beschouwen binnen een context – een landschap waarbinnen er waterstromen aanwezig zijn. Gebiedsgerichte acties waarbij men voor een gebied alle mogelijke maatregelen samen beschouwt – over de sectoren heen – zijn wellicht effectiever.

Als we de veerkracht van het watersysteem willen herstellen, moet er voldoende aandacht zijn voor de effectiviteit van maatregelen, ook op langere termijn en op ruimere schaal. Hoe meer bovenstrooms, hoe langer het water ook onderweg zal zijn doorheen het watersysteem. Als we water ophouden in een bovenloop – of nog beter – de infiltratie versterken in de voedingsgebieden van de bovenlopen – zal dat water niet enkel zorgen voor hogere basisdebieten in de bovenlopen, maar ook in de benedenlopen. We mogen ons de vraag stellen of natte natuur bedreigd wordt door de hogere verdamping, te snelle ontwatering of door een achteruitgang van de wateraanvoer. De opmaak van een waterbalans – al is het maar op conceptueel niveau – biedt inzicht in de te nemen maatregelen. Zijn grondwaterpeilen in het voedingsgebied gedaald – is er minder grondwateraanvoer? Is er minder aanvoer van bovenstrooms oppervlaktewater? Is er te veel ontwatering/drainage? Zijn er grondwaterwinnings aanwezig? Kortom, het is belangrijk om een goede systeemanalyse te maken alvorens men de juiste maatregelen kan nemen.

Klimaatverandering zal zich nog vele decennia doorzetten en wat we vandaag zien, is slechts het begin. Alle voorspellingen die gemaakt werden, zijn ondertussen al

waarheid geworden. Als we niet continu achter de feiten willen aanhollen, is het nodig dat we vooral kijken naar het watersysteem zelf. Structureel systeemherstel dat een antwoord biedt op de uitdagingen van vandaag en morgen eist meer dan de huidige aanpak. Maatregelen die waterbeschikbaarheid vergroten voor watergebruikers gaan vaak ten koste van het watersysteem. Ook hierbij dienen we ons bewust te zijn van hoe maatregelen werken en hoe ze mogelijk ook neveneffecten kunnen hebben. We moeten dus vooral ook werken aan de veerkracht van het watersysteem. De laatste jaren is het behalen van ecologische minimumdebieten tijdens droogte immers een bijkomende bekommernis geworden.

Het is dus vooral belangrijk om na te gaan of men de maatregelen op de juiste plaats inzet. Het begrijpen van het lokaal watersysteem is de eerste stap naar het implementeren van maatregelen die effectief zijn. 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.

Seizoensberging als waterbatterij

Een hydrologische cyclus kan men goed vergelijken met een batterij. Tijdens de wintermaanden, wanneer de vegetatie een lagere waterbehoefte heeft dan de neerslag die valt, stijgt het bodemvochtgehalte en wordt de grondwatervoorraad aangevuld. We laden de batterij. Tijdens het groeiseizoen is de watervraag van vegetatie meestal hoger dan de beschikbare neerslag, wat het aanwezige bodemwater doet verminderen. We

ontladen de batterij. Onder natuurlijke omstandigheden is er een snel herstel van bodemvocht en zullen de grondwaterstanden tegen het einde van de winter érg hoog staan. De batterij is terug volledig opgeladen.

Gedurende de laatste decennia hebben we enerzijds de oplaadcapaciteit van onze batterij aangetast, en anderzijds het ontladen van de batterij versterkt. Er is minder grondwateraanvulling door verharding én méér onttrekking door een toename in grondwaterwinningen. Drainage van kwelgebieden kan daarenboven ook aanschouwd worden als een grondwateronttrekking.

Met de klimaatverandering wordt dit verder op de proef gesteld. Door de opwarming, zien we niet enkel dat er méér verdamping is, maar ook dat het groeiseizoen langer wordt. De periode van ontladen duurt langer en het bodemvocht geraakt sneller uitgeput. Dit tekort compenseren we met irrigatie, waardoor de waterbatterij verder ontlaadt. Tegelijk wordt het tijdvenster waarbinnen we de batterij kunnen opladen steeds kleiner. En als het regent, gebeurt dat vaak in zulke grote hoeveelheden en intensiteiten dat de bodems dit niet aankunnen. Tegelijk is de opslag van eventueel afstromingswater in het landschap (valleien en landschapsdepressies) evenzeer verminderd waardoor het water zeer snel terecht komt in de benedenlopen en daar leidt tot extreme overstromingen.

Het is dus absoluut noodzakelijk dat we onze landschappen zo inrichten dat we maximaal gebruik maken van perioden met neerslagoverschot. De waterbatterij moeten we met alle mogelijke manieren opladen. Anderzijds valt er ook veel winst te halen door de batterij niet nodeloos te ontladen. Zuinig en efficiënt watergebruik is een manier om onze afhankelijkheid van grondwater te beperken. Maar de grootste grondwateronttrekking is wellicht de drainage van

tallose voormalige moerasgebieden. Het beperken van drainage zorgt ervoor dat de waterbatterij minder snel leegloopt. Op die manier blijft er hopelijk nog voldoende grondwater beschikbaar om extreme droogteperiodes te kunnen overbruggen, bijvoorbeeld door te zorgen voor een voldoende basisdebiet in de waterlopen.

Niet elk gebied heeft een even grote batterij – waarmee we bedoelen dat niet ieder gebied “eenzelfde potentie heeft om water vast te houden”. In sommige streken zit er op geringe diepte al een minder doorlaatbare laag in de ondergrond, vaak van geologische oorsprong. De West-Vlaamse groentestreek heeft bijvoorbeeld een erg dunne freatische laag waarin men slechts een beperkte tot geen strategische voorraad kan opbouwen. Men kan er dus geen grote grondwatervoorraden opbouwen en deze regio is dus meer kwetsbaar voor lange droge perioden.

Maar als we onze grondwatersystemen kunnen vullen tijdens natte perioden, zijn we minder kwetsbaar voor droogte. We kunnen dus enerzijds werken aan het opladen van de waterbatterij (infiltratie) en anderzijds voorkomen dat deze voortijdig leeg loopt (retentie). Het ontharden en opvangen en infiltreren van regenwater vermindert de oppervlakkige afstroming en zorgt dat er meer water in de ondergrond terecht komt. Het beperken van onttrekkingen en drainage zorgt er dan weer voor dat de batterij langer vol blijft zodat er nog water beschikbaar is tijdens droogte. Maatregelen werken dus in op één van de drie aspecten. 1) Méér aanvulling realiseren door (uitgestelde) infiltratie, 2) Méér bergingscapaciteit in het landschap en de ondergrond en 3) Meer retentie door minder af te voeren via drainage en winningen.

2.3 AANDACHTSPUNTEN

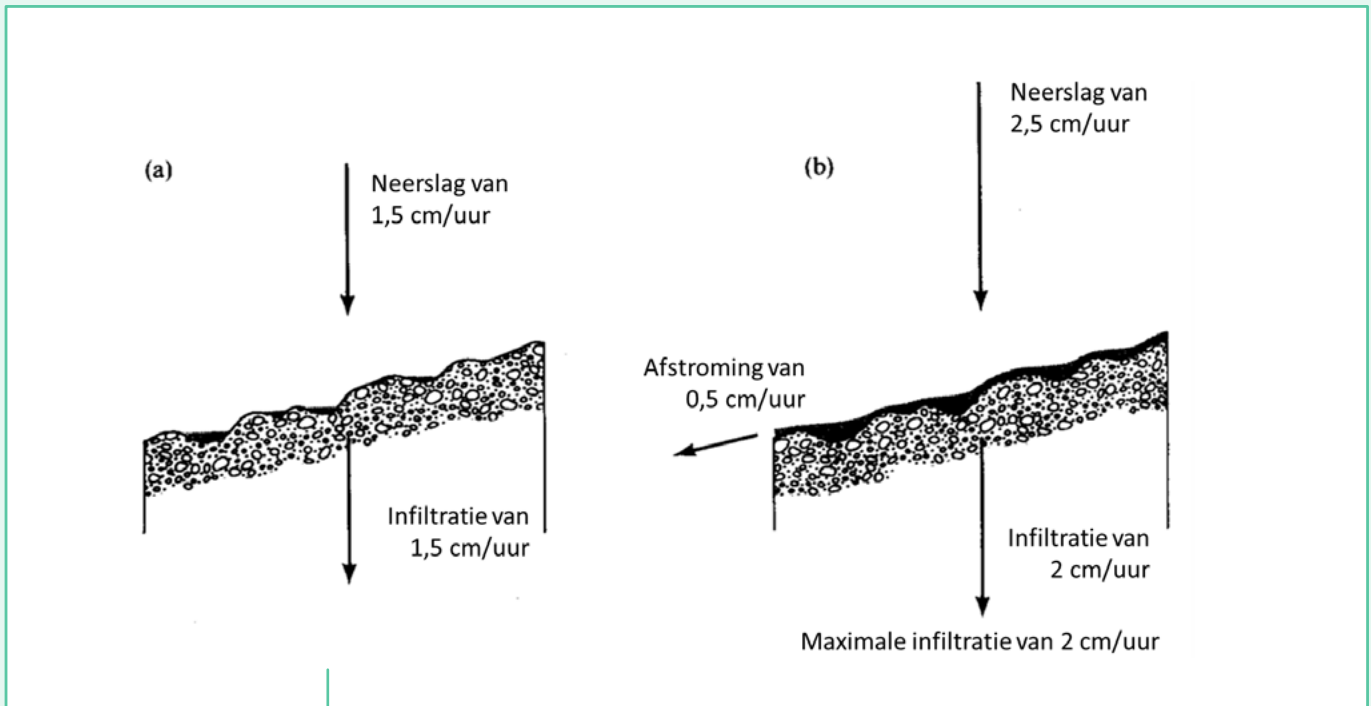
Denk extreem!

Bij het nemen van maatregelen dienen we rekening te houden met de toenemende extremen in het weer. Daarbij dienen we dan aandacht te hebben voor de niet-lineariteit die er soms bestaat voor de effectiviteit van maatregelen. Zo kunnen bodems zelfs heel anders reageren op eenzelfde neerslaggebeurtenis, afhankelijk van de toestand van de bodem en de gewassen. Gezien de toenemende extremen is het wellicht wenselijk om daar mee rekening te houden en de maatregelen te overdimensioneren en/of een noodberging te voorzien (Figuur 1). Er valt te verwachten dat neerslagintensiteiten en -hoeveelheden de infiltratiesnelheid en bergingscapaciteit van bodems in toenemende mate zullen overschrijden.

In welke mate moeten maatregelen nog effectief zijn bij extremen? De meeste maatregelen die nu vrijwillig genomen worden, hebben doorgaans een zekere return on investment. Maar dit geldt eerder voor minder extreme droogte of neerslag. Gaan we een bufferbekken dimensioneren voor maximaal hergebruik? Of voor berging? Of als noodvoorziening? Het over-dimensioneren om klaar te zijn voor extreme omstandigheden is soms moeilijk te argumenteren, het gaat immers om gebeurtenissen die niet frequent voorkomen. Maar een steeds groter aandeel van de jaarlijkse neerslag valt geconcentreerd in tijd en ruimte (5,9). De atmosferische temperatuurstijging leidt tot nattere natte periodes en drogere droge periodes wordt verklaard door twee fenomenen: (1) een warmere atmosfeer kan meer waterdamp bevatten – het

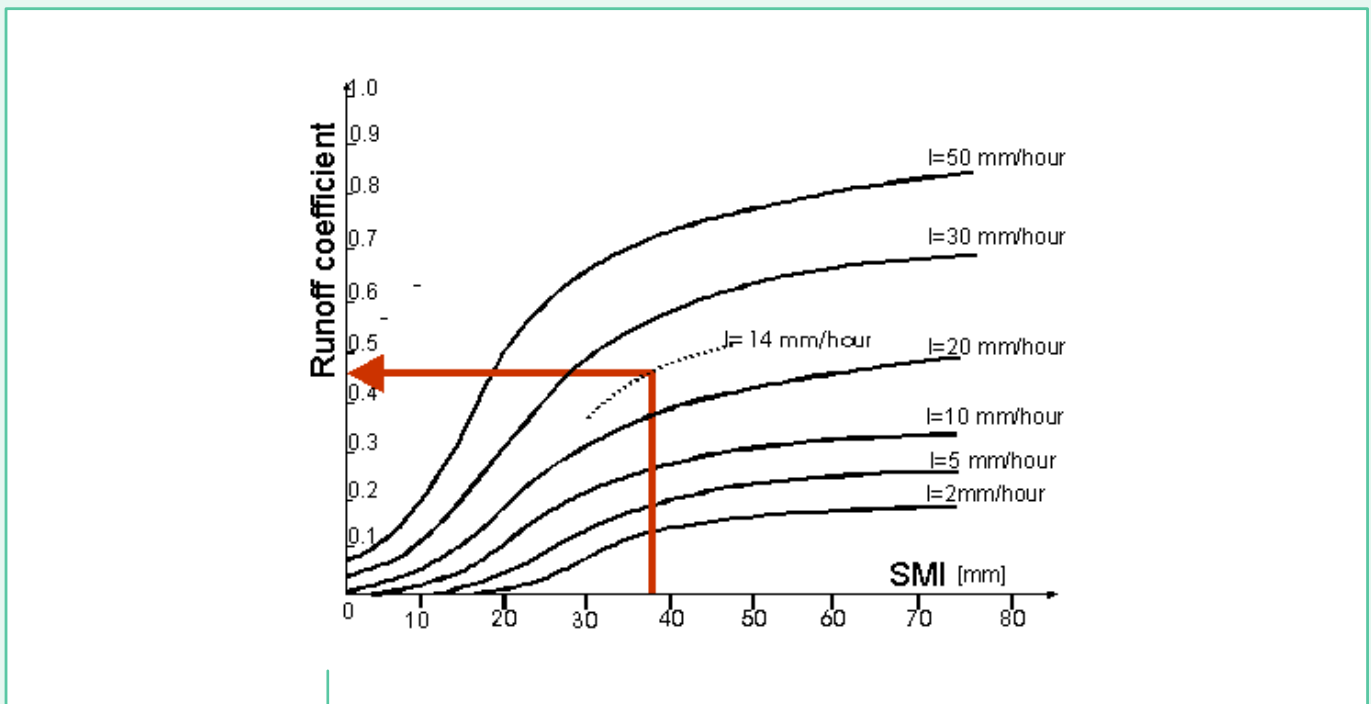
duurt langer vooraleer deze verzadigd is en eenmaal verzadigd kan er ook meer neerslag uit vallen. Ten tweede zorgt een verzwakte straalstroom voor minder beweging in atmosferische patronen en houden dezelfde weersomstandigheden langer aan (10). Hierdoor versterkt de hydrologische cyclus met meer tijdsvariatie en zowel extremere natte periodes als extremere droge periodes.

Zowel toename in de duur als intensiteit van neerslaggebeurtenissen zal de afstroming doen toenemen en het is dan ook noodzakelijk om te werken aan opslag en infiltratie in het buitengebied. Een hoog bodemvochtgehalte door voorafgaande buien kan dus een zeer bepalende invloed hebben op de afstroming. De evolutie naar aanhoudend natte of droge perioden zal een groot effect hebben op afstroming (en dus infiltratieverliezen). Neerslagintensiteit op zich toont dus geen volledig beeld. De duur van de bui en de voorafgaande neerslag is evenzeer bepalend. De meeste afstromingsmodellen incorporeren al deze effecten, maar de grafiek van Figuur 2 maakt het fenomeen inzichtelijk.



↑ © Dunne, T. and Leopold, L.B. (1978) Water in Environmental Planning. Freeman, New York, 818 p.

Figuur 1: Afstroming op akkerland heeft een niet-lineaire relatie met neerslagintensiteit. Neerslagintensiteit is een bepaalde hoeveelheid neerslag binnen een bepaalde periode. Bij het overschrijden van de infiltratiecapaciteit (mm/uur) zal er afstroming optreden. Enkel bij extreme neerslag zal er afstroming voorkomen. Het voorzien van buffercapaciteit die slechts enkele keren per jaar benut wordt, lijkt onzinnig. Maar extremen van meer dan 10 mm/uur komen steeds vaker voor en het voorzien van dergelijke buffers kan wél een verschil maken.



↑ © USACE - United States army corps of engineers

Figuur 2: Deze figuur toont de door USACE (1960) ontwikkelde SSARS methode (Streamflow Simulation And Reservoir Regulation). Op basis van het initiële bodemvochtgehalte (SMI) en de neerslagintensiteit, kan het % afstroming bepaald worden.

Maak een degelijk analyse van de probleemstelling en de (schijnbare) oplossingen!

Niet elk gerapporteerd probleem met waterbeheer is een probleem voor het watersysteem... en soms creëren of bestendigen ondoordachte oplossingen een niet-duurzame situatie. Analyseer en documenteer het probleem alvorens het op te lossen. Er bestaan een aantal analyse instrumenten zoals bv. Incident Management, Five Why's, FMEA, DPSIR, etc... Het maakt niet echt uit welke methode je kiest. Maak een analyse van het (problematische) incident (hoe vaak en waar komt het voor, onder welke randvoorwaarden, zijn er voorafgaande symptomen, wat is de schade...). Het échte probleem is de oorzaak van het incident en er moet gezocht worden naar brongerichte oplossingen. Vaak heeft het probleem meerdere symptomen. Vervolgens kan je het probleem breder analyseren en beslissen om het probleem te mitigeren, te vermijden of er mee leren leven. Een dergelijke aanpak leidt tot meer kwaliteitsvolle oplossingen, ook al duurt het soms langer om deze te realiseren. Zo kan het bijvoorbeeld een oplossing lijken om meer water vast te houden in verdroogde natuurgebieden, maar als een gebrek aan watertoevoer (door bodemafdicthting of grondwaterwinningen) aan de eigenlijke bron van het probleem ligt, moet men vooral pogen om dat laatste op te lossen.

We kunnen geen water bijmaken!

Maatregelen die de waterbeschikbaarheid vergroten voor een bepaalde locatie of toepassing, verlagen de waterbeschikbaarheid voor andere locaties en gebruikers. We kunnen daarbij ook water gaan lenen – grondwaterwinningen kunnen de waterbeschikbaarheid tijdelijk verhogen – maar we moeten die lening uiteraard later terugbetalen, of ze gaat ten koste van waterbeschikbaarheid op lange termijn. Als grondwaterstanden bij de aanvang van het groeiseizoen op hun normale peil staan, kunnen we aanspraak maken op grondwater bij droogte, maar dat is niet het geval. Indien droogte een probleem was dat eens in de 5 tot 10 jaar voorkomt, zouden we het probleem zeker kunnen oplossen door een verhoogde aanspraak op grondwater. De “lening” wordt immers in een “natter jaar” terugbetaald. Maar zoals in de inleiding al vermeld staat, hebben we ondertussen ondervonden dat extremen sterk toegenomen zijn. Dit hebben we gemerkt tijdens de voorbije droge jaren. In deze serie van uitzonderlijk droge jaren, is het niet enkel een kwestie van een droge periode, maar ook van jaren met een structureel lagere grondwateraanvulling. We hebben dus vooral maatregelen nodig die structureel de waterbeschikbaarheid vergroten. Water vasthouden en infiltreren tijdens natte perioden is daar de kernboodschap.

Denk vooruit en bovenstrooms!

Er is nood aan een aanpak op meerdere schaalniveaus die vooral gericht moet zijn op systeemherstel. Enerzijds zijn er de grotere projecten die zich vooral situeren in de benedenlopen. Deze projecten zijn gericht op hermeandering en herstel van natte natuur. Maar we kunnen ons de vraag stellen of deze projecten wel bijdragen tot herstel op systeemniveau wanneer er daarbij onvoldoende aandacht is voor het versterken van (grond)watervoeding naar deze gebieden. Anderzijds zijn er de vele projecten waarbij men kleinschalige maatregelen met eigenaars of beheerders wil implementeren. Daarbij ligt er een focus op draagvlak en vrijwilligheid. Men implementeert vooral maatregelen die een direct voordeel hebben voor de landeigenaars of beheerders. Vaak zijn dat maatregelen die de waterbeschikbaarheid op korte termijn verhogen voor landbouw of natuur. Bij voorkeur zetten we vooral in op maatregelen die water de ruimte geven om traag te infiltreren en de voorraad aan te vullen. Daarbij is het dan evenzeer belangrijk om dat geïnfiltreerde water op te houden in de haarvaten van het watersysteem (door drempels, stuwen, verontdieping...). Maar grondwaterpeilen zullen daar sowieso sterk wegzakken in de zomer. De baten liggen benedenstrooms en soms ver in de toekomst. Veel maatregelen die we beogen in de strijd tegen droogte zijn dus niet direct voordelig voor landeigenaars. Het rekenen op vrijwillige implementatie houdt dus risico's in. Er zijn slechts weinigen die kiezen voor implementatie uit altruïsme. Er zullen dus hefbomen nodig zijn, zoals verplichtingen of beloningen.

Afstappen van het idee dat ingrepen geen negatieve impact mogen hebben!

Als we alle waterhuishoudkundige ingrepen uit het verleden gaan beschouwen als verworven rechten komen we nergens. Het vasthouden van water zal dus occasioneel en lokaal tot wateroverlast kunnen (moeten) leiden. Stuwen moeten tot doel hebben om ook in de wintermaanden water op te houden en de velden tijdelijk blank te zetten. Een hermeandering die niet zorgt voor bovenstroomse impact op watertafels en geen invloed heeft op een toename in de lokale overstromingsfrequentie of omvang, zal ook weinig opleveren in de strijd tegen watertekorten. We moeten streven naar herstel van bovenstroomse moerassen en overstromingsgebieden die de dubbele functie kunnen vervullen.

Denk na over de doelstelling van de monitoring!

Monitoring moet altijd goed overwogen worden en een concrete doelstelling hebben. Enkel met voldoende reflectie kan men beslissen hoe men gaat monitoren. De redenen voor monitoring kan verschillen. Dat kan een toestandsmonitoring zijn voor operationeel beheer (gecontroleerde overstromingen), maar evengoed om te weten of bepaalde normen gehaald worden (bv. E-flows). In het kader van de Blue Deal maatregelen kan het zijn dat ex-ante monitoring noodzakelijk is om de dimensionering van de maatregel voorafgaand te optimaliseren. Hierbij bemeet men de actuele toestand gedurende een langere tijd. Ex-post monitoring kan vervolgens inzicht geven in de effectiviteit na uitvoering.

Metten is weten!

Een ander belangrijk aandachtspunt is het belang van nulmetingen. Met nulmetingen bedoelen we in feite een bemeting van de situatie voordat maatregelen worden genomen. Dit is belangrijk, maar wordt dus vaak vergeten. Het nemen van bodemstalen of het uitvoeren van infiltratietesten vergt niet veel moeite. Om sommige effecten goed in te kunnen schatten, is er echter veel meer nodig. Als we bijvoorbeeld het effect op bodemvocht of grondwaterstanden willen bemeeten, moet er minstens één hydrologisch jaar op voorhand gemeten worden. Ook is het erg belangrijk om lokale weergegevens te verzamelen, zowel voor de nulmeting als voor de effectmeting. De variatie die optreedt ten gevolge van de weersomstandigheden, kan in veel gevallen groter zijn dan de impact van de maatregel op zich. Daarom is het belangrijk om voor zowel de nulmeting als de daaropvolgende metingen ook belangrijke weersvariabelen mee gemonitord worden.







Meettechnieken



3. Meettechnieken

3.1 INLEIDING

Waarom meten? Meten is weten! Als we geen degelijk inzicht verkrijgen in de effectiviteit van ingrepen/maatregelen onder verschillende omstandigheden lopen we het risico dat we véél tijd en middelen investeren in maatregelen die achteraf toch niet zo effectief blijken te zijn. We moeten maximaal leren uit deze “pionier” maatregelen. We moeten er van uit gaan dat er altijd verbeteringen mogelijk zijn inzake dimensionering, beheer, inplanting ... Aangezien we ook op ongekend terrein komen inzake de extremiteit van weerfenomenen, worden we geconfronteerd met ongekende effecten. Dat inzicht is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat we maathouden met de klimaatverandering.

Het hoofddoel is een veerkrachtig watersysteem dat in staat is om klimaatextremen op te vangen. Maar wat is een veerkrachtig watersysteem? En kunnen we dat meten?

Om dat te weten, is het belangrijk dat we blijven inzetten op een brede monitoring van neerslag, grondwaterpeilen en oppervlaktewater. Hoewel er op de schaal van Vlaanderen zeker reeds vele metingen zijn, zijn er, zoals in Figuur 3 voor grondwater aangegeven, nog steeds mogelijkheden voor uitbreiding. Dit meetnet helpt ons echter enkel maar voor globale monitoring. De gemiddelde afstand tussen twee meetpunten die in het primair meetnet zitten, bedraagt op zijn minst enkele kilometers. Daarmee kunnen we bv. niet het lokale effect van een stuw in landbouwgebied gaan bepalen. Hiervoor moeten we veel fijnmaziger gaan meten. Hetzelfde geldt voor neerslag en oppervlaktewater. Er is dus reeds een degelijke basis voor monitoring, maar een betere ruimtelijke spreiding van meetpunten – ook in de bovenlopen – is nodig om inzicht te krijgen. Ook zijn deze meetnetten niet per se op elkaar afgestemd en geven ze dus partiële informatie (puzzelstukjes).

Om het belang te duiden, maken we de analogie met een menselijke patiënt. Op basis van enkel lichaamstemperatuur, kunnen we hoogstens vaststellen dat een patiënt koorts heeft. Verder kunnen we slechts gissen naar de oorzaken. Een goede dokter zal peilen naar andere symptomen en de puzzelstukken samenleggen om zo tot een juiste diagnose en behandeling te komen. Hetzelfde geldt voor watersystemen, die eveneens een hoge complexiteit hebben.

Het is dus nodig om verschillende variabelen soms herhaaldelijk te bemeten om inzicht te krijgen in hoe systemen werken en reageren.

Op veel plaatsen meet men waterpeilen op waterlopen. Waterpeilen zijn een goede graadmeter om noodmaatregelen voor wateroverlast aan te sturen, maar voor droogte zijn ze minder nuttig. Waterpeilen en debieten hebben overigens niet noodzakelijk een direct verband. Het is te vergelijken met een batterij. Om het vermogen te kennen, meten we zowel spanning als stroomsterkte. En dat is bij een rivier niet anders.

Waterpeilen, zowel voor grondwater als voor oppervlaktewater, vertellen ons niet noodzakelijk of het systeem weerbaarder is tegen de volgende droogte. Uiteraard zal een nattere winter leiden tot hogere peilen en debieten, maar dat is dan niet per definitie een verdienste van de genomen maatregelen. Het zijn net de veranderingen in peilen en debieten ten opzichte van neerslagpatronen die een indicatie geven van de weerbaarheid. We willen debieten die traag reageren op neerslagoverschot en zo laag mogelijk blijven tijdens natte perioden, omdat dat een indicatie is dat er water bovenstrooms wordt opgehouden in het watersysteem. Door het nemen van maatregelen hopen we dat dit op termijn dan ook de basisdebieten tijdens droge perioden versterkt.

Vanuit een systeemperspectief zullen maatregelen inwerken op berging en weerstand. Enerzijds kan er een grotere voorraad aan water opgebouwd worden – dat kan in oppervlaktewater, maar ook door hogere grondwaterstanden. Anderzijds kan men voorkomen dat die voorraad snel verdwijnt door de weerstand op de waterstromen te vergroten. Beide gaan hand in hand. Een ingreep die de waterstroming in het systeem vertraagt, zal bijna altijd leiden tot een hogere watervoorraad. Zo zal een stuw de grondwatertafel verhogen, hetzij door meer infiltratie, hetzij door een verhoging van de grondwaterpeilen.

Systeemvariabelen vertellen dus iets over hoe het watersysteem reageert op droogte. Om op grotere tijd- en ruimteschaal de weerbaarheid tegen droogte te monitoren, volstaat het om na te gaan of grondwaterpeilen trager reageren op anomalieën (neerslagoverschot/neerslagtekorten). Bij rivieren willen we zien dat de debieten trager reageren op veranderingen in neerslag. Iedere rivier en iedere meetlocatie is uniek en zal zijn eigen karakteristieken hebben, en ook iedere droogte zal zijn eigen verloop kennen, maar door het nemen van maatregelen zouden rivierdebieten dus op termijn van jaren minder snel mogen dalen bij droogte en sterker moeten stijgen. De grondwaterstromingen en basisdebieten moeten dus versterkt worden.

Tenslotte zijn er ook systeemvariabelen die gebaseerd zijn op morfologische en biotische parameters. Het creëren van meer variatie in diepte en breedte van grachten en waterlopen verhoogt de ecologische veerkracht ten aanzien van droogte. Het voorkomen van bepaalde stroomminnende of zuurstofminnende vissoorten, invertebraten, macrofyten,... geeft een indicatie van de gezondheid van het watersysteem in het algemeen. Voor water(bodem)kwaliteit gebruikt men al vele tientallen jaren de Belgische Biotische Index (BBI). Men zou een aangepaste index kunnen ontwikkelen die meer inzicht geeft in de mate waarin soorten refugium vinden tijdens droogte. Zeker voor waterlopen waar structuurherstel plaatsvond, kan een soortenindex een belangrijke systeemvariabele zijn (11). Het meten van debieten en waterpeilen gebeurt vaak op plaatsen met weinig variatie zoals bruggen en duikers en vertelt weinig over de variatie in stroomsnelheid en waterdiepte die net belangrijk is voor de ecologische veerkracht.

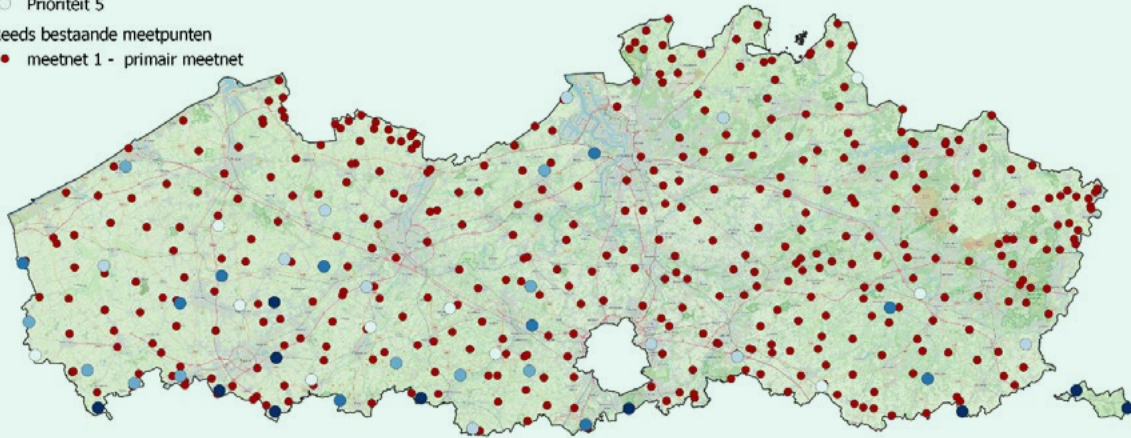
Voor ecologische veerkracht ten aanzien van droogte is het vooralsnog belangrijker om voldoende waterstroming te behouden in de waterlopen. Het opstuwen van waterpeilen in een waterloop tijdens droogte vergroot niet het debiet noch de waterbeschikbaarheid, maar wel de verblijftijd. Bij opstuwen van waterlopen, verhogen we de waterpeilen, maar voor stroomminnende soorten met een gevoeligheid aan zuurstoftekort is het soms net beter om een lager peil én stroming te hebben, dan een hoog waterpeil en bijna geen stroming. We kunnen dus concluderen dat we in feite drie parameters hebben voor waterlopen die van ecologisch belang zijn. Het waterpeil, het debiet én de stroomsnelheid/verblijftijd.

Mogelijke uitbreidingen

- Prioriteit 1
- Prioriteit 2
- Prioriteit 3
- Prioriteit 4
- Prioriteit 5

Reeds bestaande meetpunten

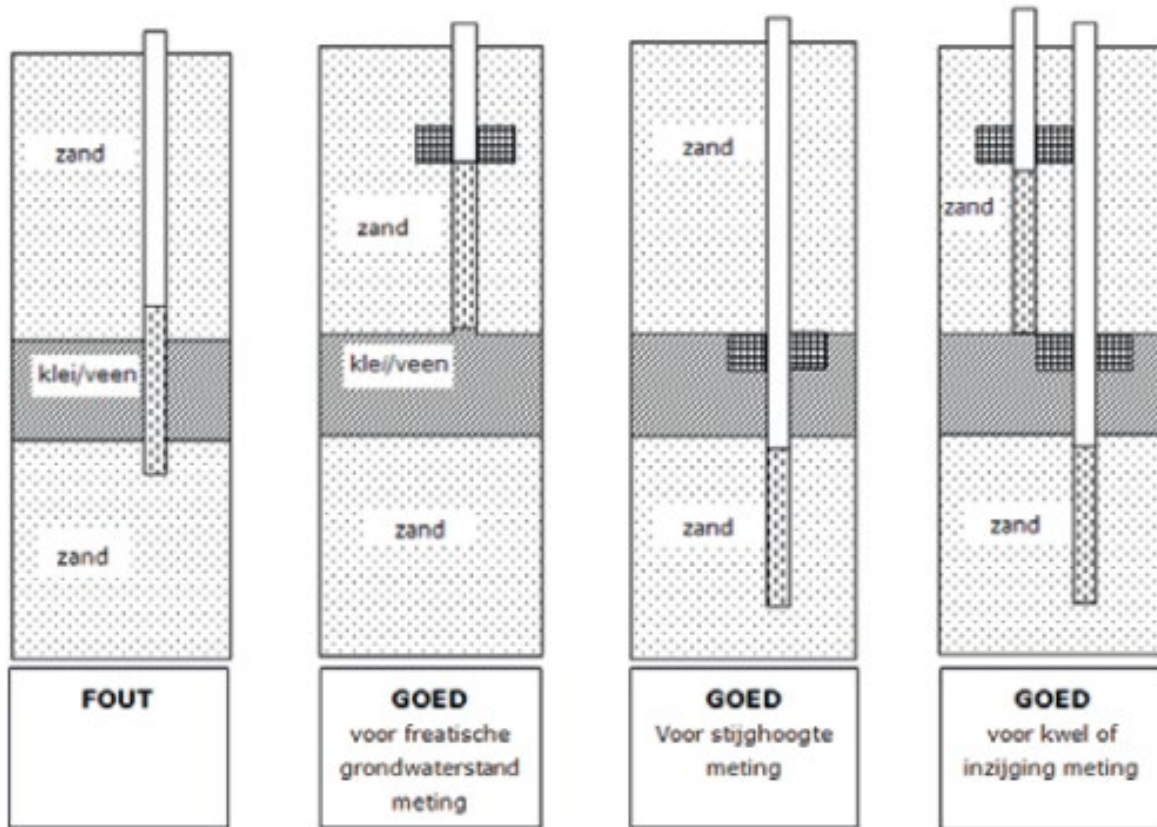
- meetnet 1 - primair meetnet



↑ © Sumaqua

Figuur 3: Bestaande meetpunten van meetnet 1 en punten van meetnet 1 of meetnet 8 die beter opgevolgd moeten worden om een betere spreiding van grondwaterdata te verkrijgen, rekening houdende met de prioriteit. Analyse opgemaakt in het kader van de systeemmonitoring van de Blue Deal.

Verschillen in diepte en breedte zijn daarbij belangrijk omdat ze een variatie aan omstandigheden creëren waar soorten tijdens extreme omstandigheden een toevlucht kunnen nemen. Het belang van structuurvariatie kan doorgetrokken worden naar grachten en tijdelijk watervoerende waterlopen. Op elk niveau van het watersysteem is structuurvariatie van belang en kan het een enorm verschil maken naar biodiversiteit. De morfologische kwaliteit van waterlopen is dus van groot belang voor de ecologische veerkracht. Grachtenstelsels kan men voorzien van poelen waar soorten kunnen overleven. Dergelijke poelen kunnen eveneens water bergen en sediment vangen tijdens extreme neerslaggebeurtenissen.



↑ © Bouma J, Maasbommel M, Schuurman I. – Handboek Meten van Grondwaterstanden in Peilbuizen, 2012.

Figuur 4: het plaatsen van peilbuizen vereist inzicht in de opbouw van de ondergrond. De filters en stoppen moeten juist geplaatst worden (12). Voor monitoring van grondwaterpeilen in het kader van droogtmaatregelen zullen de metingen vooral gericht zijn op de freatische grondwaterstanden en moet men erover waken dat men de peilbuis plaatst boven de minder waterdoorlatende laag (de tweede van rechts).

3.2 BEMETEN VAN GRONDWATERSTANDEN VIA PEILBUIZEN

3.2.1. Wat is een peilbuis?

Een peilbuis is een lange plastic buis (HDPE) die in de bodem wordt ingebracht. Deze buis is aan de onderkant geperforeerd met sleuven waardoor het grondwater in de buis kan dringen. Zo bekomt men in de buis eenzelfde waterhoogte als het grondwater. De hoogte van de top van de peilbuis wordt absoluut ingemeten. Hiermee bedoelen we dus dat we de exacte hoogteligging van de peilbuis kennen. Deze kan ingemeten worden met speciale apparatuur die gebruik maakt van gekende referentiepunten. Dit is dus vergelijkbaar met hoe een landmeter te werk gaat. Vervolgens meten we de hoogte van het maaiveld en de diepte van het grondwater ten opzichte van de top van de peilbuis. Op die manier weten we de absolute en relatieve hoogte van het grondwater. Voor tips in verband met het plaatsen van peilbuizen verwijzen we naar het STOWA handboek "[Handboek meten van grondwaterstanden in peilbuizen](#)" (12). De filters en stoppen moeten op de juiste diepte geplaatst worden (Figuur 4). Via de filter kan het grondwater in de peilbuis sijpelen. De stop – wat in de praktijk een scherm is van klei (bentoniet) wordt geplaatst om te voorkomen dat neerslagwater rechtstreeks via de verstoorde grond rond de peilbuis kan insijpelen.

Het meten zelf gebeurt ofwel handmatig met een peilklokje of automatisch met behulp van een datalogger (13). Een peilklokje is een metalen buisje aan een meetlint. Het buisje heeft onderaan een holte en produceert een "klok" geluid wanneer het in contact komt met het water. Zo kan men bepalen of het klokje het water bereikt en vervolgens meet men de diepte ten opzichte van de top van de peilbuis.

Men meet bij voorkeur om de 15 dagen of frequenter. Verwacht je een reactie van het grondwater op een dynamisch gegeven, bijvoorbeeld grondwateronttrekking of het opstuwten van een waterpeil, kan het nodig zijn om frequenter (bv. dagelijks) te meten. In dat geval wordt

het interessant om gebruik te maken van een datalogger. Dergelijke dataloggers registreren de waterdruk. Na het uitlezen van de data gebruik je de bijhorende software die deze waarden omrekent naar de hoogte van de waterkolom boven de sensor. Je moet daarbij wél exact uitmeten hoe diep de sensor in de peilbuis hangt. De sensor registreert echter ook veranderingen in luchtdruk. Daarom heb je ook één sensor nodig om de luchtdruk te meten. De software zal drukverschillen die te wijten zijn aan luchtdruk vervolgens corrigeren.

Het aanschaffen van loggers voor automatische metingen kan initieel duur lijken, maar op termijn zijn manuele metingen ook kostelijk. Het gebrek aan lange-termijn metingen blijkt ook één van de grootste beperkingen te zijn voor wetenschappelijk onderzoek. Lange-termijn metingen zijn daarom relevanter en waardevoller.

3.2.2. Wat is de relevantie van het bemeten van grondwaterpeilen?

Wanneer je voldoende metingen hebt in de tijd, kan je voor een meetpunt het grondwaterregime gaan bepalen (14). Onder natuurlijke omstandigheden zal het grondwater fluctueren volgens een bepaald patroon en wordt het gemiddeld hoogste grondwaterpeil (GHG) bereikt op het einde van de winter (februari/maart). Het gemiddeld laagste grondwaterpeil (GLG) komt meestal voor op het einde van de zomer (september/oktober). Men neemt als leidraad dat je minstens 10 jaar metingen moet hebben om het regime te bepalen. Dergelijke meetreeksen zijn in de praktijk slechts zelden voorhanden. En zelfs dan is het niet eenvoudig. Men neemt daarbij aan dat die 10 jaar meetgegevens representatief zijn voor een gemiddeld weerbeeld. Met de klimaatverandering staat die aanname echter op losse schroeven. We zien enerzijds veel meer extremen

in de neerslagspreiding. Daarnaast is er door de klimaatopwarming een verlenging van het groeiseizoen en is er een kleiner tijdvenster waar grondwater aangevuld kan worden. Wanneer de vegetatie actief is, zal de meeste neerslag en bodemwater immers verbruikt worden door vegetatie. Als de wintermaanden onvoldoende neerslag kennen, zal er een algemene verschuiving optreden naar diepere grondwaterstanden. Meetreeksen kunnen ook gebruikt worden om een lokaal puntmodel te maken van het grondwater. Het meest bekende is SWAP (www.swap.alterra.nl). SWAP wordt ook gebruikt om de grondwaterpeilen van de DOV meetplaatsen te voorspellen op basis van onder meer bodemeigenschappen en de waargenomen dagelijkse neerslag en verdamping. Er zijn uiteraard ook andere rekenmodellen voorhanden. Zo kan men met het model Pastas (15) op een relatief eenvoudige manier tijdreeksanalyses doen op grondwaterpeil gegevens. Voordeel is hier dat het model kan voorspellen hoe grondwaterstanden reageren op neerslagtekorten of overschotten. Als het model na verloop van tijd afwijkt van de metingen kan dat een teken zijn dat er veranderingen zijn in het watersysteem. Een verhoogde aanvulling door bijvoorbeeld ontharding of de aanleg van infiltratiezones, zal leiden tot een snellere stijging van grondwaterpeilen bij neerslag. Anderzijds zal het afbouwen van drainage en winningen leiden tot een tragere daling van de grondwaterpeilen bij droogte. Opnieuw zouden maatregelen moeten leiden tot veranderingen in de respons van grondwater op neerslag overschot en -tekort.

Voor de meeste praktijkvoorbeelden zullen de bekomen meetreeksen niet volstaan voor een geavanceerde bepaling van de GHG/GLG of de opmaak van een SWAP-model. Dit stelt natuurlijk een probleem voor de impactbepaling van bijvoorbeeld stuwen, bosvorming... Vaak zijn er zelfs geen nulmetingen

en installeert men pas monitoring op het moment dat de maatregel geïmplementeerd wordt. We geven bij de bespreking van de maatregelen tips hoe monitoring daar toch informatie kan geven over de effectiviteit. De bewijslast voor de effectiviteit zal vaak geleverd moeten worden door wetenschappelijke experimenten en metingen.

Algemeen kan men wel stellen dat men een natte periode, die gevolgd wordt door een droge periode (of omgekeerd) kan gebruiken om na te gaan of het systeem meer of minder gevoelig wordt voor droogte. Dit kan door veranderingen in grondwaterpeilen simpelweg te vergelijken met het neerslagoverschot/tekort van de voorgaande 3 maanden. Als het grondwaterpeil sneller stijgt bij neerslag en trager daalt bij droogte voor vergelijkbare omstandigheden is er sprake van versterkte aanvulling of verminderde drainage/onttrekking. Maar dit blijft uiteraard een zeer kwalitatieve inschatting. Omstandigheden zijn immers zelden vergelijkbaar.

3.2.3. Grondwaterpeil versus grondwaterstroming

Net zoals waterpeilen niet veel zeggen over debieten bij rivieren, is dat ook het geval voor grondwater. In valleien met sterke kwelstromen kan het effect van minder drainage op grondwaterpeilen beperkt zijn tot enkele tientallen centimeters peilstijging en vaak reikt dat effect niet verder dan enkele tientallen meters. De grootste winst wordt hier niet gemaakt door peilverhoging, maar net door een tragere grondwaterstroming naar de beek. Daarom kan het in sommige gevallen belangrijk zijn om ook grondwaterstroming te meten of de debieten in de drainerende beek. Men kan grondwaterstroming inschatten door de absolute verschillen in grondwaterpeilen te vergelijken en

Vergelijking van Darcy

$$q = -K \frac{\Delta h}{\Delta x}$$

q = de grondwaterstroming (meter/dag),

K = de hydraulische conductiviteit (of waterdoorlaatbaarheid) (meter/dag),

Δh = het peilverschil (in meter),

Δx de afstand tussen de peilbuizen (in meter).

zo grondwaterstroming te berekenen, gesteld dat men eveneens een inschatting kan maken van de doorlaatbaarheid van de ondergrond. Er zijn echter ook technieken om grondwaterstroming in real-time te bemeten. Lange-termijn metingen van veranderingen in grondwaterstroming naar bepaalde kwelgebieden is een uitstekende systeemvariabele.

De grondwaterstroming is de verplaatsing van het grondwater in een bepaalde richting en drukt men uit in centimeter per dag, millimeter per uur ... Wil je de grondwaterstroming en richting inschatten, moet je minstens drie meetpunten hebben. Het absolute hoogteverschil in waterpeil tussen de peilbuizen, de afstand tussen de twee meetpunten en de waarden van hydraulische conductiviteit, laten toe om de snelheid waarmee het grondwater zich verplaatst te berekenen. Er zijn verschillende methoden, maar de vergelijkingen van Darcy zijn de bekendste.

De K_{sat} is de waterdoorlaatbaarheid van de bodem in verzadigde omstandigheden. De waterdoorlatendheidscoëfficiënt wordt bepaald door de textuur en structuur van de bodem. Men kan hiervoor kengetallen gebruiken. Figuur 5 toont deze kengetallen (m/s) voor de bodemtextuurklassen van de bodemkaart, terwijl figuur Figuur 6 waarden (m/d) geeft voor de belangrijkste geologische lagen in Vlaanderen.

Uit metingen blijkt evenwel dat er een zeer grote variatie bestaat binnen en tussen textuurklassen (16). De K_{sat} -waarden kunnen ook experimenteel bepaald worden in het laboratorium. Dergelijke metingen worden echter toegepast op een klein stukje van de bodem en de resultaten zijn dan vaak ook zeer variabel omdat bodems lokaal zeer heterogeen kunnen zijn. Men moet dus verschillende metingen uitvoeren en deze statistische correct verwerken. Het blijkt vrijwel onmogelijk om een significant onderscheid te maken tussen de K_{sat} in de ondergrond van de verschillende bodemtexturen. Zelfs op

Code Staringreeks	Doorlatendheid (m/s)	Grondsoort, benaderend vlgns. de Belgische indeling
O1	1.76E-06	zand
O2	1.47E-06	zand
O3	1.26E-06	lemig zand
O4	1.14E-06	licht zandleem
O5	2.89E-06	zand
O6	3.93E-06	grinthoudend, grove fractie > 5%
O7	4.53E-06	zandige klei tot licht zandleem
O8	1.05E-06	kleiig zand, licht zandleem tot zandleem
O9	2.58E-07	kleiig zand tot zwaar zandleem
O10	2.45E-07	zandige tot lichte klei
O11	1.60E-06	zandige klei tot klei
O12	1.18E-07	zware zandige klei tot zware klei
O13	5.06E-07	zware zandige klei tot zeer zware klei
O14	1.75E-07	zwaar zandleem tot zandleem
O15	4.28E-07	licht leem, leem of zwaar leem
O16	1.24E-07	bodems op weinig materiaal
O17	3.39E-07	bodems op weinig materiaal
O18	3.99E-06	bodems op weinig materiaal

† © IMDC, Bodemdeskundige dienst van België

Figuur 5: Doorlatendheden voor de grondsoorten volgens de Staringreeks (19), met benaderende equivalenten in de Belgische indeling (16).

Formatie/grondsoort	Kh m/d	i * 1.0E-03	porositeit totaal	porositeit effectief
1. Grind				
Maasterrassen/maasgrind	800-1000 (>3000)	2-5	0,5	0,5
2. Duinzand				
fijn gesorteerd zand	20	- (*)	0,3	0,1-0,2
3. fijnzandig/heterogeen (kleilenzen)				
Alluvium Vlaamse Vallei	20-50	1	0,4	0,2-0,3
Alluvium (Demer, Schelde, ...)	20-50	1	0,4	0,2-0,3
Form. Kempen	1-10	1	0,25	0,1
4. Fijnzandig - soms belangrijke aanrijking klei/silt				
Yd (W.-VI)	2-5	1	0,25	0,15
Landen (Limburg)	2-5	5-1	0,25	0,2
Panisel (W.-VI)	0,5-3	2-1	0,25	0,2
5. Fijn zand gemiddeld zand				
Brusseliaan	3-15	5-1	0,25	0,2
Miocene zanden	10-15	1	0,3	0,2-0,25
Zanden van Diest	10-15	1	0,3	0,2-0,25
Zanden van Mol	10-20	1	0,3	0,25
Zanden Van Merksplas	10-20	1	0,3	0,25
6. Gefissureerde massieven				
Krijt, Senoon, Maastricht-gesteente (vooral Limburg)	0,5-10 (>120)	-	-	-

(*) beïnvloed door getijden en zoute interfase
i = grondwaterverhang (m/m)

† © Vito, J. Patyn

Figuur 6: Globale richtwaarden voor enkele hydraulische parameters voor bekende geologische lagen in Vlaanderen (Vito, J. Patyn)

lokaal niveau blijken er lokaal grote verschillen te bestaan (17). Stalen die op enkele tientallen centimeters van elkaar genomen worden, kunnen sterk verschillen. Dit kan men toewijzen aan tal van factoren zoals de aanwezigheid van macroporiën, breuklijnen ... (18). Maar ook beschadigingen bij de staalname kan leiden tot overschatting van de Ksat waarden. Over het algemeen verschillen de laboresultaten sterk van deze van veldmetingen en zijn de waarden die bepaald werden in het labo groter dan deze die experimenteel bepaald werden met infiltratietesten in het veld. De totale doorlaatbaarheid van een bodem is immers afhankelijk van het gehele bodemprofiel, terwijl een staalname daar slechts een laagje van neemt.

Tenslotte kan men Ksat ook experimenteel bepalen in het veld door een zogenaamde slug-test uit te voeren op een concrete peilbuis. Men pompt de peilbuis leeg en meet vervolgens hoe snel het water vervolgens stijgt en terug een evenwicht bereikt. Ofwel voeg je een gekende hoeveelheid water toe aan de peilbuis en meet je hoe snel het waterpeil terug zakt. Je kan de datalogger laten zitten. Dergelijke testen vertellen iets over de porositeit van de bodem en de kweldruk die aanwezig is. Uit deze curve kan men Ksat afleiden. Dit kan best gebeuren door experts. Er bestaan formules en software (20,21) om de resultaten van deze testen om te rekenen naar hydraulische doorlaatbaarheid. Deze testen kunnen echter onbetrouwbaar zijn als de peilbuis lekkage vertoont (22). De goede plaatsing van een kleistop op de juiste diepte bij het installeren van een peilbuis is daarbij essentieel.

Als je dit toepast op meerdere peilbuizen, kan grondwaterstroming ook in een model gesimuleerd worden. Voor goede inschattingen van grondwaterstroming heb je al snel een heel aantal metingen en meetpunten in peilbuizen nodig. Wil je grondwaterstroming rechtstreeks meten, heb je geavanceerde sensoren nodig. Een iFlux sensor, die ook reeds werd toegepast binnen Water.Land.Schap project (innovatieve meettechnieken), meet de grondwaterstroming rechtstreeks in de bodem en dit in real-time. Je kan er niet enkel de stromingssnelheid, maar ook de veranderingen in stromingsrichting mee meten. De stromingssnelheid is een belangrijke parameter. Net zoals in waterlopen, zegt een waterpeilmeting niets over het debiet. En het is de grondwaterstroming naar

lagergelegen moerassen en waterlopen die belangrijk is voor de voeding van die systemen.

Om dit te duiden nemen we als voorbeeld een moerasgebied met kwelafhankelijke vegetatie dat te lijden heeft onder dalende watertafels. We kunnen als herstelmaatregel zorgen dat het gebied minder verdroogt door minder te draineren. Anderzijds kunnen we bijvoorbeeld ook ontharden of zorgen voor omvorming van bos naar heide in het infiltratiegebied. Het versterken van de grondwateraanvulling zal wellicht ook leiden tot hogere waterpeilen, maar vooral ook een sterkere aanvoer en dus hogere grondwaterstroming. De grondwaterstroming naar een waterloop of moerasgebied zegt dus meer dan enkel de peilen. Grondwaterstroming is daarbij een systeemindicator die iets zegt over de intrinsieke hydrologische gezondheid. Een sterke grondwaterstroming zorgt voor een hoge basisvoeding van de waterlopen met een verminderd risico op lage debieten. Het zal er ook voor zorgen dat grondwaterpeilen in veengebieden minder snel wegzakken bij hittegolven.

3.2.4. Moeilijkheden bij grondwatermetingen?

Op plaatsen waar het grondwaterregime sterk verstoord is door de aanwezigheid van grondwaterwinningen en al dan niet opgestuwde waterlopen en grachten, is het bepalen van een (natuurlijk) grondwaterregime zeer moeilijk tot onmogelijk. De patronen worden dan immers sterk beïnvloed door het beheer van pompen en stuwen.

Zonder een doorgedreven monitoring van de opgepompte debieten en het beheer van stuwen en peilen, zullen ook SWAP-modellen hier totaal de mist in gaan. Dit is ook de reden waarom de meetpunten voor het grondwatermeetnet van DOV op eerder onverstoorde locaties liggen. De implicatie daarvan is dat het grondwatermeetnet goed in staat is om de impact van neerslagoverschotten (en tekorten) in te schatten, maar misschien de ernst van de situatie onderschat op plaatsen waar wél veel winningen aanwezig zijn. Bemeten van debieten (en waterpeilen) op kleine grachten en waterlopen

3.3 BEMETEN VAN DEBIETEN EN WATERHOOGTE

Het debiet en de waterhoogte in grachten en waterlopen is belangrijke informatie voor de dimensionering van bepaalde ingrepen zoals verontdieping, herprofilering, plaatsen van stuwstukjes en knijpconstructies. We willen immers maximaal water ophouden zonder dat het risico op schade door wateroverlast al te groot wordt. Naast inzicht in minimale en maximale debieten/waterpeilen willen we ook kennis over de reactie van peilen en debieten op neerslagevents (bij afstroming) en grondwaterpeilen (bij drainage).

In dit deel geven we een beknopt overzicht van de beschikbare technieken en hun relevantie ten aanzien van de opgaven binnen het Blue-Deal programma. Voor meer gedetailleerde informatie verwijzen we naar het handboek “Debietmetingen in open waterlopen” (23).

Het bemeten van waterpeilen (H) is relatief eenvoudig. Met behulp van een peilbuis en datalogger die men in de waterloop plaatst, kan men waterpeilen bemeten. Het meten van debiet (Q) op waterlopen is echter niet eenvoudig. Men moet immers de stroomsnelheid meten én de doorsnede van doorstroming.

De stroomsnelheid (v) is echter niet overal gelijk en de doorsnede (A) verandert met het waterpeil. Zeker voor waterlopen met een goede structuurkwaliteit – dus veel variatie in diepte, aanwezigheid van wortels, dood hout, waterplanten – is dat niet eenvoudig. Vaak zoekt men naar een stuk waterloop waar er minder variatie is. Kunstwerken zoals bruggen, stuwen, duikers zijn meer geschikt voor permanente metingen. Hier gebruikt men vaak akoestische doppler meetinstrumenten voor het bemeten van de stroomsnelheid. Voor limnigrafen (meetstations voor debieten) is er op basis van metingen een Q/H relatie bepaald. Men kent dus voor een bepaalde opvoerhoogte (waterpeil H) de exacte doorsnede (A) en stroomsnelheid (v). Dat gebeurt vaak aan kunstwerken,

waar de doorsnede een strakke geometrische vorm heeft en er geen vegetatie of wortels aanwezig zijn – en de stroomsnelheid quasi overal gelijk is. Voor stuwen kan er vaak ook een betrouwbare Q/H relatie bepaald worden. Sommige stuwen zijn voorzien van een welbepaald type overloopsysteem zodat deze Q/H vooraf relatie gekend is en men dus enkel het waterpeil moet meten om het debiet te bepalen. Hier gaan we verder op in bij het deel rond monitoring van stuwen.

Het is echter ook waardevol om debieten te kunnen bemeten vooraleer men een stuw plaatst – zodat je deze correct kan dimensioneren. Het bepalen van debieten en Q/H relaties op een waterloop of gracht met eerder grillige dimensies is echter niet eenvoudig. Voor kleinere waterlopen kan het plaatsen van een meetgoot (Figuur 7) echter wel een oplossing bieden.



↑ © Royal Eijkelkamp

Figuur 7: Meetgoot Eijkelkamp (24)

↓ Mechanische stroomsnelheidsmeter



↑ © Royal Eijkelkamp

↓ Elektronische stroomsnelheidsmeter



Figuur 8: mechanische en elektronische stroomsnelheidsmeters (Eijkelkamp).

De meetgoot creëert een plaats waar deze Q/H relatie al exact gekend is door de vorm van de meetgoot. De meetgoot meet het waterpeil voor de goot met een datalogger en men kan deze metingen, na uitlezing, met enkele klikken omzetten naar debieten. Meetgoten zijn echter wel gevoelig voor verstoppingen (bladval) en ijsvorming. Best dus voldoende stroomopwaarts een bladvang plaatsen (met kippengaas) en bij vrieskou de installatie tijdelijk ontkoppelen. De datalogger kan bij hevige vorst immers stukvriezen. Ook moet de benedenstroomse kant van de meetgoot vrij kunnen uitstromen. Wanneer er zich achter de meetgoot een obstructie van de waterstroming voordoet, zal de meetgoot overstromen en krijg je enorme overschattingen van het debiet. De meetgoot wordt dus best zo geplaatst dat deze fungeert als een kleine stuw, waarbij het waterpeil voor en na de meetgoot best een peilverschil van 5-10 cm heeft. Men heeft meetgoten van verschillende dimensies (0.1 liter/seconde tot 150 liter/seconde).

Wanneer men liever stroomsnelheid en waterpeil meet om zo een Q/H relatie te bepalen, kan men dus enerzijds waterpeilen meten door een volledig geperforeerde peilbuis met datalogger in de gracht/waterloop te plaatsen. De doorsnede – het dwarsprofiel van de beek – kan met een meetstok opgemeten worden. De stroomsnelheid kan gemeten worden met een stroomsnelheidsmeter. Er bestaan relatief goedkope

meetsystemen die werken met een propeller. Er bestaan goedkopere mechanische meters (25) en duurdere elektronische versies (26).

De stroming doet de propeller draaien en dit genereert via een dynamo een elektrisch signaal dat omgerekend kan worden naar stroomsnelheid. De meter van Eijkelkamp kan bijvoorbeeld stroomsnelheden van 0.025 tot 10 m/seconde meten. Maar op een doorsnede van 0.25 m² (50*50 cm) is een stroomsnelheid van 2.5 cm per seconde nog steeds 6.25 liter per seconde, wat op dagbasis gelijk staat aan 540 m³ water. Dus lage stroomsnelheden onder de detectielimiet kunnen best nog wel relevant zijn. Zeker in de winter wanneer de waterlopen hoog staan en het water in de grachten ook hoog staat, lijkt het water in de grachten bijna stil te staan. De zeer beperkte stroomsnelheid staat door de hoge standen echter gelijk aan een hoog debiet.

Er bestaan ook akoestische debietsmeters. Deze werken met het dopplereffect – het effect waarbij je observeert dat de sirene van een passerende brandweerwagen schijnbaar verandert tijdens het voorbijrijden. De dopplermeter stuurt een signaal uit en dat wordt weerkaatst door het water. De verandering van dat teruggekaatste signaal is een graadmeter voor de stroomsnelheid. Deze techniek wordt ook toegepast voor snelheidscontroles in het verkeer. Er bestaan debietsmeters die je in het veld kan gebruiken.

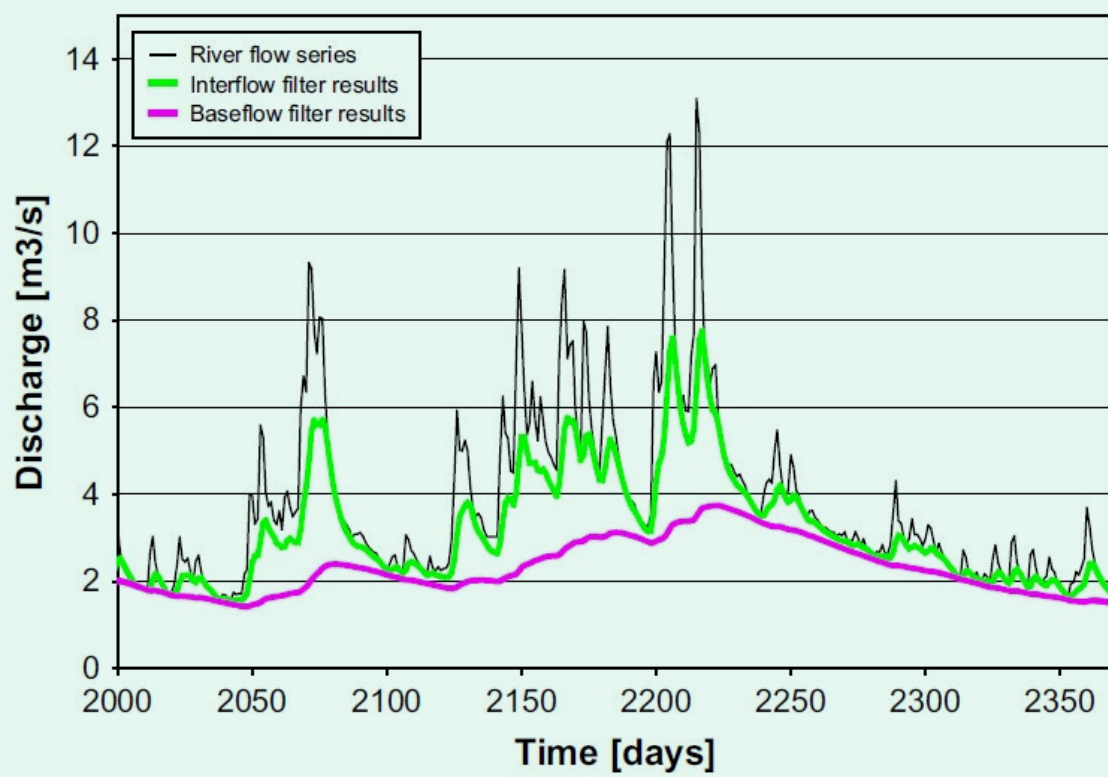
Er bestaand uiteraard nog vele andere technieken, maar dat zou ons te ver leiden. Voor meer gedetailleerde informatie verwijzen we naar het handboek "[Debietmeten in open waterlopen](#)" (23).

Wat is nu de relevantie van het meten van debieten en Q/H relaties??

Het monitoren stelt ons in staat om de ingrepen correct te dimensioneren. Niet enkel om ervoor te zorgen dat er bij noodsituaties toch voldoende doorvoer is, maar ook om ervoor te zorgen dat er daadwerkelijk water wordt vastgehouden. Bij het opstuwen van een infiltratiegracht zal er een toename zijn van het volume aan water en het contactoppervlak waar infiltratie kan plaatsvinden (wanden + bodem). Maar als er toch nog afvoer is (bv. knijpstuw) en de verblijftijd van het water in de gracht laag is, zal de daadwerkelijke infiltratie tijdelijk en dus beperkt zijn. Als we debieten én volumes kennen, kunnen we ook uitspraken doen over deze verblijftijden en de netto infiltratie becijferen. Bij een lage verblijftijd, zal het effect op grondwateraanvulling bijna verwaarloosbaar zijn. Knijpconstructies met een gat of sleuf onderaan, hebben in de praktijk weinig tot geen effect op grondwateraanvulling. De hydraulische conductiviteit bij verzadigde bodems – wat we kunnen aannemen na enkele uren – is vaak erg beperkt en er is onvoldoende tijd om het water te infiltreren.

Bij de evaluatie van bepaalde ingrepen/maatregelen wordt het belang of het gebruik van debietsmetingen verder toegelicht.

Naast de praktische toepassingen in verband met het dimensioneren van ingrepen, kan een structurele langdurige meetreeks van waterloopdebieten ook inzicht geven in het cumulatief effect van maatregelen op niveau van een stroomgebied. Men kan debietsmetingen onderwerpen aan een deelstroomanalyse. Dat is een filtermethode die debieten opdeelt in een traag basisdebiet, een matig snelle tussenstroom (interflow) en oppervlakte-afstroming. De deelstroomanalyse WetSpro (27) die ontwikkeld werd door KULEUVEN maakt gebruik van de kennis dat tijdens droge perioden het afstromingsdebiet exponentieel daalt. Te vergelijken met een watertank die leegloopt via een kraantje – het niveau van het water zal eerst snel dalen om vervolgens steeds trager leeg te stromen. Men kan ook rivierdebieten als het ware terugrekenen om zo een recessieconstante te berekenen – dat is dan een maat die virtueel overeenkomt met de grootte van het kraantje onderaan de watertank. Hoe groter het kraantje – hoe sneller de watertank leegloopt. De recessieconstante kan berekend worden voor verschillende tijdvensters. Hoe lager de recessie-constante voor de daling van het basisdebiet – hoe langer het ook zal duren vooraleer het grondwater uitgeput is. De recessieconstante voor interflow en baseflow is dus een prima systeemvariabele (28) Als er op grote schaal maatregelen genomen worden in het rivierbekken, zou dat zich moeten vertalen in een minder steile recessie constante (de debieten dalen dan minder snel bij droogte).



↑ © Patrick Willems

Figuur 9: Filterresultaten van de basisafvoer en interflow voor een winterperiode, voorbeeld Grote Nete Varendonk

3.4 BEMETEN VAN BODEMVOCHT

Bodemvochtmetingen kunnen inzicht geven naar verschillende effecten die we beogen met droogte maatregelen. De effecten van stuwpeilbeheer, verhogen van bodemorganische koolstof en irrigatie vertalen zich volgens de theorie immers naar een verhoogd bodemvochtgehalte.

Bodemvocht kan gemeten worden door een klassieke staalname met een kopecky ring. Vervolgens kan men het staal – met gekend volume – wegen en drogen. Het verschil in gewicht kan dan toegeschreven worden aan bodemvocht. Bodemvocht kan men ook meten met sensoren die een elektro-magnetisch (EM) signaal doorheen de bodem sturen. Een vochtige bodem beïnvloedt het EM signaal sterker dan een droge bodem (de golfsnelheid en amplitude van het signaal nemen sterker af in een vochtige dan in een

droge bodem). Uiteraard zal het bodemtype (klei en organische stofgehalte, bodemdichtheid) ook het EM signaal beïnvloeden zodat voor zeer accurate metingen een kalibratie nodig is. Dat is niet altijd praktisch haalbaar. Niettemin kunnen we stellen dat op een bepaalde locatie, men relatieve verschillen en evoluties in bodemvocht goed kan meten – ook met minder nauwkeurige metingen.

Vaste bodemvochtsensoren genieten de voorkeur voor lange-termijn metingen waarbij men onderzoek doet naar de variabiliteit en de reacties van bodems op neerslag- en droogtecycli. Deze kunnen ingegraven worden voor metingen in de diepte. Er bestaan tal van modellen met verschillende precisie en levensduur (Figuur 10).

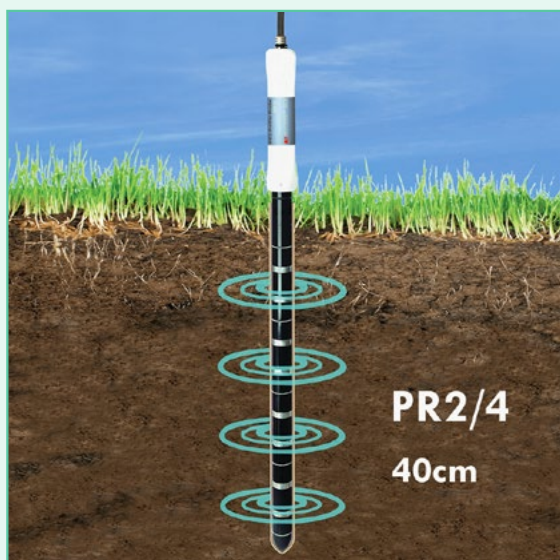


↑ © Ferrarezi, R.S.; Nogueira, T.A.R.; Zepeda SGC. Performance in Soil Moisture Sensors in Florida Sandy Soils. Water 2020.

Figuur 10: Verschillende modellen van bodemvochtsensoren (29)

Een andere optie bestaat erin om meetprobes te gebruiken (Figuur 11). Deze breng je in de bodem en vervolgens kan je het meetresultaat uitlezen. Als je herhaaldelijk op een eenzelfde locatie wil meten kan het handiger zijn dat je een meetprobe gebruikt die je in een meetbuis plaatst. Deze meetbuis is een cilinder van glasvezel die je permanent inbrengt in de bodem. De sensor wordt dan tijdelijk in de meetbuis geplaatst. De meeste van dergelijke sensoren meten bodemvocht en temperatuur op verschillende diepten (intervallen van 10 -15 cm). Er bestaan probes en bijhorende meetbuizen van verschillende lengte.

Tenslotte kan het ook nuttig zijn om op grote schaal bodemvocht en bodemtemperatuur te bemeten. Maar er moet natuurlijk goed nagedacht worden over de plaatsing van dergelijke sensoren. De ruimtelijke variatie in bodemvocht kan net als voor andere bodemparameters zeer groot zijn. Het bodemtype is erg bepalend en daarnaast kan de blootstelling aan zonneschijn (schaduw) en de aanwezigheid van planten bijkomende variatie verklaren. Idealiter meet men op voldoende plaatsen over een gans perceel zodat men dergelijke factoren kan uitmiddelen bij de analyse.



↑ © Delta-T devices
web: delta-t.co.uk

Figuur 11: Meetprobe voor bodemvocht (Copyright Delta-T devices,
<https://delta-t.co.uk/>)

Waarom bodemvocht meten?

Bodemvocht is uiteraard belangrijk voor gewassen en vegetatie. Het laat zien hoe droog de bodem is en meetreeksen kunnen je vertellen hoe snel de bodem uitdroogt bij neerslagtekort. Het bodemtype is erg bepalend voor de gevoeligheid van bodems. Klei en leembodems drogen veel trager uit dan een zandbodem. Maar ook het gehalte aan organische stof maakt een verschil. In bodems met veel organisch materiaal is er simpelweg meer plaats voor lucht en water dan in een bodem die een laag gehalte heeft aan organisch materiaal. Het organisch materiaal zelf zal immers ook water opnemen. Wanneer men op een wetenschappelijke wijze de impact wil onderbouwen is het wel nodig om voldoende metingen te doen. Er is immers een hoge variabiliteit in bodems – zelfs in landbouwbodems. Gewasresten zijn bijvoorbeeld erg ongelijk verdeeld in de bodemmatrix. Om de verschillen en effecten van bodembeheer in te schatten, is het aangewezen om ook bodemstalen te nemen. Bij voorkeur neemt men stalen voor men overgaat tot een ander bodembeheer en vervolgens kan men dit opvolgen in de tijd. Deze metingen kunnen dan inzicht geven in de relaties tussen korrelgrootte (textuur), bulkdensiteit, doorlaatbaarheid, vochtretentie, organische stof, koolstofgehalte ...

In veel landbouwbodems is de bodemtextuur onder de ploegzool anders zijn dan boven de ploegzool. Dit verschil in bodemtextuur beïnvloedt ook het bodemvochtgehalte. Bodemvochtmetingen kunnen ook gebruikt worden om na te gaan of er zich boven op een gecompacteerd laag een waterverzadigde laag opbouwt. Dit kan je doen door tijdreeksen van bodemvochtmetingen te analyseren. Analoog aan peilmetingen in een rivier die buiten haar oevers treedt, komen verzadigde bodemvochtcondities overeen met een abrupt afbreken van de stijging van de vochtgehalten die daarna constant op een hoog niveau blijven. Anderzijds volstaat het om een meetbuis van 40-50 cm in te brengen tot op de gecompacteerd laag (zonder deze te doorbreken) en te meten of dat fenomeen zich daadwerkelijk voordoet. Idealiter meet men ook bodemvocht onder de gecompacteerd laag, maar het plaatsen van een meetbuis of andere sensoren doorbreekt de compacte laag waardoor deze per definitie waterdoorlatend wordt.

Interpretatie van metingen?

Er bestaat ontzettend veel literatuur over bodemvocht in agronomische context. Beschikbaar bodemvocht is immers cruciaal voor landbouwgewassen. We willen hier niet al te diep ingaan op landbouwkundige aspecten. In zekere zin willen we dat bodems vooral goed infiltreren en grondwatervoorraden aanvullen. Bodemcompactie kan bijvoorbeeld leiden tot een hoger bodemvochtgehalte (omdat het water niet infiltreert), maar dus ook tot meer verdamping (en zelfs afstroming) en dat ten koste van grondwateraanvulling. Gedegradeerde bodems (met een abnormaal hoge bulkdensiteit) bevatten minder bodemvocht (ml/cm^3), maar houden dat weinige water relatief goed vast. Na uitdroging, nemen ze ook langzamer vocht op en ze warmen langzamer op dan minder sterk verdichte bodems. Wat initieel misschien positief lijkt voor de start van het groeiseizoen kan ook negatief uitdraaien aangezien de schaarse zomerneerslag verloren gaat aan directe verdamping omdat het niet diep kan indringen. Een zeker gehalte aan bodemorganische stof zal de waterhuishouding van de bodem aanzienlijk verbeteren.

Een optimaal gedrag van bodemvocht is dat er een vlotte verdeling is van bodemvocht doorheen het bodemprofiel. Vanuit het watersysteem beschouwd zijn we vooral geïnteresseerd of bodems snel hun bodemvocht kunnen herstellen na droogte.

Het extreem uitdrogen van bodems is een groeiende bezorgdheid voor de landbouw. De waterafstotendheid (hydrofobiciteit) van bodems is een eigenschap met belangrijke gevolgen voor de plantengroei, de hydrologie en voor bodemerosie. Extreme droogte kan ertoe leiden dat bodems hydrofoob worden. De waterafstotendheid van de bodem wordt veroorzaakt door organische

verbindingen die afkomstig zijn van levende of ontbindende planten of micro-organismen. Ze worden waterafstotend waardoor water moeilijk kan infiltreren. Dit kan bij extreme neerslag na droogte leiden tot afstroming omdat het water niet kan indringen in de bodems. Wanneer er voldoende micro-reliëf is zal het water zich verzamelen en via preferentiële infiltratie een weg vinden naar de ondergrond. Men kan dus tegelijk plasvorming/afstroming hebben en quasi geen herstel van het bodemvochtgehalte.

Het plaatsen van meetprobes tot 120 cm voor lange termijn monitoring kan hier inzicht geven in het ontstaan en remediëren van dergelijke processen.

Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van maatregelen is het essentieel om lokale weergegevens te verzamelen. Men kan hiervoor gebruik maken van een weerstation dat alle parameters zoals neerslag, luchtvochtigheid, temperatuur en wind registreert. Neerslag is evenwel dé belangrijkste parameter om te bemeten. Neerslag kan immers lokaal sterk verschillen, dus regionale weerstations zijn hier niet adequaat. Men kan daarom ook besluiten om enkel pluviometers te plaatsen. Bodemvochtmetingen moeten gepaard gaan met een karakterisatie van de bodem tot op een diepte van minimaal 50 cm (bulkdensiteit, koolstofgehalte en korrelgrootte).





Werking en monitoring van terrein- maatregelen

4. Werking en monitoring van terreinmaatregelen

4.1 INLEIDING

In dit deel beschrijven we hoe maatregelen werken. Deze kennis is onontbeerlijk voor een zo effectief mogelijke implementatie van de maatregel. De logica achter een maatregel wordt bekeken vanuit het watersysteem. We beschrijven waar en hoe de maatregel ingrijpt op het functioneren van het watersysteem. Vanuit dat perspectief formuleren we aanbevelingen voor monitoring.

We bespreken de meest voor de hand liggende maatregelen die genomen worden in de Blue Deal projecten. We lichten de principiële werking van de maatregel toe en behandelen eventueel aspecten met betrekking tot plaatsing in het landschap en beheer. De locatie en het beheer kunnen immers grote invloed hebben op de effectiviteit van de maatregel. Dergelijke aspecten worden idealiter ook mee opgenomen in de monitoring.

Het plaatsen van stuwen of drempels op grachten:

De effectiviteit is sterk afhankelijk van het waterregime in de gracht en het beheer van de stuw. We maken onderscheid tussen infiltratiegrachten en drainerende grachten. We bespreken een aantal soorten stuwen en de voor- en nadelen van deze stuwen voor monitoring. Tenslotte tonen we een voorbeeld van een mogelijke setup voor monitoring.

Het werken aan bodemkwaliteit: bodems met een slechte structuur kunnen moeilijker water infiltreren en genereren mogelijk afstroming. Dat kan zelfs in vrij vlakke gebieden leiden tot plasvorming en schade aan gewassen. Zelfs als deze plasvorming niet leidt tot afstroming, kan het wel leiden tot infiltratieverliezen door verhoogde verdamping. We bespreken welke bodemparameters er van belang zijn en geven extra aandacht aan diepere bodemcompactie. Infiltratietesten en bodemparameters worden kort beschreven om tenslotte een aanbeveling te maken inzake een minimale monitoring.

Wadi's in het buitengebied: Het is niet altijd mogelijk om op korte termijn te ontharden of bodemkwaliteit te verbeteren. Afstroming zal dus nog een lange tijd plaatsvinden en wellicht zelfs frequenter worden met de klimaatverandering. Er is immers een trend dat een steeds groter aandeel van de jaarlijkse neerslag in korte en/of aaneengesloten perioden valt. Daarom moeten we natuurlijke potenties in het landschap voor waterberging benutten. Ook hier kan men met een eenvoudige monitoring inzicht verkrijgen in de effectiviteit.



Structuurherstel van beken en grachten: De doelstelling is hier tweeledig. Door structuurherstel kan men een natuurlijke retentie bewerkstelligen én tegelijk ook meer kansen bieden voor ecologische veerkracht. Ten eerste kan men de afvoercapaciteit – en dus ook de retentiecapaciteit – fysisch peilafhankelijk maken van het waterpeil door een zomer-winterbedding. Dit stimuleert een tweede orde effect waarbij vegetatie een bijkomende natuurlijke retentie kan bewerkstelligen. Ten derde zal een variatie in diepte en breedte zorgen voor méér kansen dat macro-invertebraten en amfibieën refugium vinden tijdens droogte. Een aantal indicatoren kunnen berekend worden – die een maat geven voor het effect van de ingreep.

Hermeandering: Hermeandering is structuurherstel op grotere schaal. Hier verlengen we de lengte van de rivier door er bochten in aan te leggen – vaak door de bedding te vergraven. Dit zou ook gepaard moeten gaan met profielaanpassingen (verontdiepen => zomer-winterbedding) en een algemene verhoging van het waterpeil. In de praktijk blijkt toch dat men hier niet altijd in slaagt. De meeste hermeanderingen die recent uitgevoerd werden zijn vooral bedoeld om vismigratieknelpunten weg te werken. Toekomstige projecten zouden meer aandacht moeten hebben voor de retentie van grond- en oppervlaktewater. Ook hier kunnen we met indicatoren en een basismonitoring, de effectiviteit bepalen.

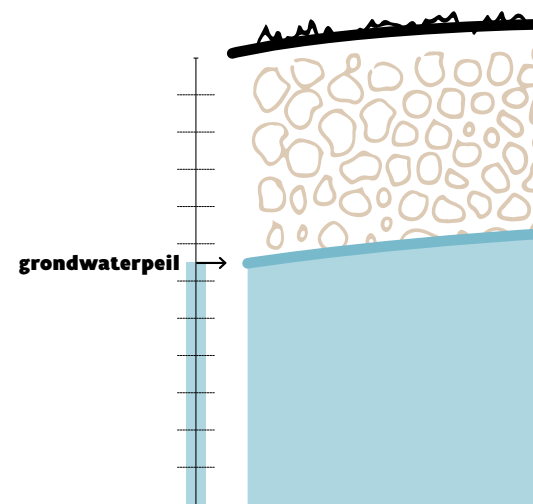
4.2 STUWEN OP PERCEELSGRACHTEN EN KLEINE BEKEN

4.2.1. Werkingsprincipes

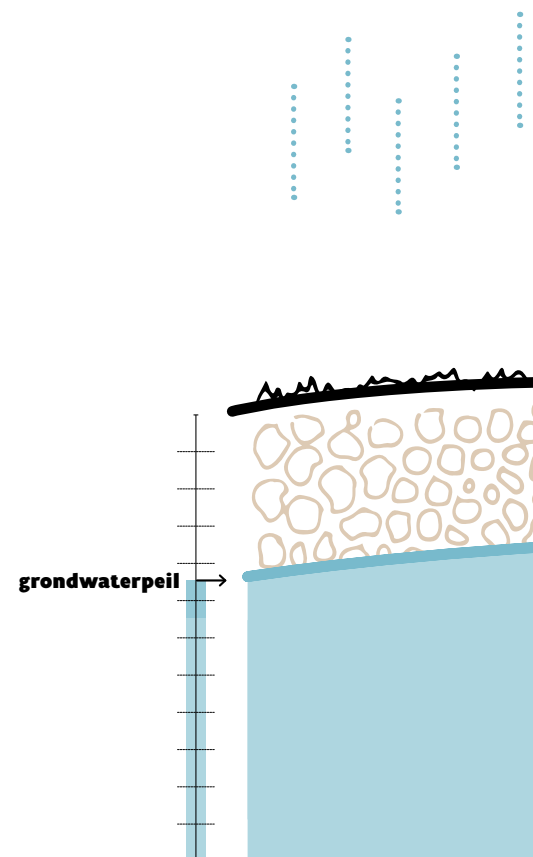
Het plaatsen van een stuw kan gebeuren op alle niet-permanent watervoerende grachten. Voor permanent watervoerende grachten is het vanuit ecologisch standpunt niet wenselijk om bijkomende vismigratieknelpunten te creëren. Men kan op permanent watervoerende grachten uiteraard wel andere maatregelen treffen zoals verhoging van de bedding door zandsuppleties of het inbrengen van hout (leaky dams) of andere vormen van structuurherstel die de stromingsweerstand verhogen. Algemeen kunnen we stellen dat het verhogen van de drainagebasis, in combinatie met een eventuele verbreding van de gracht of waterloop, de voorkeur geniet op het plaatsen van stuwen. Het verbeteren van de structuurkwaliteit heeft immers nog andere voordelen (zie ook deel 4.5).

De impact van een stuw op de waterbeschikbaarheid wordt bepaald door het beheer van de stuwhoogte in combinatie met het grondwaterregime. De bodemdoorlaatbaarheid speelt daarbij eveneens een belangrijke rol. Afhankelijk van waar in een landschap stuwen geplaatst worden (Figuur 12), zal er ook impact zijn op verschillende aspecten van het watersysteem.

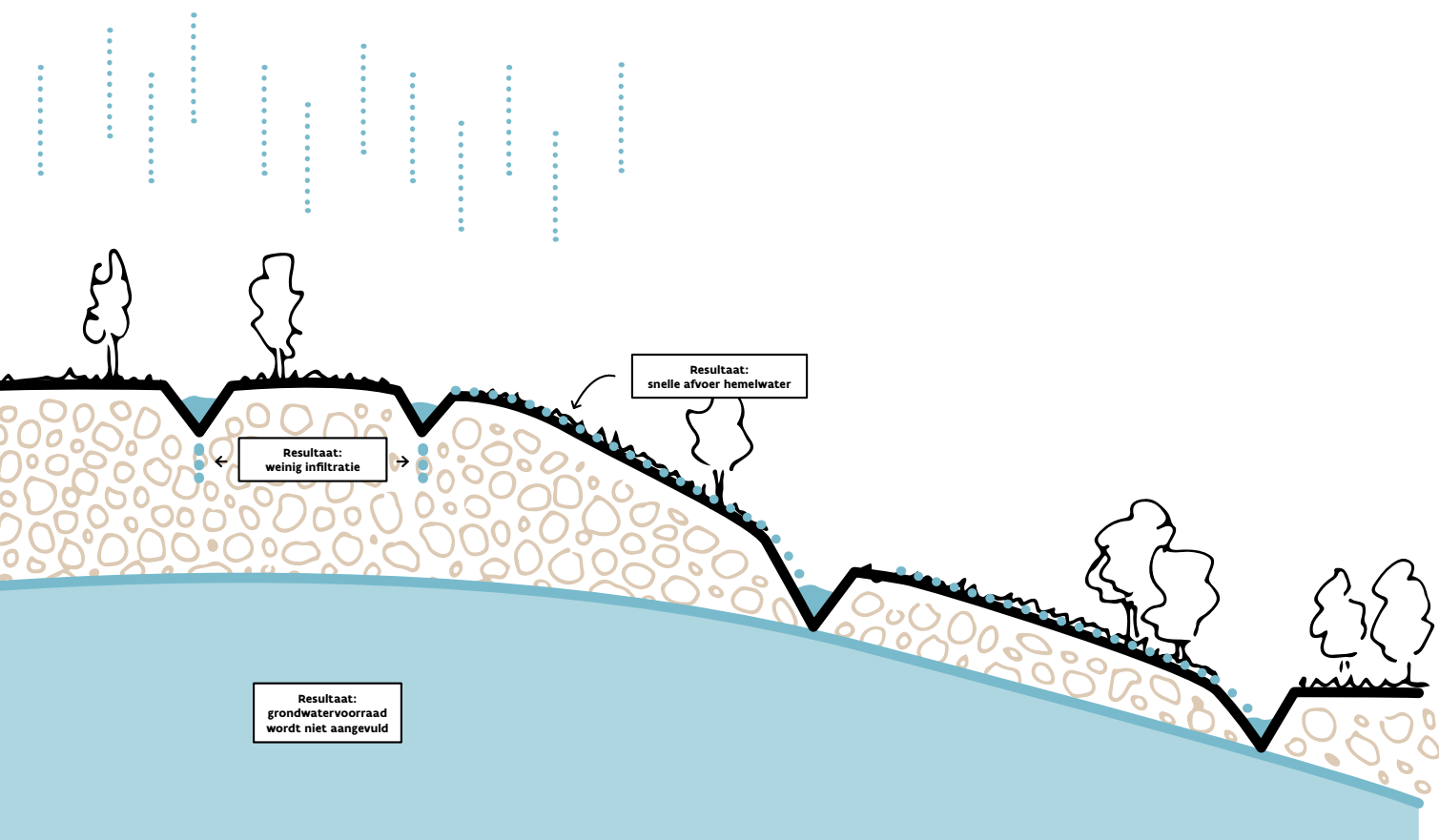
- Ten eerste kan een stuw de grondwateraanvulling vergroten wanneer het grondwaterpeil lager is dan de opzethoogte van de stuw. Deze situatie benoemen we als infiltratiegrachten. Door deze ingreep vergroten we de aanvulling (type 1).
- Ten tweede kan een stuw zorgen voor verhoogde waterbeschikbaarheid in de omgeving van de gracht wanneer het natuurlijk grondwaterpeil hoger is dan de drainagebasis van de gracht. Dit kan enkel toegepast worden op drainagegrachten. Door op te stuwen wordt de drainage opgeheven en stijgt het grondwaterpeil. Door deze maatregel verlagen we de afvoersnelheid. Neveneffecten zijn een verhoogde waterbeschikbaarheid voor planten en toenemende verdamping.
- Ten derde zijn er locaties waar het grondwater sterk fluctueert. Zeker in zandig Vlaanderen zijn er talloze landschapsdepressies waar het grondwater ondiep aanwezig is. Op deze locaties zijn er bijzondere kansen voor uitgestelde infiltratie. Tijdens natte perioden kan men ondiep grondwater vasthouden en later laten infiltreren. Tijdens een droge periode zakt het grondwater immers snel weg.



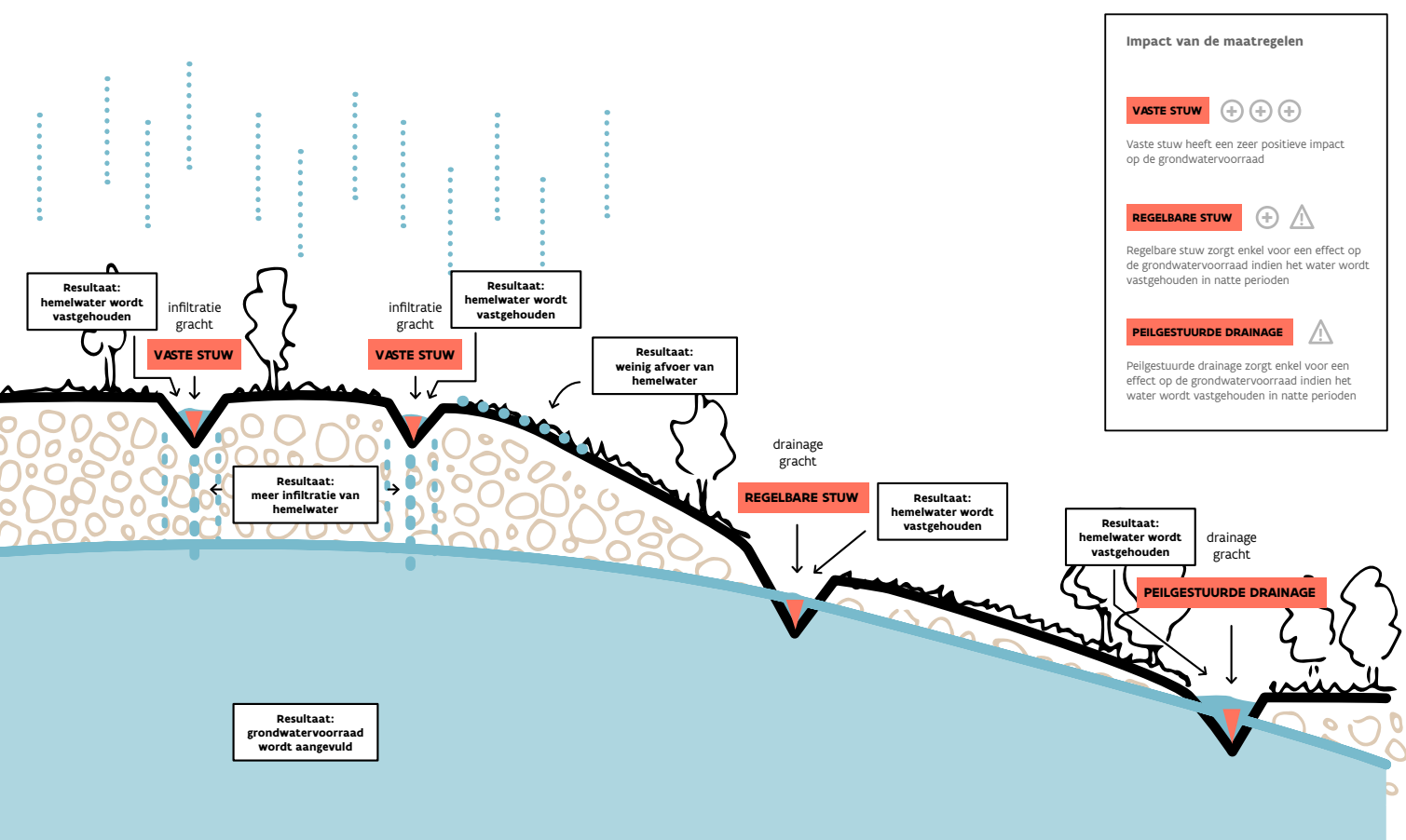
a. Zonder maatregelen:



b. Met maatregelen: Va



snelle afvoer van hemelwater dus weinig infiltratie, grondwateraanvoorraad wordt niet aangevuld.



vasthouden van hemelwater dus meer infiltratie, grondwateraanvoorraad wordt aangevuld.

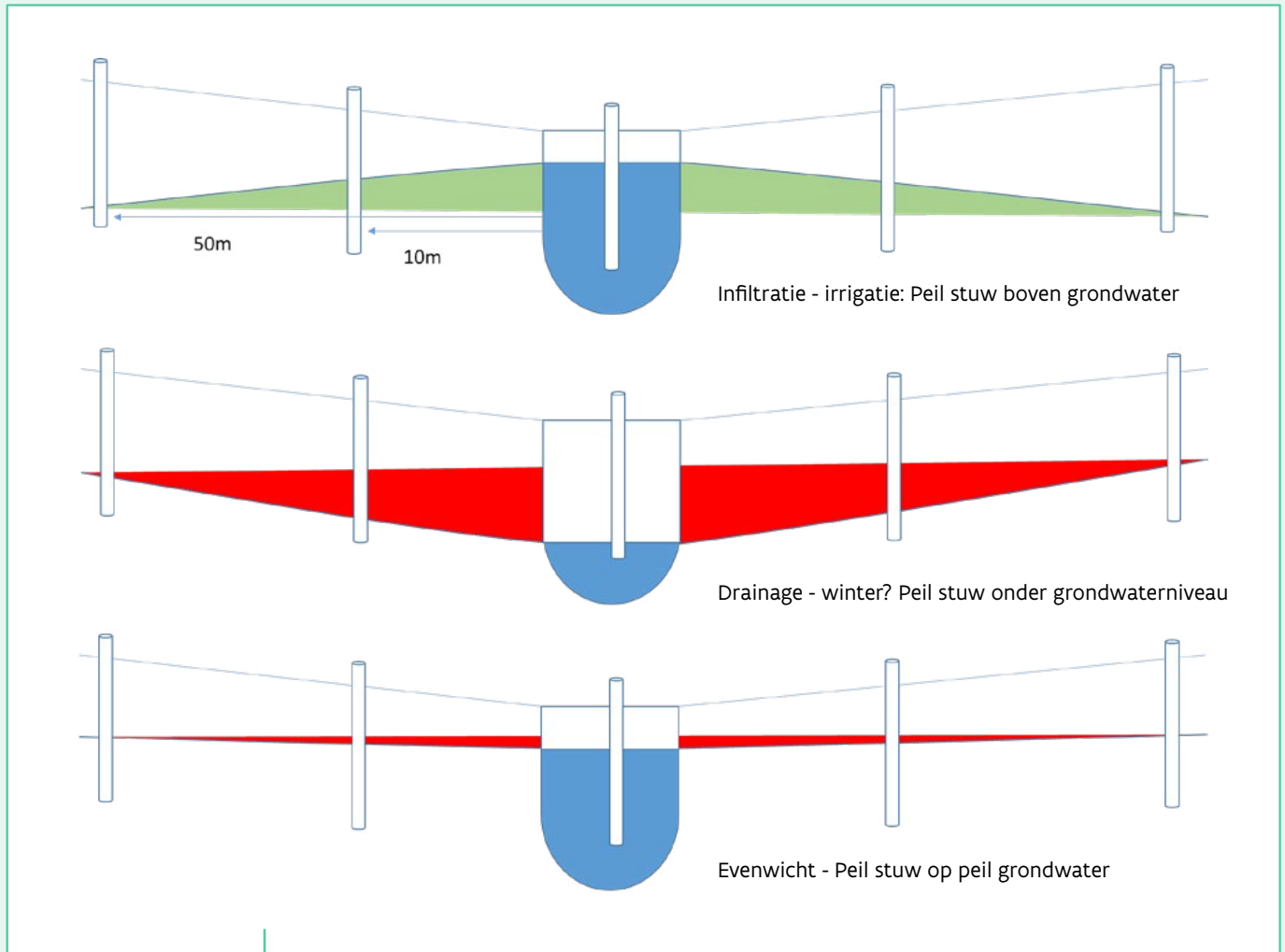
Figuur 12: Stuwen in het landschap. Stuwen of drempels op infiltratiegrachten versterken de aanvulling, terwijl stuwen op de drainagegrachten de grondwaterpeildalingen vertragen.

Bijkomend is het belangrijk om na te gaan of de grachten ook gebiedsvreemd water aanvoeren. Grachtenstelsels zijn vaak uitgebreid en voeren ook afstromingswater en/of drainagewater aan van hoger gelegen zones. Stuwbeheer vindt dan ook best gecoördineerd plaats op landschapsniveau. Wanneer individuele eigenaars stuwen gaan beheren kan dat leiden tot conflicten. Het stuwpeilbeheer is cruciaal voor de effectiviteit van de stuwen, zeker wat betreft de waterbeschikbaarheid voor het watersysteem (Figuur 12). Men neemt algemeen aan dat er een positief effect is wanneer we drainagewater (tijdelijk) ophouden. Het grondwaterpeil zal minder dalen en zelfs meestijgen met het peil in de drainagegracht. Het idee erachter is dat er zo minder water verloren gaat en dat er vooral meer water beschikbaar is in de bodem voor de waterbehoefte van gewassen later in het seizoen. Hierbij speelt het beheer van de stuw wel een belangrijke rol.

Tijdens de winter zorgt een stuw voor een verhoging van de drainagebasis. Dit leidt tot een verhoging van de grondwaterstanden en dus meer wateropslag in het systeem. Tijdens de lente, bij het openen van de stuw, vallen de grondwaterstanden lokaal snel terug tot de drainagebasis in het geval er geen stuwen zijn. Om met de trage nalevering uit de omgeving om te gaan – verder weg van de drainagegrachten, waar de grondwaterstanden nog hoog zijn – zijn er twee mogelijkheden. Ofwel laat men de stuw open staan en is er nog steeds een tragere nalevering en een verhoogd basisdebiet naar de waterlopen (in vergelijking met een situatie waarbij we in de winter niet opstuwen). Ofwel zet men de stuw dicht en verhoogt men opnieuw de drainagebasis. In dat geval zal het bepalend zijn of de grondwaterstand de verhoogde drainagebasis nog bereikt. Indien dat niet het geval is, zal er minder basisdebiet zijn naar de waterlopen en dat is niet wenselijk. Het is dus van belang om te komen tot een volledige verzadiging van het systeem, met grondwaterstanden tot boven de drainagebasis in de zomer.

Als je redeneert vanuit de positie van de waterbeheerder, zal de stuw in de winter dicht staan zodat de grondwaterpeilen zo hoog mogelijk blijven (Figuur 13, boven). De gedachte erachter is dat er zo later op het jaar meer water beschikbaar is voor de basisvoeding van de waterlopen. Voor de landbouwer is het argument echter vooral waterbeschikbaarheid voor zijn gewassen.

Stel dat men de stuw daadwerkelijk dicht zet na de oogst eind september en de velden later in het najaar blank komen te staan. De landbouwer is echter bezorgd om de toegankelijkheid/berijdbaarheid van zijn percelen en zal de stuw openzetten op het einde van de winter om in maart grondbewerkingen te doen zoals ploegen, mesten en zaaien (Figuur 13, midden). Hoeveel netto-effect blijft er nog over van al dat opstuwen tijdens de periode november-januari? Hoeveel van het opgestuwde water vloeit er alsnog weg tijdens die maand(en) dat de stuw open staat? In een ideale situatie kan men na het zaaien de stuw sluiten en zal het grondwater gelijk komen met het stuwpeil (Figuur 13, onder). Het netto-effect voor het basisdebiet van de waterloop in de zomer zal mogelijk erg beperkt zijn. Als het grondwaterpeil bij aanvang van het groeiseizoen met stuw niet hoger is dan zonder stuw, is er voor het watersysteem misschien niet veel gewonnen... Na het zaaien wordt de stuw terug dichtgezet met de bedoeling om de waterbeschikbaarheid voor gewassen te verhogen. Het drainagewater dat in april/mei nog aanwezig is, zal men inderdaad kunnen ophouden. Maar dat water zal dus ook niet meer naar de waterlopen vloeien.



↑ © Jan Staes

Figuur 13: stuwbeheer in verhouding tot grondwaterpeil. A) Bovenste toestand: de stuw staat dicht en houdt bovenstroomse aanvoer op en infiltreert dit water in de omgeving – er wordt extra aanvulling gerealiseerd B) Middelste toestand: de stuw staat open en draineert de omgeving c) Onderste toestand: de stuw staat net onder het peil van het grondwater en laat nog een klein basisdebiet door naar benedenstrooms – er wordt niet onnodig gedraineerd. Op jaarbasis moet vooral gestreefd worden naar situatie A en C.

Maar ook naar waterbeschikbaarheid zijn er meerdere vragen:

- Vraag 1: Hoe ver reikt het effect van het sluiten van de stuw op de grondwaterspiegel? Een belangrijke factor daarbij is het verhang op de drainagegrachten en dus hoe ver het waterpeil in de gracht effectief kan stijgen. Dat kunnen we opvolgen met topografie, peilbuizen en dataloggers.
- Vraag 2: Hoe groot is het effect op het bodemvochtgehalte en hoe lang reikt dit effect? Zelfs wanneer het grondwater terug wegzakt naar lagere peilen, zal het enige tijd vergen en kan het bodemvocht langer beschikbaar blijven.

Het opvolgen van waterpeilen, zowel van het grondwater als oppervlaktewater is dus van cruciaal belang. Maar peilen alleen vertellen weinig, het is nog beter als we ook debieten en grondwaterfluxen zouden meten. Zo kunnen we bepalen in welke mate stuwen werkelijk een verschil maken in de strijd tegen droogte.

4.2.2. Types stuwen en knijpconstructies

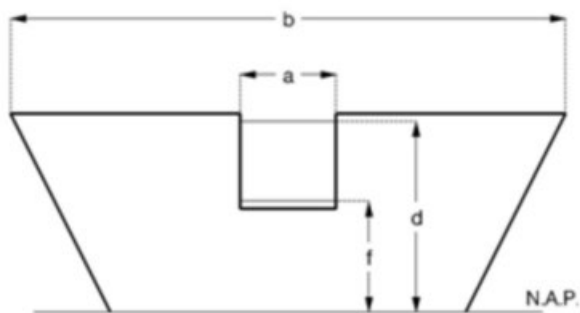
Er bestaan vele vormen en uitvoeringen van stuwen, al dan niet regelbaar. Knijpconstructies met gaten of sleuven tot onderaan zijn over het algemeen weinig effectief omdat ze het opgehouden water te snel (en volledig) laten weglopen. Dergelijke knijpconstructies zijn vaak over gedimensioneerd en zorgen hoogstens voor een afvlakking van de piekafvoer (figuur 6). Anderzijds hebben overloopstuwen met een vlakke kruinvorm (overloop) bijna geen capaciteit om piekdebieten af te vlakken. Wanneer de stuw reeds overloopt bij aanvang van het neerslagevent, zal een kleine peilstijging immers resulteren in een sterke stijging van het debiet. Daarom is een V-vormige overloop aangewezen – zodat er altijd nog een zekere bufferfunctie aanwezig is. De uitloopopening mag in ieder geval niet té laag zitten. Het is beter om

te werken met schotten of vaste drempels met een overloop/knijpconstructie. Deze kunnen immers water ophouden voor infiltratie én eventuele bijkomende pieken bufferen. Wanneer de overloop voorzien is van een gestandaardiseerde opening (Figuur 14 - V-vormig, trapezoïde of rechthoekig) kan men achteraf op basis van peilen ook de overloopvolumes berekenen (30).

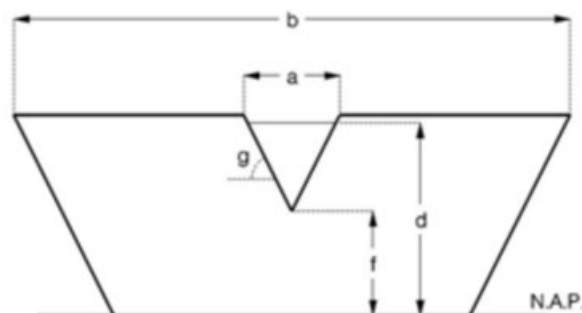
Er zijn verschillende redenen om een V-vormige overloop te verkiezen boven een vlakke of trapezoïde opening.

- De afvoercoëfficiënt voor een driehoekige inkeping is praktisch onafhankelijk van de opvoerhoogte. Dit komt omdat voor alle opvoerhoogten de verhouding tussen de opvoerhoogte en de kruin constant is. Maar bij een rechthoekige inkeping is de verhouding tussen de opvoerhoogte en kruin niet constant. Voor een rechthoekige inkeping is de afvoercoëfficiënt dus eigenlijk geen constante, maar een functie van de opvoerhoogte over de inkeping.
- Bij een kleine afvoersnelheid levert een driehoekige inkeping een grotere opvoerhoogte op dan een rechthoekige inkeping. Daarom kan de opvoerhoogte nauwkeuriger worden gemeten boven de driehoekige inkeping dan boven de rechthoekige inkeping.
- Bij een kleine uitstroomsnelheid is er kans op de vorming van een kleverige algvorming op de rand van de rechthoekige inkeping. Maar bij eenzelfde afvoer over de driehoekige inkeping zal de opvoerhoogte groter zijn en zal de vorming van zo'n rand worden vermeden.

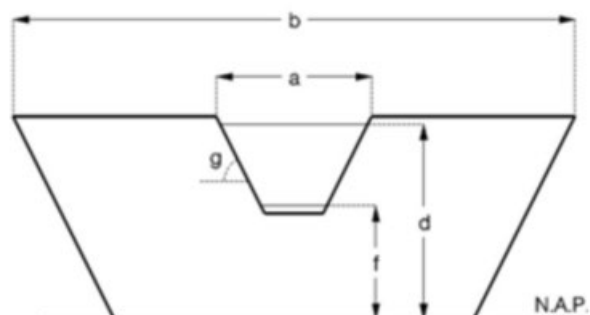
De V-vormige openingen hebben dus een meer geleidelijke toename van het overloopdebiet in functie van het peil dan de rechthoekige of trapezoïde overloop. Deze zijn daarom het meest aangewezen.



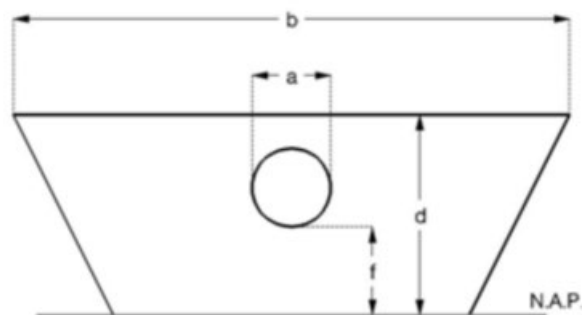
kruinvorm: rechthoek



kruinvorm: driehoek



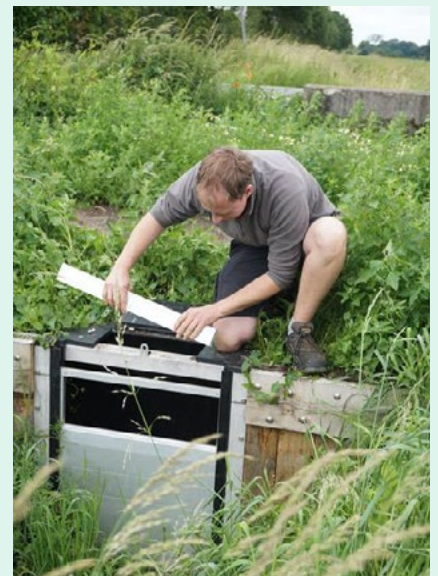
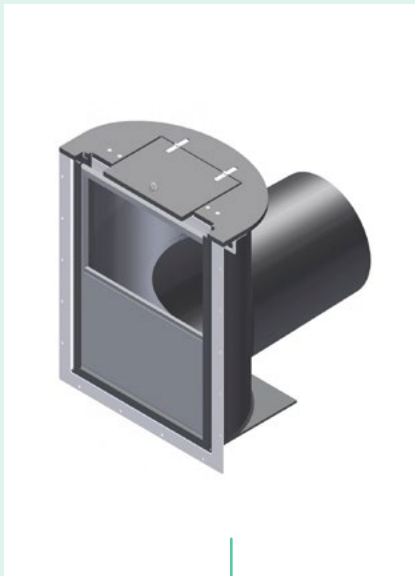
kruinvorm: trapezium



kruinvorm: cirkel

↑ © Waterschapshuis H. DAMO – Objecten-handboek: Stuw

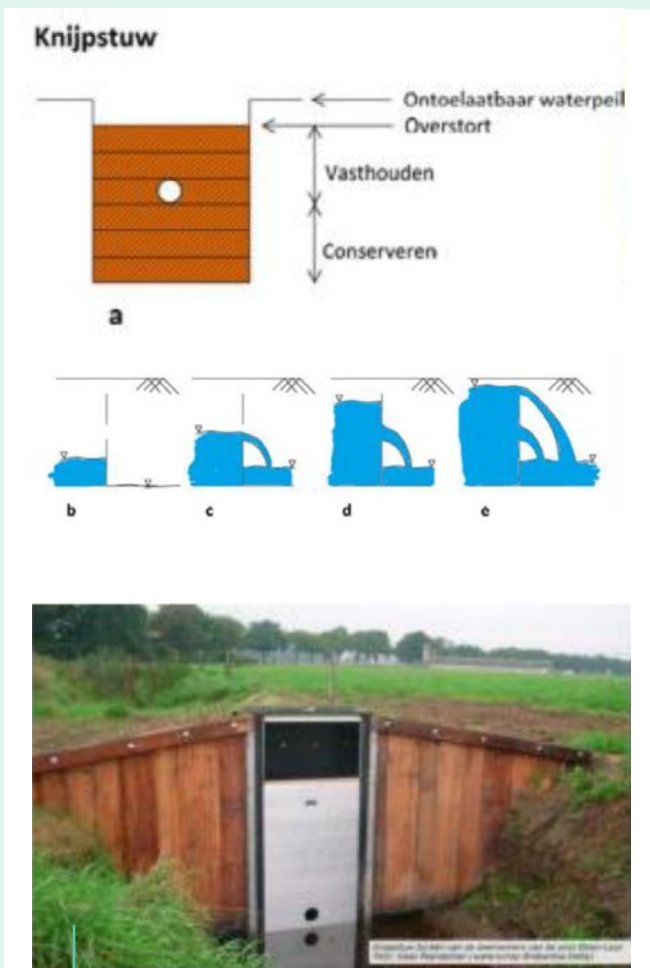
Figuur 14: verschillende soorten stuwen waarbij de kruinvorm verschilt. Aanduiding van de afmetingen: a: Doorstroombreedte – maatgevende (doorstroom)breedte van de stuw (m) b: Kruinbreedte – maatgevende breedte van de kruin van de stuw (m) d: Max. kruinhoogte - hoogst mogelijk in te stellen hoogte van de stuw (mNAP) f: Min. Kruinhoogte - laagst mogelijk in te stellen hoogte van de stuw (mNAP) g: Hoek hellende zijkant - hoek van de hellende zijkant van de stuw (31).



↑ © Huzenaas.nl

↓ © Artesia

Figuur 15: Verschillende dure uitvoeringen van (knijp)stuwen. De versie in het midden wordt afgeraden omdat deze minder effectief is naar grondwateraanvulling.



Figuur 16: Hydraulisch gedrag van een knijpstuw voor verschillende waterpeilen. Het waterconserveren wordt bepaald door de onderste opening. Bij voorkeur is er enkel een overstort mechanisme met V-profiel.

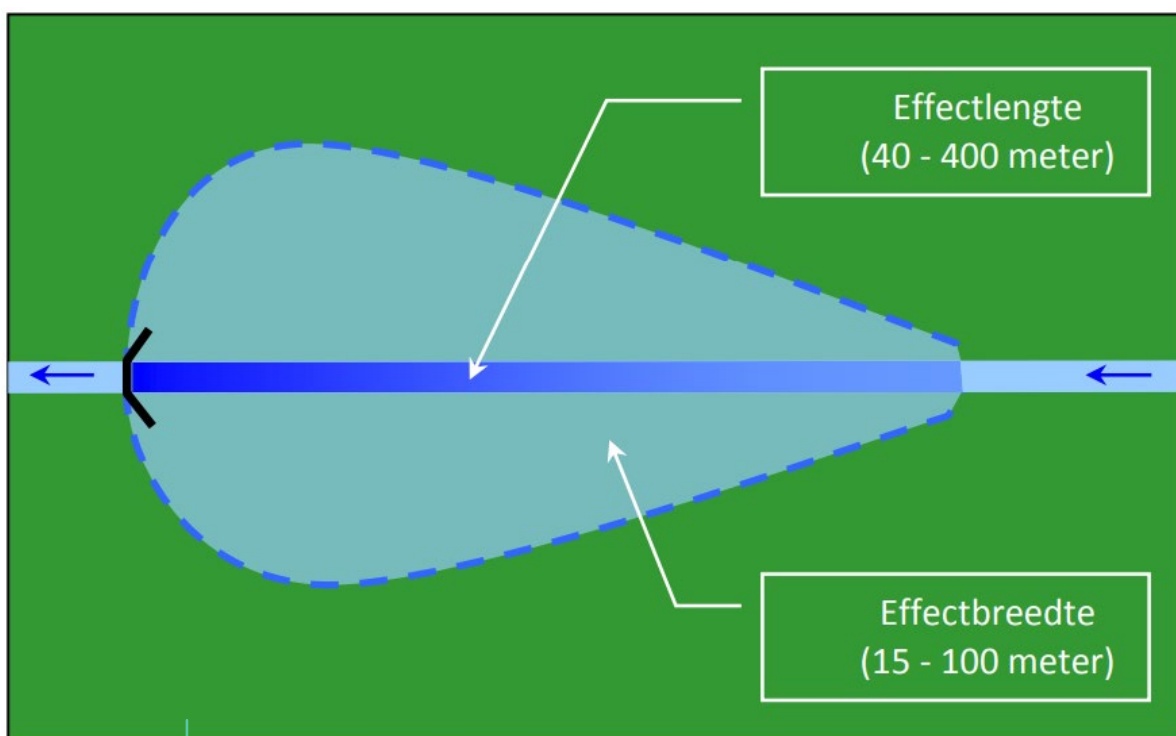
↓ © Waterschap Aa en Maas



Figuur 17: Eenvoudige en goedkope stuwen, bestaande uit een stalen rijplaten waarin men een V-vormige opening aanbrengt om piekdebieten af te vlakken.

Er bestaan zeer dure uitvoeringen in roestvrij staal of plastic – al dan niet regelbaar (Figuur 15). Maar er zijn ook zeer eenvoudige, goedkope én effectieve oplossingen. Waterschap Aa en maas werkt bijvoorbeeld met stalen rijplaten waarin bovenaan een V-vormige uitsnede aanwezig is (Figuur 17). Met een kraan duwt men deze simpelweg in de gracht. Op infiltratiegrachten zijn niet-regelbare stuwen met V-overloop aangewezen. Voor peilgestuurde drainage in vlakke valleigebieden zijn regelbare stuwen aangewezen om landbouwgebruik mogelijk te maken.

In Nederland heeft TNO (www.tno.nl) onderzoek verricht naar de effectiviteit van overloop-stuwen op drainerende grachten. Op basis van zes praktijkproeven en modellering van bijna 2000 stuwen in het Beneluxmiddengebied wordt geconcludeerd dat de effectiviteit sterk afhankelijk is van locatiespecifieke omstandigheden. De lengte waarover het verhoogde oppervlaktewaterpeil doorwerkt varieert van 40 tot 400 meter. Vanaf de sloot worden in de breedte over 15 tot 100 meter verhoogde grondwaterstanden gemeten.



↑ © Waterschap Brabantse Delta

Figuur 18: invloedssfeer van een stuw. De effectlengte hangt af van het verval van de gracht. Hoe lager het verval, hoe groter het opwaartse effect. De effectbreedte hangt dan weer voornamelijk af van de doorlaatbaarheid van de bodem én van het doorlaatvermogen van de freatische grondwatervoerende laag.

De effectiviteit van een stuw werkt daarmee door in een gebied van circa 0,5 tot meer dan 5,0 hectare. Met behulp van een stuw wordt in een jaar tijd tussen de 500 en 2.000 m³ water geconserveerd.

Dit is uiteraard een ruwe schatting. Om een meer gedetailleerde inschatting te maken, dienen we een gemiddelde peilstijging te bepalen voor de invloedssfeer (Figuur 22). Het volume van de peilstijging dient vervolgens vermenigvuldigd te worden met de specifieke opbrengst. De specifieke opbrengst is de toename aan water volume in de grondwatervoerende laag per m² en per m stijging van het grondwaterpeil voor een bepaald bodemtype of grondwatervoerende laag. Specifieke opbrengst is grotere in zandig lagen dan in bodemlagen met fijnere textuur. Maar het oppervlak waarover een peilstijging door het stuwen gemeten wordt is dan weer groter in lagen met een laag doorlaatvermogen (fijnere textuur) dan in lagen met een hoog doorlaatvermogen (grovere textuur). Dus, een groter effectoppervlak wordt ten dele gecompenseerd door een lagere specifieke berging zodat het opgestuwd volume niet evenredig toeneemt met het effectoppervlak.

Daarnaast is de retentietijd ook nog van belang. Een maximaal opgestuwd volume zal immers langzaam dissiperen door verdamping, diepe infiltratie en grondwater stroming. Hierbij kunnen we geen uitspraak doen over wat wenselijk is. Indien het opgestuwde volume verdwijnt naar diepe infiltratie is dit goed voor het watersysteem, terwijl men vanuit landbouwoogpunt vaak het tegenovergestelde beoogt en men het stuwpeil zo lang mogelijk wil behouden omwille van de waterbeschikbaarheid voor gewassen.

4.2.3. Stuwen op infiltratiegrachten

Op grachten waar het grondwater altijd beneden de bodem van de gracht zit, is het plaatsen van stuwen of drempels het meest effectief om grondwater aan te vullen. Het totale volume water dat men kan ophouden in valleigebied zal misschien wel groter zijn, maar een kubieke meter water die men kan vasthouden in infiltratiegebied zijn véél waardevoller dan een kubieke meter vasthouden in de valleien. In principe zijn regelbare stuwen hier niet nodig en kunnen er vaste drempels geplaatst worden. Afstromingswater dat de gracht bereikt zal voor een deel vastgehouden worden in het gedeelte voor de gracht en zo de tijd krijgen om te infiltreren. Maar dergelijke grachten kunnen een redelijk verval hebben en in dat geval is het nodig om op regelmatige afstand een drempel te plaatsen. Enkel het gebufferde volume kan infiltreren. De verblijftijd van het water moet in verhouding zijn tot de doorlaatbaarheid om daadwerkelijk te kunnen infiltreren. Daarom kan het ook nuttig zijn om voor de drempel of stuw, de gracht te verbreden om zo meer water te bufferen. Dat laatste is vooral belangrijk als de waterdoorlaatbaarheid van de gracht laag is. Soms is er een verdichting door ruimingswerken. Fijne sedimenten kunnen de bodem van de gracht doen dichtslibben. Wanneer men stagnerend water heeft zal er zicht een sliblaag vormen die vaak slecht doorlatend is. 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 bezinsel 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 verslechte 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 (32).

Doorworteling en bioturbatie kan dus de doorlaatbaarheid van de bodem vergroten, maar dit vereist dat er op de bodem van de gracht voldoende lichtinval is voor de vegetatie.

Wat is nuttig om te meten op grachten in infiltratiegebied?

- Meting debiet: De debieten die zich op de gracht voordoen bij hoge neerslag kunnen bemeaten worden en zijn richtinggevend voor het bergingsvolume (3.3).
- Infiltratietesten: een eenvoudige falling head test kan inzicht geven in de doorlaatbaarheid van de gracht (zie ook deel 3.3).

Een volledige hydraulische modellering van een gracht is onhaalbaar voor niet-specialisten. Maar we kunnen aan de hand van vuistregels wel vergeraken. Als men gedurende een jaar een meetgoot zou plaatsen, kan men veel leren over de debieten. Bij de analyse zou men alle dagen waar de neerslag kleiner is dan 1 mm kunnen uitsluiten. Wat als we als “basisperformantie” voor een infiltratiegracht vooropstellen dat de gracht bij een (P50) dagdebiet alle water zou moeten kunnen bergen en infiltreren?

Stel een gracht met een P50 dagdebiet* van 0,5 liter/seconde en een gemeten gemiddelde verzadigde infiltratiesnelheid van 2 mm/uur. Een debiet van 0,5 liter/seconde genereert op een dag 4,32 m³ water. Op een traject van 150 meter en 50 cm breed (75 m³) staat dat gelijk aan een peilopstuwning van 58 cm. Tegelijk kan er via de bodem** ongeveer 3,6 m³ per dag infiltreren (0,002 m/u * 24 u * 75 m³). De gracht voldoet dus niet aan de doelstelling om de P50 te infiltreren. Men kan dat oplossen door meer volume te bergen (hoger opstuwen – zodat de verblijftijd groter wordt dan 24 uur), het infiltratie-oppervlakte te vergroten (door de gracht breder te maken) en/of de doorlaatbaarheid te vergroten.

* Met een P50 dagdebiet bedoelen we de middelste waarde (mediaan) wanneer we alle dagen met een gemeten dagdebiet rangschikken van laag naar hoog.

** We maken hierbij abstractie van het gegeven dat er ook zijdelingse infiltratie is vanuit de gracht bij opstuwning. Maar de zijwaartse infiltratie is zéér moeilijk (op voorhand) te bepalen. Anderzijds zijn dergelijke vuistregels gemakkelijk hanteerbaar en heeft men wel de zekerheid dat de gracht minimaal de P50 event kan bufferen en infiltreren.

4.2.4. Stuwen op drainagegrachten

Grachten waarbij het grondwaterpeil hoger staat dan het bodempeil van de gracht zijn over het algemeen drainerend. Door het opstuwen van het waterpeil met een stuw kan men ervoor zorgen dat de gracht niet meer dreineert. Grondwaterpeilen fluctueren doorheen het jaar en kennen ook een respons op neerslagoverschot. Wanneer het peil van de gracht/stuw lager staat dan het grondwaterpeil is de gracht in een drainagemodus en wanneer deze hoger staat dan het grondwaterpeil is er een infiltratiemodus. De meeste stuwen worden geplaatst op grachten die vrijwel jaarrond draineren omdat dit de mogelijkheid geeft aan landbouwers om de waterbeschikbaarheid voor gewassen te verhogen tijdens droge perioden. Het opstuwen van drainerende grachten tijdens het groeiseizoen kan echter ook negatief uitdraaien voor het watersysteem. Het opstuwen verhoogt weliswaar het grondwaterpeil (of beperkt het wegzakken van het grondwater) – maar het verlaagt tevens het debiet naar de waterlopen en het opgestuwde water zal verdampen via gewassen. Het is evenwel onwaarschijnlijk dat men tijdens winter en lente het grondwater ook zal opstuwen. Wanneer men de stuwen enkel opzet tijdens droogte is de winst voor het watersysteem zeer beperkt.

Om effectief te zijn voor het watersysteem – het verhogen van grondwatervoorraden en basisdebieten op waterlopen – is het belangrijk dat de grachten ook zo weinig mogelijk draineren tijdens natte perioden of toch zeker tijdens de winterperiode wanneer de velden ook niet bewerkt moeten worden. Op deze manier kan erdoor langdurig op te stuwen een vernatting plaatsvinden die zich kan uitstrekken over een gebied dat verder reikt dan de landbouwpercelen in kwestie. Maar wanneer men dan te maken heeft met een nat voorjaar, raken de velden misschien niet voldoende ontwaterd voor de voorjaarsbewerkingen. Het stuwbeheer is dus een zeer bepalende factor voor zowel nat als droogteschade aan gewassen. Als we deze stuwen al in winter/voorjaar

beheren in functie van droogte, is het niet uitgesloten dat er natschade is bij een natte lente of zomer. De complexe wisselwerking maakt dat het niet eenvoudig is om na te gaan of het plaatsen van stuwen nu positieve of negatieve effecten heeft op grondwaterpeilen en basisdebieten voor benedenstroomse waterlopen.

Wat is nuttig om te bemeten?

- Oppervlaktewaterpeilen: in de gracht voor de stuw en achter de stuw (zie H3)
- Grondwaterpeilen: links en rechts van de stuw op een afstand van minimaal 15 meter van de gracht (of in het midden tussen de grachten).
- Drainagedebieten bemeten is interessant – maar niet altijd praktisch haalbaar.

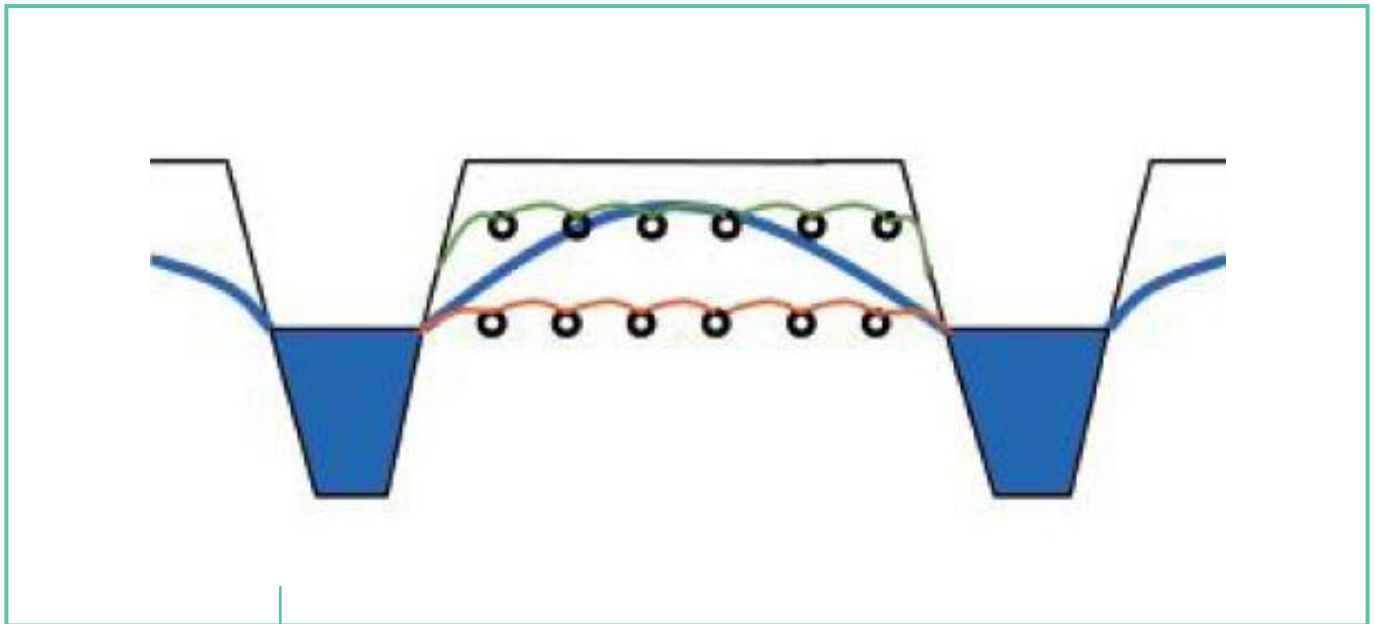
Het hoogteverschil tussen oppervlaktewaterpeil en grondwaterpeil is op zich voldoende om drainage te berekenen. Hoe groter het verschil per meter afstand, hoe groter de drainage. Meestal zullen de grachten in drainagemodus zijn, maar in de zomerperiode kunnen de grachten ook in infiltratiemodus gaan. Wanneer er gebiedseigen aanvoer is van afstromingswater, zal het dankzij de stuw alsnog kunnen infiltreren.

Tenslotte is het belangrijk dat drainagegrachten niet dieper zijn dan nodig. Zelfs een opgestuwde diepe drainagegracht heeft een sterke drainerende werking. Grondwater zoekt immers de weg van de minste weerstand. Zeker in kwelgebieden kan door de hydrostatische druk op het grondwater, het waterpeil in grachten en vijvers hoger zijn dan het grondwaterpeil zelf. Peilbuizen in kwelgebieden vertonen dan vaak ook een stijghoogte die hoger ligt dan het werkelijke grondwaterpeil.

4.2.5. Peilgestuurde drainage

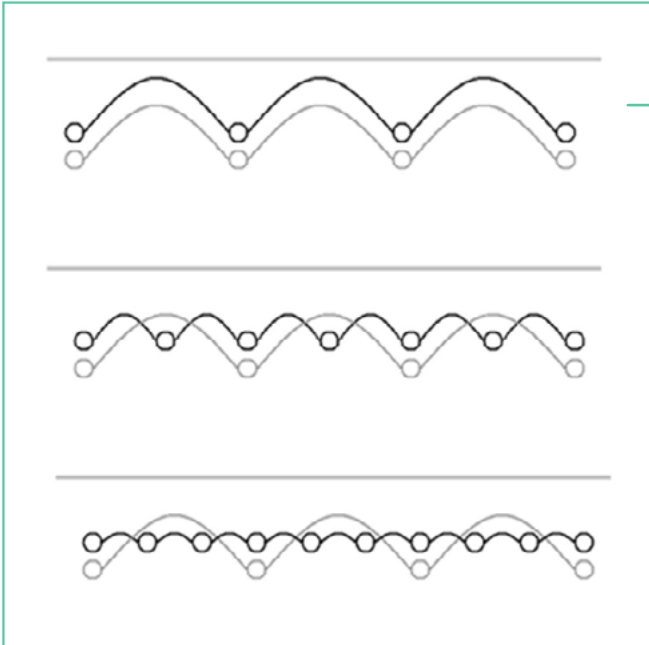
Peilgestuurde drainage is vooral aangewezen op vlakke percelen die vandaag reeds ontwaterd worden met conventionele drainagebuizen. Bestaande klassieke systemen kunnen in sommige gevallen omgebouwd worden naar peilgestuurde drainage door het installeren van een verzameldrain en een regelput. Door middel van deze regelput, aan de uitgang van een verzameldrain, wordt de uitvoer van het drainagestelsel geregeld. Op deze manier kan meer water worden vastgehouden in de bodem door het waterpeil hoog te houden, terwijl het wel mogelijk is om water af te voeren in periodes met veel regen. In reeds gedraineerde percelen kan vervanging of ombouwen naar een peilgestuurd systeem positief uitwerken indien hiermee daadwerkelijk een hogere grondwaterstand wordt bereikt en gehandhaafd (Figuur 19). Ook hier is een combinatie met slootbodempverhoging en peilverhoging in de sloten aan te bevelen.

De meeste studies naar PGD, zijn agronomische studies en kijken enkel naar de effecten op landbouw. Maar de centrale vraag die we in dit rapport stellen, is of het ook leidt tot hogere grondwaterstanden en hogere debieten in onze waterlopen tijdens droge perioden. Uiteraard zal het voor de landbouwer zelf enkel voordelen hebben. De percelen zijn sneller bewerkbaar in de lente en als het weer een beetje meezit, zal het ook positief zijn voor de waterbeschikbaarheid en zal er een meeropbrengst zijn. Maar voor percelen met een zwakke kweldruk is het wellicht nodig dat er zich na de drainage en de bodembewerkingen in de lente nog een natte periode voordoet of dat men de kans heeft om aan subirrigatie te doen. Het hangt dus sterk af van de geofysische context. Veel beeksystemen op de hoge zandgronden vallen 's zomers droog doordat er onvoldoende kwel en/of wateraanvoer is om het watersysteem watervoerend te houden. Over het algemeen zal men in dergelijke



↑ © Kuyjpers drs. MJM, Broers dr. HP, JCD – Effecten van Peilgestuurde Drainage op Natuur, 2012.

Figuur 19: Ondiepe drainage (groene lijn) ten opzichte van ongedraineerd (alleen sloten, blauwe lijn) en klassiek gedraineerd (oranje lijn). Verdrogingsbestrijding is mogelijk, maar daarbij hoort de strikte eis dat de aanleg gepaard moet gaan met een aanzienlijke peilverhoging. Het peil in de sloot moet omhoog tot op het niveau van de groene lijn. De drains moeten daarbij voldoende ondiep zitten. Wanneer men het veld draineert tot op de oranje lijn is het zeer onwaarschijnlijk dat men het groene peil nog bereikt. Het moet dus gepaard gaan met een structurele verhoging van de drainagebasis en een verontdieping van bestaande sloten (33).



Figuur 20: Fictieve voorstelling van opbolling bij drainage: grijs=traditioneel, zwart=verontdiept. Boven: verontdieping van traditionele drainage leidt tot hogere grondwaterstanden. Midden en onder: bij verontdieping gecombineerd met intensivering hangt het effect op de grondwaterstand af van de drainafstand. Wanneer te intensief wordt gedraineerd, doet dit het effect van verontdieping teniet en zal de grondwaterstand gelijk blijven of zelfs dalen (34).

omstandigheden geen buisdrainage plaatsen. Bij een zwakke kweldruk zal een stuwpeilverhoging dus niet automatisch leiden tot een hoger grondwaterpeil, zeker niet in droge perioden.

De aanleg van peilgestuurde drainage op percelen die vandaag enkel ontwaterd worden via open grachten is dus niet wenselijk (33). Het zal een negatief effect hebben op de algemene waterbeschikbaarheid voor het watersysteem (Figuur 20). De hogere dichtheid van de drains zorgt voor een lagere opbolling en zal het effect van een eventuele peilverhoging tenietdoen. Op dergelijke percelen met grachten kan men uiteraard wel stuwen plaatsen.

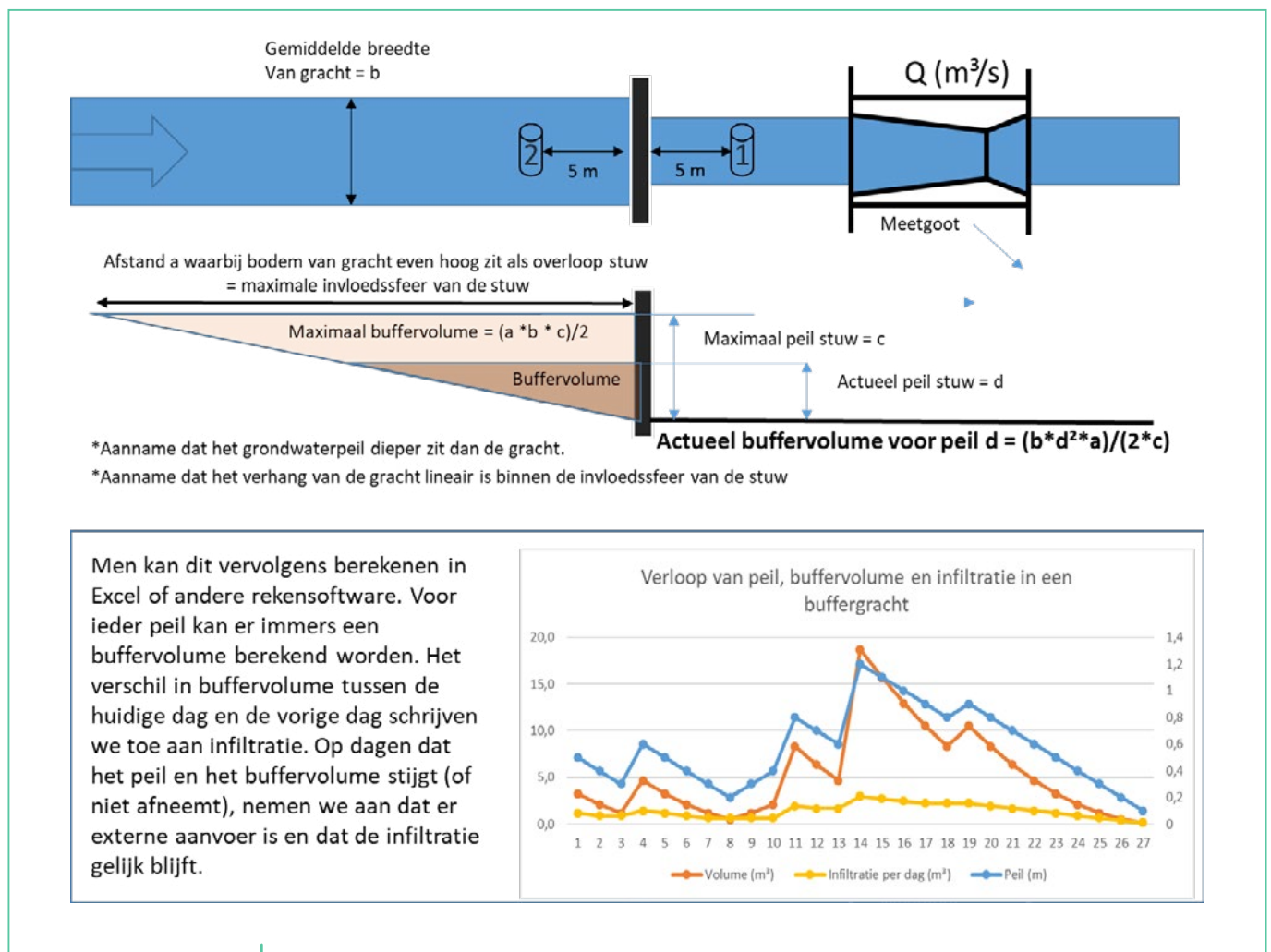
In de meeste geohydrologische situaties zal het tijdelijk verlagen van de lokale drainagebasis, om bijvoorbeeld het land te bewerken of om extreme buien te kunnen opvangen, de positieve effecten grotendeels tenietdoen (33). De opgebouwde grondwatervoorraad verdwijnt snel bij het verlagen van de drainagebasis en het vergt vervolgens veel tijd om deze weer op niveau te krijgen. De enige uitzondering is wanneer er een kunstmatige aanvoer gerealiseerd kan worden via de grachten en men zo aan subirrigatie kan doen (33). Die subirrigatie moet dan plaatsvinden in het voorjaar, vlak na de bodembewerkingen. Maar dergelijke omstandigheden, waarbij er een voldoende grote waterloop of kanaal aanwezig is om water aan te voeren, zijn zeldzaam. De praktijk van subirrigatie kan positief zijn voor het watersysteem, maar de irrigatie moet dan plaatsvinden

op een moment dat er nog geen sprake is van droogte of lage debieten. De studie van KWR uit 2021 (35) besluit dan ook dat de mogelijkheden voor subirrigatie bij extreme droogte beperkt is. Ten eerste omdat er bijna geen aanvoerwater beschikbaar is en ten tweede omdat de subirrigatie vooral wegzijgt naar het freatische grondwater. Dit laatste is vanuit het watersysteem wel wenselijk, maar niet voor de landbouwer. Aanleg van regelbare drainage met als primair doel de functie subirrigatie te benutten is dan ook niet opportuun. Het zou uiteraard wel bruikbaar zijn in situaties waarbij externe aanvoer van water gegarandeerd is. Ook kan subirrigatie wenselijk zijn – ook buiten het groeiseizoen – om voldoende grondwateraanvulling te bewerkstelligen in regio's met een hoge grondwaterwinningsdruk. Zo kan er in de omgeving van kanalen wel een opportuniteit zijn om dit extern aangevoerde water te gebruiken voor subirrigatie en zo ook grondwater aan te vullen.

Conclusie: Nieuwe aanleg van peilgestuurde drainage in voorheen volledig ongedraineerde percelen is uiteraard niet wenselijk. Er zal immers altijd een bijkomend verdrogend effect optreden. Het omvormen van klassieke drainage naar peilgestuurde drainage kan daarentegen een voordeel opleveren voor het watersysteem. Het échte voordeel ontstaat wanneer subirrigatie met extern water mogelijk wordt. Hetzij bij occasionele hoge waterstanden in de waterlopen (bv. na een onweder) en/of door aanvoer van hemelwater uit verharde gebieden.

Hoe monitoren?

Om het effect van peilgestuurde drainage te kennen, is het nodig om voor de ingrepen reeds een jaar grondwaterpeilen op te volgen. Maar bij gebrek aan nulmetingen is het ook mogelijk om de waterpeilen in de regelput en de grondwaterpeilen in de omgeving op te volgen. Men zou dus zeker aan de randen van het perceel en bij voorkeur in de hoger gelegen percelen ook de grondwaterstand moeten opvolgen.



4.2.6. Voorbeeld monitoring stuwen

Buffervolume en infiltratie bij infiltratiegrachten met overloop: Bij infiltratiegrachten nemen we aan dat het grondwater altijd dieper zit dan de bodem van de gracht. Bij de aanleg van een stuw/drempel op een infiltratiegracht willen we natuurlijk weten hoe vaak en hoe veel water er gebufferd kan worden. Het peilverschil tussen PB1 en PB2 (Figuur 21) geeft informatie over de dynamiek van het waterpeil in de gracht. Bij infiltratiegrachten laat dit toe om een inschatting te maken van het watervolume in de gracht (buffervolume) en de geïnfilterde volumes. Om deze inschatting te maken, is het nodig om in te schatten tot waar de invloed van de stuw reikt. Op welke afstand van de stuw komt de bodem van de gracht overeen met de maximale stuwhoogte? We nemen daarbij eveneens aan dat het verval van de gracht gelijkmatig (lineair) is verdeeld binnen deze invloedssfeer. Op basis van deze aannames, kan het buffervolume berekend worden. Als we vervolgens aannemen dat dalingen van het buffervolume te wijten zijn aan infiltratie, kan ook dit berekend worden. Een daling van het buffervolume wordt toegeschreven aan infiltratie, terwijl stijgingen te wijten zijn aan bovenstroomse aanvoer.

Maar wellicht willen we ook weten wat de verhouding is tussen het gebufferde (geïnfilterde) watervolume en het watervolume dat alsnog de stuw passeert. De meting voor de stuw laat toe om debieten te berekenen indien de overloop van de stuw een gekende Q/h relatie heeft. Deze meting (PB2, Figuur 21) is dus essentieel. Indien deze Q/h relatie niet gekend is, kan er een meetgoot (Figuur 7) geplaatst worden achter de stuw. Deze meetgegevens laten vervolgens toe om de Q/h relatie alsnog te bepalen.

Voor grachten met een knijpstuw (met al dan niet verdronken uitloop) is het ingewikkelder om dergelijke berekeningen te maken. In dat geval kunnen we er niet van uit gaan dat we een peildaling integraal kunnen toeschrijven aan infiltratie. Er kan een waterbalans berekend worden, waarbij infiltratie een sluitpost is. Men moet in dat geval de bovenstroomse aanvoer bemeten met een meetgoot én het uitstroomvolume doorheen de knijpstuw. Het verschil tussen beide is het geïnfilterde watervolume. Indien er een cascade van stuwen geplaatst werd, kan men voor iedere knijpstuw het debiet

bereken op basis van peilmetingen voor de stuwen (op voorwaarde dat de Q/h relatie van de knijpstuw gekend is).

Waterconservering op drainagegrachten (incl. peilgestuurde drainage): Wanneer we te maken hebben met grondwaterpeilen die hoger zijn dan de bodem (drainagebasis) van de gracht, zitten we met een meer complexe situatie. We benadrukken opnieuw dat het plaatsen van stuwen op permanent watervoerende grachten niet wenselijk is en dat men in dat geval moet werken met andere oplossingen dan stuw-tjes plaatsen. Uiteraard kunnen dergelijke grachten ook bovenstroomse aanvoer bufferen en infiltreren tijdens perioden dat het grondwater voldoende diep wegzakt. Maar de grootste winsten zijn hier te verwachten tijdens de wintermaanden. Het opstuwen zou immers moeten leiden tot een grondwaterpeilstijging in de wijde omgeving. We zijn hierbij geïnteresseerd in meerdere aspecten. Ten eerste wil de landbouwer weten in welke mate er een peilstijging is van het grondwater en in welke mate dat de waterbeschikbaarheid vergroot. De waterbeheerder wil weten hoeveel grondwater er niet gedraineerd werd ten opzichte van een situatie zonder stuw. Tenslotte zal de waterbeheerder ook geïnteresseerd zijn in het debiet dat de waterloop bereikt en dan vooral tijdens perioden van droogte. Er is immers een mogelijk risico dat het opstuwen leidt tot lagere debieten tijdens perioden van droogte.

Ten eerste willen we weten wanneer er gestuwd wordt. Daarom bemeten we het waterpeil voor de stuw (Figuur 22, PB2) én achter de stuw (Figuur 22, PB1).

Ten tweede willen we ook de verhouding weten tussen stuwpeil en grondwaterpeil. Door het grondwaterpeil te bemeten en te vergelijken met het stuwpeil, weten we hoelang de stuw in irrigatie modus staat (stuwpeil in de gracht is hoger dan het grondwaterpeil) en hoelang de gracht in drainage modus staat. Om dit na te gaan, volstaat het om PB3/PB4 te bemeten (figuur 13). Als het peil in PB3/4 (y) hoger staat dan het stuwpeil PB2 (x) is er drainage. We kunnen drainage inschatten aan de hand van een eenvoudige berekening. Hiervoor grijpen we even terug naar figuur 12. Voor de drainage gracht mét

stuw schatten we eveneens een maximale afstand (a) in voor een maximale opstuwing (z). Dus voor de maximale stuwhoogte z (ten opzichte van de bodem van de gracht vlak aan de stuw) is het bereik van de opstuwing gelijk aan afstand "a" (ten opzichte van de stuw). Wanneer deze gegevens gekend zijn, is het mogelijk om voor een stuwpeil x en een grondwaterpeil y de drainage/irrigatie te berekenen. Hiervoor moeten we wél weten op welke afstand (b) van de gracht het grondwaterpeil gemeten werd. Voor het bepalen van het grondwaterpeil (y) en de afstand tot de gracht (b), kan men het gemiddelde nemen van meerdere peilbuizen.

De drainage/irrigatie kan vervolgens ingeschat worden aan de hand van de volgende formule. Hierbij maken we opnieuw de aanname dat de gracht een geleidelijk (lineair) verval heeft binnen de maximale invloedssfeer a voor maximale stuwhoogte z. De verhouding a/z is een schaalfactor voor de invloedssfeer van stuwhoogte x. Men kan deze formule toepassen op dagbasis (gemiddeld stuwpeil x en grondwaterpeil y per dag) en vervolgens de resultaten aggregeren voor een bepaalde periode.

Het meten van de effecten op grondwaterpeilen voor de omgeving van de stuw is echter wat lastiger. We weten dat er een bepaalde invloedssfeer is van de stuw en dat het grondwater zich ook zal verplaatsen rondom de stuw.

Als we in detail willen weten hoe groot de invloedssfeer is van de stuw en in welke mate het grondwaterpeil beïnvloed wordt, is het nodig om een aantal peilbuizen te installeren en te bemeten. We raden aan om peilbuizen te plaatsen in een kruisvormig transect dat 45 graden gedraaid is ten opzichte van de gracht (PB3 tot PB10, figuur 14). De dichtheid van de peilbuizen neemt af in functie van de afstand. Men zou ze kunnen plaatsen op een afstand van resp. 10, 30, 70, 150, ... Men kan opteren om ook op grotere afstand nog peilbuizen te plaatsen. De afstand tussen de peilbuizen verdubbelt telkens. In de praktijk is het echter niet haalbaar om een dergelijk uitgebreide opstelling te gebruiken. Er wordt wel aangeraden om minstens één peilbuis te plaatsen (PB3 of PB4). Bij voorkeur wordt de peilbuis geplaatst aan de kant van het voedingsgebied (hoger gelegen gronden).

De peilverschillen tussen PB5-PB3, PB6-PB4 (resp. PB8- PB7 & PB10- PB9) geven informatie over grondwaterstroming parallel aan de gracht. Het opgestuwde grondwater zal immers via de bodem zich langzaam rondom de stuw bewegen naar de zone achter de stuw, waarde grondwaterpeilen (vermoedelijk) lager zijn. Na bepaling van de doorlaatbaarheid van de bodem, kunnen we met behulp van de formule van Darcy (zie pagina 17) bepalen hoe sterk de grondwaterstroming is.

$$Q = K_{sat} * \frac{(x - y)}{b} * \frac{(y^2 - x^2) * a}{z}$$

Q = watervolume dat de gracht draineert (-) of irrigeert (+) per dag

K_{sat} = de hydraulische doorlaatbaarheid van de bodem (bv 12 meter/dag voor zand)

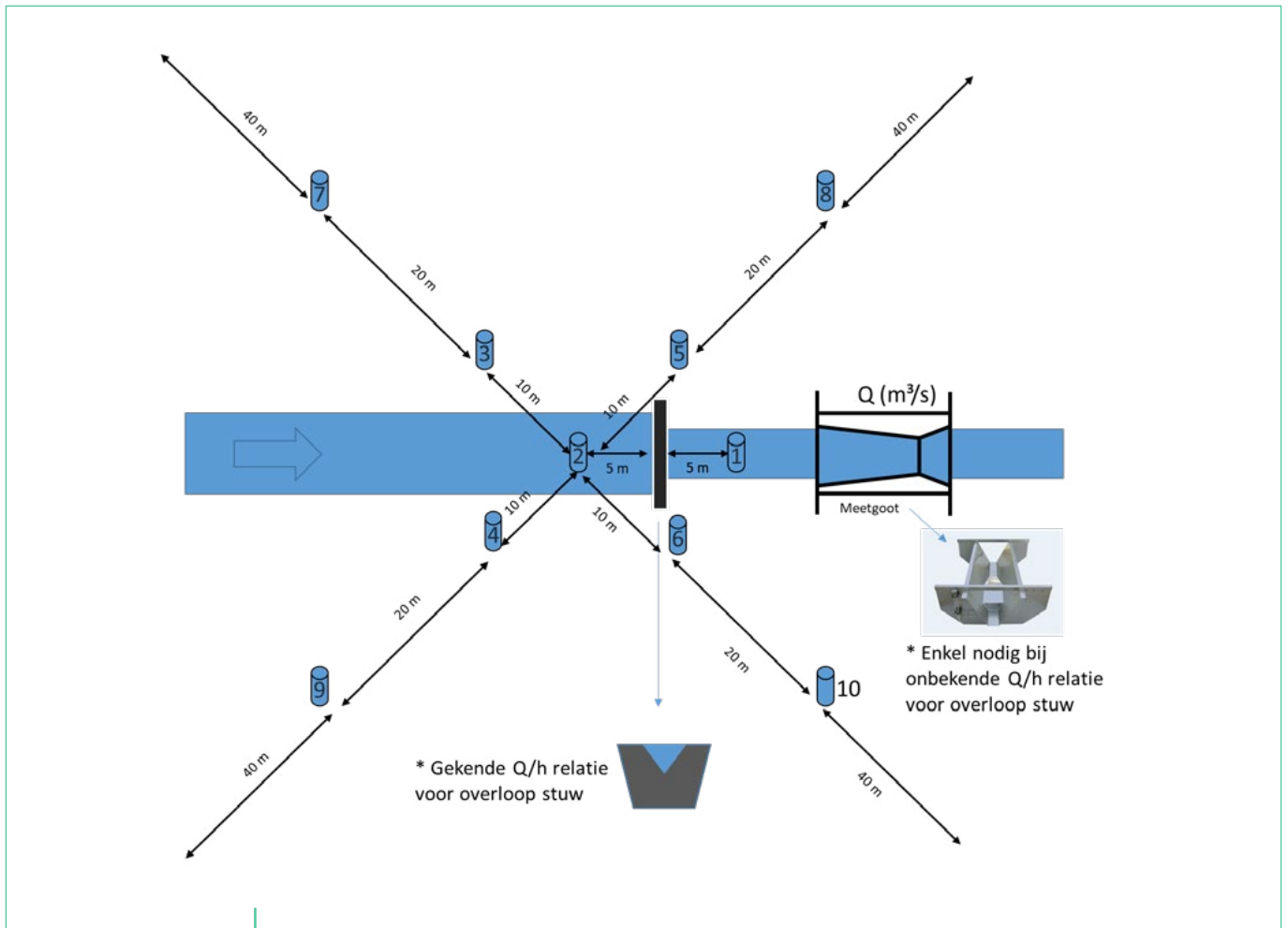
x = gemiddeld stuwpeil per dag

y = gemiddeld grondwaterpeil op afstand b

b = gemiddelde afstand tussen peilbuis en gracht

a = maximale invloedssfeer (meter) voor stuwpeil z

z = maximaal stuwpeil



↑ © Jan Staes

Figuur 22: geïdealiseerde opstelling voor de monitoring van een drainage gracht met stuw.

Tenslotte zijn we geïnteresseerd in het watervolume dat werd opgestuwd ten opzichte van een niet-opgestuwde situatie. Het niet-gedraineerde water zal immers gedeeltelijk verdampen terwijl de rest zich een weg zoekt naar diepe grondwateraanvulling, of/en een trage laterale grondwaterstroming op gang brengt naar het lagergelegen gebied achter de stuw. Het waterpeil in PB4, PB5, PB6, PB7, PB8, PB9 en PB10 kan geïnterpoleerd worden en hieruit kan men afleiden hoe diep het grondwater zicht bevindt onder maaiveld. Dit kan vervolgens gebruikt worden om te berekenen hoeveel water er door capillaire opstijging beschikbaar komt voor de gewassen.

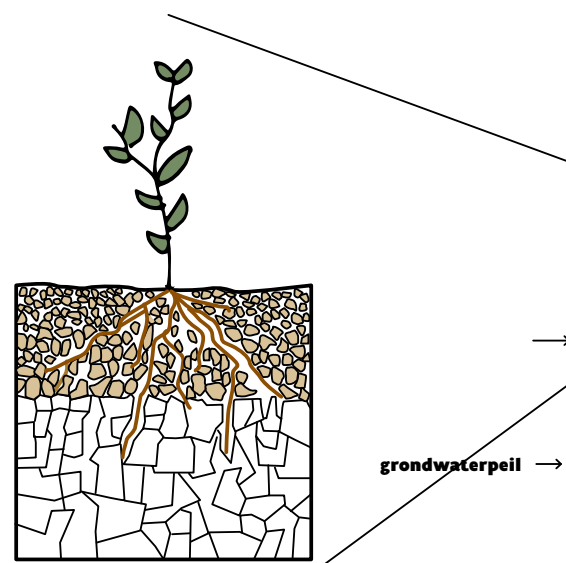
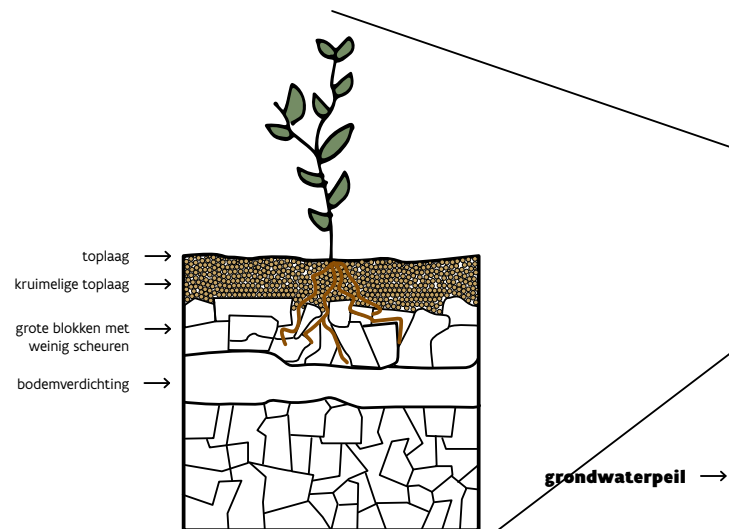
Zoals eerder werd aangehaald, zijn we hier vooral geïnteresseerd in de impact op het watersysteem. Omdat dit zeer moeilijk te benaderen is, maken we gebruik van de berekeningen van grondwaterstroming richting

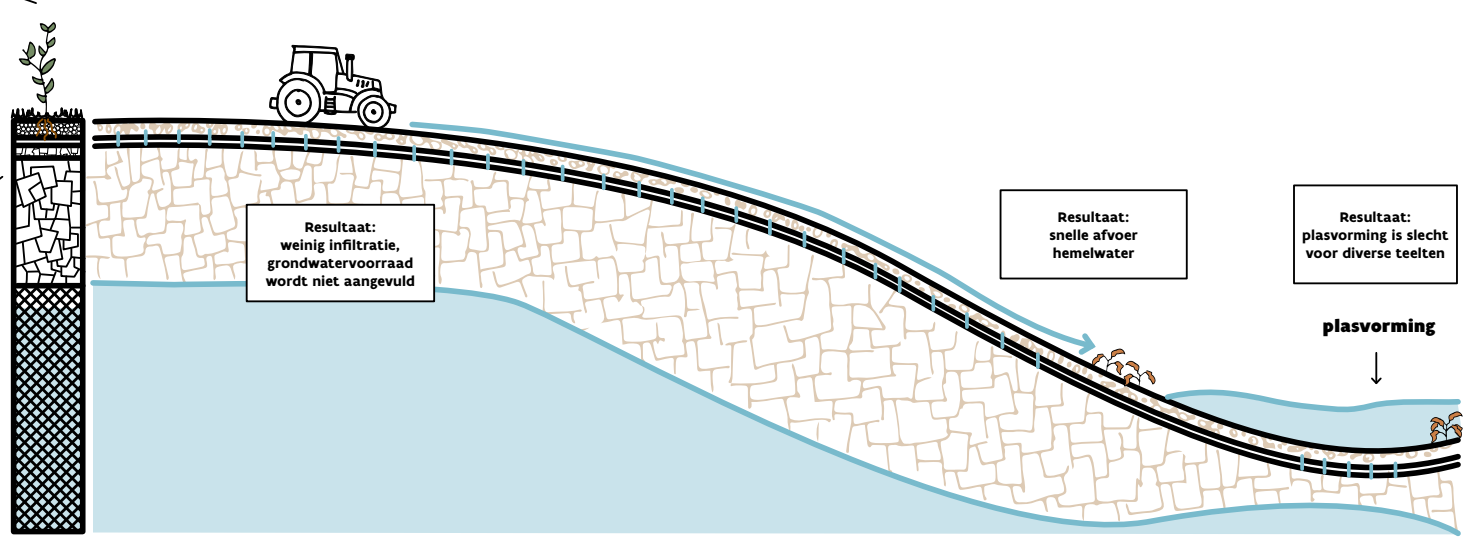
de gracht. Hiervoor kunnen we gebruik maken van de peilverschillen tussen PB3-2 & PB4- PB2 (resp. PB7-PB2 & PB9-PB2). Als PB2 niet opgestuwd is, zal er een sterkere grondwaterstroming zijn richting drainage gracht; Als PB2 wél opgestuwd is zal de grondwaterstroming vertragen en wordt er tijdelijk minder gedraineerd tot een nieuwe evenwichtstoestand bereikt wordt. Indien er sprake is van sterke permanente kwel zal er een steady state bereikt worden waarbij de drainage even hoog is als voordien, maar bij hogere grondwaterstanden. In de meeste gevallen zal er enkel een tijdelijk voorjaarskwel zijn en kan het zijn dat er onvoldoende kwel is na de voorjaarsdrainage om het grondwater tot boven het stuwpeil te laten stijgen. Na bepaling van de K_{sat} , kunnen we de gemiddelde peilverschillen op dagbasis vertalen naar een grondwaterstroming (m/dag) richting de gracht. De drainage oppervlakte van de gracht kan berekend worden in functie van het hoogste grondwaterpeil.

4.3 INGRIJPEN OP BODEMKWALITEIT

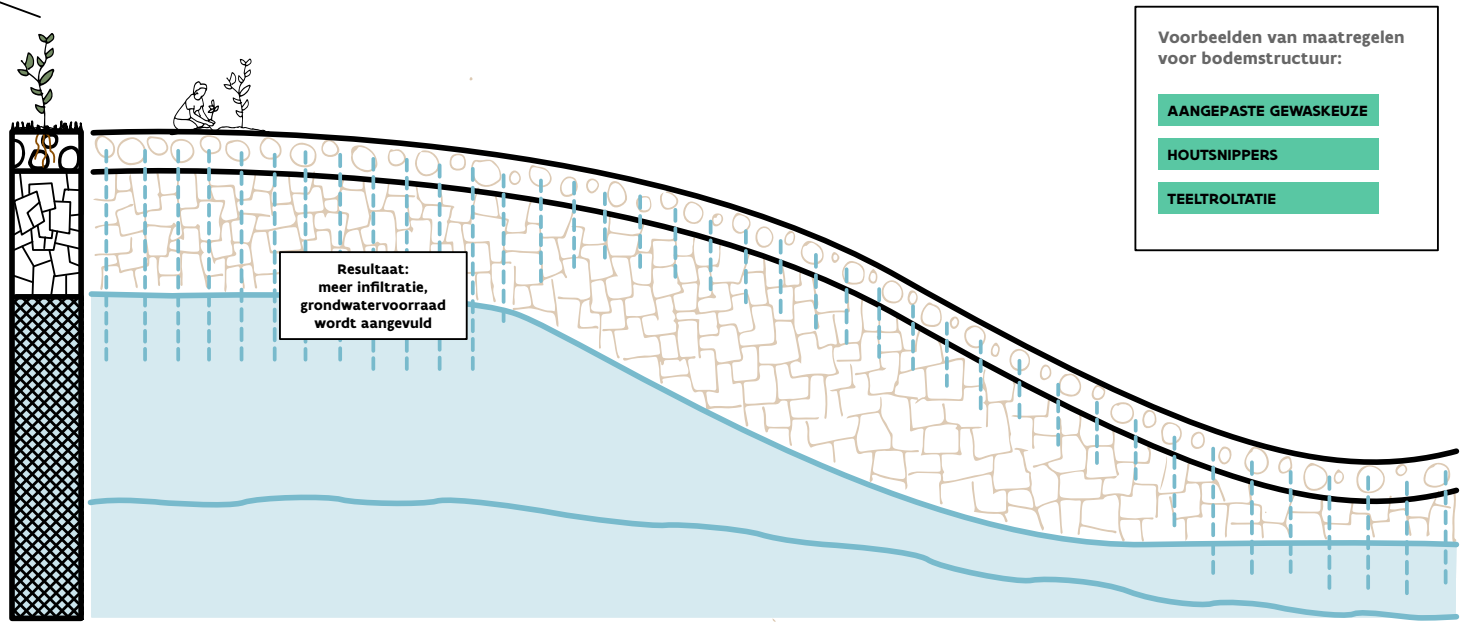
Het vermogen van bodems om water te infiltreren en op te slaan, hangt grotendeels af van de textuur van de bodem (zandgronden hebben bijvoorbeeld een hogere infiltratiesnelheid dan kleigronden), de bodemstructuur (de manier waarop bodemdeeltjes zijn samengevoegd of geaggregeerd) en tenslotte de hellingsgraad van de topografie (afstroming). Het gehalte aan organische stof in de bodem speelt een belangrijke rol wegens de invloed ervan op de bodemstructuur. Bodembedekking en watergehalte zijn aanvullende kenmerken die van invloed zijn op de infiltratie en het vasthouden van water in de bodem.

De bodem is in staat water langzaam op te slaan en weer af te geven in de loop van de tijd en is daardoor in staat variaties in het neerslagoverschot op te vangen. Aangezien infiltratie - en dus ook grondwateraanvulling - 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, de beschikbare ruimte in de bodem voor water 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 in de niet versteende ruimte. Deze problematiek speelt niet enkel in landbouwgebieden, maar is bijvoorbeeld ook een probleem voor publieke parken (36,37). 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).





a. veel bodembewerking – laag organisch materiaal in de bodem



b. weinig bodembewerking – meer organisch materiaal in de bodem

↑ © Common Ground

Figuur 23: Illustratie van het effect van bodemcompactie op vegetatie ontwikkeling en infiltratie (38)

Verslemping van de toplaag is een probleem bij akkerteelten en vormt een eerste barrière voor waterinfiltratie. De kruimelige toplaag wordt kapotgeslagen 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 te fijn te frezen en te zorgen voor voldoende organische stof in de toplaag. Een laag gehalte anorganische stof maakt dat er weinig bodemleven aanwezig is in de toplaag van de bodem en verhoogt de kans op verslemping. Een bodem met een belangrijke populatie aan regenwormen zal aanzienlijk beter draineren dan een bodem zonder regenwormen.

Een tweede barrière voor grondwateraanvulling ontstaat door bodemcompactie (bodemverdichting). De oppervlakkige afstroming bij een verdichte bodem is significant hoger dan bij een niet-verdichte bodem en de droogtegevoeligheid (en ook beregeningsbehoefte) neemt bij verdichting toe. Door intensieve bodembewerking onder slechte omstandigheden kan een ploegzool ontstaan. De ploegzool ontstaat net onder de ploegdiepte (30-40 cm diep) 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/ganzevoet 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). Maar ook door niet of minder frequent te ploegen.

Ondergrondcompactie is mogelijk een derde barrière voor grondwateraanvulling. Ondergrondcompactie is de verdichting van de bodem tot tientallen centimeters diep onder de ploegzool. Bij bodembewerkingen en andere veldwerkzaamheden (bv. bij bemesting of oogst) met inzet van (té) zware machines wordt de bodem door de bandendruk 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. Anderzijds verhoogt het risico op versmering van de bodem sterk bij een hoger kleigehalte. Versmering treedt op wanneer fijne grond onder te vochtige omstandigheden bewerkt wordt. Hierbij wordt over een aanzienlijke oppervlakte een bodemlaagje dichtgesmeerd, wat een ernstige vorm van beschadiging van bodemstructuur betekent.

Het aanvankelijke watergehalte speelt dus 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 (39). 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 anaërobe zones, wat kan leiden tot denitrificatie en de emissie van lachgas (40,41).

Het spreekt voor zich dat bodemverslemping vooral een probleem vormt bij extreme neerslaggebeurtenissen. Onweders met intensiteiten van meer dan 1 mm/minuut komen immers steeds meer voor. Onweders met grote impact zijn vooral deze in de maanden mei/juni (jonge kiemplantjes, net ingezaaid) en eind augustus (na oogst en voor opkomst groenbedekkers). Bodemcompactie zal dan weer een probleem vormen bij een langdurige natte periode. Het water stagneert op de ploegzool tot de gehele toplaag verzadigd is. Eénmaal de teeltlaag verzadigd is, vormen zich plassen en zal bijkomende neerslag afstromen naar grachten. 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. Het voorjaar van 2016 en de zomer van 2021 hadden neerslagtotalen die de infiltratiecapaciteit van gedegradeerde landbouwbodems overschrijden.

Verslemping kan aangepakt worden door het gehalte aan organische stof in de toplaag van de bodem te verhogen. Dat kan in de eerste plaats door de keuze van een oordeelkundige teeltrotatie (met gewassen die een hoge bijdrage leveren aan de bodemorganische stof), en door het toevoegen van stalmest, compost en gewasresten, maar evengoed door het inploegen van lokale biomassa (houtsnippers) uit beheer van houtkanten. Maar het tegengaan van verslemping is geen garantie dat plasvorming niet meer zal optreden. Bij een zwaar verdichte /gecompacteerde bodem kan een beperkte doorlaatbaarheid alsnog voor problemen zorgen. Het remediëren van bodemcompactie is daarentegen niet eenvoudig. Men kan éénmalig iets dieper ploegen om de ploegzool te breken en vervolgens nagaan waar er nog compactie aanwezig is (door dit te meten). Na de remediëring moet men uiteraard vermijden dat de bodem opnieuw compacteert. Het aanbrenge van voldoende vers organisch materiaal en het reduceren van de bodembewerkingen (niet-kerend ploegen en aanzienlijk minder diepe bodembewerkingen) zullen uiteindelijk resulteren in een gezonde bodem met voldoende bodemleven. 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.

Bodemcompactie is gedurende lange tijd vooral bestudeerd vanuit een agronomisch perspectief en er is weinig literatuur die kwantificeert wat de (lange-termijn) effecten zijn van bodemcompactie op grondwateraanvulling. Voor landbouw zijn er zowel positieve als negatieve effecten. Enerzijds levert compactie de nodige draagkracht voor de steeds zwaardere landbouwmachines – maar die zware

machines verergeren wel het probleem. Het nadeel van bodemcompactie is dat gewassen moeilijk dieper kunnen wortelen dan 30-40 cm. Maar in een wisselvallig klimaat is dat geen probleem voor de meeste gewassen. Ook is de opbouw van een waterverzadigde laag en de daarmee geassocieerde natschade een zeldzaam fenomeen. Er is immers nog altijd een zekere mate van infiltratie mogelijk. Maar met de toenemende extremen in neerslag, leidt bodemcompactie mogelijk wel tot het ontstaan van een waterverzadigde laag, met gewasschade en afstroming tot gevolg. Er zijn aanwijzingen dat de aanwezigheid van een ploegpan kan leiden tot sterk toegenomen verdampingsverliezen. Het water blijft hangen op de ploegpan en de bodem zal na elke regenbui langer verzadigd blijven (42). De impact op landbouw kan onder bepaalde omstandigheden mogelijk positief zijn omdat het neerslagwater langer beschikbaar blijft voor de gewassen. De impact op grondwateraanvulling is dan weer negatief en wordt mogelijk onderschat. Bij extreme neerslag zoals in het voorjaar van 2016, de zomer van 2021 en wellicht een heel aantal extreem nattere perioden buiten het groeiseizoen, observeren we dat er zich gedurende lange tijd plassen vormen na dergelijke neerslaggebeurtenissen. Het negatief effect van bodemdegradatie op grondwateraanvulling wordt algemeen erkend (6,7,43–45), maar de kwantificering van de omvang is nog onderwerp van lopend onderzoek. Er kan aangenomen worden dat zware compactie zorgt voor een verminderde grondwateraanvulling door verhoogde afstroming (46,47) en verdamping (48).

Een dergelijk, problematisch niveau van bodemcompactie zien we vooralsnog vooral op de in- en uitgangen van percelen en op de koppen waar de landbouwvoertuigen draaien.

Een eerste verkennende studie voor Vlaanderen werd uitgevoerd in 2013-2015 (49). In deze studie werden 26 percelen onderzocht en bemeten. De bevindingen stellen dat er aanzienlijke bodemverdichting aanwezig is, maar dat de impact op de waterdoorlatendheid

al bij al beperkt is omdat er voldoende macroporiën aanwezig waren in de verdichte laag. Deze macroporiën kunnen ontstaan doordat bepaalde gewassen toch wortelen doorheen de gecompacteerd laag. Ook bepaalde regenwormen (bv. *Lumbricus terrestris*) kunnen diepe verticale gangen graven en zo zorgen voor infiltratiekanalen. Zonder macroporiën zouden er zich volgens de auteurs wel degelijk problemen stellen. De 26 percelen bevinden zich hoofdzakelijk in de provincie Oost-Vlaanderen en het oosten van de provincie West-Vlaanderen. Alhoewel er wel degelijk verschillende textuurklassen aanwezig waren in de dataset, is het niet zeker dat het effect van bodemverdichting op waterdoorlatendheid op andere plaatsen in Vlaanderen meer uitgesproken is. Onderzoek aan de Universiteit Antwerpen richt zich specifiek op plaatsen waar er plasvorming werd waargenomen. De hypothese is dat wanneer zich plasvorming voordoet, deze problematiek zich zal uitbreiden. Wanneer men bodembewerkingen doet op dergelijke natte zones zal het compactieprobleem verergeren. Ook valt te verwachten dat de vegetatie/gewassen het er moeilijker hebben om diep te wortelen. Wanneer zich een plas vormt zullen fijnere bodemdeeltjes in suspensie komen en zo de resterende bodemporiën verder afdichten.



Effectiviteit van maatregelen...er is tijd nodig om effecten te zien

Basche en DeLonge (2019) beoordeelden in een meta-review van de opties voor bodembeheer de effecten van vijf belangrijke bodembeheerpraktijken (niet-kerend ploegen, groenbedekkers, 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. Het primaire mechanisme is vergroten van organische stof en het daarmee geassocieerde bodemleven. Toename van organische stof en biotische activiteit leidt tot een verhoogde stabiliteit van de bodemaggregaten en een grotere connectiviteit van de macroporiën als gevolg van een hogere overvloed aan macrofauna. Deze processen leiden tot een verhoogde infiltratie en een verminderde afspoeling en erosie (51, 52).

Maatregelen, zoals niet-kerende bodembewerking, compostamendementen, groenbemesters en gewasresiduen kunnen worden toegepast om de bodemgezondheid te herstellen en te beschermen met als doel de infiltratie en het vasthouden van water te ondersteunen. Deze praktijken zullen de infiltratie en het watervasthoudend vermogen van de bovengrond verbeteren, maar het is onwaarschijnlijk dat zij de diepe infiltratie zullen verbeteren wanneer de ondergrond reeds verdicht is. Daarom moet verdichting van de ondergrond worden voorkomen of teruggedrongen. Het gebruik van landbouwvoertuigen met wheel-tracking verdicht slechts een klein deel (< 20%) van de akker. Verkeer moet worden vermeden op zeer natte

en droge gronden, maar ook het gebruik van minder zware machines en een aangepast wieloppervlak en druk kunnen diepe verdichting helpen verminderen. Wanneer reeds verdichting heeft plaatsgevonden, kan de toepassing van diepe scheurtechnieken (tot 1 m diepte) onder welbepaalde omstandigheden de bodem herstellen (53). Diepe scheurtechnieken kunnen de situatie ook erger maken. Men mag dit enkel occasioneel toepassen op droge bodems. Het effect is vaak zeer tijdelijk (< 5j), zeker wanneer men na het scheuren de conventionele bodembewerking hervat (54). Het zou evenwel toegepast kunnen worden als herstelmaatregel bij de overstap van conventioneel ploegen naar minimale bodembewerking. Ook het inzaaien van meerjarige diepwortelende gewassen (bv. Luzerne) kan een helend effect hebben (55,56). Op landschapsniveau kan de impact van (ondergrondse) verdichting worden geredimeerd door de aanleg van retentievijvers, heggen en compartimentering van greppels die zo ook als retentie- en infiltratie systemen kunnen fungeren. Het afstromende water kan zo via greppels langsheen zones geleid worden met een hoge infiltratiecapaciteit (57).

Hoe meten en evalueren?

Werken aan bodemkwaliteit vergt tijd. De eerste jaren kan er zelfs een verminderde gewasproductie optreden (58) omdat het bodemleven tot stand moet komen en het tijdens die opbouw van biomassa ook nutriënten zal opnemen. Eénmaal het bodemleven en de bodemstructuur op punt staan, zal het bodemleven ook (micro)nutriënten vrijstellen. Er is dan een evenwicht. De bodem zal dan meer weerbaar zijn tegen droogte en wateroverlast.

Prikstok en penetrometer: Met een prikstok of penetrometer kan je verkennen of er zich een probleem van bodemcompactie stelt. Een prikstok is niet meer dan een stalen staaf die je in de grond prikt. Voel je dat er op een diepte van 30-50 cm een hoge indringingsweerstand is, kan er mogelijk een probleem zijn. Dit hoeft niet noodzakelijk het geval te zijn. Er kunnen immers voldoende macro-poriën aanwezig zijn in de bodem. Je kan dit vergelijken met poreus gesteente, dat wél hard is, maar toch goed doorlaatbaar is voor water. Niettemin is een hoge indringingsweerstand vaak wel een indicator voor problemen met waterhuishouding. Een ervaren bodemexpert kan met de prikstok wellicht snel een eerste diagnose stellen, maar het laat niet toe om het probleem objectief te kwantificeren. Een penetrometer is een meer wetenschappelijk onderbouwde methode en brengt een staaf met een sondeerconus (een punt met bepaalde vorm en diameter) in de bodem aan een constante snelheid en meet daarbij de weerstand. Een geijkte penetrometer is echter omvangrijk en duur. Vandaar dat de prikstok ook nog veelvuldig gebruikt wordt.

Bodemfysische analyses: Het nemen en analyseren van bodemstalen kan inzicht geven in de toestand van de bodem. Bij voorkeur neemt men voldoende stalen omdat bodems erg heterogeen kunnen zijn, zowel in het vlak als in de diepte. Er bestaan tal van analyses en procedures. We geven hier een kort overzicht van de meest relevante technieken. Bodemstalen kunnen best

genomen worden met een kopecky ring en bijhorende ringsteker (59). De kopecky ring neemt een gekend volume bodemstaal en houdt dit fysisch intact. Dit laat toe om een aantal analyses te doen die enkel op onverstoorde stalen kunnen gebeuren. Omdat het volume van het staal en het gewicht van de stalen ring gekend is, kan men de bulkdensiteit meten – de dichtheid van de bodem (drooggewicht per volume-eenheid). Bulkdensiteit is een goede indicator voor bodemkwaliteit en geeft een betere schatting voor bodemgezondheid dan koolstof. Bulkdensiteit wordt meestal uitgedrukt in g/cm³. De bulkdensiteit weerspiegelt het vermogen van de bodem om structurele ondersteuning te bieden, water en oplossingen te verplaatsen en de bodem te beluchten. Een volumedichtheid boven een drempelwaarde wijst op een verminderde werking. Een hoge dichtheid is al een indicatie dat er weinig ruimte is voor water/lucht in de bodem. Je kan de porositeit ϕ ook direct berekenen uit de bulkdensiteit ρ_b met volgende formule - $\phi = 1 - \rho_b / \rho_s$ waarbij ρ_s de bodempartikel dichtheid is, die tamelijk uniform is voor verschillende bodems en 2.65 gr/cm³ bedraagt. Maar men kan dit laatste ook meten door het droge staal opnieuw te verzadigen met water en te meten hoeveel water er opgenomen kan worden in het bodemstaal. Ook kan men op dit staal – dat in de metalen ring blijft steken – de hydraulische permeabiliteit meten met een permeameter (60). De permeameter meet in labo omstandigheden de doorlaatbaarheid voor water op het bodemstaal. Meestal is de doorlaatbaarheid in het labo gemeten hoger dan in veldomstandigheden omdat er druk op uitgeoefend wordt. Door de gecontroleerde omstandigheden is het wel accuraat en kan men stalen vergelijken. Tenslotte kan men in het labo ook vochtretentiecurves bepalen (61). Het kenmerkt de “matrixpotentiaal”, ofwel de energie waarmee het bodemwater tegen de zwaartekracht in de bodenmatrix wordt vastgehouden. Vochtretentiecurves tonen dus in welke mate de bodem het water kan vasthouden. Men bepaalt het relatief vochtgehalte bij verschillende

drukken. Typische ijkpunten zijn het vochtgehalte bij veldcapaciteit = een natte, maar uitgelekte bodem, en het verwelkingspunt = het punt waarbij een plant normaal gezien geen water meer uit de bodem kan ophalen. Bijkomende testen zijn onder meer een korrelgrootte bepaling (textuur) met een laser diffractie apparaat (62) en het bepalen van het gehalte organische stof met een CNHS elemental analyser (63).

Over het belang van bodemkoolstof is al veel gezegd en geschreven. Het is inderdaad belangrijk om voldoende bodemkoolstof te hebben. De bodemkoolstof wordt geacht om het bodemleven en de ontwikkeling van macroporiën te stimuleren. Finaal moet bodemkoolstof dus vooral leiden tot een luchtige bodem. Bodemkoolstof zou daarom moeten resulteren in tot een lagere bulkdensiteit.

Infiltratietesten met dubbele ring: dergelijke infiltratietesten tonen het verloop van de infiltratie bij toenemende waterverzadiging (64). Initiële infiltratie kan hoog zijn, maar zal geleidelijk afnemen bij toenemende verzadiging. De Vlaamse Milieumaatschappij werkte werkvoorschriften uit voor het uitvoeren van verschillende soorten infiltratietesten (65,66). Voor landbouwbodems is het zeker aangewezen om de infiltratietesten ook uit te voeren op een eventueel gecompacteerd laag. Hiervoor graven we 30-40 cm aarde weg, tot we op deze harde laag stoten.

Infiltratietesten met falling head: De infiltratietesten met dubbele ring zijn accuraat, maar ook duur om aan te kopen en omslachtig om uit te voeren. Het is ook mogelijk om met een enkele ring een goedkope en snelle infiltratietest uit te voeren (67). Ook hier bestaan er verschillende versies. De zogenaamde “bierblik methode” blijkt een veelbelovende, gemakkelijke, robuuste en goedkope manier te zijn om het hydraulisch gedrag van de bodem te karakteriseren. Een specifieke methode

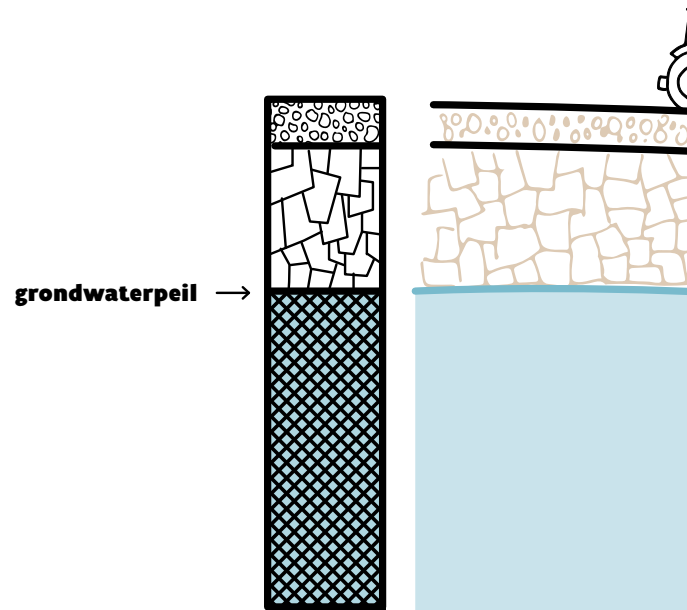
– BEST genoemd - werd ontwikkeld om de bepaling van zowel de waterretentiecurve als de curve van het hydraulisch geleidingsvermogen te bepalen (68). De methode wordt ondertussen gebruikt in andere wetenschappelijke studies (69–71). Deze methode is eenvoudig en goedkoop. Het is zeker ook bruikbaar om na te gaan of bodemcompactie ook leidt tot problemen met de waterhuishouding. Men neemt een stalen buis met diameter 15 cm en duwt deze tot in de gecompacteerd laag. Vul de buis met een gekende hoeveelheid water (bv. 10 l = 56.5 cm water) en meet hoe snel het water wegzakt. Vooral de waarden op het einde van de infiltratietest zullen informatie geven over de verzadigde waterdoorlaatbaarheid van de compacte laag. Initieel zal de bodem snel verzadigd worden met water om daarna pas dieper te infiltreren doorheen de compacte laag.

4.4 INFILTRATIEZONES IN HET BUITENGEBIED

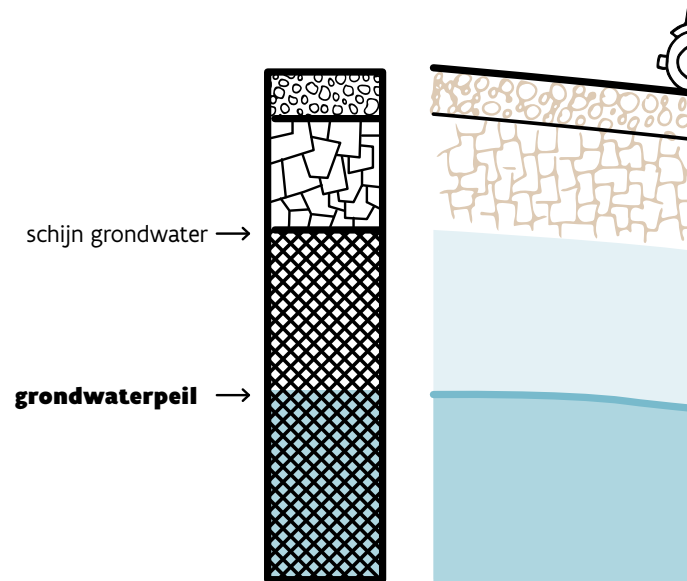
Infiltratiezones (of poelen) kunnen aangelegd worden in het landschap om afstromingswater te bufferen en te infiltreren. Deze kunnen aangelegd worden op problematische zones waar water samenvloeit of op plaatsen waar waterstromen in het landschap passeren.

Plasvorming duidt op een samenvloeiing van waterstromen en/of een lage doorlaatbaarheid van de bodem. De lage doorlaatbaarheid kan het gevolg zijn van een beperkte doorlaatbaarheid op drie niveaus. Ten eerste kan er een oppervlakkig probleem zijn waarbij de toplaag van de bodem minder doorlaatbaar is. Dat kan leiden tot oppervlakkige afstroming en de uitspoeling en afzetting van fijne sedimenten op de locatie waar het water gravitair samenvloeit. Ten tweede kan er een probleem zijn waarbij bodembewerkingen op deze overwegend natte locaties hebben geleid tot bodemcompactie. Men bewerkt de bodem met zware machines en ploegt enkel de toplaag terug los. Ten derde kan er een natuurlijke oorzaak zijn waarbij in de diepere ondergrond een minder doorlaatbare laag aanwezig is (bv ijzeroer of oudere afzettingen van sedimenten, kleilagen...).

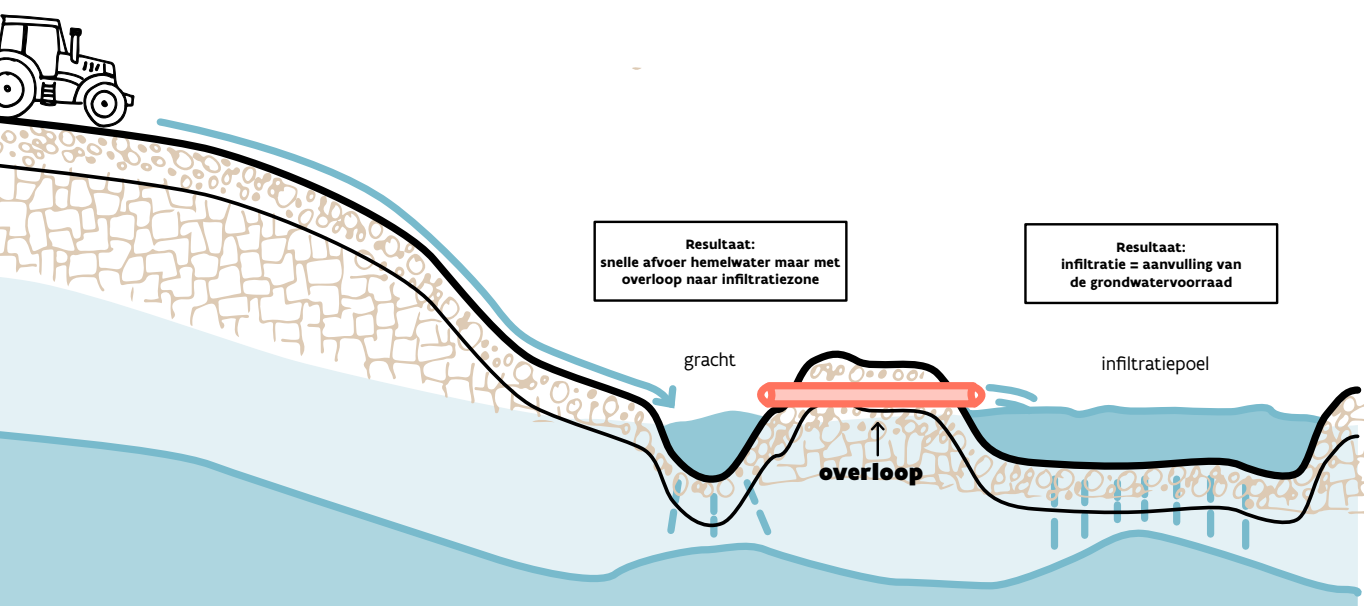
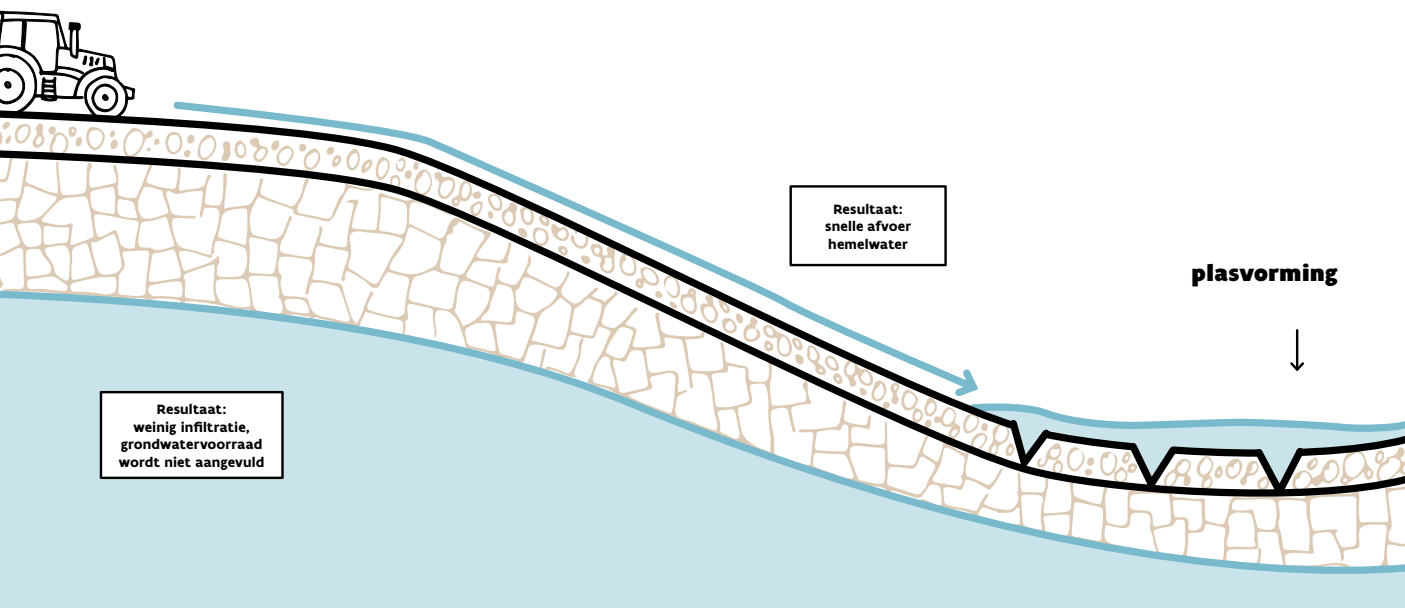
De meest structurele oplossing is uiteraard het vermijden van afstroming door het verbeteren van de bodemkwaliteit op het gehele perceel, maar dit is niet altijd praktisch en bedrijfstechnisch haalbaar op korte termijn. Vandaar dat men kan opteren om op bepaalde locaties infiltratiezones aan te leggen. Een grootschalige inzet van dergelijke infiltratiezones kan een groot verschil maken in het aanvullen van het grondwater (72). Plasvorming wordt vaak opgelost door het graven van greppels en draagt zo bij tot piekdebieten en wateroverlast. Ook wanneer er geen greppels worden gegraven om deze problematische zones te ontwateren, zal er bij plasvorming een hoge mate van verdampingsverliezen optreden. Het water stagneert en zal eerder verdampen dan infiltreren. Het is moeilijk in te schatten hoeveel grondwateraanvulling we zo mislopen. Bij bodemcompactie is er naast de zichtbare plasvorming, vaak ook een veel grotere ondergrondse plasvorming boven op de minder doordringbare laag. Daarom is het nuttig om op deze locaties geen greppels te graven, maar net een infiltratiezone aan te leggen (Figuur 24).



a. situatie zonder infiltratiezone



b. poelen (infiltratiezones) maken o



Op plaatsen waar water kan infiltreren

↑ © Common Ground

Figuur 24: afstroming en plasvorming op gecompacteerd bodems met en zonder infiltratiezones. In een klassieke situatie ontstaan een diffuse plasvorming die na verloop van tijd uitbreidt. Met greppels wordt getracht om het water af te leiden naar grachten. Bij remediëring creëert men een infiltratie zone in het centrum van de plasvorming door de compactie te doorbreken. Men kan ook een overloop voorzien op grachten die veel afstromingswater verzamelen. Omdat het vaak gaat over korte perioden van hoge debieten bij intense neerslag, kan men de gracht lokaal stuwen en voorzien van een overloop naar een infiltratiepoel.

Een infiltratiezone aanleggen op de plaatsen waar plasvorming zich voordoet vereist inzicht in de ondergrond. Gaat het werkelijk om plasvorming op ondiep gecompacteerd bodems, zit er een minder doordringbare laag op geringe diepte of is het eerder grondwater gerelateerd. Het heeft vooral zin om infiltratiezones aan te leggen op plaatsen waar het grondwater voldoende diep zit. Als er sprake is van ondiep grondwater heeft het enkel een bufferfunctie.

Daarom is het aangewezen om op die locatie een zo diep mogelijk gat te boren met een grondboor, eventueel een peilbuis te plaatsen in de omgeving van de probleemzone én een infiltratietest te doen. Op die manier kan er bepaald worden wat de oorzaak is van de plasvorming en in welke mate men kan ingrijpen om de bodemdoorlaatbaarheid te verbeteren. Een bodemprofiel kan opgemaakt worden terwijl men de peilbuis plaatst. Men kijkt en voelt en beschrijft de kleur en consistentie van de bodem. Als het grondwaterpeil voldoende diep zit (> 1 m in de winter) kan men een infiltratiezone aanleggen mits de ondergrond voldoende doorlatend is.

Monitoring kan gebeuren door enerzijds neerslag te bemeten op hoge temporele resolutie en het waterpeil en ondiep grondwater in de infiltratiezone te bemeten. Dit kan door een diepe peilbuis aan de rand te plaatsen en een (zeer) ondiepe peilbuis centraal in de poel te plaatsen. De poel zelf moet in voldoende detail opgemeten worden zodat we waterpeilen in de poel kunnen relateren aan watervolumes. Met deze parameters krijgen we enerzijds inzicht in de afstroming die naar de poel wordt afgevoerd (peilstijgingen = volume afstromingswater). Anderzijds verkrijgen we inzicht in de infiltratiecapaciteit van de poel (peildalingen = volume water geïnfilteerd). Uiteraard is er mogelijk ook een snelle initiële peildaling via een eventuele overloop en zijn er trage verliezen door verdamping. Maar tijdreeksanalyse kan na verloop van tijd toegepast worden om deze componenten te onderscheiden.

Infiltratiezones langsheen grachten en waterlopen: Een andere situatie waar bij de aanleg van infiltratiezones relevant is – is wanneer er water passeert op een locatie die zich leent om water te bufferen en te infiltreren.

Tallose droge valleien in de leemstreek werden reeds voorzien van dammen om water en sediment op te houden. In de droge valleien van de leemstreek zijn deze vooral bedoeld om sediment en water te bufferen en zo schade te vermijden. De bufferbekkens zijn voorzien van uitstroomopeningen (knippen) om het water langzaam zijn weg te laten vervolgen. De sedimenten blijven achter in het bufferbekken. Dergelijke bekkens zijn uitermate effectief in het voorkomen van schade door modderstromen. Maar of deze ook bijdragen tot het aanvullen van grondwater is twijfelachtig. Er blijft natuurlijk bij ieder event een aanzienlijke hoeveelheid water achter, maar infiltratie verloopt traag in lemige bodems en zeker wanneer er telkens afzetting is van nieuw aangevoerde sedimenten. Om bij te dragen aan basisdebieten in waterlopen, moeten deze bekkens voldoende groot zijn en voorzien worden van een peilafhankelijke uitloop. Dat is nu reeds het geval waarbij men uitloop openingen plaatst op verschillende hoogten. Deze uitloopopeningen kunnen met verloopstukken gemakkelijk aangepast worden.

In grote delen van zandig Vlaanderen zijn er echter landschapsvormen die zich uitstekend lenen voor het bufferen, vasthouden én infiltreren van water. Deze landschapsdepressies komen voor in alle gebieden met zandige dekklagen en zijn gevormd tijdens de laatste ijstijd. Door sterke winden tijdens de laatste ijstijd zijn er deflatiekomen gevormd. De diepere en grotere depressies zijn vandaag nog steeds vennen, maar er zijn duizenden kleinere deflatiekomen die vandaag de dag gedraineerd zijn, maar wel de potentie hebben om ingezet te worden als waterbuffer. Veel kleinere (niet-gecategoriseerde) waterlopen zijn aangelegd om (een keten van) landschapsdepressies te ontwateren. Een potentiekaart voor waterretentie werd opgemaakt in het

kader van het onderzoeksproject TURQUOISE. Als basis hiervoor werd gebruik gemaakt van een Python package 'lidar' (73). Deze tool berekent op basis van een digitaal hoogtemodel (DHM) en een gedefinieerde minimale grootte en diepte de depressies in het landschap. Binnen de depressies die dit package identificeert worden ook sub-niveaus onderscheiden en voor elk hiervan wordt de grootte en diepte berekend. Deze analyse werd toegepast per sub-bassin in de provincie Antwerpen. De op deze manier gevonden depressies (Figuur 25A) worden in de realiteit echter vaak gedraineerd via grachten. Daarom werden deze grachten in het DHM geïdentificeerd met data vanuit de Vlaamse Hydrografische Atlas en eigen kaarten op perceelniveau, waarna de kleinere grachten werden opgevuld om zo een meer natuurlijke situatie te benaderen (Figuur 25B). Doordat depressies ook nog vaak afgesneden of begrensd worden door menselijke structuren zoals wegen, waar in de realiteit duikers voorkomen onder de weg, werd gekozen deze duikers ook aan het DHM toe te voegen als lageregelegen waarden en zo voor verbinding langs beide zijden van wegen te vormen. Dit heeft vaak ook als effect dat de diepte van de depressie zakt en ook kleinere depressies rond de oorspronkelijke depressie onderscheiden kunnen worden (Figuur 25 C & D).

Al deze data werden vervolgens verwerkt in een database met informatie per depressie. Van elke depressie worden een aantal basiskenmerken geïdentificeerd zoals oppervlakte, volume, gemiddelde en maximale diepte. Daarnaast worden de depressies tijdens de verschillende stappen aan elkaar gelinkt waardoor hun volumes en oppervlaktes vergeleken kunnen worden. Verder wordt ook de aanwezigheid en categorie van grachten in de depressie nagegaan. De gemiddelde waarden voor de depressie van de gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand en het percentage bebouwing in de depressie worden ook meegenomen. Daarnaast wordt gekeken binnen welk gebied van de watersysteemkaart (permanent droog, permanent nat of temporeel nat) de depressie zich bevindt.

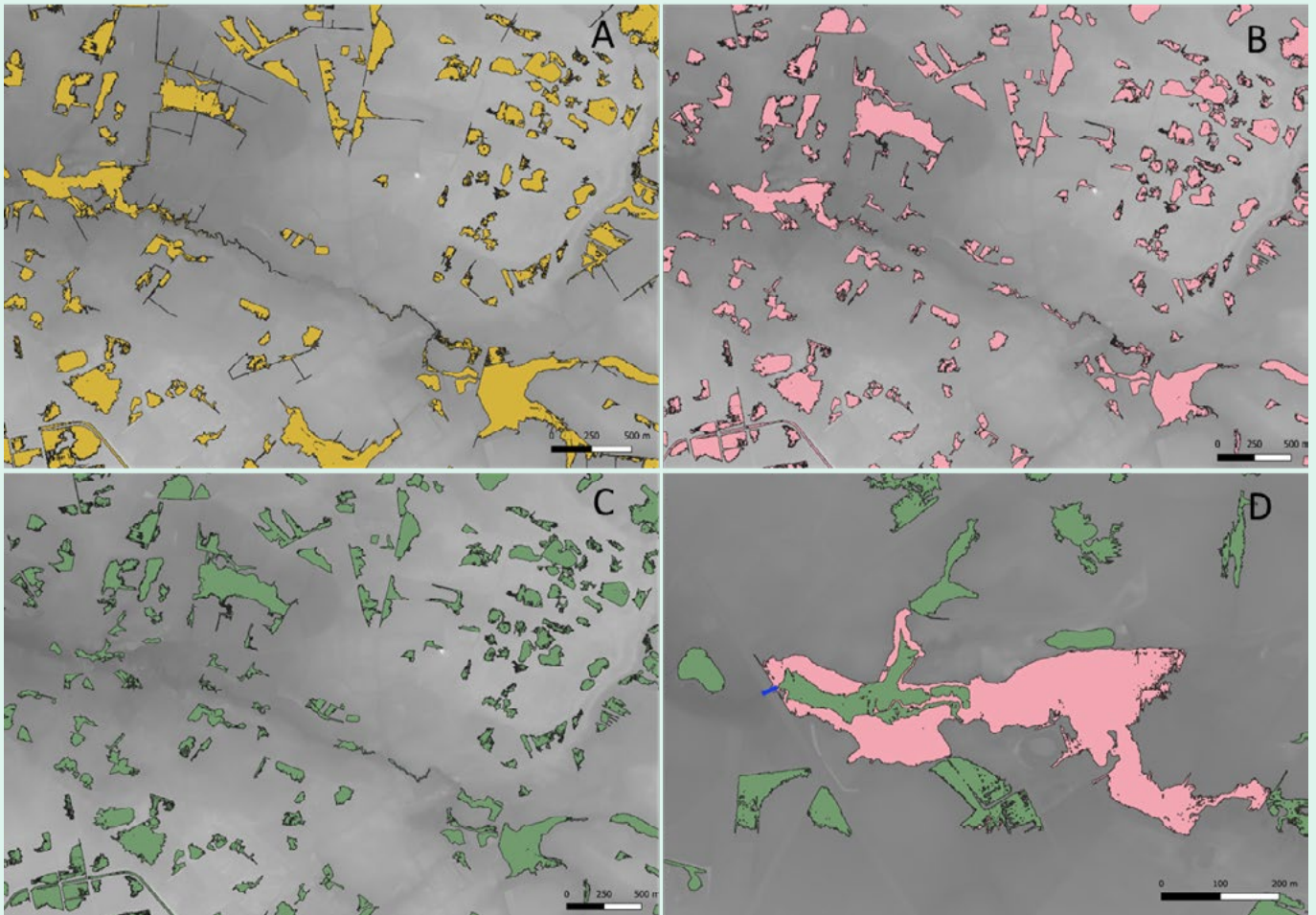
Extra databases werden ook gecreëerd met hoe de depressie zich gradueel opvult bij stijgingen van water in de depressie. Hiervoor werd de depressie opgevuld in stappen van 10 cm, waarna het reeds gevulde volume werd berekend en hoeveel procent dit bedraagt van het totale bergingsvolume.

Een laatste database werd gecreëerd voor het bovenstroomse gebied van de depressie. Hiervoor werd eerst op basis van het aangepaste DHM een "flow accumulation" opgemaakt, die benadert hoe water in het landschap zou stromen. Binnen de depressie werd de hoogste waarde gevonden om vervolgens van hieruit het bovenstroomse gebied te berekenen. Neerslag die binnen dit gebied valt, zal na verloop van tijd terechtkomen in de depressie. Daarna werd nagegaan in welke mate de depressie en dit bovenstrooms gebied overlappen.

Deze kaartlaag (Figuur 25) en database maken het dus mogelijk om de huidige depressies te vergelijken met de potentiële depressies van het landschap. De extra informatie in de database maakt het mogelijk om te identificeren waar ingrepen het meeste effect kunnen hebben en ook waar deze haalbaar zijn.

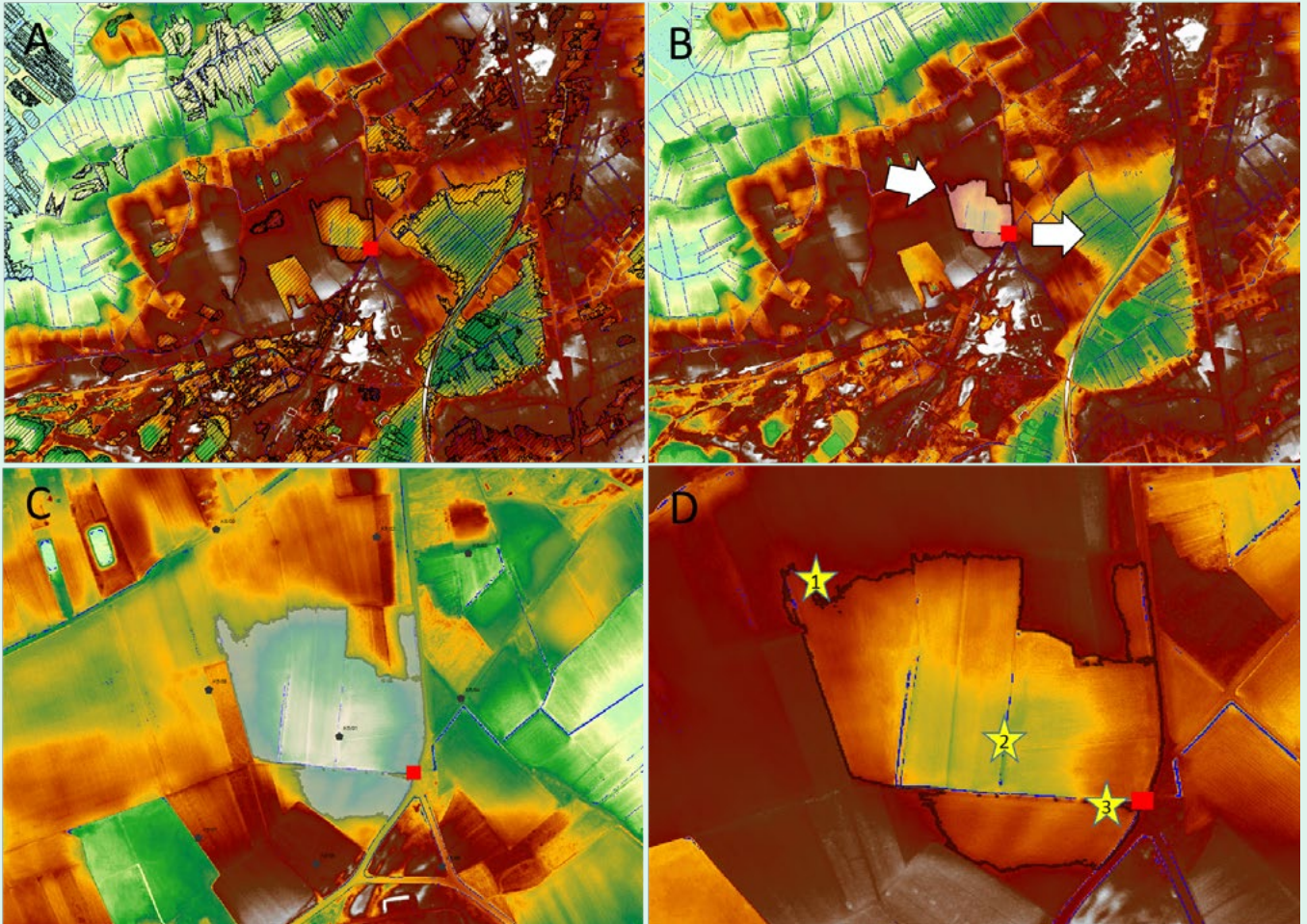
Men kan deze natuurlijke wadi's benutten om zowel afstromingswater als grondwater op te houden. Door hun (vaak) hogere ligging in het landschap zal het grondwaterregime, van nature sterk fluctueren. Na een natte periode kan de grondwatertafel tijdelijk hoog zijn onder invloed van lokale waterstromingen, maar over het algemeen zal het water dat men vasthoudt infiltreren.

Men kan deze waterretentiefuncties herstellen door grachten te dempen en/of stuwen te plaatsen. Universiteit Antwerpen plaatste voor het TURQUOISE project een geavanceerde monitoring (Figuur 26 C). Eén peilbuis plaatst men op het laagstgelegen punt van de depressie (eventueel in de gracht), de andere 8 peilbuizen plaatste men in een rooster (vierkant) op de rand van de depressie (op minstens 10 m van een gracht). Maar



↑ © Jeroen Krols
& Jan Staes

Figuur 25: Waterretentie potentieel van landschapsdepressies en bovenstroomse valleien: A) Depressies geïdentificeerd op basis van het oorspronkelijke DHM. B) Depressies na het opvullen van niet-geclassificeerde beken en sloten in het DHM. C) depressies na het opvullen van kleine sloten en het doorbreken van kunstmatige barrières (wegen, dijken). D) Detail van het effect van het doorbreken van kunstmatige barrières. Roze contour = vóór doorbraak. Groene contour = na doorbraak.



↑ © Jeroen Krols
& Jan Staes

Figuur 26: A) Uitsnede van de landschapsdepressies kaartlaag voor een gebied in Kasterlee B) Interpretatie van de topografie voor een geselecteerde landschapsdepressie. De witte pijlen tonen de algemene stromingsrichting. C) Monitoring met een rechthoekig grid van 9 peilbuizen met een centrale peilbuis op het laagste punt van de depressie. Op de locatie van de rode rechthoek werd een meetgoot geplaatst die zowel peil als debiet meet. D) Vereenvoudigde opstelling waarbij peilbuis 1 op de rand van de depressie geplaatst wordt aan de zijde van het voedingsgebied. Peilbuis 2 staat op het laagste punt van de depressie en peilbuis drie staat vlak voor de stuw (rode vierkant).

ook een eenvoudige monitoring volstaat (Figuur 26D). De centrale peilbuis blijft noodzakelijk, maar men zou kunnen opteren om slechts één bijkomende peilbuis te plaatsen aan de rand van de landschapsdepressie en aan te nemen dat dit peil geldig is voor de volledige rand. Deze peilbuis plaatst men bij voorkeur aan de zijde waar men aanvoer kan verwachten – dus waar het landschap hoger ligt dan de depressie. De hoogtekaart kan hier snel inzicht geven (Figuur 26).

Monitoring is vergelijkbaar met een infiltratiepoel. Ook hier plaatsen we minimaal twee peilbuizen. Een eerste peilbuis (1) plaatsen we aan de rand van de depressie aan de zijde waar we de hoogste grondwaterpeilen verwachten. Een tweede (3) plaatsen we op het diepste punt van de depressie. Op zich zijn deze twee peilbuizen voldoende om te weten of de depressie draineert of irrigeert en in welke mate er grondwatervoeding is naar de depressie. Bijkomend is het vervolgens interessant om bij de plaatsing van een stuw een derde peilbuis (3) te plaatsen vlak voor de stuw die het oppervlaktewaterpeil in de gracht regelt. Wanneer vervolgens gebruik gemaakt wordt van een stuw met een gekalibreerde overloop – kan eveneens het drainagedebit bepaald worden. Op basis van de peilen in peilbuis en het digitaal hoogtemodel kan een eventuele oppervlaktewaterberging berekend worden.

Een meer geavanceerde monitoring werd toegepast voor wetenschappelijke onderzoek. Hierbij werden er in totaal 9 peilbuizen in een raster geplaatst – met centraal een peilbuis op het laagste punt van de depressie. Een meetgoot op de drainagegracht laat toe om de drainagedebieten te bemeten. Gegevens van een lokaal weerstation laten toe om neerslag en verdamping in te schatten. Deze gegevens laten toe om het hydrologisch gedrag van een dergelijke depressie te modelleren. Maar er zijn ook eenvoudige manieren om deze gegevens te interpreteren. Interpolatie van de grondwaterpeilen mét en zonder de middelste peilbuis laten toe om op een eenvoudige manier een “verloren” grondwatervolume te bepalen.



4.5 STRUCTUURHERSTEL

Er zijn in Vlaanderen tal van waterlopen en permanent watervoerende grachten die een sterke drainerende werking hebben. In deze gevallen is het echter niet wenselijk om stuwen te plaatsen, we willen immers geen bijkomende vismigratieknelpunten creëren. Er is in Vlaanderen reeds een grote mate van verstuwings aanwezig op waterlopen. De aanleg van stuwen was vaak nodig ter compensatie van een verhoogd verval op de waterlopen door verdiepingen en rechte trekkingen uit het verleden. Stuwen hebben een belangrijke impact op aquatische biodiversiteit door de veranderingen in afvoerregimes, het sediment transport en de rivierbedding.

Een vergunningsaanvraag voor een stuw op een permanent watervoerende gracht of waterloop wordt dan ook categoriek geweigerd door de waterbeheerders. Maar dat betekent niet dat er geen maatregelen mogelijk zijn. Voor dergelijke waterlopen en grachten is het immers wél mogelijk om door profielaanpassingen en structuurherstel waterconservering te realiseren.

In het verleden waren acties voor hydromorfologisch herstel vooral gericht op het behoud en herstel van de aquatische biodiversiteit. Hydromorfologische kwaliteit is immers een belangrijk aspect bij de beoordeling van de goede ecologische toestand voor de Kaderrichtlijn Water. Er is in dat kader reeds veel studiewerk gebeurd. Er werd dan ook een beoordelingskader uitgewerkt voor de ecologische toestand van oppervlaktewaterlichamen in Vlaanderen (74). In 2005 werd er in opdracht van AMINAL door Haskoning een monitoringsstrategie hydromorfologie ontwikkeld (75). Witteveen en Bos maakte in 2017 een studie voor VMM om de kosten-effecten voor type acties inzake hydromorfologische kwaliteitselementen in beeld te brengen (76). Deze studies hebben vooral aandacht voor het monitoren van de impact van maatregelen op biodiversiteit. Het is pas met de recente problematieken van droogte, dat er ook aandacht komt voor de mogelijke effecten van structuurherstel op waterkwantiteit. Dit aspect is

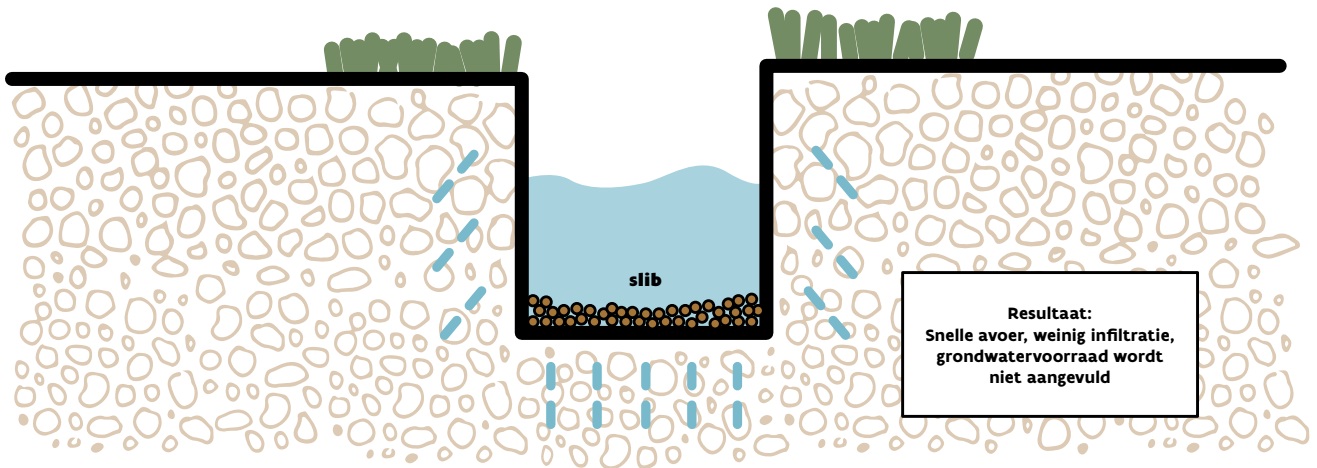
dan ook onderbelicht in de bestaande studies. In dit hoofdstuk leggen we dan ook de nadruk op de mogelijke effecten van structuurherstel op waterkwantiteit en hoe we deze kunnen monitoren.

4.5.1. Profielaanpassingen

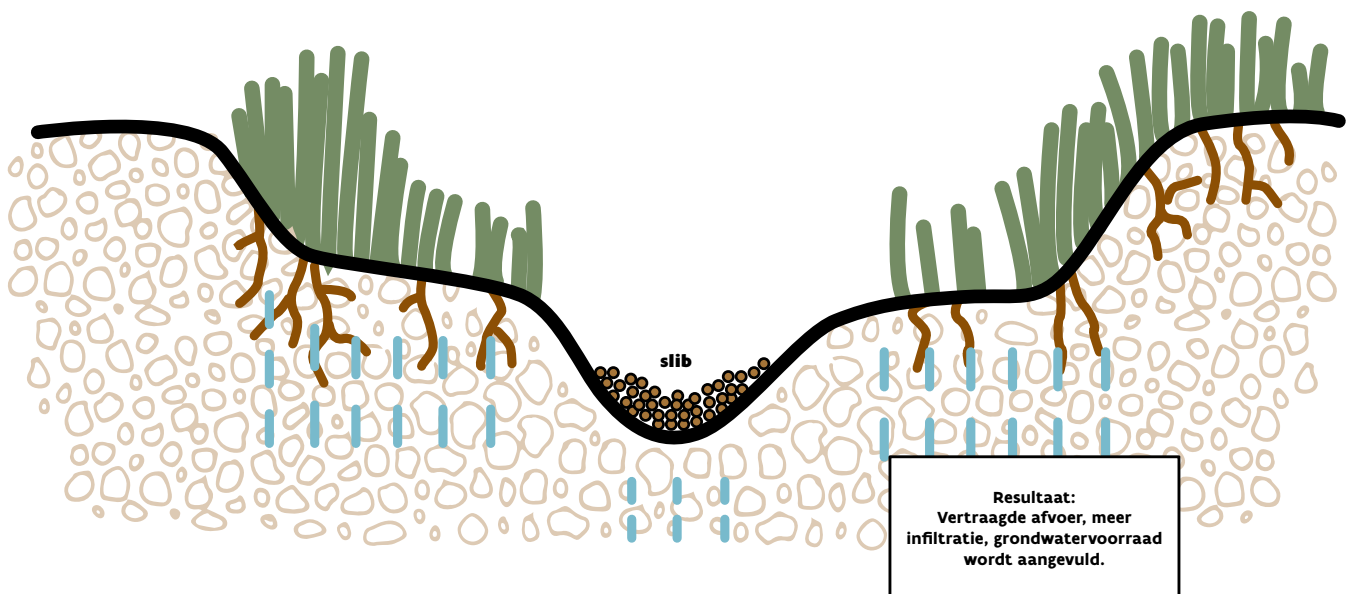
Het aanbrengen van structuur variatie in grachten en kleine waterlopen levert vele voordelen op. Wetenschappelijk studies tonen aan dat het belangrijk is dat de bodem van dergelijke droogvallende grachten begroeid is. Dolinger (77) publiceerde in 2015 een uitgebreide literatuurstudie over het ontwerp en beheer van grachten. Grachten zijn in de eerste plaats ontworpen om wateroverlast tegen te gaan. Het snel ontwateren kan wel lokale overlast beperken, maar zorgt meestal voor grotere problemen benedenstrooms. Bij goed beheer leveren grachten vele andere belangrijke ecosysteemdiensten, namelijk aanvulling van het grondwater, afvlakken van piekgebieden, waterzuivering en behoud van de biodiversiteit. Uit literatuur blijkt dat morfologie en vegetatie een belangrijke rol spelen voor het leveren van deze functies.

Naast het plaatsen van stuwen en drempels op grachten, kunnen ook profielaanpassingen en een meer ecologisch ontwerp dus een belangrijke bijdrage leveren aan klimaatadaptatie (Figuur 27). Literatuur toont aan dat vegetatie de stroming vertraagt en een belangrijke regeneratieve rol heeft voor de infiltratiecapaciteit van grachten. Brede ondiepe begroeide grachten zijn daarom vaak effectiever voor infiltratie dan diepe smalle grachten. Bij de smalle diepe grachten zal sediment en bezinsel de bodem van de gracht doen dichtslibben. Enerzijds heeft vegetatie bij smalle diepe grachten weinig ontwikkelingskansen door het arme 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 af en toe noodzakelijk zijn om de verslepte bodem te

Resultaat
 Frequent maaien stimuleert
 snelgroeiende soorten en leidt
 zo tot minder biodiversiteit.
 Bovendien dient er dan steeds
 vaker gemaaid te worden om
 dezelfde afvoer te bereiken.



Resultaat:
 Snelle afvoer, weinig infiltratie,
 grondwatervoorraad wordt
 niet aangevuld



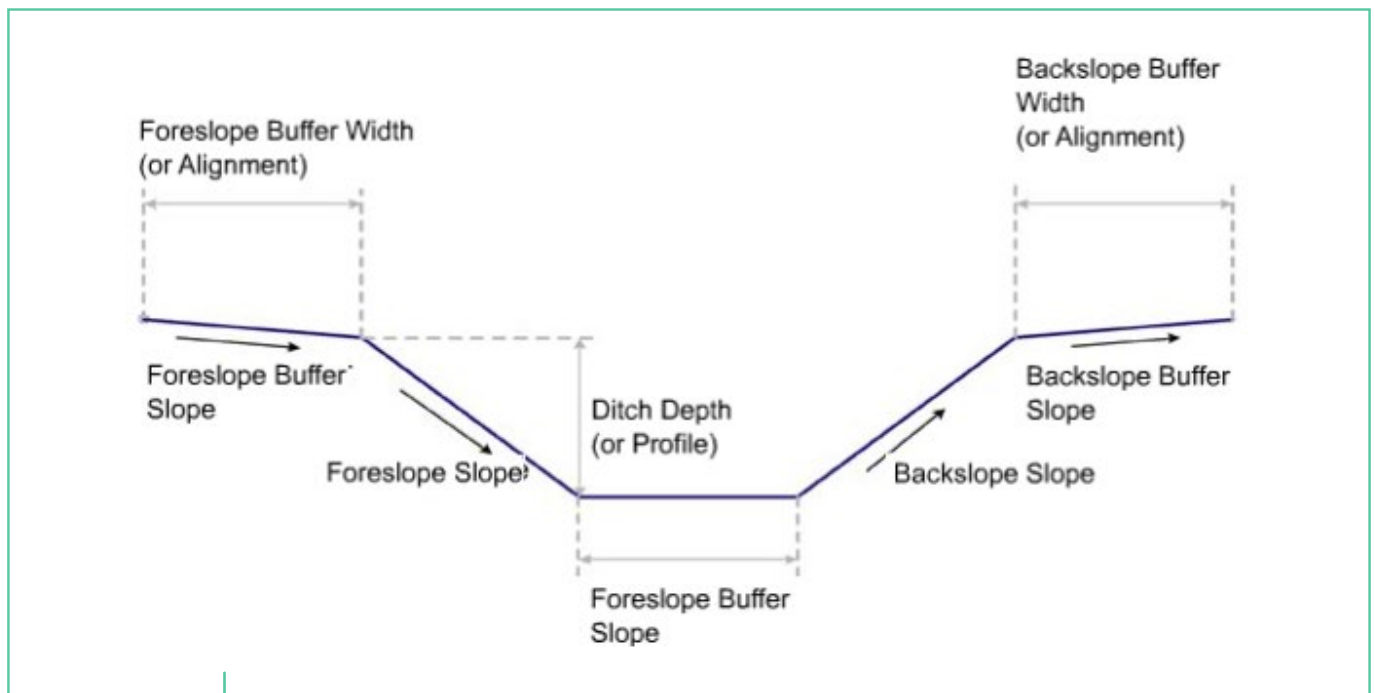
Resultaat:
 Vertraagde afvoer, meer
 infiltratie, grondwatervoorraad
 wordt aangevuld.

↑ © Common
 Ground

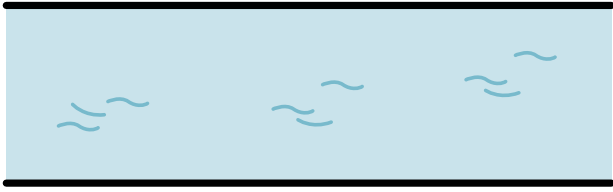
Figuur 27: Profielaanpassingen van grachten en beken verhogen de mogelijkheid voor grondwateraanvulling (infiltratie) door een vergroot contactoppervlak bij hogere peilen. De geleidelijke gradiënt van de oevers verzekert een doorworteling van de oevers. Hierdoor blijven de oevers doorlatend voor water. Bredere en ondiepere grachten kunnen eenzelfde volume water bufferen, maar zullen minder water draineren bij hoge grondwaterstanden en meer water infiltreren bij lage grondwaterstanden.

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 (32).

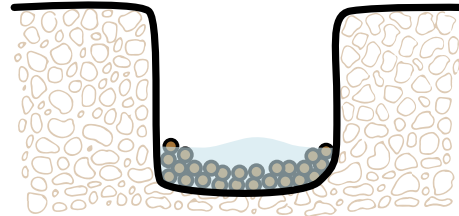
- **Monitoring:** Het monitoren van de impact van dergelijke maatregelen is moeilijk. In een experimentele aanpak zou men de effectiviteit kunnen aantonen door aspecten zoals infiltratie en verblijftijd te bemeten. Het is echter wél mogelijk om de maatregel zelf te kwantificeren en te documenteren. Als dergelijke maatregelen op grote schaal worden toegepast, kan het wel degelijk meetbare effecten hebben op kleine stroombekkens. Daarom is het wenselijk om grachten in kaart te brengen voor zones waar men Blue Deal-ingrepen implementeert. Het inmeten van grachten (diepte, breedte) op basis van een vaste methodiek (bv Figuur 28) moet toelaten om dit systematisch te documenteren. Eventueel kunnen deze kenmerken via LIDAR voor de huidige toestand op een geautomatiseerde manier in kaart gebracht worden.



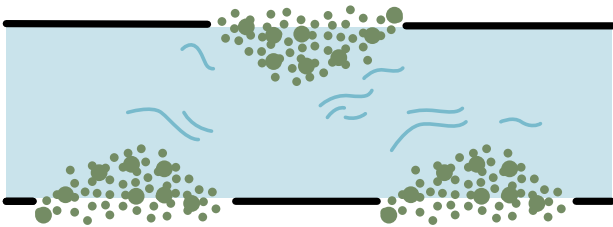




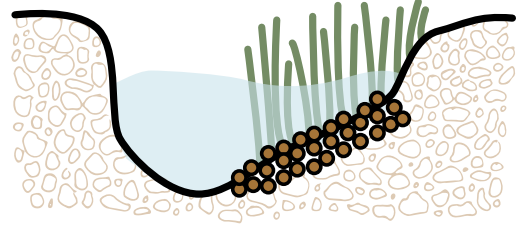
a. gemaaid – snelle afvoer, weinig infiltratie



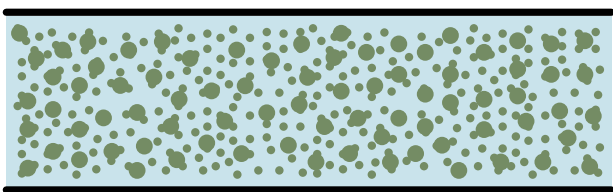
↙ **grondwatervoorraad wordt niet aangevuld**



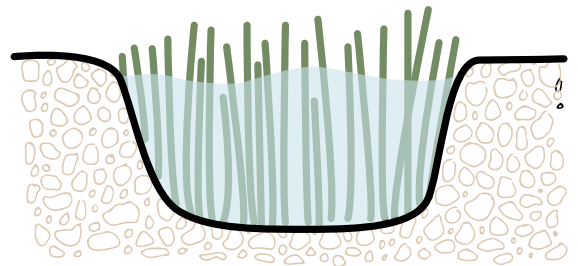
b. aangepast maaien (blokmaaien) – vertraagde afvoer, meer infiltratie



↙ **grondwatervoorraad wordt aangevuld**



c. niet maaien – trage afvoer, meer infiltratie



↙ **grondwatervoorraad wordt veel aangevuld**

↑ © Common Ground

Figuur 29: samenspel tussen waterplanten, stromingsweerstand en morfologie. Variatie in dwarsprofielen leidt tot variatie in waterplanten en stimuleert het ontstaan van preferentiële stroombanen.

4.5.2. Aangepast maaibeheer waterlopen

Waterplanten (macrofyten) zijn opnieuw verschenen in veel van onze laaglandrivieren. Decennialang hebben slechte waterkwaliteit en morfologie hun voorkomen belemmerd. Een efficiëntere afvalwaterzuivering voor zwevende deeltjes heeft de groei van macrofyten in veel rivieren mogelijk gemaakt. De groei van macrofyten bij lage debieten/peilen verhoogt de hydraulische opvoerhoogte, vermindert de valleidrainage en resulteert in stabielere en hogere grondwaterstanden (Figuur 29 & 30). Het vasthouden van water heeft tevens positieve effecten op de waterkwaliteit. De verminderde afvoer verhoogt ook de denitrificatie omdat zowel de oppervlakte van met water verzadigde bodems toeneemt als de verblijftijd van zowel oppervlakte- als grondwater toeneemt. Maar excessieve macrofytenegroei kan ook problemen veroorzaken door te ondiepe grondwaterpeilen in de valleien en kan overstromingen veroorzaken tijdens zomerstormen. De schade van een occasionele zomerstorm is wellicht vele malen kleinere dan deze van droogte. Waterafvoer en ecologische waarden hebben vaak tegenstrijdige belangen. Om overstromingen te voorkomen in gebieden met menselijke bewoning of voordelen voor de landbouw wordt aquatische vegetatie preventief verwijderd...soms ten onrechte.

Macrofyten vertonen dus zelforganiserende eigenschappen die zeer nuttig kunnen zijn in de strijd tegen verdroging. Lage stromingsomstandigheden bevorderen de groei van macrofyten, wat op zijn beurt de stromingsweerstand verhoogt. Deze wrijving verhoogt de hydraulische opvoerhoogte bij eenzelfde debiet. Op die manier zorgen ze voor een natuurlijk terugkoppelingsmechanisme om een hoge grondwaterspiegel in stand te houden (Figuur 29). Ze vormen als het ware een diffuse zelfregulerende stuw.

Macrofyten zullen voornamelijk problemen creëren in sterk genormaliseerde beken. In beken met een

minimaal beheer zullen vanzelf diepere en ondiepere delen ontstaan. Een goede morfologische kwaliteit maakt dat macrofyten zullen groeien in patches en zo preferentiële stromingspaden creëren, die zo nodig een betere doorstroming mogelijk kunnen maken. Als de waterstromen zeer laag zijn en de morfologische kwaliteit laag (uniforme diepte en stroming), is er geen duidelijke patchvorming zichtbaar. Dit is begrijpelijk, omdat er geen differentiërende factoren zijn voor de vestiging van vegetatie. De keerzijde hiervan is dat de stroom volledig wordt opgevuld met macrofyten. De manier waarop de rivier reageert op veranderingen in de afvoer is afhankelijk van de dichtheid van macrofyten, de soortensamenstelling en de morfologie van de rivier. Verschillende soorten reageren verschillend op veranderende stroomsnelheden (sommige soorten worden bijvoorbeeld naar beneden gedrukt bij hoge stroomsnelheden).

Emergente soorten vertonen de hoogste stromingsweerstand. Zij vertonen ook een sterk niet-lineair effect van de stromingsweerstand met betrekking tot de stroomsnelheid. Submergente soorten vertonen deze niet-lineariteit niet zo sterk. Dit komt doordat de stengels flexibel zijn en bij hogere stroomsnelheden naar beneden worden gedrukt of gewoon breken.

Het regelmatig verwijderen van macrofyten bevoordeelt vooral soorten die gekend staan om te woekeren. Het maaien is immers in het voordeel van soorten met een uitgebreide wortelverankering, aangezien deze soorten zich beter kunnen herstellen dan soorten die samen met het wortelstelsel worden verwijderd. Bovendien slaan deze soorten voedingsstoffen op in het wortelsysteem, waardoor ze zeer snel kunnen groeien. Omdat de hergroei zeer snel kan gaan (minder dan 6 weken) wordt een tweede en zelfs derde vegetatieverwijdering noodzakelijk. Deze soorten hebben de neiging sneller en dichter te groeien en lijken het

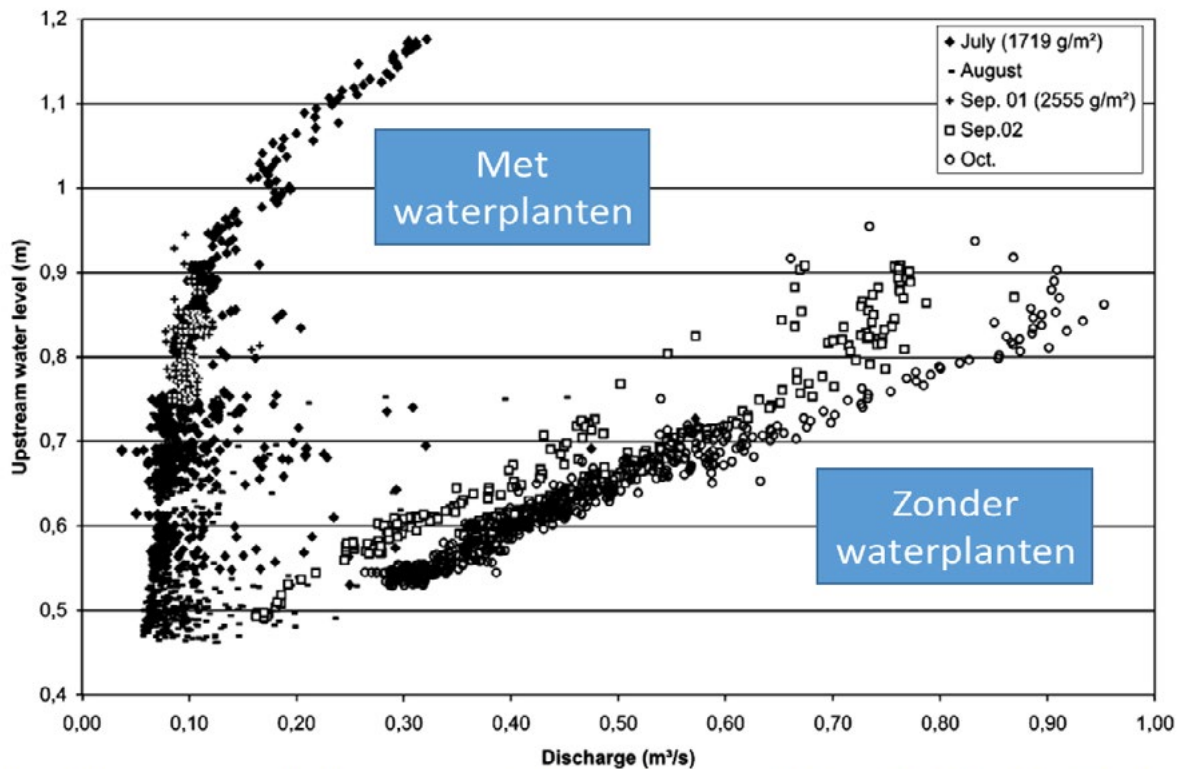


Figure 3. Upstream water level in relation to discharge (hourly means) for a transect of the Grote Caliebeek from July until October. The index 01 and 02 means respectively before and after weed cutting in October.

↑ © Vereecken H, Baetens J, Viaene P, Mostaert F, Meire P. Ecological management of aquatic plants: effects in lowland streams. Hydrobiologia. 2006.

Figuur 30: Waterpeil opwaarts in functie van debiet voor een transect op de Grote Caliebeek van Juli tot Oktober. De index 01 en 02 bij september duiden respectievelijk op voor en na het maaien van waterplanten (78).

De laatste jaren worden we daarenboven geconfronteerd met het verdwijnen van aquatische vegetatie waar deze eerst abundant was. De exotische en invasieve Chinese wolhandkrabben zijn verantwoordelijk voor het verdwijnen van aquatische vegetatie. Jonge krabben trekken na het doorlopen van enkele levensstadia als larve, stroomopwaarts om leefgebied te vinden in de bovenlopen. De krabben groeien daar op tot volwassen krabben en trekken in het najaar naar zee om zich daar voort te planten. Er zijn dus migratiegolven waarbij er hoge densiteiten aan krabben in de waterlopen aanwezig zijn. Hoge densiteiten van krabben beschadigen de vegetatie en doen deze afsterven. De krabben houden zich vast aan de vegetatie met hun scharen. Ook hier is een precair evenwicht. Bij zeer abundante vegetatie, zal deze zich wellicht herstellen. Maar wanneer er minder abundante vegetatie is, zullen de krabben er een hogere druk op uitoefenen. Het maaien van vegetatie voor dat de krabben migreren kan daarbij dus hergroei onmogelijk maken en zelfs lijden tot het permanent verdwijnen van soorten. Opnieuw is het risico het grootste voor submergente soorten met eerder zwakke, flexibele stengels.

afvoerprobleem te verergeren. Het verwijderen van vegetatie kan dus de soortensamenstelling van een rivier beïnvloeden met verschillende gevolgen voor de hydraulica. Frequent maaien van vegetatie kan dus leiden tot een vegetatiegemeenschap met voornamelijk snelgroeïende soorten. Om de afvoercapaciteit beter te combineren met ecologische waarden is het vooral nodig de morfologische kwaliteit van de waterloop te verbeteren. Een goede morfologische kwaliteit bevordert immers een gevarieerde macrofytengroei en het ontstaan van preferentiële stromingspaden. Deze preferentiële stromingspaden kunnen zich tijdens piekdebieten uitbreiden. Een lage morfologische diversiteit verhoogt het risico op blokkering van het kanaal door extreme dichtheden. Maaien in patronen zal een aanzet geven tot zelforganisatie en morfologische herstel, wat een meer duurzame oplossing biedt dan frequent maaien. Maar deze praktijken worden niet altijd toegepast.

Het niet of minder frequent ruimen van vegetatie in grachten en kleine beken kan een belangrijke bijdrage leveren voor waterconservering. Het is een goedkope en effectieve maatregel. Het succes hangt samen met de kansen voor structuurherstel. Afwisseling van verschillende soorten dwarsprofielen en het creëren van diepere en ondiepere stukken (drempels) draagt bij tot de overlevingskansen van macro-invertebraten, amfibieën en vissen. Uit vrees voor wateroverlast is dit in de praktijk vaak een maatregel die op enige weerstand kan botsen. Het is echter niet evident om dit alles te monitoren. Er bestaat momenteel nog geen inventaris van grachten, eventuele dwarsprofielen en het beheer. Het opzetten van een dergelijke monitoring zou een grote stap vooruit zijn.

- Monitoring: De eerste belangrijke stap in de monitoring is het inventariseren van de grachten/beken en hun dwarsprofielen (zie voorgaand deel). Deze inventarisatie kan vervolgens vervolledigd worden met informatie over ruiming van vegetatie en/of slib (tjdstip). Een eenvoudige kartering van de dominante soorten en biomassa kan bijkomend inzicht geven. De soorten zijn immers ook indicatief voor het peilregime in de gracht/beek.
- Voor een aantal waterlopen werden er reeds dwarsprofielen opgemeten in het kader van hydrologische studies. Deze dwarsprofielen zijn raadpleegbaar via waterinfo.be (vha.waterinfo.be/download/dwarsprofielen/). De databank bevat vooral dwarsprofielen van gecategoriseerde waterlopen.
- Moest men actief overgaan tot het anders inrichten/beheren van een waterlooptraject, kan men overwegen om voor en achter het traject de waterpeilen te bemeten met dataloggers. Op deze manier kan men de waterpeilen en het verhang tussen beide punten opvolgen. De hypothese is dat de vegetatie-ontwikkeling tijdens het groeiseizoen zorgt voor hogere peilen en een lagere afvoer. Maar men kan ook opvolgen hoe het traject reageert op piekdebieten en vervolgens een gericht beheer opzetten. Idealiter worden piekdebieten opgevangen met lokale profielverbredingen (aanleggen van poelen) en niet met ruiming.

4.6 HERMEANDEREN VAN WATERLOPEN

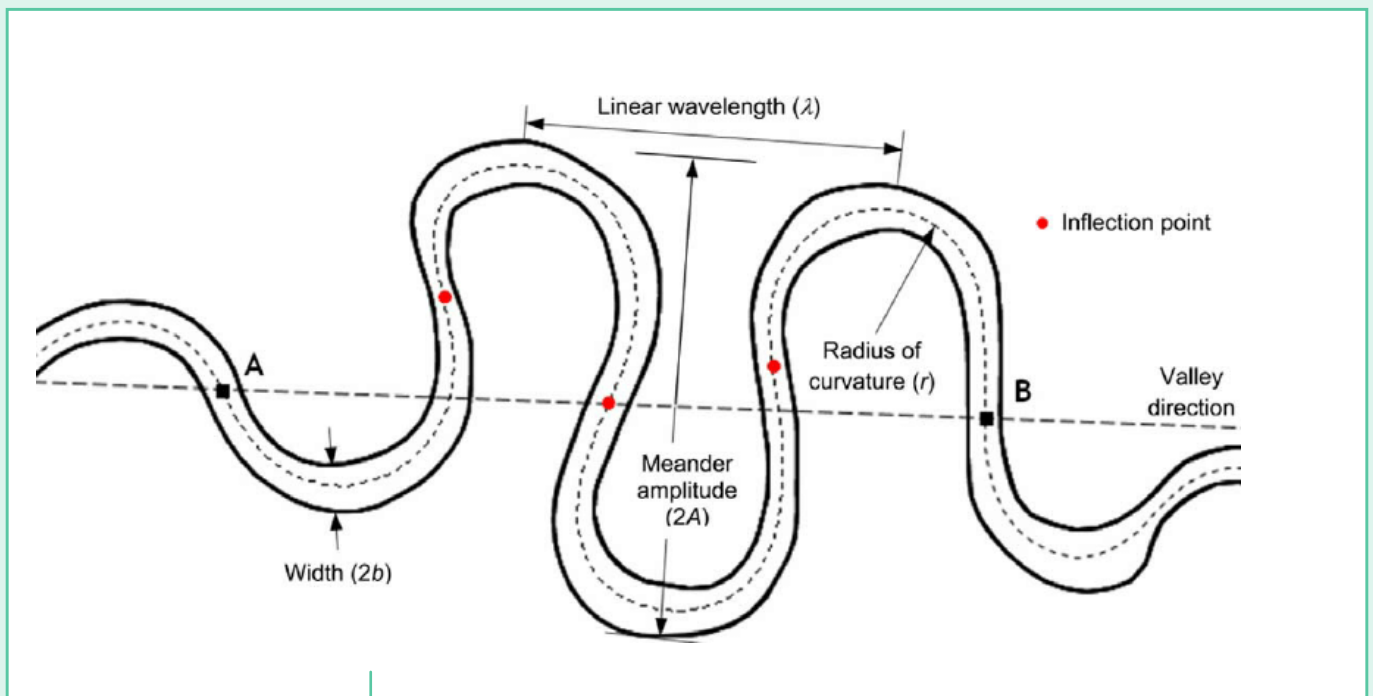
Ooit kronkelden beken ongemoeid door menselijk ingrijpen. Vervolgens zijn veel beken genormaliseerd. Er zijn sporen van dergelijke ingrepen die teruggaan tot de tijd van de Romeinen, maar het is toch vooral tijdens en na de eerste industriële revolutie dat men begonnen is om op grote schaal de loop en dynamiek van rivieren te manipuleren. Er is daarbij een nieuwe golf geweest in de jaren '60. Ten dienste van grootschalige landbouw werd de waterhuishouding primair ingericht op afwatering om landbouwgronden te ontginnen en met zware machines te kunnen bewerken. Door een snelle afvoer van overtollig water kon het land al vroeg in het seizoen worden bewerkt. Dit betekende voor bestaande waterlopen verbreding en verdieping van het profiel, bochtafsnijding, aanleg van stuwen en zandvangen en waar nodig verlegging van de loop. Tenslotte zijn we sinds de jaren '90 bezig om ze terug te herstellen. Om meandering te karakteriseren gebruikt men verschillende metrieken zoals golflengte en amplitude (Figuur 31). In een meanderende beek legt het water een langer traject af met als gevolg een langere verblijftijd. Meer variatie in stromingen in de waterloop zorgt voor meer zuurstof in het water. Het zelfreinigend vermogen van een meanderende beek is daardoor groter en de waterkwaliteit zal door hermeandering dus kunnen verbeteren. Dit leidt ook weer tot een hogere ecologische waarde. Maar herstel vindt niet enkel plaats omwille van ecologische redenen. Het past ook in het tegengaan van wateroverlast en verdroging.

Maar als we die laatste functies willen realiseren, het vasthouden van water, is er onherroepelijk een wisselwerking met de afvoerfunctie.

Een significant aandeel van de hermeanderingprojecten die men de laatste 10 jaar heeft uitgevoerd, waren gericht op het wegwerken vismigratieknelpunten. Dergelijke projecten werden zo ontworpen dat ze zo min mogelijk impact bovenstrooms hebben. Dit vergemakkelijkt de vergunningsprocedure omdat bezwaren van aanliggende en bovenstroomse eigenaars geen standhoudt. Vaak geldt dat er geen aantoonbare impact is op grondwaterpeilen en overstromingsfrequentie. Hierbij maakt men vaak de fout om de dimensies van de rivier te behouden, en enkel te meanderen. De rivier is dan even diep en breed, enkel langer. Dergelijke projecten hebben soms een verdrogend effect op de omgeving omdat er strikt genomen een hoger drainagepotentieel is.

Bovendien legt men de meanders en de bedding vaak vast met behulp van netten, schanskorven en vegetatie. Men herstelt dus niet altijd het proces van meanderen, dat een vrije oeverbeweging impliceert. Idealiter wordt hermeandering iets waartoe men een aanzet geeft en waarbij de rivier zelf zijn weg zoekt in een overstroombare vallei.

Een hermeandering die géén enkel effect heeft op de bovenstroomse waterpeilen – zowel grond als oppervlaktewaterpeilen – is een gemiste kans. Men moet dus – zeker in het kader van droogtebestrijding – kritisch kijken naar hermeandering. Een meander die even diep en breed is, zal simpelweg méér grondwater draineren dan een rechte beek. Bij voorkeur zijn hermeanderingprojecten onderdeel van een valleibrede vernatting waarbij men grote hoeveelheden waterretentie kan realiseren. Uiteraard is dit niet altijd en overal haalbaar en blijven hermeanderingprojecten in het kader van vismigratie noodzakelijk. Vele watermolen en stuwen liggen immers in een stedelijke of agrarische omgeving. Maar in dat geval maakt men best geen sterke claims inzake impact.



↑ © Güneralp İ, Marston RA. Process-form linkages in meander morphodynamics: Bridging theoretical modeling and real world complexity. Prog Phys Geogr Earth Environ [Internet]. 2012.

Figuur 31: Kenmerken van een meanderende rivier. De buigpunten geven de plaatsen aan waar de richting van de kanaalkromming omkeert (79).

De impact heeft vele facetten.

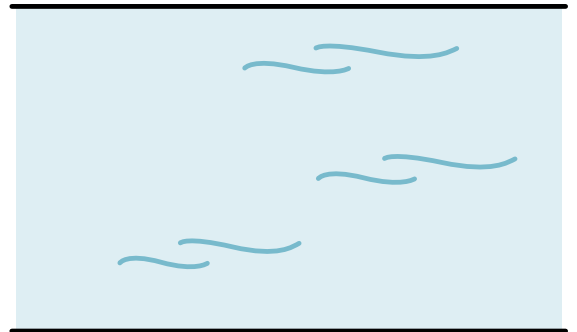
Waterbeschikbaarheid in de vallei: Enerzijds is er door opstuwing – bij eenzelfde debiet – minder drainage in de aanpalende vallei en zullen de grondwaterstanden hoger zijn. Er is dus langer water beschikbaar voor het voeden van een basisdebiet.

Waterbeschikbaarheid in de waterloop: Ook in de waterloop zelf is er door de opstuwing méér water aanwezig – er is een hogere waterdiepte.

Het beperken van de impact van laagwaterpeilen op biodiversiteit: Het milderen van de impact op aquatische biodiversiteit is eveneens een belangrijke doelstelling van de Blue Deal. Bij structuurherstel is er losstaand van de hydrologische impact een verhoogde overlevingskans voor vissen en macro-invertebraten bij lage debieten. De grotere variatie in waterdiepte en stroomsnelheid zorgt enerzijds voor koudere diepe plekken (kuilen) en ondiepe zones met snelstromend water en een hoger zuurstofgehalte (Figuur 32). Stroomminnende soorten die gevoelig zijn voor zuurstoftekorten vinden zo mogelijkheden om te overleven.

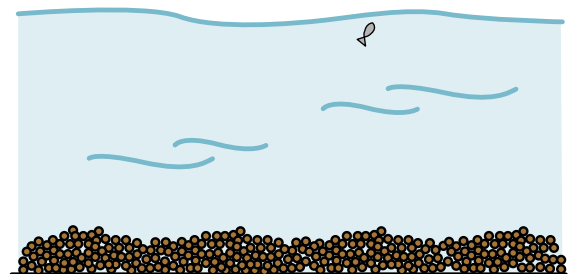
- **Monitoring:** Er is geen systematische monitoring van hermeanderingsprojecten voorhanden. Het voorstel dat we hier maken (Figuur 33) is dat men de topografie voor en na de werken in detail oplevert in GIS zodat men topografische profielen kan opmaken. De verandering in lengte is een belangrijke indicator. Verandering in verhang kan vervolgens gemakkelijk berekend worden ten opzichte van het verval. Daarnaast is ook de breedte van de meandergordel een belangrijke parameter. We stellen voor om minimaal drie transecten te plaatsen met telkens minstens 4 grondwaterpeilmetingen en één waterpeilmeting. Deze meet-transecten worden respectievelijk aan het begin, het einde en het midden van het hermeanderingstraject geplaatst. Deze opzet is uitbreidbaar met bijkomende transecten – gelijkmatig verdeeld over het traject. Dit zou men eenvoudig kunnen visualiseren in een online dashboard. De transecten laten toe om drainage/irrigatie in te schatten.

Resultaat
snelle afvoer, weinig infiltratie,
weinig aanvulling van de
grondwatervoorraad

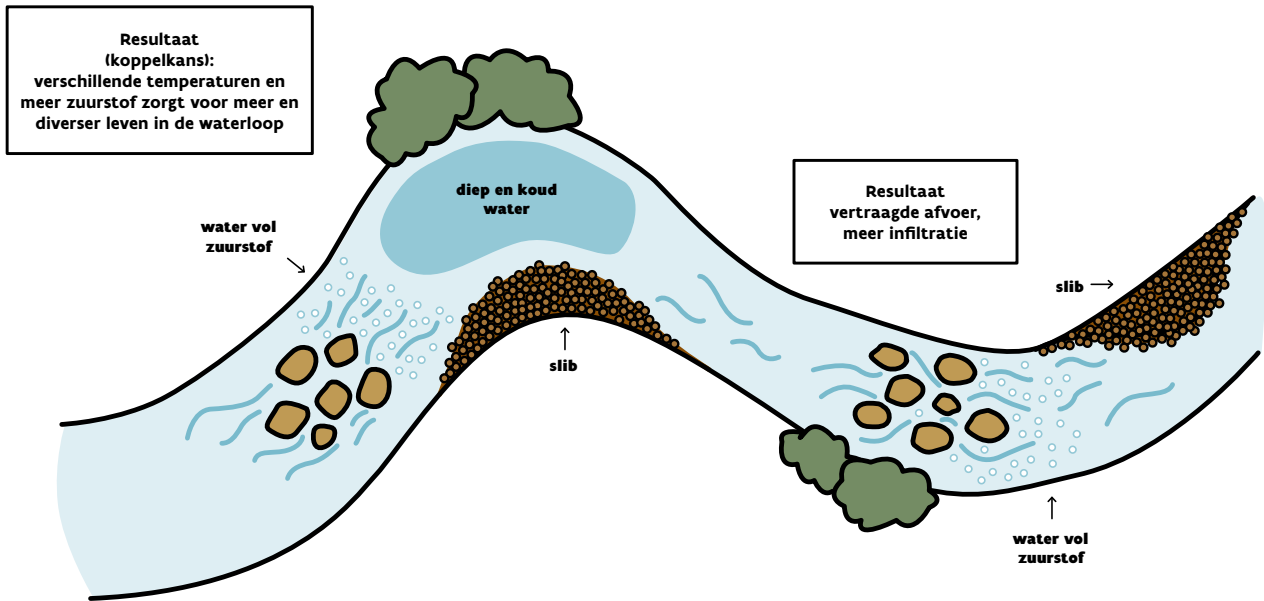


a. situatie voor meandering (bovenaanzicht)

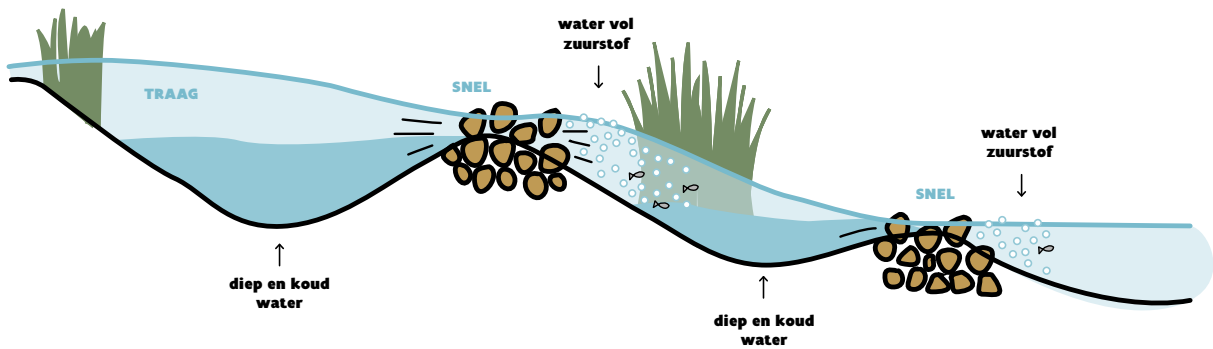
Resultaat
slecht voor de biodiversiteit:
te hoge watertemperatuur en
te weinig zuurstof



a. situatie voor meandering (zijaanzicht)



b. situatie na meandering (bovenaanzicht)



b. situatie na meandering (zijaanzicht)

↑ © Common Ground

Figuur 32: Het creëren van variatie in diepte en stroomsnelheid kan spontaan ontstaan door waterplanten en dood hout, maar ook actief hersteld worden door vergraving van het beekprofiel.



Breedte meandergordel 25-50 m
 => Transect 2 x breedte = 100 m

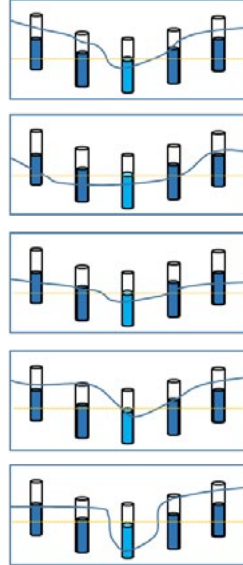
+142% in lengte

AB = 950 m

AB = 1350 m

Verval AB = 0,5 (23,5 – 23)


5 tot 9 transecten



- Topografie
- 4 peilbuizen
- 1 waterpeil







Databeheer en -analyse



5. Databeheer en –analyse

5.1 INLEIDING

In de eerdere hoofdstukken heeft u kunnen lezen over de verschillende meettechnieken die toegepast kunnen worden om de effectiviteit van de maatregelen te kunnen meten. Om effectief te kunnen monitoren is het noodzakelijk om over een langere periode metingen uit te voeren. Zo is het noodzakelijk om het effect van peilgestuurde drainage te kennen gedurende een jaar of langer grondwaterpeilingen op te volgen. Ook het meten en evalueren van bodemkwaliteit vergt tijd. Om een juiste evaluatie te maken is het dus noodzakelijk om betrouwbare data over een langere periode beschikbaar te hebben.

In het kader van het monitoren van terreinmaatregelen wordt er verwacht dat er rekening wordt gehouden met een viertal principes die bij kunnen dragen aan data die van voldoende kwaliteit zal zijn om monitoring op lange termijn uit te voeren. In dit hoofdstuk zullen we enkele praktische voorbeelden toelichten over hoe u kan zorgen dat de geproduceerde waardes op een goede en veilige manier bewaard wordt. Dit zal er dan voor zorgen dat het niet verloren gaat tegen de tijd dat het gebruikt zal worden voor het meten van de effectiviteit van de genomen terreinmaatregelen.

5.2 TERMINOLOGIE

Vooraleer we stil staan bij enkele aandachtspunten en praktische voorbeelden toelichten is het noodzakelijk om enkele termen toe te lichten.

Wanneer een meting wordt uitgevoerd zal er een waarde worden gemeten. Dit kan bijvoorbeeld een notitie zijn van het grondwaterpeil of een waterdebiet op een gracht.

Wanneer er een verzameling van dezelfde type waardes in één bestand is spreken we van een dataset. Het is aangeraden om een data set te bewaren per locatie en type meting dat wordt uitgevoerd.

Naast het bewaren van waardes in een data set is het ook handig om informatie over een data set te bewaren. Dit noemen we metadata. Hierin wordt bijvoorbeeld beschreven waar de waardes zijn gemeten, hoe die zijn gemeten, door wie die zijn gemeten, etc.

5.3 AANDACHTSPUNTEN

Om de gemeten waardes op een later moment te kunnen gebruiken voor het monitoren van de effectiviteit van de genomen maatregelen is het belangrijk om rekening te houden met een aantal aandachtspunten.

Ten eerste is het noodzakelijk dat de gemeten waardes teruggevonden kunnen worden. Hierbij dient vooral rekening mee gehouden te worden dat de gecapteerde waardes niet verloren gaan, en beschikbaar zijn voor de juiste personen.

Daarnaast is de manier waarop de gemeten waardes opgeslagen worden ook belangrijk. In sommige gevallen zal dit automatisch opgeslagen worden, maar ook wanneer de waardes handmatig op terrein gecapteerd worden is het noodzakelijk om ervoor te zorgen dat dit op een juiste manier opgeslagen wordt.

Wanneer de waardes gebruikt worden voor de monitoring is het nodig om meer informatie te hebben over de gemeten waardes. Het is bijvoorbeeld goed om te weten hoe de meting plaats heeft gevonden, waar die plaats gevonden, wat er is gemeten, en wanneer de meting plaats heeft gevonden. Dit zal ervoor zorgen dat juiste conclusies getrokken kunnen worden.

Het laatste aandachtspunt is dat de gecapteerde en bewaarde data van voldoende kwaliteit is om de monitoring uit te voeren, en de juiste conclusies eruit te kunnen halen.

We zullen hier vier principes toelichten waarmee u rekening kunt houden in het beheren van de gecapteerde data. Deze zijn:

- Vindbaar
- Compatibel
- Herbruikbaar
- Kwalitatief

Wanneer deze vier principes in acht worden genomen zal het mogelijk zijn om de verzamelde data door een breder publiek over een langere periode te laten gebruiken.

5.3.1. Vindbaar

Eén van de aandachtspunten met betrekking tot data captatie is dat de data niet verloren gaat. Hierbij is een belangrijke bedenking wie er later gebruik zal gaan maken van gemeten waardes. In het geval dat de gecapteerde waarde enkel door Uzelf of door collega's is het bijvoorbeeld voldoende om de waardes te bewaren in een data set die bewaard wordt op een interne databank. De dataset bewaren op een lokale computer is namelijk een groot risico. Wanneer er iets met de computer zou gebeuren dan zal de data set voor altijd verloren gaan.

Tegenwoordig zijn er veel opties beschikbaar om de data sets gemakkelijk op een databank op te slaan. Wanneer er geen interne opties beschikbaar zijn is het bijvoorbeeld ook mogelijk om deze te bewaren op een SharePoint of OneDrive (Microsoft-oplossingen) of op googledrive (Google-oplossing). Het voordeel van het bewaren van Uw datasets op één van deze oplossingen is dat het mogelijk is om versiecontrole uit te voeren. Dit houdt in dat wanneer er wijzigingen gebeuren aan de data set, er automatisch ook een back-up wordt gemaakt van de oudere versies. Mocht er wat fout gaan, dan is het nog mogelijk om terug te vallen op de oudere versies. Dankzij deze oplossingen kunnen datasets ook eenvoudig gedeeld worden met projectpartners, wat in het geval van een interne databank onmogelijk is.

Om de data sets vindbaar te maken voor een breder publiek, is het raadzaam om deze beschikbaar te stellen op één van de verschillende bestaande publieke databanken. Deze databanken worden beheerd door verschillende entiteiten met het doel om data binnen een bepaald thematiek te verzamelen en beschikbaar te maken voor een groter publiek. Enkele voorbeelden hiervan vind je terug in de onderstaande tabel:

Databank	Thema's
Databank Ondergrond Vlaanderen	Bodem, Delfstoffen, Geologie, Grondwater, Geotechniek, Geothermie, Klimaat
WATINA	Hydrologische monitoring
Waterinfo.be	Overstroming, Getij, Neerslag, Droogte, Meteorologie, Waterkwaliteit

Wanneer een dataset wordt aangeboden op één van de bestaande databanken dan zal de dataset een unieke identificatiecode krijgen waarmee het mogelijk wordt om deze terug te vinden via zoek portalen. Dit zorgt ervoor dat uw data niet enkel te vinden zal zijn op de aangeboden databank, maar dat het ook via andere zoekplatformen te vinden zal zijn. De data zullen wel enkel op de aangeboden databank blijven bestaan. In praktijk is het op dit moment voor een niet-overheidspartner echter enkel mogelijk om op WATINA data toe te voegen.

Een groot voordeel van het aanbieden van Uw datasets aan een (publieke) databank is dat zij voor de infrastructuur zorgen die nodig is voor het kwalitatief behouden van de data.

5.3.2. Compatibel

Wanneer een dataset compatibel is, betekent het dat die in een standaard bestandsformaat beschikbaar is. Er bestaan meerdere type bestandsformaten die gebruikt kunnen worden om een dataset op te slaan.

Het meest gebruikte bestandstype voor het opslaan van een dataset heet "Comma-separated Values", beter bekend als CSV. Dit is een bestandstype dat gemakkelijk door meerdere applicaties geopend kan worden, en ook gemakkelijk gecreëerd kan worden.

De eenvoudigste manier om een CSV-bestand te creëren is via Excel of een gelijkaardige applicatie (bijv. Numbers van Apple). Uw noteert de verschillende waardes in het Excel bestand, en wanneer alles is opgeslagen kan je op 'opslaan als' klikken. Hier kunt U de naam aangeven, en de bestandstype waarin de dataset opgeslagen dient te worden.

Het is raadzaam om de data zoveel mogelijk als .CSV UTF-8 bestandstype op te slaan. Wanneer de dataset potentieel geaccentueerde letters of niet-Engelse alfabet letters bevat is dan zullen deze juist worden opgeslagen. Dat gebeurt bij een gewone .CSV bestandstype niet altijd omdat het systeem ze niet juist herkend.

Naast de locatie waar je het bestand opslaat zul je dan de mogelijkheid krijgen om het bestand een naam te geven, en het type te bepalen. Voor de naamgeving raden wij aan om de volgende benamingsconventie aan te houden:

Typemeting_bekkenmeting_locatiemeting_jaar_maand_dag

In sommige gevallen zal een applicatie andere type bestanden uitlezen dan een CSV-bestand. In dit geval is het raadzaam om zowel de ruwe data op te slaan, als ook de data op te slaan in een gangbare bestandstype. Enkele voorbeelden van gangbare bestandstypes zijn:

- .CSV
- .JSON of .GEOJSON
- Geography Markup Language (.GML)
- Google Keyhole Markup Language (.KML/.KMZ)
- ESRI Shapefile (.SHP/.DBF/.SHX)
- QlikView Data (.QVD)

5.3.3. Herbruikbaar

Om een dataset herbruikbaar te maken is goede documentatie en metadata nodig om de interpretatie en bruikbaarheid van de data te ondersteunen. De data moeten accuraat en juist beschreven zijn. Het is belangrijk dat het duidelijk is hoe, waarom, door wie, en als het relevant is, waar de data is gemeten.

In het kader van de bruikbaarheid zou het goed zijn om de volgende zaken op zijn minst bij te houden voor elk dataset. Dit zou bijvoorbeeld al kunnen in een 'read_me' tekstbestand, welk als voorbeeld is toegevoegd aan de praktijkgids.

- Inhoud (parameters, tijd, ...)
- Geo-locatie (waar hebben de metingen plaatsgevonden)
- X- en y-coördinaten
- Hoogte (m TAW)
- Relevante foto's
- Informatie over de gebruikte meetinstrumenten
- Informatie over de manier waarop de meting is uitgevoerd
- Contact gegevens eigenaar dataset

5.3.4. Kwalitatief

Er zijn zes verschillende dimensies waarmee rekening gehouden kan worden om te bepalen of je dataset van voldoende kwaliteit is. Er zijn verschillende controles die je kan uitvoeren om voor elk dimensie de kwaliteit te bewaken. Hieronder zullen we een aantal voorbeelden tonen:

- 1. Compleetheid:** Dit houdt in dat de dataset alle waarden omvat die hij zou moeten omvatten. Dit kan je controleren door een vergelijking te doen op het totaal aantal rijen in Uw dataset met het aantal in de bronapplicatie. Het kan bijvoorbeeld gebeuren dat data-overdracht tussen een sensor en computer slecht is verlopen, of dat de sensor een deel van de tijd niet gemeten heeft.
- 2. Uniekheid:** Een tijdreeks is normaal gezien uniek, al is het voor de hier beschouwde parameters wel typisch dat dezelfde waarden terugkeren binnen eenzelfde tijdreeks (bv. Als de grondwaterstand rond een bepaalde waarde schommelt). Het is echter niet de bedoeling dat twee tijdreeksen (bv. Op twee verschillende locaties, of op eenzelfde locatie in jaar x en jaar y) helemaal hetzelfde zijn. Dat kan betekenen dat een meting foutief verloopt en een sensor altijd hetzelfde signaal doorgeeft. Dit kan je onderzoeken door, bv. In Excel, de tijdreeksen in dezelfde figuur weer te geven. Als twee tijdreeksen helemaal overlappen, controleert U best of er niet iets fout gegaan is.
- 3. Tijdigheid:** Wanneer je data tijdig is, betekent het dat je data op het juiste moment beschikbaar is. Dit houdt concreet in dat wanneer er nieuwe data beschikbaar is, deze op tijd toegevoegd worden aan uw dataset. Bij automatische metingen verloopt dit vaak probleemloos, al moet er in dat geval bv. op gelet worden dat mobiele verbindingen ten alle tijden werken. Controleer dus zeker de technische procedures. Bij handmatige metingen is het belangrijk dat de protocollen goed opgevolgd worden en dat data vlot kan doorstromen naar de dataset. Wie meet er, wanneer meet die, hoe wordt data genoteerd... kunnen in deze belangrijke vragen zijn om te stellen.
- 4. Validiteit:** Controleer of de data in lijn is met de vastgestelde regels. Dit kan verschillende per databank. Raadpleeg daarom tijdig de vereisten van de databank waar de data op zal komen te staan, zodat rekening gehouden kan worden met deze regels.

5. Consistentie: Is de data consistent doorheen de organisatie? Het komt soms voor dat dezelfde data in verschillende systemen bijgehouden wordt, en dat daar afwijkingen in zijn. Wanneer dit het geval is, is het belangrijk om vast te stellen of er een verschil is, en wanneer er een verschil is, wat dan het juiste bron is. Een voorbeeld van inconsistentie kan ontstaan wanneer twee handmatig opgenomen metingen op een andere manier opgenomen (bv. Op vlak van precisie) en doorgegeven worden (bv. Op vlak van timing, zoals bij 'tijdigheid' besproken).

6. Accuraatheid: Accurate data betekent dat het een correcte weergave van de werkelijkheid is. Je kan dit controleren door steekproefsgewijs de waardes uit een aantal regels van Uw dataset te controleren of ze overeenkomen met de waardes die U in werkelijkheid zou verwachten. Een aantal controles die gedaan kunnen worden in het kader van accuraatheid zijn:

- Bevestig dat de minimum- en maximum- meting in de dataset overeenkomen met de realiteit. Er kan bijvoorbeeld een afwijking op sensoren zitten, waardoor die altijd (of vanaf een bepaalde grenswaarde) foutieve metingen doorgeven.
- Bevestig dat de nulmetingen overeenkomen met de realiteit. Bevestig dat alle metingen een waarde bevatten (geen lege cellen) Het kan bijvoorbeeld dat er metingen ontbreken door fouten in sensoren, batterijen die leeg vallen...





Conclusies



6. Conclusies

Met de Blue Deal gebeuren er tal van innovatieve en soms experimentele ingrepen, maar we weten niet hoe groot de impact is van deze ingrepen. Door te vertrouwen op aannames en blindelings op te schalen zijn er mogelijke verrassingen. De plaatsing/inrichting en het beheer kunnen daarbij zeer bepalend zijn en er kunnen mogelijk zelfs negatieve neveneffecten optreden. Monitoring en opvolging van geïmplementeerde maatregelen is daarbij essentieel. Monitoring wordt echter vaak vergeten of ondoordacht uitgevoerd.

De hoge tijdsdruk op de Blue-Deal projecten maakt dat er te weinig tijd is voor reflectie en leren van elkaar. Bottom-up projecten zoals Water.Land.Schap zijn ontzettend belangrijk omdat ze een lokale dynamiek creëren en actoren het heft in eigen hand laten nemen. Maar het is ook een allegaartje van ingrepen waarin soms weinig systematiek zit... wél gedragen, niet effectief?

We willen mensen uit de praktijk aanzetten om zelf te meten en te evalueren en zo de coalities te laten groeien naar een effectievere implementatie zonder de dynamiek weg te nemen. De centrale doelstelling van dit rapport was tweeledig. Initieel was het de bedoeling om een overzicht te geven van monitoringtechnieken voor mensen die bezig zijn met de planning en uitvoering van maatregelen. Wat kan je meten en hoe?

Maar het is onmogelijk om praktische aanbevelingen te geven zonder reflectie. De monitoring heeft immers tot doel om de impact (effectiviteit) van de maatregelen te bewijzen of kwantificeren. Bij literatuuronderzoek viel het op dat héél veel monitoring gericht is op de lokale effecten en veel minder op de effecten van opschaling op het watersysteem. De centrale vraagstelling of men door het implementeren van kleinschalige blauwgroene maatregelen kan vermijden (of uitstellen) dat een meteorologische droogte resulteert in een hydrologische droogte blijft grotendeels onbeantwoord. Dit is wellicht te wijten aan het feit dat dergelijke studies een zeer uitgebreide en langdurige monitoring vereisen. Maar zelfs op het niveau van de lokale impact blijkt het bemeten van de invloeden op grondwateraanvulling, het afvlakken van piekdebieten en het verhogen van basisvoeding van waterlopen zwaar onderbelicht. Met dit rapport hopen we hier voldoende aandacht aan te schenken en onder de aandacht te brengen dat we moeten denken op grote schaal en lange termijn. Er is er echt wel nood aan een grootschalige basismonitoring om op termijn zowel de ingrepen als de effecten op een systematische manier te monitoren. Een eerste belangrijke stap in de monitoring van het Blue Deal-programma zou de systematische inventarisatie van ingrepen kunnen zijn. Op basis hiervan kan men de bestaande meetnetten uitbreiden en aanvullen met bijkomende meetpunten en parameters. In de derde plaats komt het uitwerken van een systematische monitoring van de lokale ingrepen.

We vrezen dat niet alle maatregelen die vandaag genomen worden, positief zijn voor het watersysteem. Vooral ingrepen hogerop in het watersysteem zonder direct voordeel voor gebruikers of eigenaars zullen het meest effectief zijn in het versterken van seizoensberging. Vooralsnog zijn veel ingrepen gericht op het beperken van droogteschade of verhogen van waterbeschikbaarheid op korte termijn. De volgende cyclus van investeringen zou dan ook

meer gestuurd moeten worden vanuit een hoger schaalniveau. Dat betekent niet dat de bottom-up aanpak weggegooid moet worden. Men kan wel randvoorwaarden geven aan de bottom-up initiatieven.

Bij het schrijven bleek ook dat de meeste aspecten van monitoring niet zijn weggelegd voor niet-experten. De monitoring is complex, vereist inzicht in processen en de meetinstrumenten zijn vaak duur in aankoop en onderhoud. We zijn er evenwel in geslaagd om voor een aantal aspecten toch een minimale en haalbare monitoring voor te stellen. Anderzijds zal er ook nog veel onderzoek nodig zijn. Niettemin gebeurt er best al wat onderzoek, maar de resultaten en meetresultaten vinden niet altijd hun weg naar centrale databanken die raadpleegbaar zijn.

Omdat meetinstrumenten duur zijn in aanschaf en onderhoud, lijkt het aangewezen om een systeem op te zetten waarbij men allerlei meetinstrumenten kan ontlenen. Dit zou kennisinstellingen in staat stellen om meer en beter onderzoek te verrichten. Men zou zo'n aanvraag voor ontlending en ondersteuning kunnen koppelen aan onderzoeksvorstellen voor FWO, VLAIO, BOF, etc. Meetapparatuur aanschaffen op projecten die vaak maar enkele jaren lopen is duur en inefficiënt. Tegelijk biedt het kansen om standaarden te ontwikkelen, eventueel op te leggen en ook de meetresultaten op te nemen in een centrale databank.

Het is een aanbeveling om te investeren in een onafhankelijke, zelfstandige organisatie die aan kennisbeheer doet en zorgt voor een levendige praktijkgemeenschap die zorgt voor kennisuitwisseling en vraag gedreven onderzoek uitschrijft. Het Nederlandse STOWA kan daar een voorbeeld zijn. De onafhankelijkheid en transparantie is daarbij zeer belangrijk, zonder al uitspraken te doen over het organisatiemodel.







Referenties

Referenties

1. Statistiek Vlaanderen. Statistiek Vlaanderen. (2021, 04/2019). "www.milieurapport.be - Bebouwde oppervlakte." Retrieved 20/06/2021, 2021, from <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/waterbeschikbaarheid>. 2021.
2. VMM. Grondwaterstand (2000-2020) [Internet]. Vol. 2021. Aalst: VMM; 2021. Available from: <https://www.vmm.be/water/grondwater/grondwaterstand>
3. MIRA. www.milieurapport.be - Grondwaterwinning [Internet]. Vol. 2021. Brussel: Vlaamse overheid - Departement omgeving; 2021. Available from: <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/grondwaterwinning>
4. Vrebos. D SJ. Studienota groenblauwe netwerken en strategisch plan waterbevoorrading, Universiteit Antwerpen, onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, ECOBE 021-R274. 2021.
5. Rousi E, Kornhuber K, Beobide-Arsuaga G, Luo F, Coumou D. Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia. Nature Communications. 2022;13(1):3851.
6. Negev I, Shechter T, Shtrasler L, Rozenbach H, Livne A. The Effect of Soil Tillage Equipment on the Recharge Capacity of Infiltration Ponds. Water. 2020;12(2).
7. Owuor, S.O., Butterbach-Bahl, K., Guzha AC et al. Groundwater recharge rates and surface runoff response to land use and land cover changes in semi-arid environments. Ecol Process 5, 16 (2016). <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0060-6>. Ecological Processes. 2016;
8. Basset C, Abou Najm M, Ghezzehei T, Hao X, Daccache A. How does soil structure affect water infiltration? A meta-data systematic review. Soil and Tillage Research. 2023;226:105577.
9. Rousi E, Selten F, Rahmstorf S, Coumou D. Changes in North Atlantic Atmospheric Circulation in a Warmer Climate Favor Winter Flooding and Summer Drought over Europe. JOURNAL OF CLIMATE. 2021;34(6):2277–95.
10. Santos JA, Belo-Pereira M, Fraga H, Pinto JG. Understanding climate change projections for precipitation over western Europe with a weather typing approach. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ATMOSPHERES. 2016 Feb;121(3):1170–89.
11. Tracy EE, Infante DM, Cooper AR, Taylor WW. An ecological resilience index to improve conservation action for stream fish habitat. AQUATIC CONSERVATION-MARINE AND FRESHWATER ECOSYSTEMS. 2022 Jun;32(6):951–66.

12. Bouma J, Maasbommel M, Schuurman I. HANDBOEK METEN VAN GRONDWATERSTANDEN IN PEILBUIZEN. 2012.
13. ECOPEdia. Peilbuizen en piëzometers opmeten [Internet]. Available from: <https://www.ecopedia.be/pagina/peilbuizen-en-piëzometers-opmeten>
14. ECOPEdia. Karakteristieke waterstanden [Internet]. Available from: <https://www.ecopedia.be/encyclopedie/gxg>
15. Collenteur RA, Bakker M, Caljé R, Klop SA, Schaars F. Pastas: Open Source Software for the Analysis of Groundwater Time Series. Groundwater. 2019;57(6):877–85.
16. IMDC, Bodemkundige Dienst van België. Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen. 2016.
17. Gootman, K.S.; Kellner, E.; Hubbart JA. A Comparison and Validation of Saturated Hydraulic Conductivity Models. Water 2020, 12, 2040. <https://doi.org/10.3390/w12072040>. 2020;
18. MacKeague JA and GCT. "Pitfalls in interpretation of soil drainage from soil survey information." Canadian journal of soil science = Revue canadienne de la science du sol 66(1): 37-44. 1986.
19. M. Heinen, G. Bakker JHMW. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. 2018.
20. AQTESOLV. Slug Test Analysis [Internet]. Available from: http://www.aqtesolv.com/slug_test_analysis.htm
21. (IGME) IG y M de E. SlugIn 1. 0 USER MANUAL SLUG TEST ANALYSIS SOFTWARE.
22. Black JH. The practical reasons why slug tests (including falling and rising head tests) often yield the wrong value of hydraulic conductivity. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology Volume 43 Pages 345 - 358 <https://doi.org/101144/1470-9236/08-094>.
23. W. Boiten AD en MS. Handboek debietmeten in open waterlopen. 1995.
24. Eijkelkamp. Meetgoten: <https://www.royaleijkelkamp.com/nl/producten/monitoring/sensoren-en-sondes/water-sensoren/rbc-meetgoot/> .2022.

25. Mechanische debietmeter Eijkelkamp [Internet]. Available from: <https://www.royaleijkelkamp.com/products/field-measuring-equipment/water-discharge/current-velocity-meters/mechanical-current-meter/>
26. Digitale debietsmeter Eijkelkamp.
27. Willems P. A time series tool to support the multi-criteria performance evaluation of rainfall-runoff models. *Environmental Modelling & Software*. 2009;24(3):311–21.
28. Ebrahim GY, Villhloth KG. Estimating shallow groundwater availability in small catchments using streamflow recession and instream flow requirements of rivers in South Africa. *JOURNAL OF HYDROLOGY*. 2016;541(B):754–65.
29. Ferrarezi, R.S.; Nogueira, T.A.R.; Zepeda SGC. Performance of Soil Moisture Sensors in Florida Sandy Soils. *Water* 2020, 12, 358. <https://doi.org/10.3390/w12020358>. 2020;
30. R. Reddy. Classification or Types of Notches and Weirs | Fluid MechanicsNo Title [Internet]. Available from: <https://www.engineeringenotes.com/fluids/weirs/classification-or-types-of-notches-and-weirs-fluid-mechanics/47397>
31. Waterschapshuis H. DAMO Objectenhandboek: Stuw.
32. Ahmed F, Gulliver JS, Nieber JL. Field infiltration measurements in grassed roadside drainage ditches: Spatial and temporal variability. 2015;530:604–11.
33. Kuijper drs. MJM, Broers dr. HP, J.C. Dr. Effecten van peilgestuurde drainage op natuur. 2012.
34. Snepvangers, J., A. Peters P de L en BG. 'Drainage nieuwe stijl' Drainage ten behoeve van waterconservering. TNO-rapport NITG-04-100-B, Utrecht. 2004.
35. Janine de Wit, Marjolein van Huijgevoort, Dion van Deijl (KnowH2O) G, van den Eertwegh (KnowH2O) RB. Regelbare drainage met subirrigatie en slimme stuwen: Veldproeven en modelanalyses in het zandgebied van Nederland voor een meer robuuste waterhuishouding op lokale en regionale schaal (KWR 2021.028 | Mei 2021) - <https://edepot.wur.nl/547913>. 2021.
36. Zhevelev H, Sarah P. The effect of visitors' pressure on the spatial variability of sandy soil in an urban parks in Tel Aviv. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008;
37. Sarah P, Zhevelev HM. Effect of visitors' pressure on soil and vegetation in several different micro-environments in urban parks in Tel Aviv. *Landscape and Urban Planning*. 2007;

38. SARE. Soil Tillth and Compaction. Sustainable Agriculture Research & Education (SARE). 2012.
39. Saffih-Hdadi K, Défossez P, Richard G, Cui YJ, Tang AM, Chaplain V. 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*. 2009;105(1):96–103.
40. Batey T. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*. 2009;25(4):335–45.
41. Cui K, Defossez P, Cui YJ, Richard G. Soil compaction by wheeling: changes in soil suction caused by compression. *European Journal of Soil Science*. 2010;61(4):599–608.
42. Bertolino AVFA, Fernandes NF, Miranda JPL, Souza AP, Lopes MRS, Palmieri F. Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in Southeastern Brazilian plateau. *Journal of Hydrology*. 2010;393(1):94–104.
43. OLeary GJ. The effects of conservation tillage on potential groundwater recharge. *AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT*. 1996 Jun;31(1–2):65–73.
44. Daniel JA. Influence of wheat tillage practices on shallow groundwater recharge. *JOURNAL OF SOIL AND WATER CONSERVATION*. 1999;54(3):560–4.
45. Blanchy G, Bragato G, Di Bene C, Jarvis N, Larsbo M, Meurer K, et al. Soil and crop management practices and the water regulation functions of soils: a qualitative synthesis of meta-analyses relevant to European agriculture. *SOIL*. 2023 Jan;9(1).
46. Zemke JJ, Enderling M, Klein A, Skubski M. The Influence of Soil Compaction on Runoff Formation. A Case Study Focusing on Skid Trails at Forested Andosol Sites. *Geosciences*. 2019;9(5).
47. Alaoui A, Rogger M, Peth S, Blöschl G. Does soil compaction increase floods? A review. *Journal of Hydrology*. 2018;557(December):631–42.
48. Goldberg-Yehuda N, Assouline S, Mau Y, Nachshon U. Compaction effects on evaporation and salt precipitation in drying porous media. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2022;26(9):2499–517.
49. Frank van der Bolt, Wim Cornelis, Jan de Pue, Rob Hendriks, Jan van den Akker, Harry Massop, Ingeborg Joris, Jef Dams JV. Bodemverdichting in Vlaanderen; Gevolgen van bodemverdichting op het watertransport door een bodem. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2725). 2016.

50. Basche A, DeLonge M. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: a meta-analysis. *PLoS ONE*. 2019;22.
51. Busari MA, Kukal SS, Kaur A, Bhatt R, Dulazi AA. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*. 2015;3(2):119–29.
52. Congreves KA, Hayes A, Verhallen EA, Van Eerd LL. Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. *Soil and Tillage Research*. 2015;152:17–28.
53. Sinnott D, Poole J, Hutchings TR. The efficacy of three techniques to alleviate soil compaction at a restored sand and gravel quarry. *Soil Use and Management*. 2006;22(4):362–71.
54. Botta GF, Jorajuria D, Balbuena R, Ressia M, Ferrero C, Rosatto H, et al. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil and Tillage Research*. 2006;91(1):164–72.
55. Han E, Kautz T, Perkons U, Luesebrink M, Pude R, Koepke U. Quantification of soil biopore density after perennial fodder cropping. *PLANT AND SOIL*. 2015 Sep;394(1–2):73–85.
56. Elsen F., Beckers V., Diels J., Van Orshoven J., Wauters S. HM. Praktijkonderzoek naar de toepassing van preventieve en remediërende maatregelen tegen bodemaantasting door bodemverdichting. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Overheid, Dep. Leefmilieu, Natuur en Energie, Afd. Land en Bodembescherming, Ondergr. 2014;
57. Wallace EE, McShane G, Tych W, Kretzschmar A, McCann T, Chappell NA. The effect of hedgerow wild-margins on topsoil hydraulic properties, and overland-flow incidence, magnitude and water-quality. *HYDROLOGICAL PROCESSES*. 2021;35(3).
58. Schrama M, de Haan JJ, Kroonen M, Verstegen H, Van der Putten WH. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018;256:123–30.
59. Eijkelkamp. Ringsteker Eijkelkamp [Internet]. 2023. [cited 2022 Oct 2]. Available from: <https://www.royaleijkelkamp.com/nl/producten/grondboren-en-monsternemers/grondboren-monsternemers/ongestoorde-steekmonsternemer/>
60. Eijkelkamp. Permeameter Eijkelkamp [Internet]. [cited 2022 Aug 23]. Available from: <https://www.royaleijkelkamp.com/nl/producten/bodemonderzoek-laboratoriumapparatuur/bodemfysisch-onderzoek/waterdoorlatendheid/bodemwater-permeameter/>

61. Eijkelkamp. Pf-determinatie Eijkelkamp [Internet]. [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.royaleijkelkamp.com/nl/producten/bodemonderzoek-laboratoriumapparatuur/bodemfysisch-onderzoek/pf-bepaling/set-voor-pf-determinatie/>
62. Blott S, Croft D, Pye K, Saye S, Wilson H. Particle size analysis by laser diffraction. Geological Society, London, Special Publications. 2004;232:63–73.
63. AMC. Werking van een CNHS elemental analyser [Internet]. 2008. [cited 2023 Feb 2]. Available from: https://www.rsc.org/images/CHNS-elemental-analysers-technical-brief-29_tcm18-214833.pdf
64. Eijkelkamp. Dubbele ring infiltratietest [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://www.royaleijkelkamp.com/nl/producten/veldmeetapparatuur/infiltratie/infiltratie/dubbele-ringinfiltrometer/>
65. Vlaamse Milieu Maatschappij. Infiltratieproeven voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen. [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://www.vmm.be/water/bouwen/regenwater/infiltratieproeven>
66. IMDC, Bodemkundige Dienst van België. Opstellen van richtlijnen voor het meten van de infiltratiecapaciteit en het modelmatig onderbouwen voor de dimensionering van infiltratievoorzieningen. 2016.
67. Cropwatch. Eenvoudige bodeminfiltratietest met enkele ring - demonstratie video [Internet]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=iz415J3AOI4>
68. L. Lassabatere, R. Angulo-Jaramillo, J. M. Soria Ugalde, R. Cuenca, I. Braud RHL. Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters through infiltration experiments – BEST. Soil Sci. Soc. Am. J. Volume 70, Pages 521-532. doi: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2005.0026>. 2006;
69. Gette-Bouvarot M, Mermillod-Blondin F, Angulo-Jaramillo R, Delolme C, Lemoine D, Lassabatere L, et al. Coupling hydraulic and biological measurements highlights the key influence of algal biofilm on infiltration basin performance. Ecohydrology. 2014;7(3):950–64.
70. Ghavidelfar S, Shamseldin AY, Melville BW. Estimation of soil hydraulic properties and their uncertainty through the Beerkan infiltration experiment. HYDROLOGICAL PROCESSES. 2015 Aug;29(17):3699–713.

71. Lassabatere L, Di Prima S, Angulo-Jaramillo R, Keesstra S, Salesa D. Beerkan multi-runs for characterizing water infiltration and spatial variability of soil hydraulic properties across scales. *HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL-JOURNAL DES SCIENCES HYDROLOGIQUES*. 2019;64(2):165–78.
72. Beganskas S, Fisher AT. Coupling distributed stormwater collection and managed aquifer recharge: Field application and implications. *Journal of Environmental Management*. 2017;200:366–79.
73. Wu Q. lidar: A Python package for delineating nested surface depressions from digital elevation data. *Journal of Open Source Software*. 2021;6(59):2965.
74. Anomien. Beoordeling van de ecologische en chemische toestand in natuurlijke, sterk veranderde en kunstmatige oppervlaktewaterlichamen in Vlaanderen conform de Europese Kaderrichtlijn Water. Achtergronddocument bij de Stroomgebiedbeheerplannen voor Schelde en Maas 2022-2027. Online raadpleegbaar op https://sgbp.integraalwaterbeleid.be/beheerplan/achtergronddocumenten/beoordeling_ecol-chem_toest_2020.pdf. 2022.
75. Stuckens J, Van Hooydonck G. “Uitwerken van een monitoringstrategie en ontwikkelen van een index voor stromende wateren voor het kwaliteitselement hydromorfologie in uitvoering van de Kaderrichtlijn Water WAT/L/2003 S 0019 X””. Studie van Haskoning in opdracht AMINAL Afdeling Water (2005). 2005.
76. Bovendaerde L, De Jong B. Inventarisatie van kosten en effecten van type-acties voor hydromorfologische kwaliteitselementen. Studie door Witteveen en bos in opdracht van Vlaamse Milieumaatschappij (2017). 2017.
77. Dollinger J, Dagès C, Bailly JS, Lagacherie P, Voltz M. Managing ditches for agroecological engineering of landscape. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015.
78. Vereecken H, Baetens J, Viaene P, Mostaert F, Meire P. Ecological management of aquatic plants: effects in lowland streams. *Hydrobiologia*. 2006;570:205–10.
79. Güneralp İ, Marston RA. Process–form linkages in meander morphodynamics: Bridging theoretical modeling and real world complexity. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2012;36(6):718–46.

 Sumaqua

 Universiteit
Antwerpen

**COMMON
GROUND**
ruimte maken

