



**Ecosystem Management
Research Group (Ecobe)**
University of Antwerp

Studienota groenblauwe netwerken en strategisch plan waterbevoorrading

Dirk Vrebos & Jan Staes

Studienota opgemaakt in opdracht van de Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen

Oktober 2021

Colofon

Deze studienota werd opgemaakt in opdracht van de Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen en kadert in de eigen initiatieven inzake “groenblauwe netwerken en strategisch plan waterbevoorrading”. De nota wordt door de Minaraad opgevat als een kennisdocument. De inhoud van dit rapport is de verantwoordelijkheid van de auteurs en bindt de raadsleden en raadsorganisaties niet.

Ecosystem Management Research Group - Ecosysteembeheer

Ecobe-rapport nr. ECOBE 021-R274.

Tekst: Dirk Vrebos & Jan Staes

Dit rapport dient als volgt geciteerd te worden: Vrebos, D, Staes J. (2021) Studienota groenblauwe netwerken en strategisch plan waterbevoorrading, Universiteit Antwerpen, onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, ECOBE 021-R274.

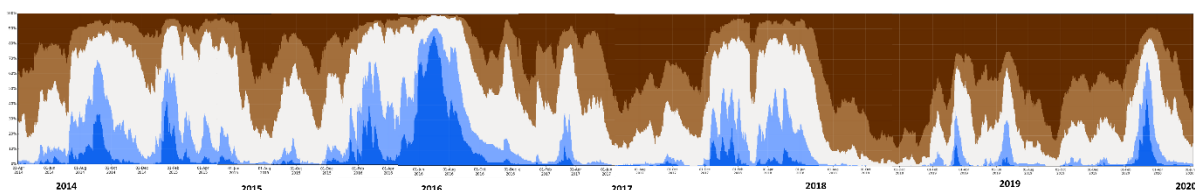
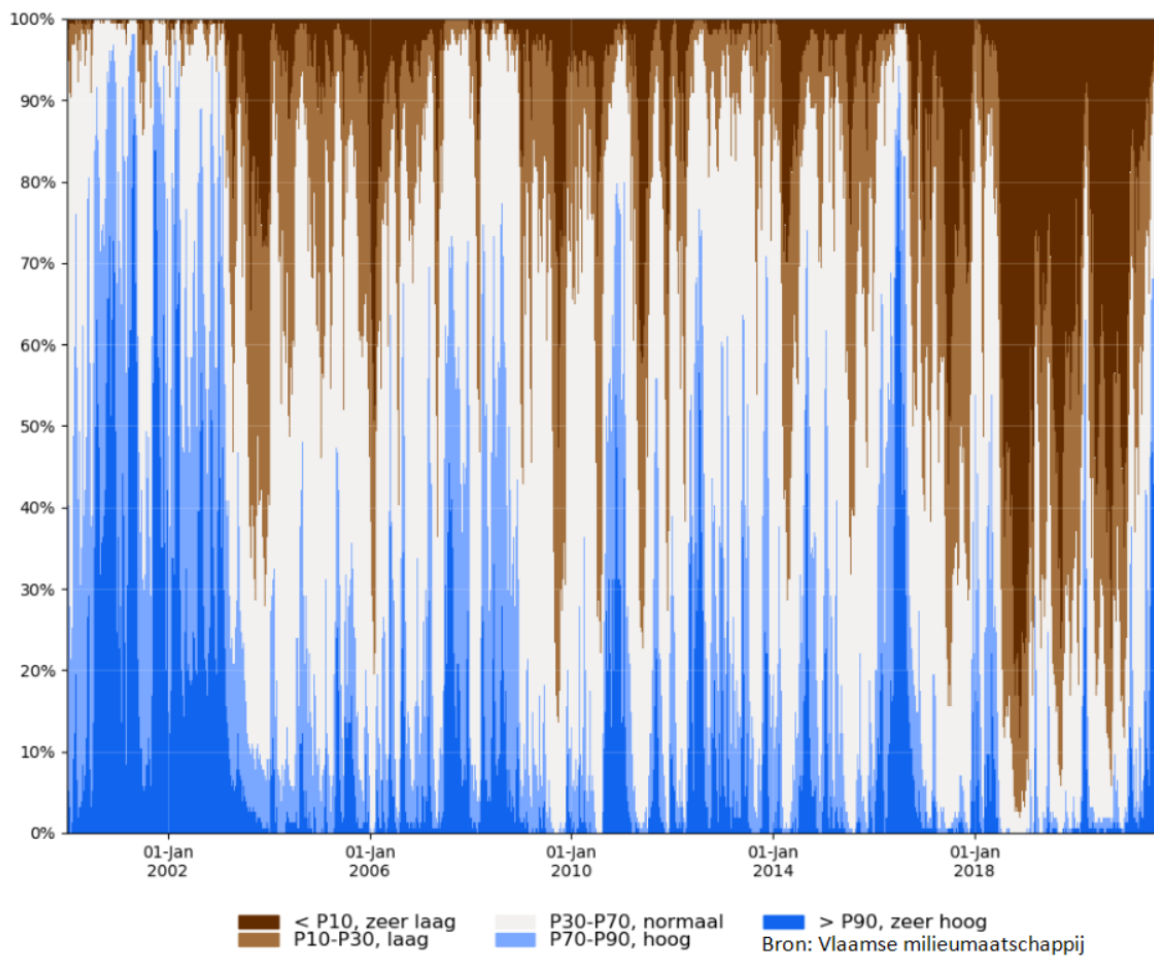
Inhoud

1.	Inleiding	5
2.	Doel van de studie	9
3.	Infiltratie	10
3.1.	Actualisatie verharding – infiltratie	10
3.2.	Aannames klimaatvariabelen	12
3.3.	Aannames met betrekking tot interceptie	12
3.4.	Aannames met betrekking tot verharding	13
3.5.	Aannames bodemprocessen	15
3.6.	Aannames afstromingsvolumes	15
3.7.	Actualisatie van bodembedekking en bodemgebruik	16
3.8.	Resultaten huidige situatie	17
3.9.	Opties voor infiltratie binnen bebouwde en verharde oppervlakte	20
3.10.	Ruimtelijke ordening	22
4.	Drainageverliezen	26
4.1.	Referentie waterbeschikbaarheid – natuurlijk waterleverend vermogen	26
4.2.	Inschatting van de drainagediepte en intensiteit	30
4.3.	Geschatte drainageverliezen en impact op het waterleverend vermogen	33
4.4.	Differentiatie drainageverliezen naar tijdelijk natte en permanent natte zones	33
5.	Watervoorziening	39
5.1.	Actualisatie freatische grondwaterwinningen	39
5.2.	Evaluatie van klimaatverandering op winningsdruk	42
5.3.	Evaluatie van herstelopties op winningsdruk	44
5.4.	Ontwatering in relatie tot bodembedekking, landgebruik en bestemming.	44
6.	Conclusies	48
6.1.	Grondwateronttrekking ten opzichte van de natuurlijke aanvulling	48
6.2.	De effecten van ontharding op infiltratie	48
6.3.	De effecten van drainage op het waterleverend vermogen	49
	Referenties	51
	Bijlage 1: Kaarten	53

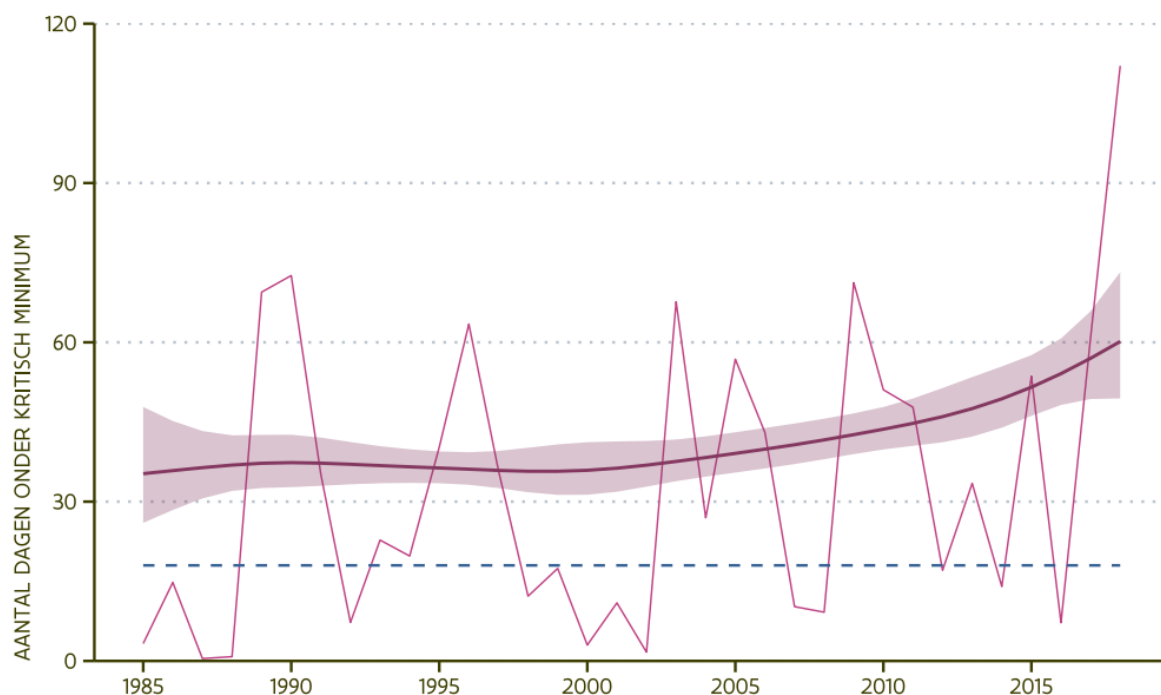
1. Inleiding

Water is van onschatbaar belang voor de werking van onze samenleving. Maar door haar hoge bevolkingsdichtheid heeft Vlaanderen één van de laagste waterbeschikbaarheden per inwoner in Europa (1.100 à 1.700 m³ per persoon) (MIRA 2021). Het veranderend klimaat, economische ontwikkeling en een toenemende bevolking zetten deze beperkte watervoorraden steeds verder onder druk. Dit maakt dat het duurzaam beheer en de aanvulling van deze beperkte voorraden van groot belang zijn. Vlaanderen is immers 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. Het totale vergunde debiet voor de winning van grondwater ligt vandaag 25 % lager dan in 2000, maar deze daling zet zich de laatste jaren niet verder door (MIRA 2021). 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 blijkt dat er in 2020 op maar liefst 70% van de meetplaatsen een daling heeft plaatsgevonden t.o.v. 2000 (VMM 2021). Daarvan zijn vooral de opeenvolgende droogteperiodes van de laatste voorgaande jaren de boosdoener, samen goed voor een daling op 57% van de meetplaatsen. De effecten van de opeenvolgende periodes van extreme droogte zijn dus duidelijk zichtbaar. Daarnaast neemt ook het aantal extreem natte perioden toe waarbij een steeds groter aandeel van de jaarneerslag valt tijdens intens natte perioden (Myhre, Alterskjær et al. 2019). Er is geen duidelijk overzicht van deze trend, maar voor 7 van de 12 maanden vielen de hoogst opgetekende maandtotalen te Ukkel in de laatste 20 jaar (KMI 2021). Ook de intense neerslag in 2021 valt wellicht binnen deze trend. Hoge neerslaghoeveelheden of intensiteiten leiden echter snel tot verzadiging van bodems, hemelwaterputten én infiltratievoorzieningen. Het water krijgt hierdoor onvoldoende tijd om te infiltreren waardoor zulke natte perioden niet altijd even effectief zijn om grondwater aan te vullen.

Duurzame grenzen stellen aan grondwateronttrekkingen is echter niet evident. Hoeveel grondwater moet er overblijven voor het voeden van waterlopen en grondwaterafhankelijke natuur? Voor rivieren heeft men reeds lang het concept van ecologische (minimum) debieten. In de literatuur definieert men "environmental groundwater requirements" (EGWR) als "het water uit grondwatervoorraden dat nodig is om stromingen in stand te houden, grondwaterafhankelijke ecosystemen te behouden en een goede grondwaterkwaliteit te handhaven" (Gejl, Bjerg et al. 2020). Ook de kaderrichtlijn water geeft een vergelijkbare definitie waarbij gesteld wordt dat het gebruik in evenwicht moet zijn met de aanvullingen en de goede ecologische kwaliteitsdoelstellingen niet gehypothekeerd mogen worden. Grondwateronttrekking mag er ook niet toe leiden dat de goede ecologische toestand van afhankelijke oppervlaktewaterlichamen wordt aangetast, dat er significante schade wordt toegebracht aan afhankelijke wetlands (grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen) of dat er zoute of andere indringing plaatsvindt (Schneiders, Alaerts et al. 2020). Aangezien (1) een groot aandeel van de grondwaterafhankelijke natuur in slechte staat van instandhouding is en (2) de recente observaties (2017-2021) van het freatische grondwatermeetnet duiden op systematisch zeer lage grondwaterpeilen (Figuur 1 & Figuur 2) (VMM, SCK et al. 2020), kan er niet anders dan besloten worden dat de huidige toestand niet duurzaam is.



Figuur 1: Evolutie van de fretische grondwaterstanden in het Vlaams Gewest. De witte kleuren wijzen op een normale waterstand (P30-P70) voor de periode van het jaar. De witte kleur beslaat ongeveer 40% van de grafiek. Lichtblauwe kleuren wijzen op een hoger dan normaal waterpeil (P70-90) voor die periode van het jaar. Bruine kleuren wijzen op een waterpeil dat lager is dan normaal (P10 -P30). De donkerbruine kleur komt overeen met waterstanden die uitzonderlijk laag zijn en gemiddeld slechts eens in de tien jaar voorkomen. De natste lente ooit gemeten in 2016 werd gevolgd door een droge winter in 2016-2017 en een vroege droogte en hittegolf in 2017. De grondwaterstanden hebben zich na de droogte van 2017 nooit hersteld. De 145 meetpunten zouden representatief moeten zijn voor ongestoorde grondwaterstanden.



Figuur 2: Gemiddeld aantal dagen per jaar dat het grondwaterpeil op 58 meetlocaties onder een kritische minimumdrempel daalt (1985- 2018): gemeten gemiddelden, gemodelleerde trend en 95% betrouwbaarheidsinterval. De horizontale lijn is het verwachte aantal dagen per jaar dat de drempel overschreden wordt 138. De meetlocaties bevinden zich allemaal in de buurt van grondwaterafhankelijke vegetaties. Brondata: WATINA-databank (Schneiders, Alaerts et al. 2020).

De trend van drogere en warmere zomers in combinatie met perioden van hevige of aanhoudende neerslag heeft een negatieve invloed op de kwaliteit en beschikbaarheid van het grond- en oppervlaktewater. Droogte heeft hierdoor op een steeds extremere wijze een impact op de watervoorzienig in Vlaanderen. Op jaarbasis valt er gemiddeld voldoende water, maar tijdens droge jaren wordt er méér water verbruikt, terwijl er minder aanvulling van de grondwaterreserves gebeurt. De recente droogtes tijdens de periode 2015-2019 hebben hierdoor geleid tot een gemiddelde opbouw van het cumulatief neerslagtekort dat zich in de periode 1905-2014 nooit heeft voorgedaan. Terwijl voordien het 5-jaarlijkse gemiddelde neerslagtekort quasi nooit boven 150 mm ging, steeg het gemiddelde neerslagtekort voor 2015-2019 vlot boven 200 mm (MIRA 2021).

Historisch gezien genoot Vlaanderen van een eerder nat en wisselvallig klimaat. Komende van een situatie waarbij er véél neerslagoverschot is en weinig onttrekkingen, was Vlaanderen een nat gebied. Ingrepen in het landschap hebben er echter voor 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. Dit is een toename van het percentage bebouwde percelen met ruim 24% t.o.v. 2000 en ruim 30 % ten opzichte van 1990 (MIRA 2021, Statistiek Vlaanderen 2021). 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. 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. 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 er toe geleid dat op veel plaatsen in Vlaanderen de freatische grondwaterstanden gedaald zijn (MIRA 2021).

2. Doel van de studie

Om de freatische grondwaterstanden en watervoorziening op langere termijn te verbeteren en te garanderen is een goed begrip van de verschillende bepalende factoren voor grondwateraanvulling noodzakelijk. Binnen deze studie wordt daarom een evaluatie gemaakt van het effect van het landgebruik op de infiltratie en drainage binnen Vlaanderen en wordt er nagegaan in welke mate deze in verhouding staan met de huidige grondwaterwinningsdruk.

Er wordt een antwoord gezocht op de volgende deelvragen:

- Wat is de ruimtelijke spreiding van de grondwateraanvulling door infiltratie in Vlaanderen onder de huidige bodembedekking?
- In welke mate kan ontharding de infiltratie verhogen en hoe kan dit gericht worden ingezet?
- Wat is het effect van drainage op de waterbeschikbaarheid?
- Wat is de verhouding tussen de grondwaterwinningsdruk en grondwaterwinningen en hoe kan ontharding het evenwicht tussen beide verder verbeteren?

Om deze vragen te beantwoorden wordt gebruik gemaakt van verschillende modellen en methodes die een zo goed mogelijk beeld geven van de ruimtelijke variatie in deze processen:

- De grondwateraanvulling door neerslaginfiltratie wordt berekend doormiddel van een model dat voor verschillende condities (landgebruik, bodem, klimaat) de belangrijkste hydrologische processen kan doorrekenen. Resultaten van deze modellen worden nadien ruimtelijk weergegeven op basis van de meest recent bodembedekkingsgegevens en andere relevante GIS-data.
- Om de effecten van drainage door te rekenen wordt er gebruik gemaakt van een aparte ruimtelijke analyse die een inschatting maakt van het hoeveelheid water die kan wordt vastgehouden in de bovenste bodemlagen, rekening houdend met het aanwezige grachtenstelsel.
- Het belang van de grondwateraanvulling voor de winningen en het effect van mogelijke herstelsenario's wordt geëvalueerd op basis van een geüpdatete rekenmodule uit ECOPLAN-SE (Vrebos, Staes et al. 2017).

De verschillende berekeningen pogen om op een zo hoog mogelijke resolutie verschillende factoren mee te nemen die momenteel in andere, complexere, berekeningen niet kunnen worden geëvalueerd. Binnen deze studie wordt gebruik gemaakt van neerslaggegevens over de periode 2010 - 2019. De effecten van het erg natte jaar 2021 werden dus niet bestudeerd.

3. Infiltratie

3.1. Actualisatie verharding – infiltratie

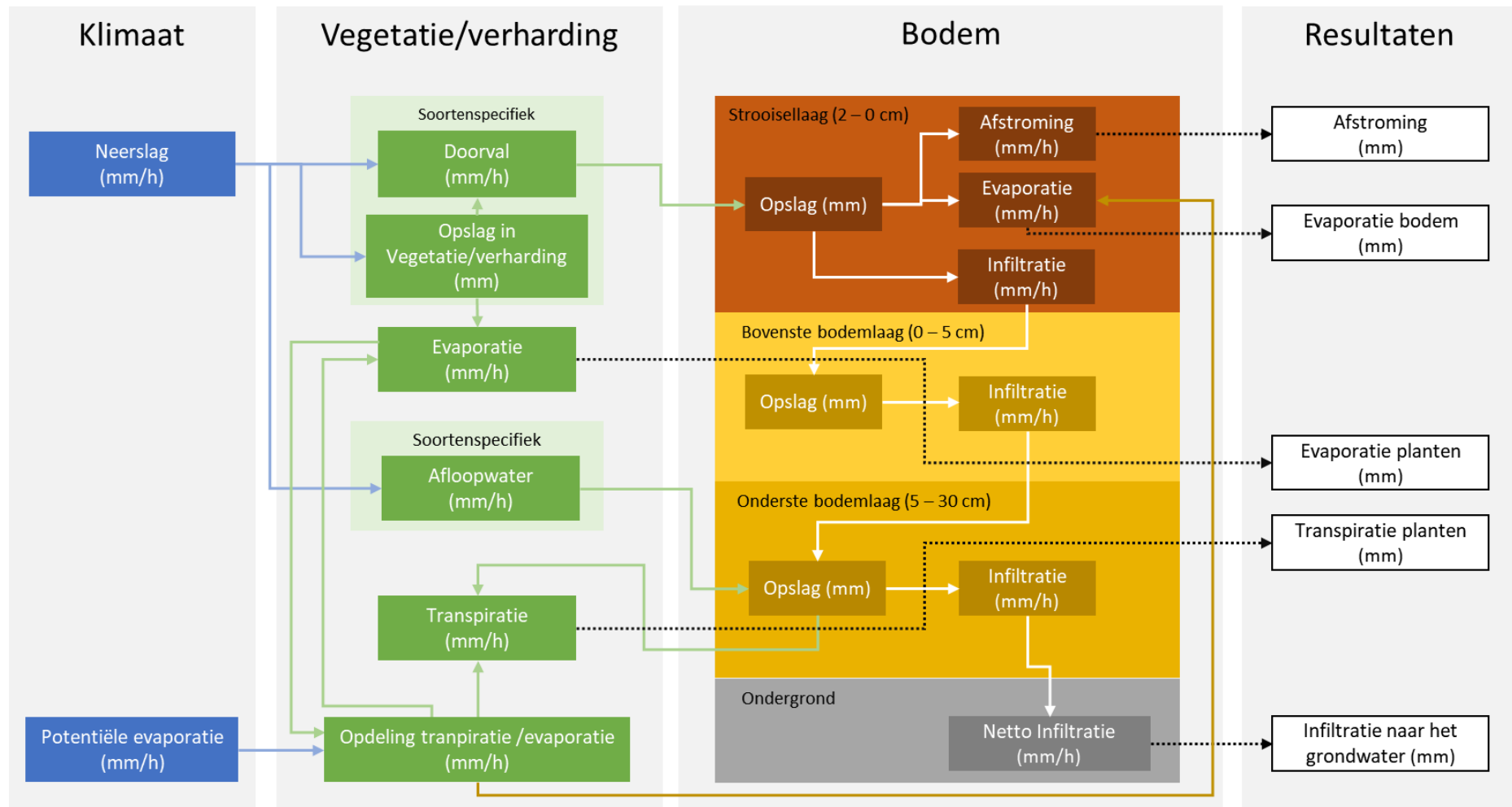
Tot op heden werden in de projecten CcASPAR en ECOPLAN infiltratiemodellen toegepast die gebruik maken van jaarreferentiecijfers voor interceptie door vegetatie, opvang door verharding en de infiltratieinfiltratiecapaciteit van een bepaald type bodem en dit steeds bij een standaardneerslag van 800mm/jaar. Met deze modellen konden veranderingen in bodembedekking worden geëvalueerd. Maar deze cijfers lieten niet toe om de effecten van een veranderend klimaat of specifieke hydrologische ingrepen door te rekenen. Voor deze studie werd daarom een ruimtelijk-temporeel model ontwikkeld dat een grotere flexibiliteit geeft voor het evalueren van dit soort veranderingen.

Het hertekende model rekt in uur-tijdstappen en omvat drie grote compartimenten (Figuur 3):

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

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

In vorige studies, zoals CCASPAR (FWO-SBO project Climate Change and Changes in Spatial Structures 2009-2012) werd er steeds gesproken over het 'neerslagoverschot'. In deze studie wordt voortaan de term 'infiltratie' aangehouden. Waarbij specifiek de infiltratie naar de diepere grondlagen wordt bedoeld, rekening houdend met de transpiratie door de vegetatie.

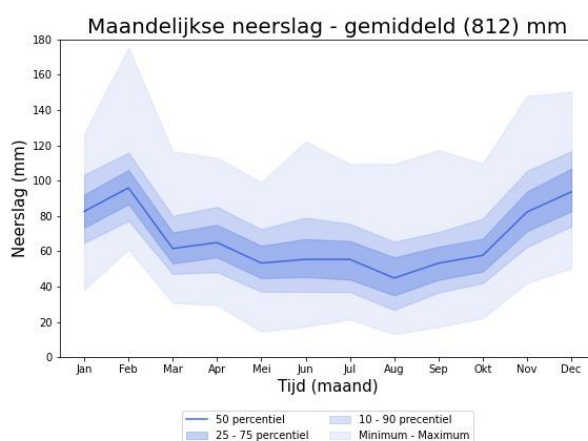


Figuur 3: Schematisch overzicht van de verschillende modules en bijhorende resultaten. Afhankelijk van het type bodemgebruik: natuurlijke vegetatie, landbouw of verharding worden bepaalde compartimenten in de verschillende modules wel of niet opgenomen in de berekening.

3.2.Aannames klimaatvariabelen

- **Neerslagpatronen**

In de vorige studies werd voor de berekening van infiltratie en watervoorziening een gemiddelde neerslag voorzien van 800mm. Om een beter beeld te krijgen van de impact van klimaat op beide, werden de neerslagdata van 11 VMM meetstations, verspreid over Vlaanderen, over een periode van 10 jaar (2010-2019) verzameld en geanalyseerd. Deze tijdreeksen werden gebruikt om het voorkomen van types neerslagevents (intensiteit – duur) doorheen het jaar te evalueren. Op basis van deze analyse kunnen neerslag tijdreeksen worden gegenereerd voor een gemiddeld (gemiddelde van alle neerslagreeksen, Figuur 4), droog (gemiddelde uit 10 droogste neerslagreeksen) en nat jaar (gemiddelde uit 10 natste neerslagreeksen). Door een groot aantal van deze tijdreeksen (n = 500) door te rekenen kan een algemeen beeld worden opgebouwd van de verschillende processen onder bepaalde klimatologische omstandigheden.



Figuur 4: Spreiding van de hoeveelheid maandelijkse neerslag bij het generen van 500 jaartijdreeksen.

Referentie evapotranspiratie

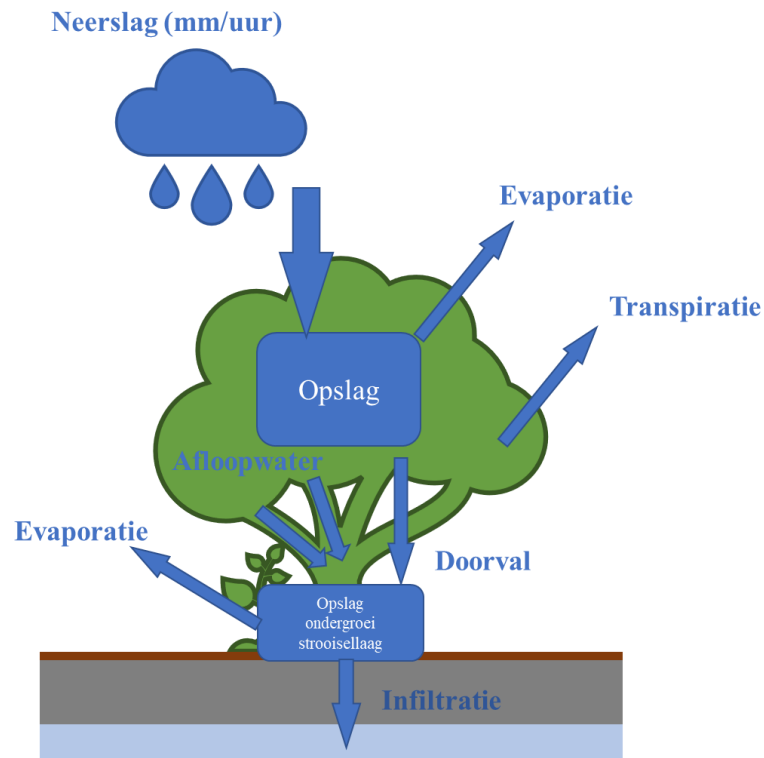
Naast de neerslagfrequentie, heeft ook de evapotranspiratie een belangrijke impact op de hoeveelheid neerslag die kan infiltreren. De evapotranspiratie is een verzamelterm voor de waterafgifte door de bodem en de vegetatie aan de atmosfeer. Deze wordt deels bepaald door vegetatiekenmerken, maar ook door een reeks klimatologische kenmerken zoals zonnestraling, wind, luchtvochtigheid, etc. Aangezien de evapotranspiratie varieert tussen vegetatietypes en gewassen wordt er vaak één waarde, de referentie evapotranspiratie (ET_r), berekend die als basis gebruikt kan worden voor het inschatten van de evapotranspiratie van andere gewassen (Allen, Pereira et al. 1998). Gemiddelde maandelijkse ET_r waarden, berekend voor België (Geessels 2012), worden in het model gebruikt om de mogelijke transpiratie en evaporatie vanuit vegetatie, bodem en verharde oppervlakte in te schatten doorheen de seizoenen.

3.3.Aannames met betrekking tot interceptie

- **Bos en natuurtypes**

De interceptie door vegetatie wordt bepaald door haar structurele kenmerken, zoals bladvorm en grootte, als ook klimatologische variabelen zoals het neerslagpatroon en de potentiële evapotranspiratie. Om de doorval

onder de vegetatie te bepalen, werd een modelmodule ontwikkeld waarbij neerslag op verschillende manieren doorheen de vegetatie kan bewegen (Figuur 6).



Figuur 5: Schematische figuur van interceptie door vegetatie. Neerslag kan door de vegetatie bewegen via doorval en stamafloop. Een deel van de neerslag wordt bij elk neerslagevent bijgehouden in de kruin of ondergroei/strooisellaag. Vanuit deze opslag kan de opgehouden neerslag vervolgens evaporeren. Een deel van het water dat infiltreert wordt echter opgenomen door de vegetatie voor fotosynthese en transpiratie en kan niet verder infiltreren.

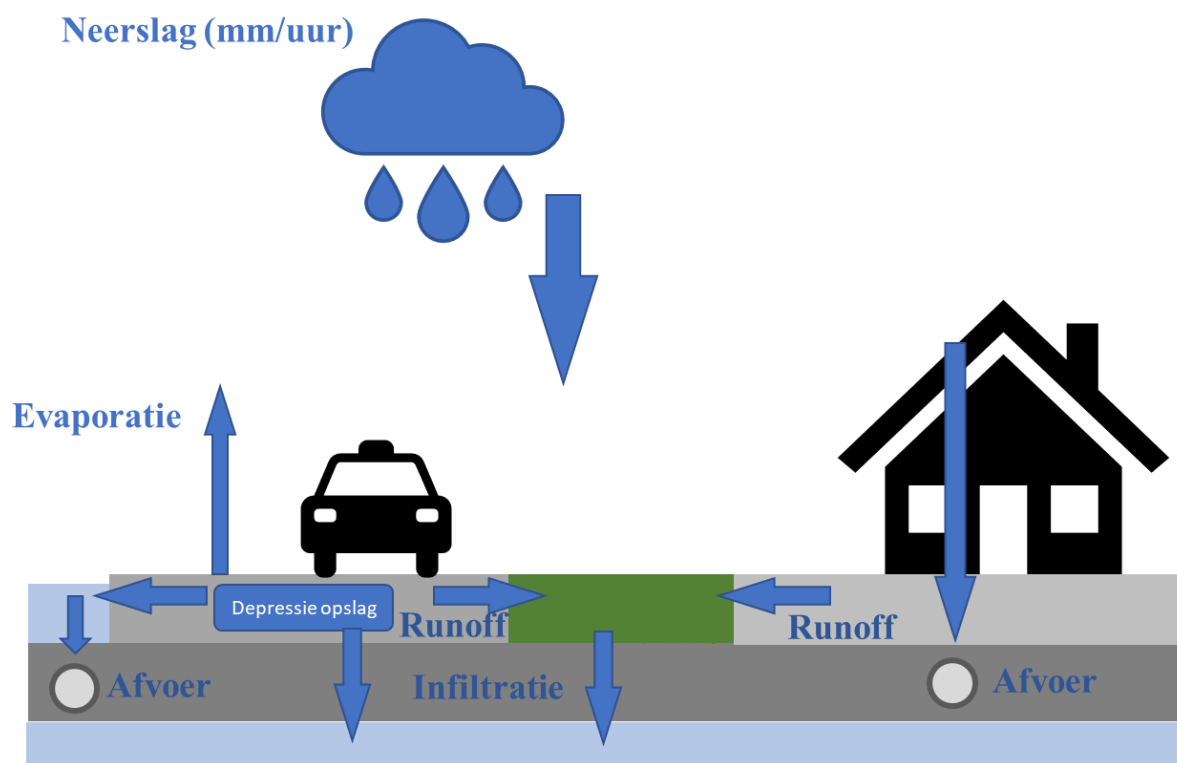
Op basis van een uitgebreide literatuurstudie werden voor zoveel mogelijk natuurlijke vegetatietypes regressieformules opgesteld voor neerslagdoorval (throughfall) als ook afloopwater (stemflow). Op basis van deze formules kan voor elk neerslagevent berekend worden hoeveel water er wordt vastgehouden in de vegetatie en evaporeert, hoeveel er doorvalt en terecht komt in de ondergroei en strooisellaag en hoeveel van de neerslag langs de takken en stammen naar beneden stroomt tot in de bodem.

- **Landbouw**

Voor landbouwgewassen (akkers en grasland) wordt een gelijkaardige methode gebruikt als voor natuurlijke vegetatie. Het aantal beschikbare doorval en afloopwater functies voor landbouwgewassen is echter beperkt. Bij ontbrekende informatie worden functies toegewezen van landbouwgewassen met vergelijkbare kenmerken. Evaporatie en transpiratie van landbouwgewassen worden ingeschat op basis van de FAO56 gewascoëfficiënten.

3.4.Aannames met betrekking tot verharding

Verharde oppervlaktes hebben een grote impact op de infiltratie van neerslag naar het grondwater. Verharding heeft een heel beperkte tot geen rechtstreekse infiltratiecapaciteit. In de plaats van infiltratie wordt een deel van de neerslag vastgehouden op (oppervlakte-opslag) en in de verharding (depressie-opslag) van waar het kan verdampen en het resterende neerslagoverschot wordt afgevoerd naar riolering, grachten, regenwaterputten etc. (Figuur 6).



Figuur 6: Overzicht van de verschillende waterstromen die worden meegenomen bij het berekenen van de infiltratie vanuit verharde oppervlaktes.

De infiltratie capaciteit wordt bepaald door het type materiaal als ook de staat waarin de verharding zich bevindt. Klinkers hebben bijvoorbeeld een hogere infiltratiecapaciteit dan asfalt. Maar oude asfalt met verzakkingen en breuken kan wel een aanzienlijke infiltratiecapaciteit hebben t.o.v. nieuwe asfalt. Hierdoor is er een grote variatie in de infiltratiecapaciteit van verharde oppervlaktes.

In de huidige kaarten van ECOPLAN_SE is er momenteel geen informatie beschikbaar over de specifieke gebruikte materialen voor verharding. Maar er wordt wel een onderscheid gemaakt tussen gebouwen (platte en hellende daken), verharding van wegen en parkings, andere verharding op privé terrein en niet verharde wegen. Deze types verharding worden bepaald op basis van een aantal datasets die verwerkt worden in de bodembedekkingskaart:

- **Bebouwing** wordt uit het GRB afgeleid (<https://overheid.vlaanderen.be/informatie-vlaanderen/producten-diensten/basiskaart-vlaanderen-grb>). Het GRB geeft een gedetailleerd overzicht van alle bebouwing in Vlaanderen.
- **Wegenis** wordt eveneens afgeleid uit het GRB in combinatie met informatie uit het wegenregister. Voor wegen kan zo een onderscheid gemaakt worden tussen verharde en niet-verharde wegen.
- **Verharding op privé terreinen** zoals terrassen en opritten wordt niet systematisch gedocumenteerd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een 'normalized difference vegetation index' (NDVI) die berekend wordt op basis van RGB en CIR orthofoto's uit 2018. Uit deze kaarten kunnen enkel kale bodems worden afgeleid. In welke mate de gebieden dan verhard zijn met kiezel, klinkers of asfalt kan niet worden afgeleid uit deze kaarten.

Voor elk van deze types verharding werd de infiltratiesnelheid en opslagcapaciteit nagegaan op basis van recente literatuur (Timm, Kluge et al. 2018, Rammal and Berthier 2020).

Niet alle afstroming van de verharde oppervlakte wordt automatisch afgevoerd naar beken en rivieren door rioleringsstelsels. Daarom wordt voor verharde oppervlaktes die niet rechtstreeks verbonden zijn met een rioleringsstelsel een secundaire infiltratie berekend waarbij de initiële afstroming kan infiltreren in aanliggende grasbermen, grachten of permeabele regenwaterriolering.

3.5.Aannames bodemprocessen

De hoeveelheid neerslag die vervolgens verder infiltreert naar diepere grondlagen wordt bepaald door een reeks bodemprocessen. In het model wordt er rekening gehouden met de infiltratiesnelheid, doorlaatbaarheid, de opslagcapaciteit als ook zuigspanning van een bepaald bodemtype. De infiltratiesnelheid bepaalt hoe snel de neerslag kan worden opgenomen door de bodem in onverzadigde toestand. Zolang de bodem niet verzadigd is zal de bodem water opnemen. Dit vermogen om water op te slaan, is de opslagcapaciteit. Een hogere opslagcapaciteit laat ook toe om het opgeslagen water vertraagd te laten infiltreren naar de diepere grondlagen. Deze diepere infiltratie wordt bepaald door de doorlaatbaarheid (de verzadigde infiltratiesnelheid). Naast de opslagcapaciteit van de bodem, zal ook de buffercapaciteit van de eventuele strooisellaag een belangrijke rol spelen. De zuigspanning bepaald in welke mate het aanwezige bodemwater uiteindelijk verder kan infiltreren, beschikbaar is voor planten of kan evaporeren. Deze verschillende kenmerken worden in het model bepaald op basis van bodemtextuur en koolstofgehalte van de bodem.

Momenteel wordt er geen rekening gehouden met de hellingsgraad van de bodem. Uiteraard heeft deze factor een belangrijk effect op de tijd die water krijgt om op een bepaald locatie te infiltreren. Dit is vooral van belang bij extreme neerslag. Wanneer er voldoende micro-topografie aanwezig is, zal deze afstroming beperkt in ruimte zijn.

De hoeveelheid bodemwater dat verder kan infiltreren wordt ook beperkt door de transpiratie via vegetatie. Dit kan leiden tot een aanzienlijke reductie in de hoeveelheid water die kan infiltreren naar de diepere grondwaterlagen. Transpiratie en evaporatie maken beide deel uit van de evapotranspiratie, maar de verhouding tussen beide kan sterk verschillen tussen verschillende types vegetatie en seizoenen (Nelson, Pérez-Priego et al. 2020). De transpiratie wordt in het model ingeschat op basis van de maandelijkse ET_r , een factor om de ET_r soortspecifiek te maken en de verhouding tussen transpiratie en totale evapotranspiratie.

3.6.Aannames afstromingsvolumes

Water dat niet kan infiltreren wordt afgevoerd naar grachten, rioleringen, regenwaterputten etc. Afhankelijk van de weg die het water aflegt kan een deel daarvan toch nog infiltreren op een andere locatie. Op basis van de Rioleringsdatabank (VMM 2020) en het Geografisch Referentie Bestand wordt er een beoordeling gemaakt van welke verharde oppervlaktes afwateren naar riolering (gemengd, DWA or RWA) of grachten (Figuur 7) en wordt een inschatting gemaakt van een mogelijke lokale infiltratie van de afstromingsvolumes. Doordat het momenteel niet duidelijk is waar bepaalde technische maatregelen zoals infiltratiebekkens en -putten zijn geïnstalleerd worden deze momenteel niet meegenomen in de berekeningen.



Figuur 7: Voorbeeld van de afbakening van wegen en administratieve percelen die wellicht verbonden zijn met een gemengd rioleringsnetwerk (GEM) of een droog weer afvoer (DWA).

3.7. Actualisatie van bodembedekking en bodemgebruik

Het infiltratiemodel werd nadien gelinkt met de verschillende GIS datalagen die beschikbaar zijn in ECOPLAN-SE. Voor deze studie werd een update uitgevoerd van de bodembedekking en -gebruikskaart om een accuraat beeld te geven voor de zomer 2018. Hiervoor werden de nodige datasets verzameld en met elkaar gecombineerd (Tabel 1). Een aantal van de gebruikte datasets wordt maar om de 3 jaar vernieuwd, waarbij in 2018 de meest recente versies werden gepubliceerd. De bodembedekkingskaart bestaat uit 64 eenheden die men naar 10 grote klassen kan aggregaten: ander groen, bos, grasland, heide, naakte bodem, akkerbouw, moeras, slikke en schorre, urbaan gebied en water. De bodemgebruikskaart omvat 31 eenheden. Deze kunnen geaggregeerd worden naar 6 basisklassen: natuurbeheer, landbouw, recreatie, urbaan gebied, water en andere. De gedetailleerde legendes van deze kaarten zijn terug te vinden in (Vrebos, Staes et al. 2017).

Tabel 1: Overzicht van de verschillende databronnen, het jaar van uitgifte en het jaar waarvoor ze representatief zijn.

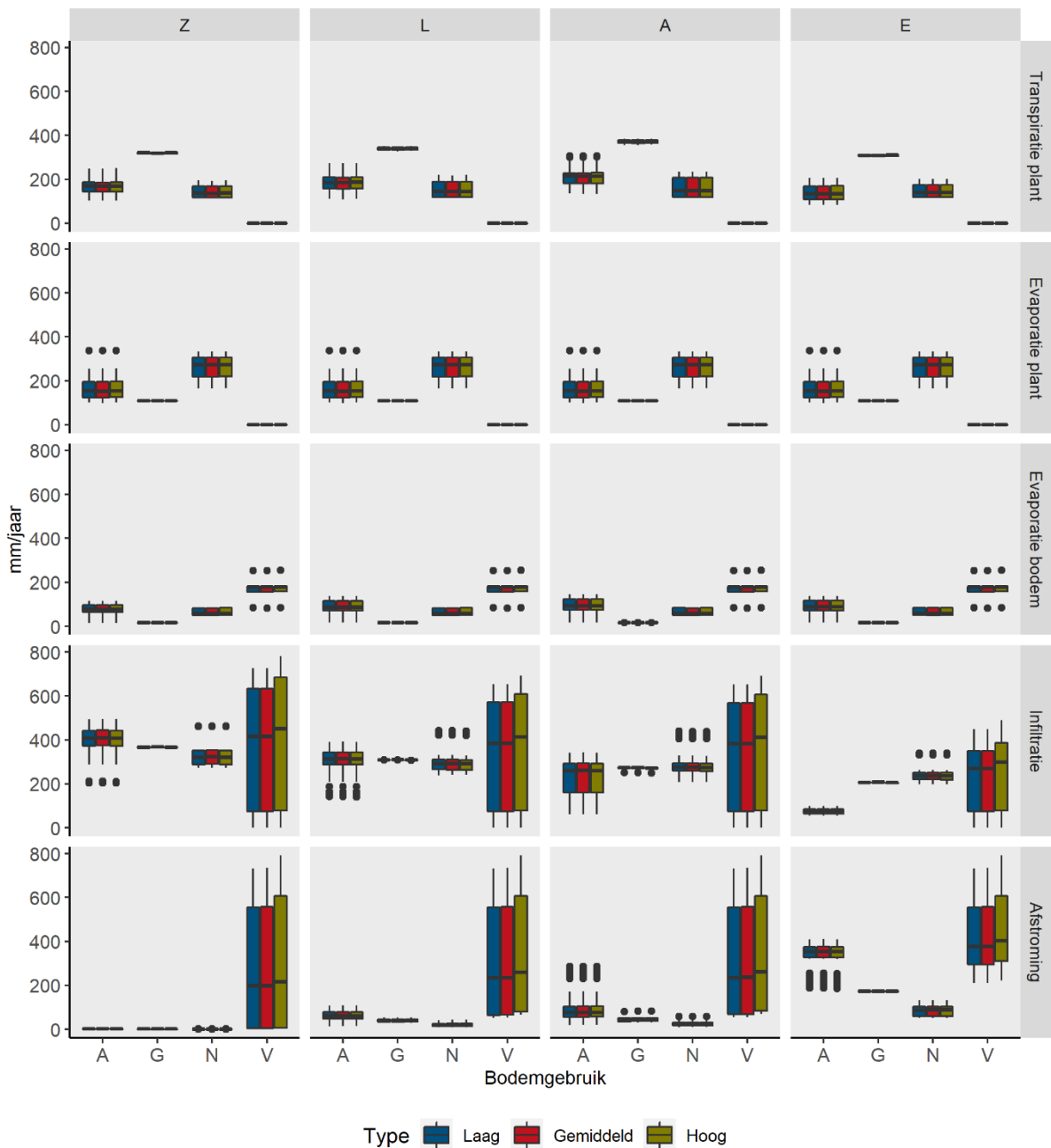
Databron	Beschrijving	2018	
		Periode data	Jaar uitgifte
Biologische waarderingskaart	Een uniforme inventarisatie en evaluatie van het gehele Vlaamse grondgebied aan de hand van een set karteringseenheden die staan voor vegetaties, bodembedekking en kleine landschapselementen	1978 - begin 2018	2018
	Gebruikt voor de klasse 'ander groen', 'bos', 'grasland', 'heide', 'naakte bodem', 'moeras', 'slikke en schorre', en 'water'.		
Groot Referentiebestand	Omvat aanvaarde referentiegegevens voor gebouwen, percelen, wegen en hun inrichting, waterlopen, spoorbanen en het wegennetwerk.	Dec-17	2018
	Gebruikt voor de klasse 'urbaan' en 'water'		
Wegenregister	Een middenschalg referentiebestand van de wegen in Vlaanderen. Het bevat alle wegen van Vlaanderen, met bijbehorende attribootgegevens.	Dec-17	2018
	Gebruikt voor de klasse 'urbaan'		

Landbouwgebruiks- percelen	Overzicht van de percelen die in landbouwgebruik zijn op de uiterste indieningsdatum van de verzamel- aanvraag dat jaar. De inventaris omvat ondermeer ook poelen, houtkanten en landbouwproductiefaciliteiten (erven met stallen en gebouwen).	2018	2019
	Gebruikt voor de klasse 'grasland' en 'akkerland'		
Groenkaart	Een kaart afgeleid van middenschalige zomervlucht orthofoto's met de klassen 'Niet groen', 'Landbouw', 'Laag Groen' (minder dan 3m) en 'Hoog Groen' (meer dan 3m).	2015	2017
	Gebruikt voor de klasse 'ander groen'		
NDVI van orthofotos	Orthofotomozaïek, middenschalig, zomeropnamen, 2015, Vlaanderen	2018	2019
	Gebruikt voor de klasse 'Urbaan' en 'ander groen'		
Natuurdoelenlaag	Geeft de tot doel gestelde habitat(sub)types en regionaal belangrijke biotopen voor de vegetatie in gebieden met beheerplan binnen het Natura 2000- netwerk in eigendom of beheer bij ANB, openbare besturen, Natuurpunt, Limburgs Landschap, vzw Durme, Orchis en de Koninklijke Maatschappij voor Dierkunde van Antwerpen.	2018	2018
VITO landgebruikskaart	Landgebruikskaart opgebouwd voor het ruimtemodel van het VITO	2016	2017
	Gebruikt voor de klasse 'recreatie', 'urbaan' en 'andere'		

3.8. Resultaten huidige situatie

Voor het berekenen van de huidige situatie wordt er gebruik gemaakt van 3 neerslagsscenario's: laag (750 mm/jaar), gemiddeld (804 mm/jaar) en hoog (858mm/jaar). Voor elk van de bodemtypes en bodembedekkingsgroepen werden de gemiddelde jaarresultaten geaggregeerd (Figuur 8). Uit de berekeningen blijken duidelijke verschillen tussen de categorieën. De variatie in evaporatie en transpiratie worden, afhankelijk van de parameter, bepaald door de bodembedekking, bodemtextuur of beide. Evaporatie door de plant is volledig afhankelijk van de bodembedekking aangezien hier enkel de interceptie van de neerslag meetelt en bodemprocessen geen rechtstreekse invloed hebben. Bodemtextuur is wel deels bepalend voor de transpiratie. Hierbij vormt de capaciteit van de bodem om neerslagwater op te vangen en langdurig vast te houden een belangrijke rol. De invloed van het bodemtype op de evaporatie vanuit de bodem is eerder beperkt in de modelresultaten. Wellicht wordt het belang van het bodemtype hierin onderschat doordat capillaire stijging momenteel niet wordt meegenomen in de berekening.

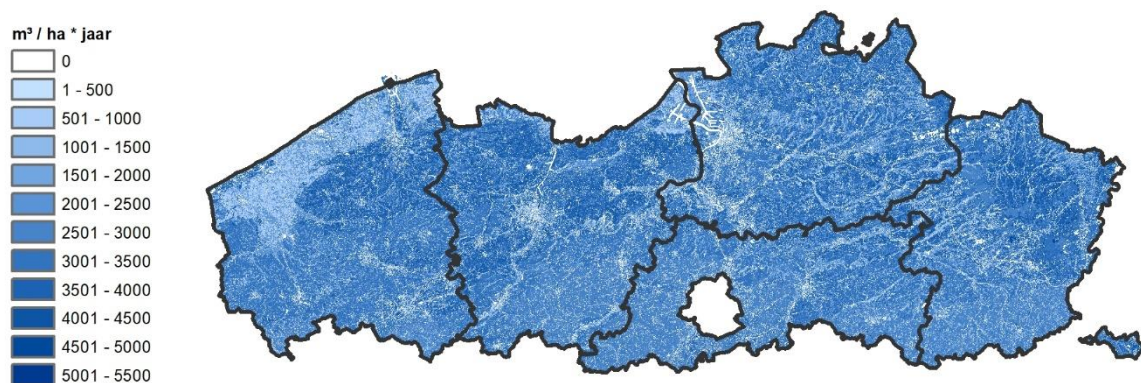
Infiltratie in zandgronden is het hoogste voor akkerland doordat op akkers de minste verliezen optreden door evapotranspiratie van de vegetatie en de infiltratiesnelheid bij zand hoog genoeg is om de meeste neerslag onmiddellijk te absorberen. Dit verklaart ook de bijna onbestaande afstroming voor zandgronden. Voor kleigronden daarentegen zorgt de natuurlijke vegetatie net voor een hogere infiltratie. Hierbij weegt het verlies door evapotranspiratie door de vegetatie niet op tegen de vertraagde doorval van neerslag doorheen de vegetatie. Deze vertraagde doorval zorgt ervoor dat de aanvoer van neerslag op de bodem meer in evenwicht is met de lagere infiltratiesnelheid van kleibodem. De wisselwerking tussen de verschillende compartimenten van vegetatie en bodem bepalen zo hoeveel van de neerslag kan infiltreren tot het freatisch grondwater en geven een ruimtelijk gedifferentieerd beeld voor Vlaanderen (Figuur 9).



Figuur 8: Spreiding van de verschillende variabelen onder bepaald landgebruik en bodemtextuur combinatie berekend voor een laag, gemiddeld en hoog neerslagsscenario. Bodemgebruik A = Akker, G = Grasland, N = Natuurlijke vegetatie, V = Verhard. Bodemtextuur: Z = Zand, A = Zandleem, L = Leem, E = Klei.

De grote spreiding in infiltratie en afstroming bij verharding wordt bepaald door de aan- of afwezigheid van infiltratievoorzieningen zoals grachten. Hierbij kan afstromende water worden opgevangen en lokaal infiltreren. Hoewel bodemtype in principe maar een beperkte rol speelt bij infiltratie vanuit verharde oppervlakte, is deze wel van belang voor de bekomen infiltratie vanuit die voorzieningen.

De impact tussen de drie neerslagsscenario's op de verschillende parameters lijkt op basis van Figuur 8 eerder beperkt maar is wel substantieel (Figuur 10 en Figuur 11). Vooral de impact op de infiltratie en afstroming van verharde oppervlaktes valt op. De aan- of afwezigheid van bijkomende infiltratievoorzieningen heeft een belangrijke impact bij een toenemende neerslag.

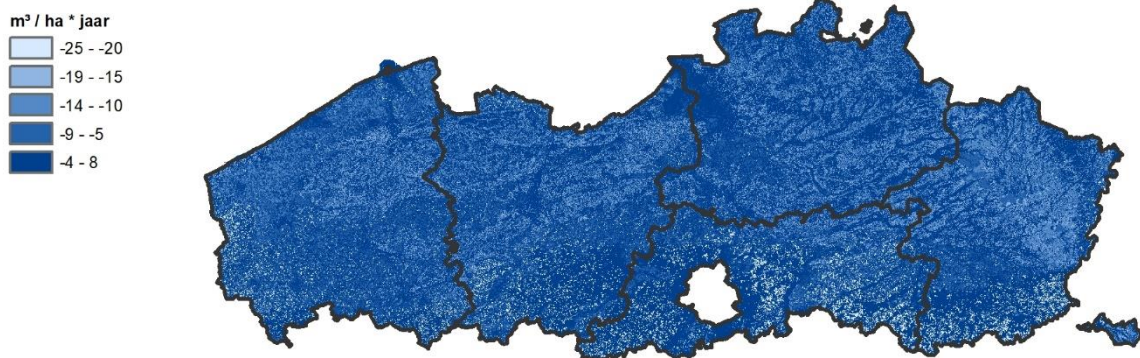


Figuur 9: Huidige infiltratie in Vlaanderen onder een gemiddelde neerslagscenario.

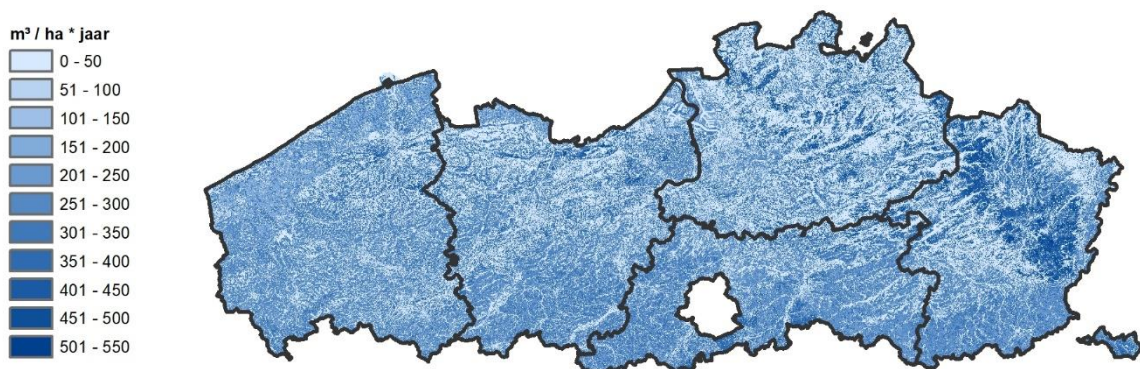
Afhankelijk van de neerslagpatronen en de hoeveelheid neerslag die er jaarlijks valt kunnen er ruimtelijke verschillen optreden in de hoeveelheid water dat kan infiltreren. In onze berekeningen is het verschil in neerslag tussen het gemiddelde scenario en het natte en droge scenario ongeveer hetzelfde. Maar de impact op de infiltratie verschilt wel. Een afname in neerslag (droge scenario) heeft een kleinere impact op de infiltratie dan de toename. Hierbij kunnen ook duidelijk ruimtelijke verschillen worden waargenomen. Gebieden die een hogere infiltratie hebben zullen in absolute waarde ($m^3 / ha*jaar$) ook sterker beïnvloed worden door een toename of afname in neerslag.

Het verschil in neerslag tussen het droge en gemiddelde scenario is ongeveer even groot als het verschil in neerslag tussen het natte en het gemiddelde scenario. Er zit telkens 50 mm verschil in neerslag tussen de scenario's. Niettemin is de impact van een droog jaar ten opzichte van een gemiddeld jaar anders dan de impact van een gemiddeld jaar ten opzichte van een nat jaar. Een afname in neerslag heeft een kleinere impact op de infiltratie dan de toename. De afname heeft voornamelijk een effect in de leemstreek (Figuur 10). Een toename in neerslag heeft vooral een groot effect in de Kempen en dan specifiek voor de bosrijke gebieden (Figuur 11). Maar in relatieve termen (procentuele afname of toename t.o.v. de gemiddelde neerslag) vormen er zich andere patronen waarbij vooral kleigronden een sterke toe- of afname zien.

Hoewel dit niet expliciet werd geanalyseerd, zal ook de seizoenale variatie in neerslagpatronen een belangrijk effect hebben. Een verhoogde neerslag in de zomer met intense neerslag tijdens een korte periode zal een ander effect opleveren dan een verhoogde neerslag in de winter met lagere intensiteiten. De in deze studie gebruikte scenario's geven dan ook maar een gedeeltelijk beeld van de mogelijke effecten van drogere of nattere jaren. Afhankelijk van het onderliggende neerslagpatroon kan de jaarlijkse infiltratie verschillen.



Figuur 10: Afname in infiltratie onder het droge scenario t.o.v. de gemiddelde infiltratie.



Figuur 11: Toename in infiltratie onder het natte scenario t.o.v. de gemiddelde infiltratie.

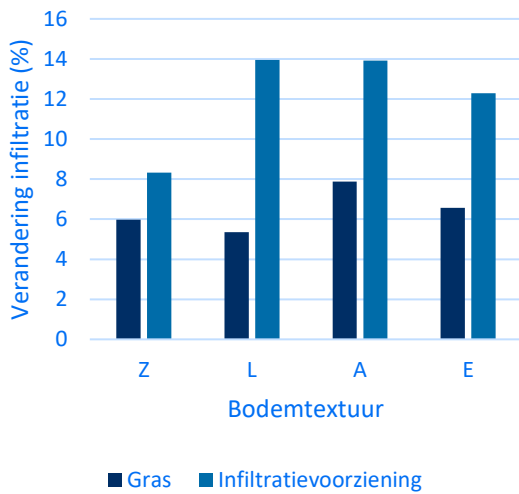
3.9. Opties voor infiltratie binnen bebouwde en verharde oppervlakte

Ontharding wordt vandaag ingezet om meer water in de bodem te laten infiltreren én om meer groen in de stad te brengen en zo hitte-eiland effecten te verminderen en de omgeving aangenamer te maken om in te leven. Daarnaast worden ook andere maatregelen zoals bovengrondse en ondergrondse infiltratievoorzieningen gestimuleerd of verplicht om neerslag te bufferen en de aanvulling van het grondwater te verbeteren. Het type en locatie van de infiltratievoorziening kan echter bepalend zijn voor de effectiviteit. Door middel van het infiltratiemodel werden verschillende opties doorgerekend die types van ontharding met elkaar vergelijken.

Tabel 2: Relatieve verandering in infiltratiecapaciteit voor verharde gebieden onder verschillende 'ontharding' scenario's. Resultaten worden opgedeeld volgens onderliggende bodemtextuur: Z = Zand, A = Zandleem, L = Leem, E = Klei.

1. Gras of infiltratievoorziening ? Op basis van het model werd 5% van de verharde oppervlakte random geselecteerd binnen elke gemeente. Deze oppervlakte werd in dit scenario ofwel onthard en vervangen door gras ofwel voorzien van een ondergrondse infiltratievoorziening die toelaat om het afstromingswater van de verharding (wegen, daken, etc.) op te vangen en vertraagd te laten infiltreren. Deze voorziening wordt gesimuleerd als een buffervolume voor infiltratie dat beperkt is tot 30 liter per vierkante meter. De balans

tussen neerslag en infiltratiesnelheid zal bepalen of dit volume overschreden wordt en er alsnog afstroming gegenereerd wordt.

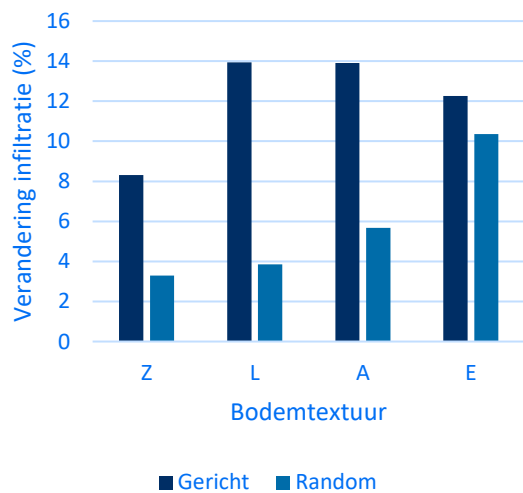


Resultaten:

Het voorzien van een infiltratievoorziening zorgt voor een hogere infiltratie dan letterlijk ontharden en dit vervangen door gras. Dit kan verklaard worden doordat, in tegenstelling tot infiltratievoorzieningen, gras hogere neerslagverliezen kent door evapotranspiratie dan een verharde oppervlakte. De bodem van een grasland heeft ook een lagere buffercapaciteit dan de infiltratievoorziening.

Het effect is relatief gezien dan ook kleiner voor zandgronden omdat deze van nature een grotere infiltratiecapaciteit hebben.

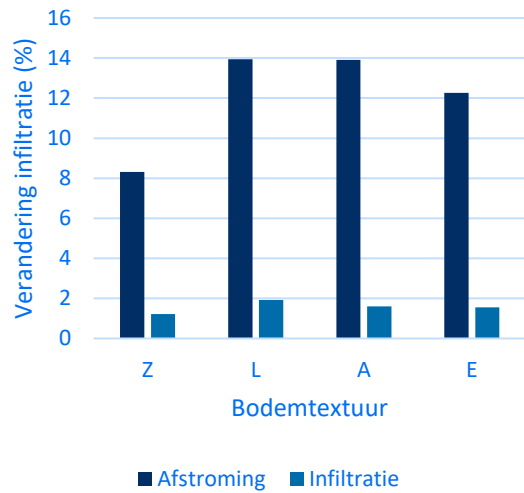
2. Gericht of random? Maatregelen zoals ontharding en het aanleggen van infiltratievoorzieningen vragen vaak aanzienlijke investeringen. De hoeveelheid jaarlijkse investeringen is hierdoor begrensd, dus degene die worden uitgevoerd kunnen best zo'n groot mogelijk effect opleveren. Om het effect van gerichte maatregelen te evalueren wordt 5% van de verharde oppervlakte binnen de gemeenten voorzien van infiltratievoorzieningen. Onder een random selectie worden de maatregelen niet gericht genomen, bij een gerichte selectie wordt de 5% verharde oppervlakte enkel geselecteerd in infiltratiegebied zoals bepaald in de watersysteemkaart (Zie sectie 4.1).



Resultaten:

Gerichte maatregelen hebben aanzienlijk groter effect dan niet-gerichte maatregelen. Het voorzien van infiltratievoorzieningen of ontharding in zones met een lagere infiltratiecapaciteit of hogere gemiddelde grondwaterstanden heeft een veel kleiner effect op de gemiddelde infiltratie.

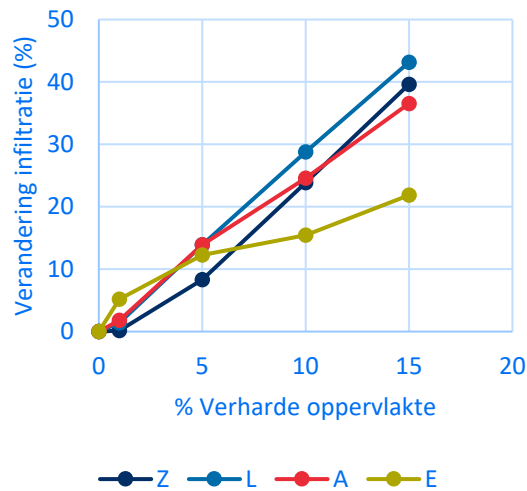
3. Afstroming of infiltratiecapaciteit?: De locatie van de infiltratievoorzieningen wordt geselecteerd op basis van de hoeveelheid afstroming die afkomstig is van de verharde oppervlakte (Afstroming) of op basis van de maximale infiltratiecapaciteit van bodem (Infiltratie). Er werd telkens 5% van de verharde oppervlakte geselecteerd op gemeenteniveau.



Resultaten:

Afstroming van verharde oppervlaktes kan sterk variëren per type verharding. Door gericht ingrepen te nemen in zones met de hoogste afstroming kan er veel meer water infiltreren dan wanneer er enkel gekeken wordt naar de infiltratiecapaciteit van de bodem. De hoeveelheid water die kan worden opgevangen is immers de eerste bepalend factor voor de hoeveelheid die uiteindelijk kan infiltreren.

4. Hoe meer, hoe beter? : Hoe meer verharde oppervlakte er voorzien wordt hoe groter het totale effect van de maatregelen. Wanneer er gericht onthard wordt, kan er echter verwacht worden dat naarmate er meer onthard wordt, de effectiviteit afneemt. Binnen de zones met een hoge infiltratiegeschiktheid (gebaseerd op de Watersysteemkaart), worden deze verharde oppervlaktes met een hoge afstroming voorzien van infiltratievoorzieningen. Er wordt 1%, 5%, 10% en 15% van de verharde oppervlakte binnen elke gemeente geselecteerd. Hierbij worden stapsgewijs de gebieden geselecteerd met de hoogste afstroming.



Resultaten:

Enkel voor klei wordt er geen lineaire relatie gevonden tussen de % infiltratievoorzieningen en de toename in infiltratie. Voor deze gebieden wordt bij 1% of 5% al een groot aandeel van de meest effectieve locaties ingenomen en neemt de effectiviteit van de verdere maatregelen stelselmatig af. Voor de andere bodemtexturen kan deze trend ook verwacht worden, maar dat zal pas optreden bij meer ambitieuze scenario's (bv 25-50 % ontharding).

3.10. Ruimtelijke ordening

Vlaanderen blijft tegen hoog tempo open ruimte verliezen en bodems verharderen (MIRA 2021). Hierdoor gaat een deel van de natuurlijke infiltratie capaciteit verloren en komen grondwaterstanden verder onder druk. Om

een analyse te maken in functie van groen-blauwe netwerken (GBN) en het open ruimte beleid werd er een sterk vereenvoudigde beleidskaart gemaakt (Tabel 3). In de eerste plaats werd uitgegaan van het gewestplan en vervolgens werden de beleidskaarten voor natuurdoelen hier over gelegd (habitatrichtlijngebieden, erkende reservaten + perimeters voorkooprecht, Vlaams Ecologisch Netwerk). Daarnaast werden overige open ruimte bestemmingen die geen (zuivere) natuurfunctie hebben (agrarische gebieden, parkgebieden, militaire gebieden, ontginningsgebieden...) geëvalueerd en als laatste alle harde bestemmingen (industrie, woongebieden, woonuitbreidingsgebieden, infrastructuur).

*Tabel 3: Gebruikte kaartlagen en interpretaties voor de opmaak van een vereenvoudigde beleidskaart. * De beleidskaarten natuur hebben voorrang op deze van het gewestplan.*

<u>BELEIDSKAARTEN NATUUR</u>	<u>KLASSE</u>
Erkende natuurreservaten	Natuurdoel*
Vlaams Ecologisch Netwerk (GEN+GENO)	Natuurdoel*
Gebieden met recht van voorkoop natuurreservaten	Natuurdoel*
Habitatrichtlijn gebieden	Natuurdoel*
<u>GEWESTPLAN HOOFDGROEPEN</u>	<u>KLASSE</u>
Agrarische gebieden	Open ruimte bestemming
Woongebieden	Harde bestemming
Groengebieden	Natuurdoel
Parkgebieden	Open ruimte bestemming
Bosgebieden	Natuurdoel
Gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen	Harde bestemming
Infrastructuur	Harde bestemming
Bedrijvzones 1	Harde bestemming
Stort-, opspuitings-, en bezinkingsgebieden	Harde bestemming
Bedrijvzones 2	Harde bestemming
Recreatiegebieden	Harde bestemming
Landelijke gebieden	Open ruimte bestemming
Ontginningsgebieden	Open ruimte bestemming

Dienstverleningsgebieden	Harde bestemming
Militaire gebieden	Open ruimte bestemming
Bufferzones	Open ruimte bestemming
Overige gebieden	Harde bestemming

Ongeveer 25% van Vlaanderen heeft een harde bestemming, 14% heeft een groene bestemming en 61% heeft een open ruimte bestemming zonder natuurdoelen. Op basis van deze kaart, in combinatie van de bodembedekking- en -gebruikkaart uit ECOPLAN-SE (Vrebois, Staes et al. 2017) werd een inschatting gemaakt van de huidige infiltratie en een evaluatie van de mogelijke effecten van een toenemende verharding waarbij er ook een opdeling wordt gemaakt tussen de verschillende zones uit de watersysteemkaart (Staes 2021).

Binnen een bepaald bodemgebruik komen een aantal types bodembedekking voor. Gebieden met een verharde functie omvatten straten en huizen, maar ook bermen en tuinen. Als gevolg heeft het huidige bodemgebruik 'harde functie' een hogere infiltratie capaciteit dan de huidige verharde bodembedekking (Tabel 4). Het omzetten van open ruimte naar een harde functie, heeft dan ook een minder uitgesproken effect dan het volledig verharderen van het gebied en is sterk afhankelijk van de hoeveelheid verharding als ook de implementatie van mitigerende maatregelen zoals infiltratievoorzieningen.

Bodembedekking	Bestemming	% oppervlakte	Infiltratie	tijdelijk nat	permanent nat
Verhard	Harde bestemming	10,87	1.371	995	941
Verhard	Open ruimte	4,84	2.396	1.494	1.599
Verhard	Beschermd	0,58	2.732	1.522	1.579
Landbouw	Harde bestemming	2,79	3.155	1.979	1.694
Landbouw	Open ruimte	45,35	2.980	1.940	1.716
Landbouw	Beschermd	3,88	2.872	1.613	1.509
Groen gebied	Harde bestemming	10,02	3.203	2.052	1.818
Groen gebied	Open ruimte	12,76	3.125	1.943	1.725
Groen gebied	Beschermd	8,92	2.986	1.693	1.304

Bodemgebruik	Bestemming	% oppervlakte	Infiltratie	tijdelijk nat	permanent nat
Harde functie	Harde bestemming	24,87	2.183	1.494	1.346
Harde functie	Open ruimte	9,52	2.803	1.757	1.788
Harde functie	Beschermd	1,27	2.935	1.691	1.656
Open ruimte	Harde bestemming	7,19	2.943	1.852	1.583
Open ruimte	Open ruimte	75,44	2.983	1.930	1.711
Open ruimte	Beschermd	12,99	2.987	1.660	1.434
Natuurbeheer	Harde bestemming	0,07	2.685	1.452	1.199
Natuurbeheer	Open ruimte	0,43	3.005	1.964	1.370
Natuurbeheer	Beschermd	3,88	2.811	1.661	1.233

Tabel 4: Actuele infiltratie (m^3 / ha) bij gemiddelde neerslag voor het huidige bodembedekking en -gebruik onder de verschillende planningsbestemmingen met een opdeling volgens de watersysteemkaart.

Doordat steeds meer open ruimte wordt omgezet naar een bodemgebruik met een harde functie, zal stelselmatig de infiltratiecapaciteit van de bodem verder afnemen. Indien op termijn alle voorziene gebieden

met een harde bestemming ook daadwerkelijk worden omgezet naar een harde functie zal dit een significant effect hebben op de resterende infiltratiecapaciteit. De open ruimte en het beschermd gebied met een harde bestemming staat momenteel in voor 5,6% van de totale infiltratie in Vlaanderen (188 milj. m³). Als bij het omzetten van deze gebieden naar een harde functie een vergelijkbare infiltratiecapaciteit wordt behaald als in de huidige gebieden met een harde functie – harde bestemming, zal de infiltratiecapaciteit met 25% of 46 milj. m³ afnemen.

De opdeling volgens de watersysteemkaart toont dat ook tijdelijk natte en permanent natte gebieden een zeker infiltratie hebben. Dit lijkt tegenstrijdig, maar ook van nature natte gebieden hebben op het einde van de zomer een lagere grondwaterstand. Er zal dus ook in die gebieden een zekere aanvulling plaatsvinden tijdens de winter. Deze is echter gevoelig lager omdat eenmaal de grondwaterstanden stijgen, er geen ruimte meer is voor grondwateraanvulling.

4. Drainageverliezen

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

Historisch gezien genoot Vlaanderen van een eerder nat en wisselvallig klimaat en waren er relatief veel plaatsen waar de bodems een aanzienlijk deel van het jaar waterverzadigd zijn. Men heeft gedurende eeuwen inspanningen gedaan om deze natte ‘waterzieke’ gronden te ontginnen. In een tijdperk waar er schaarste was aan mest, was het ontginnen van natte venige gronden dé manier om aan landbouw te doen. Het organisch materiaal dat langzaam verteerde, leverde immers de nodige nutriënten. Dergelijke praktijken hebben er toe geleid dat quasi elke landschapsdepressie en elke vallei ontwaterd is geworden. Als gevold is Vlaanderen dooraderd met grachten. Dit heeft, én de hydrologische connectiviteit vergroot, én de bufferfuncties van het landschap verkleind. Door menselijk ingrijpen hebben onze landschappen dus een verminderd volume aan ondiep bodemwater dat ook minder lang beschikbaar is doorheen het jaar. Dit heeft gevolgen voor de aanvulling van de grondwaterlagen en de stabiliteit van rivierdebieten.

Binnen deze studie wordt ‘waterbeschikbaarheid’ gedefinieerd als het volume ondiep bodemwater dat aanwezig is tot op één meter onder het maaiveld. Water dat dieper zit, kan immers moeilijk nog bijdragen tot de natuurlijke voeding van waterlopen. Dit is een vrij arbitraire indicator, maar sterk in zijn eenvoud. Hoe meer ondiep bodemwater, hoe minder gevoelig de waterloopdebieten zijn voor droogte.

De aanwezigheid van grachten in combinatie met intensief landgebruik op van nature natte plaatsen duidt op drainage. Door deze drainage zal het ondiep bodemwater snel afgevoerd worden, waardoor het niet meer beschikbaar is om een basisdebiet te leveren tijdens drogere perioden. Deze drainageverliezen verlagen de waterbeschikbaarheid.

Om de drainageverliezen te berekenen wordt eerst een referentie waterbeschikbaarheid – zonder drainage – voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand berekend. Deze waterbeschikbaarheid is het volume water in de bodem tot 1 meter onder maaiveld. Vervolgens worden de drainageverliezen berekend als ook het resterend waterleverend vermogen en beide met elkaar vergeleken.

4.1. Referentie waterbeschikbaarheid – natuurlijk waterleverend vermogen

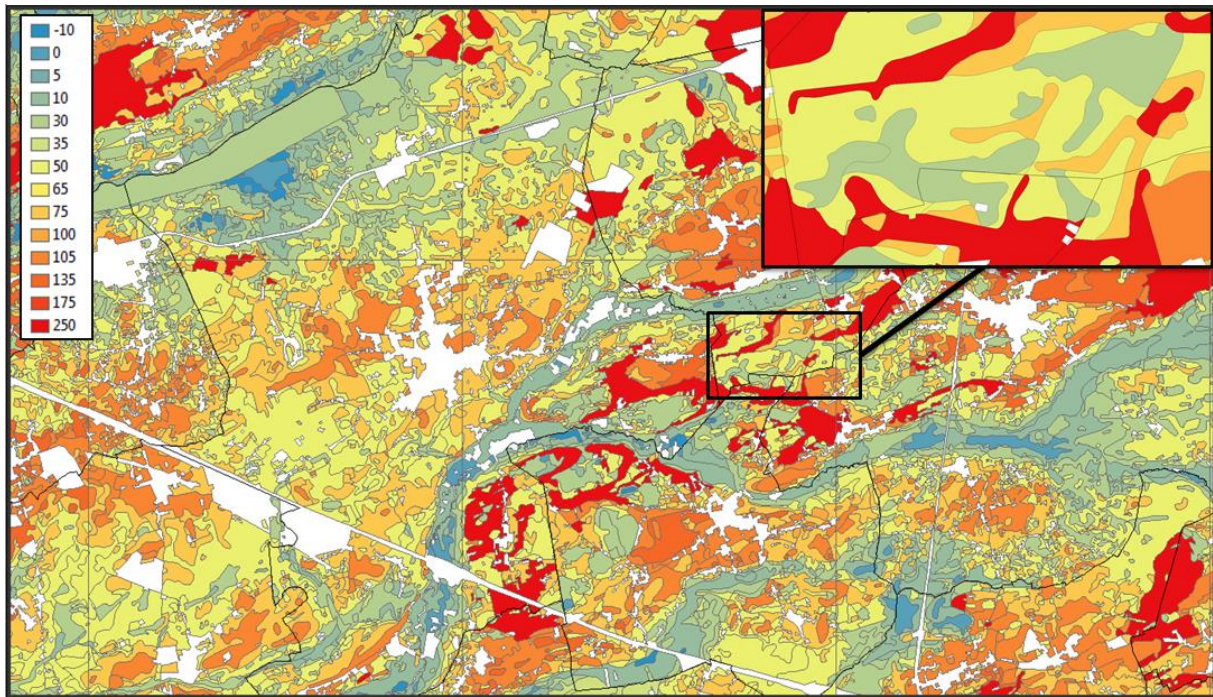
De referentie waterbeschikbaarheid werd bepaald op basis van de drainageklasse van de bodemkaart. Deze werd geïnterpoleerd naar een glooiend grondwaterhoogtemodel voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Hierbij zijn vergraven gronden gecorrigeerd en zones zonder gegevens uit de bodemkaart opgevuld.

Oxidatie-reductiefronten zijn het resultaat van vele duizenden jaren aan bodemwaterfluctuaties zijn en geven een indicatie van de van de gemiddeld hoogste (GHG) en laagste grondwaterstand (GLG). De oxidatie-reductiefronten die aanwezig waren in de originele bodemstalen, die anno 1960-70 werden gebruikt voor de bodemkartering, werden gebruikt voor het vastleggen van de drainageklassen – zie Tabel 5. Op basis van een combinatie van deze drainageklassen met de textuurklasse geeft de digitale bodemkaart een indicatieve aanduiding van de diepte van het grondwater t.o.v. de topografie (Figuur 12).

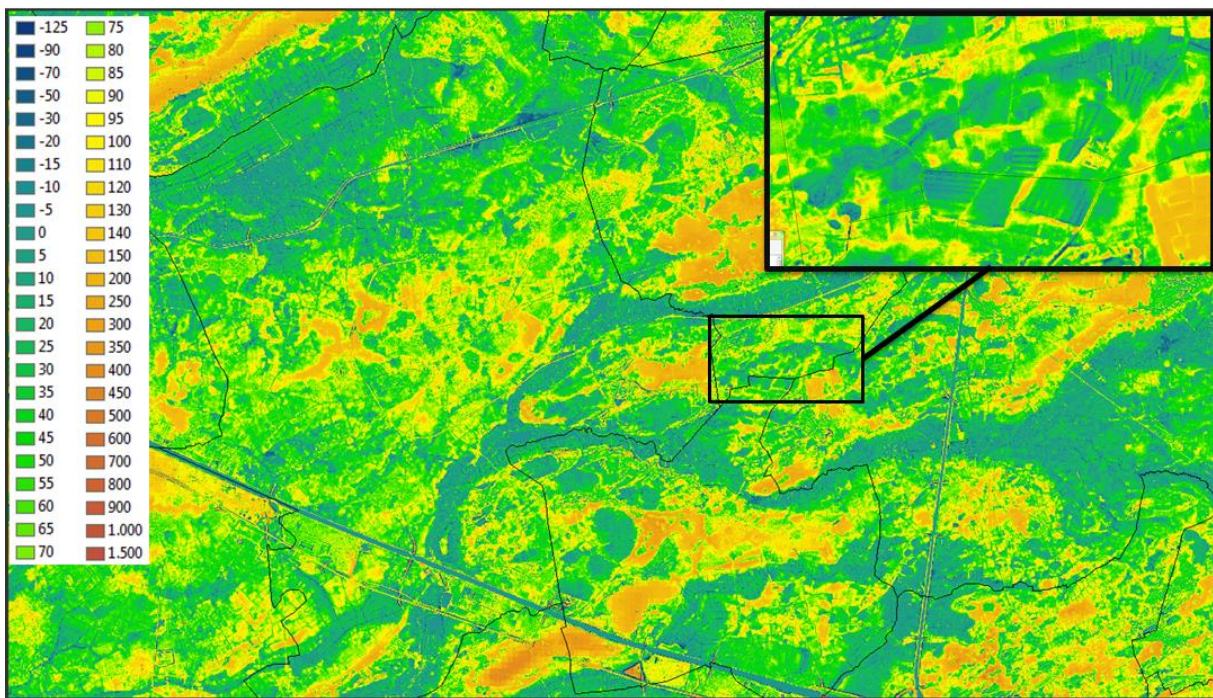
Tabel 5: inschatting van de GHG/GLG voor combinaties van bodemtextuur en drainageklassen (Stuurman et al; 2002)

Drainerings- klasse	Definitie		Gemiddelde grondwaterstand		
	<i>Roest</i>	<i>Reductie</i>	<i>GHG</i>	<i>GLG</i>	<i>GT'G</i>
a	-	-	150	240	173
b	90-125		100	200	125
c	60-90		70	160	93
d	40-60		40	130	63
h	20-40		20	140	49
i	0-20		10	120	37
e	20-40	>80	15	100	37
f	0-20	40-80	5	65	22
g	-	<40	0	35	12
A	>40	-	40	240	85
B	>90	-	100	240	133
D	40-90	-	40	160	69
I	<40	-	10	140	41
F	<40	>40	5	100	29
G	0-40	<125	0	100	25

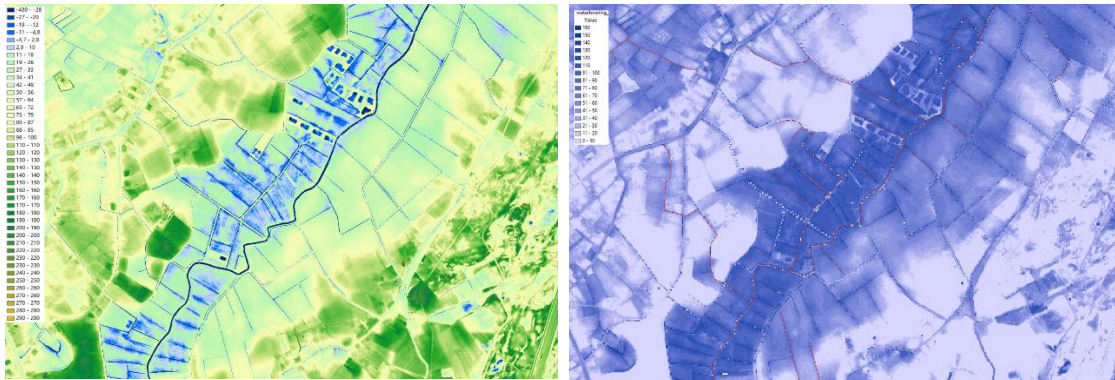
De drainageklasse van een bodemkaart polygoon geeft een algemene inschatting van de waterhuishouding. Dit betekent dat er binnen één polygoon best nog wel wat variatie aanwezig kan zijn. De grondwaterdiepte varieert immers geleidelijker ten op zicht van de topografie. Binnen de polygonen van de bodemkaart met een zelfde textuur en drainageklasse worden dan ook significante topografische variaties vastgesteld, waardoor correcties nodig zijn. Deze correcties zijn gebaseerd op de afwijking ten opzichte van de gemiddelde hoogteligging van de polygoon. Per polygoon werd, op basis van het digitaal hoogtemodel (AGIV 2014) de gemiddelde hoogteligging en de standaarddeviatie bepaald. Vervolgens wordt verondersteld dat voor alle pixels in deze polygoon waarvan de hoogteligging binnen de standaarddeviatie rond het gemiddelde ligt de GHG volgens de bodemkaart de meest nauwkeurige inschatting is. Voor de pixels waarvan de hoogteligging buiten de standaarddeviatie ligt wordt de GHG ingeschat op basis van interpolatie: de waarden voor de reeds ingevulde GHG (binnen de standaarddeviatie) worden op een gebiedsdekkende manier geïnterpoleerd op niveau Vlaanderen. Op deze manier werd een zacht glooiend grondwatertafel hoogtemodel (GHG-DHM) opgesteld dat in combinatie met het digitaal hoogtemodel toelaat om de diepte van het GHG en GLG af te leiden (Figuur 13).



Figuur 12: Bodemkaart met interpretatie GHG (cm t.o.v. het maaiveld) voor gehele polygonen (shapefile)



Figuur 13: Resultaat GHG na interpolatie van representatieve punten binnen de polygonen (5*5 raster)



Figuur 14: links: detailbeeld van de natuurlijk hoogste grondwaterstand (diepte onder maaiveld). Blauw duidt op zones waar dit boven het maaiveld komt. Waar drainerende grachten zijn, ligt het natuurlijk waterpeil lokaal boven het niveau van de gracht. Rechts: het 'natuurlijk waterleverend vermogen' (zonder drainage in rekening te brengen).

Uit de kaart met de gemiddeld hoogste grondwaterstand blijkt dat voor geheel Vlaanderen het grondwater zich rond 1950 gemiddeld zo'n 68 cm onder maaiveld bevond tijdens de natste periode van het jaar. Er was dus gemiddeld zo'n 34 cm water aanwezig tot 1 meter onder maaiveld wat overeenkomt met zo'n 2.160 miljoen kubieke meter water. Maar er waren regionale verschillen aanwezig. In de provincie Antwerpen was er gemiddeld 41 cm water aanwezig en in Brabant slechts 23 cm. Dit komt voornamelijk doordat er in de Kempen meer en bredere valleisystemen met hoge grondwaterstanden zijn dan in de Leemstreek.

Tabel 6: waterleverend vermogen per provincie en voor Vlaanderen in cm water onder het maaiveld en in m³.

	cm water aanwezig tot 1 m onder maaiveld	milj. m ³
Antwerpen	41	594
West-Vlaanderen	33	520
Oost-Vlaanderen	31	474
Limburg	27	328
Brabant	23	246
Vlaanderen	31	2.160

Vergelijking met andere cijfers is moeilijk, niettemin kan gesteld worden dat dit cijfer vergelijkbaar is met deze uit het eindrapport 'Uitwerking van een reactief afwegingskader voor prioritair watergebruik tijdens waterschaarste' (VMM 2021). In dit eindrapport VRAG wordt de volgende informatie gegeven: "Volgens de hydrologische modellen loopt van de totale neerslaghoeveelheid boven Vlaanderen van 9.726 milj. m³ /jaar, gemiddeld 3.599 milj. m³ /jaar af via neerslagafstroming naar de waterlopen. Een grote fractie ervan (2.339 milj. m³ /jaar) is freatische grondwaterafstroming; dus grondwatervoeding (2.626 milj. m³/jaar) die via het grondwater traag afloopt naar de waterlopen. Een kleinere fractie (360 milj. m³/jaar) loopt snel af naar de waterloop, via de oppervlakte. Via de zogenaamde 'interflow', die voor een groot deel bestaat uit drainage, loopt er gemiddeld 899 milj. m³/jaar af. De totale Vlaamse neerslagafstroming die via de verharding aangesloten

op de riolering snel afloopt naar rioleringsstelsels en finaal ook in de waterlopen terecht komt, wordt geraamd op gemiddeld 344 milj. m³/jaar.”

Kort gesteld is er van de 100 % voeding die waterlopen bereikt, 10% snelle afstroming, 25% snelle drainage en 65% trage drainage.

4.2. Inschatting van de drainagediepte en intensiteit

Drainage is voor grote delen van Vlaanderen wellicht de bepalende factor die de grondwaterstanden beïnvloedt. Om de omvang van de drainage in te schatten, is in de eerste plaats informatie nodig betreffende de aan- of afwezigheid van drainagegrachten. Een deel van het drainagesysteem wordt weergegeven in de Vlaamse Hydrologische Atlas (VMM 2020). Er kan aangenomen worden dat alle niet-gecategoriseerde watervoerende waterlopen drainagegrachten zijn. Het drainerend effect neemt af in functie van afstand tot de drainagegracht. Naast de gekarteerde waterlopen in de zijn Vlaamse Hydrologische Atlas zijn er ook nog grote aantallen niet-gekarteerde grachten. Deze grachten en micro-depressies werden op basis van een topografische analyse gekarteerd. Deze kaartlaag maakt onderdeel uit van de watersysteemkaarten (Staes 2021). De methode is zeer effectief in agrarische landschappen en toont zelfs de vele rabatten in bosgebieden (Figuur 15, Figuur 16).



Figuur 15: kartering van grachten via topografische analyse op basis van het digitaal hoogtemodel II (1 meter resolutie). Niet alle grachten zullen drainerend zijn, enkel wanneer er ondiep bodemwater aanwezig is én wanneer er indicaties zijn van een intensief landgebruik.



Figuur 16: Voorbeeld van de grachten en poelen kaartlaag in landelijk gebied. Zowel baangrachten als drainagegrachten zijn goed zichtbaar. In bosgebied zijn zelfs de rabatten zichtbaar. Rabatten zijn afwisselende greppels en ophogingen die werden aangelegd op zeer natte, moerasachtige bodems maar soms ook op wat drogere grond.

Naast de locatie van de grachten is de gewenste drainagediepte in functie van het landgebruik bepalend. Het is immers het verschil tussen de beoogde en de natuurlijke grondwaterstand die van belang is voor het bepalen van de veranderingen in drainage. Hierbij wordt er een schatting gemaakt van de gewenste drainagediepte bij extensief en intensief landgebruik (lage en hoge schatting). Voor drainagegrachten binnen de natuurstructuren kan deze drainagediepte bijvoorbeeld ingesteld worden op -20 cm ten aanzien van de maaiveld hoogte. Enkel in die zones waar de referentiegrondwaterstand boven -20 cm komt, zal er drainage plaatsvinden. Op basis van de actuele landgebruikskaat wordt er een gewenste drainagediepte aangenomen in de berekening (Tabel 7). Voor akkerbouw werd deze hoger ingeschat (-75 cm) dan voor bijvoorbeeld graslanden (-50 cm). Er wordt een hoge en lage schatting van de gewenste drainagediepte gehanteerd. De hoge schatting weerspiegelt de gangbare praktijken, de lage schatting weerspiegelt een aangepast drainagebeheer waar bij het huidige landgebruik (nog net) mogelijk blijft. Dit impliceert wel dat men maatregelen implementeert zodat men slechts kortstondig ontwatert. Zulke maatregelen zijn bv. een centraal georganiseerd stuwbeheer en aangepaste teelttechnieken.

In gebieden met zwaardere bodems en dus een lagere doorlaatbaarheid van de bodem is het nodig om de dichtheid van grachten te vergroten voor een effectieve drainage. In de praktijk wordt er dan vaak gebruik gemaakt van ondergrondse drainagebuizen. De benodigde dichtheid aan grachten zou het immers onmogelijk maken om intensieve teelten toe te passen. Aangezien deze ondergrondse drainagesystemen niet gekarteerd zijn, werd er aangenomen dat ze aanwezig zijn wanneer er intensief landgebruik aanwezig is en de gewenste drainagediepte meer dan 50 cm bedraagt.

Tabel 7: Schatting van de gewenste drainagediepte voor verschillende vormen van bodembedekking en landgebruik. De hoge schatting weerspiegelt de gangbare praktijken, de lage schatting weerspiegelt een aangepast drainagebeheer waar bij het huidige landgebruik mogelijk blijft.

BODEMBEDEKKING		Drainagediepte	
DrainID	Beschrijving	Hoog	Laag

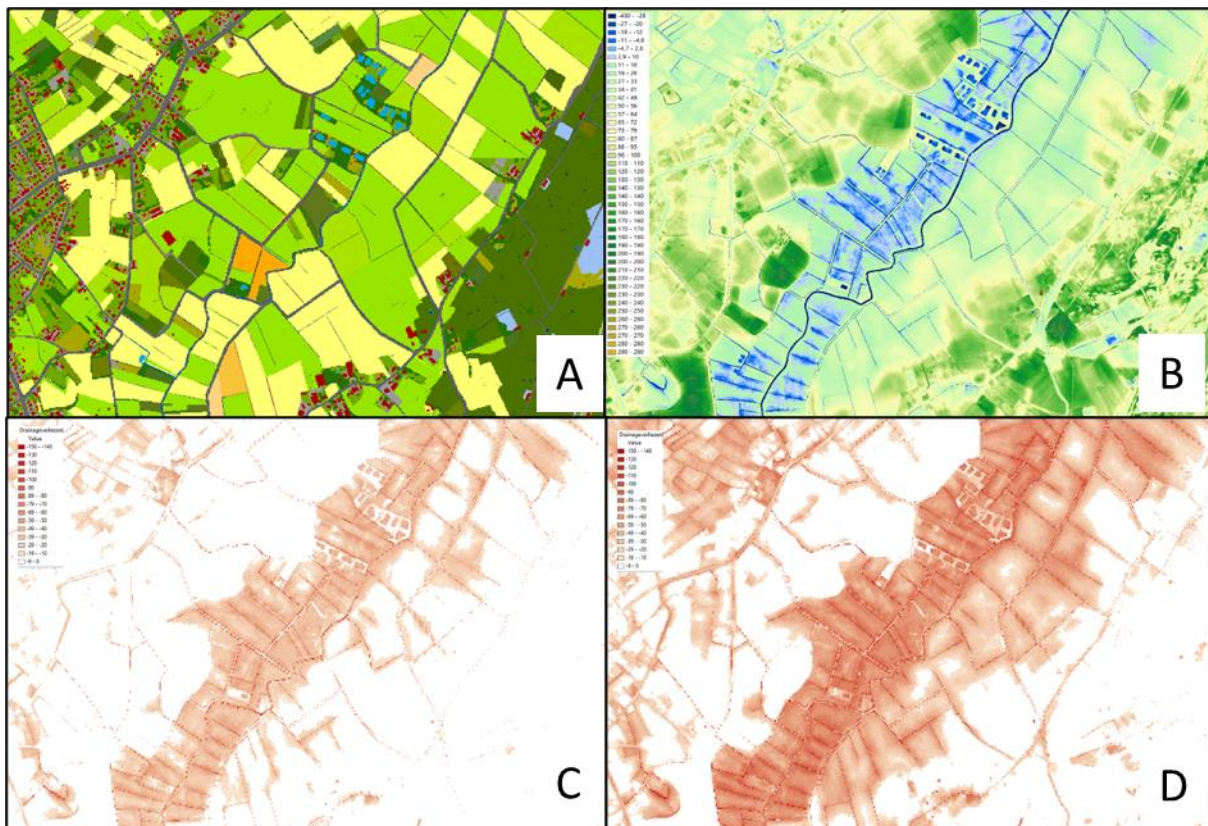
1101	1101_Ruigten en pioniersvegetatie	0	0
1201	1201_Struweel	25	0

1301	1301_Stuiken boomgaard	50	50
1302	1302_Laagstam	75	75
1303	1303_Hoogstam	75	75
1401	1401_Ander hooggroen	50	40
1402	1402_Ander laaggroen	50	40
1403	1403_Ander groen	50	50
2101	2101_Berk	50	0
2102	2102_Beuk	50	0
2103	2103_Beuk - bijmenging naaldhout	50	0
2104	2104_Eik	50	0
2105	2105_Eik - bijmenging naaldhout	50	0
2106	2106_Populier	50	0
2107	2107_Populier - bijmenging naaldhout	50	0
2108	2108_Ander loofhout	50	0
2109	2109_Ander loofhout - bijmenging naaldhout	50	0
2201	2201_Lork	50	0
2202	2202_Lork - bijmenging loofhout	50	0
2203	2203_Fijnspar	50	0
2204	2204_Fijnspar - bijmenging loofhout	50	0
2205	2205_Zwarte den	50	0
2206	2206_Zwarte den - bijmenging loofhout	50	0
2207	2207_Grove den	50	0
2208	2208_Grove den - bijmenging loofhout	50	0
2209	2209_Ander naaldhout	50	0
2210	2210_Ander naaldhout - bijmenging loofhout	50	0
3101	3101_Voedselarm grasland	50	0
3201	3201_Voedselrijk grasland	75	40
4101	4101_Droge Heide	0	0
4201	4201_Vochtige Heide	0	0
5101	5101_Kale bodem	0	0
5201	5201_Duinen	0	0

5301	5301_Strand	0	0
5401	5401_Niet verharde wegen	75	50
6101	6101_Aardappelen	75	50
6102	6102_Mais	100	50
6103	6103_Graan	100	50
6104	6104_Zaden	100	50
6105	6105_Peulvruchten	100	50
6106	6106_Suikerbieten	100	50
6107	6107_Groenten	100	50
6108	6108_Kruiden	100	50
6109	6109_Fruit	100	50
6110	6110_Vlas en hennep	100	50
6111	6111_Voedergewassen	100	50
6112	6112_Andere Akker	100	50
6201	6201_EÃ©njarige sierplanten	100	50
6202	6202_Meerjarige sierplanten	100	50
7101	7101_Moeras	0	0
7201	7201_Rietland	0	0
7301	7301_Alluviaal bos	0	0
8101	8101_Slikken	0	0
8201	8201_Schorre	0	0
9101	9101_Gebouwen	100	75
9201	9201_Verhard	100	75
9202	9202_Verhard andere	100	50
10101	10101_Stilstaand	50	25
10201	10201_Getijde Mesohalien	0	0
10202	10202_Getijde Oligohalien	0	0
10203	10203_Getijde Zoet	0	0
10204	10204_Zoet	75	50
10301	10301_Zee	0	0

DrainID	BODEMGEBRUIK Beschrijving	Drainagediepte	
		Hoog	Laag
0	0_Geen gegevens	50	25
1101	1101_Natuurbeheer ANB	0	0
1201	1201_Natuurbeheer landbouw	25	25
1301	1301_Natuurbeheer militair	0	0
2101	2101_Seizoenale akkerbouw	100	50
2102	2102_Meerjarige akkerbouw	100	50
2201	2201_Tijdelijk grasland	75	50
2202	2202_Permanent grasland	75	50
2203	2203_Ander grasland	75	50
2301	2301_Hoogstam Fruit en noten	75	75
2302	2302_Laagstam Fruit en noten	75	75
2303	2303_Andere boomgaard	75	75
2501	2501_Sierteelt	75	50
2601	2601_Landbouw gebouwen	100	75
2701	2701_Braak landbouwgebied	75	25

3101	3101_Parken publiek	75	50
3102	3102_Wandel en speelbossen	50	0
3103	3103_Kampeerterrainen en recreatie infrastructuur	75	50
3201	3201_Parken privÃ©	75	50
3202	3202_Recreatie- en dierenparken	75	50
3203	3203_Campings	75	50
4101	4101_Residentieel/commercieel	100	75
4102	4102_Horeca	100	75
4201	4201_Industrie	100	75
4202	4202_Commercieel - Lichte industrie	100	75
4301	4301_Autoweg	75	25
4302	4302_Spoorweg	100	75
4304	4304_Andere	75	50
5101	5101_Bevaarbare waterloop	100	75
6201	6201_Militair domein	0	0



Figuur 17: drainageverliezen: A: landgebruik, B: GHG, C: lage schatting drainageverlies. D: hoge schatting drainageverlies

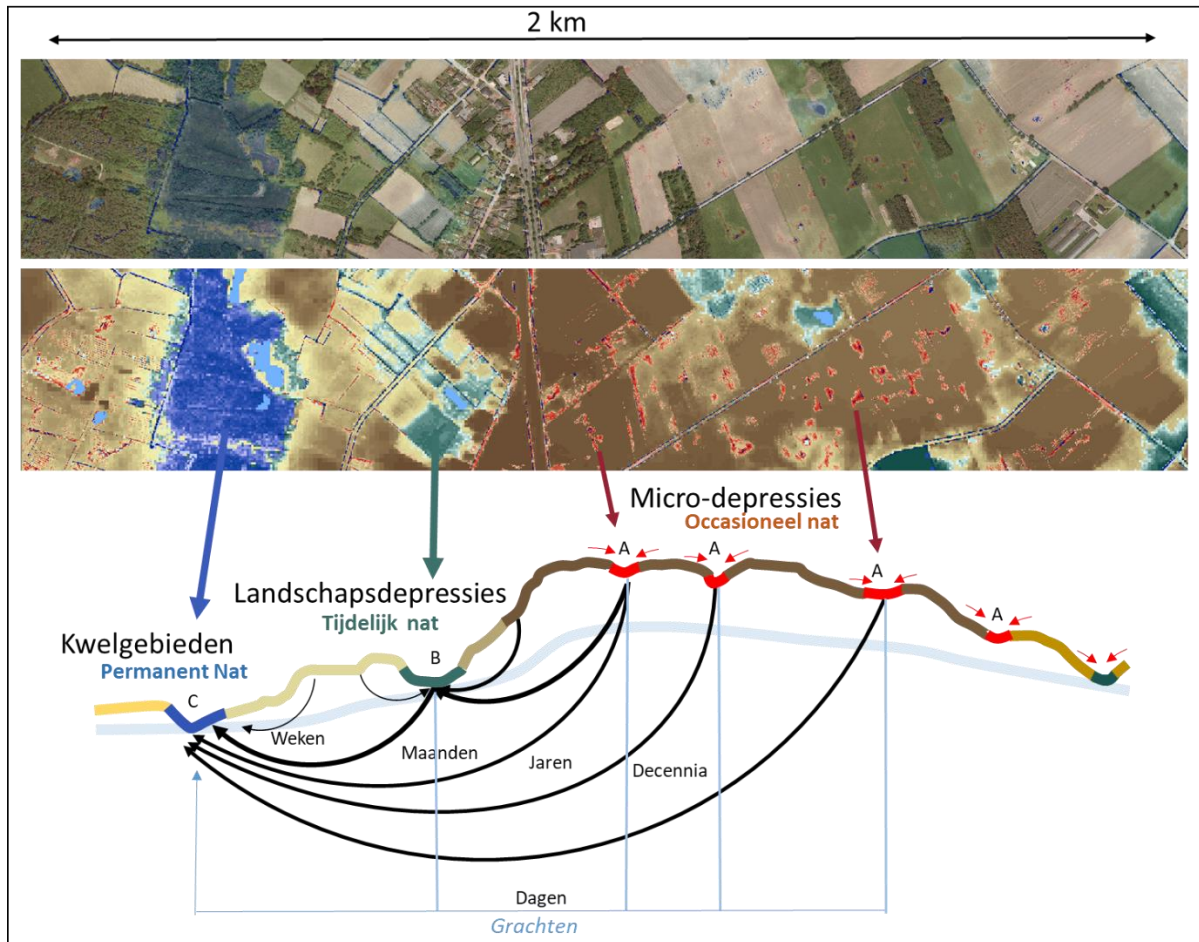
4.3. Geschatte drainageverliezen en impact op het waterleverend vermogen

Uit de analyses blijkt dat bij de gangbare drainagepraktijken er ongeveer 53% van het natuurlijk waterleverend vermogen verloren gaat. Hierbij daalt het beschikbare water van 2.160 miljoen m³ naar 1.032 miljoen m³. Wat overeenkomt met een drainageverlies van 1.128 milj m³. Anders uitgedrukt daalt het gemiddeld waterpeil in de bodem van 68 cm naar 85 cm onder maaiveld.

Bij een aangepast drainagebeheer (lagere gewenste drainagediepte) gaat er slechts 22% van het natuurlijk waterleverend vermogen verloren. Dit betekent een daling van 2.160 miljoen m³ naar 1.687 miljoen m³ en dus een drainageverlies van 473 milj m³. Het gemiddeld waterpeil in de bodem daalt van 68 cm naar 75 cm onder maaiveld.

4.4. Differentiatie drainageverliezen naar tijdelijk natte en permanent natte zones

Een uitgebreide analyse van de patronen inzake drainageverliezen was niet mogelijk in deze studie. Wel wordt er op basis van de watersysteemkaart een onderscheid gemaakt tussen drainage in permanent natte en tijdelijk natte gebieden (Staes 2021). Voor de opmaak van de watersysteemkaarten werden algoritmes ontwikkeld om de topografie te analyseren in functie van mogelijke grondwaterstromingen. Dit gebeurde op vele ruimtelijke schalen om zo het samenspel van waterstromen binnen een landschap in kaart te brengen (Figuur 18).



Figuur 18: De watersysteemkaart geïllustreerd aan de hand van een doorsnede van het landschap. De verschillende zones op de watersysteemkaart houden verband met de positie in het landschap. Impliciet is dit gerelateerd aan de potentiële verblijftijd van het geïnfilteerde water. Grachten verkorten de verblijftijd.

Door middel van deze algoritmes werden kaarten opgesteld die toe laat om zones af te bakenen die een bepaalde functie kunnen vervullen in het grondwaterbeheer. **Hoger gelegen, permanent droge bodems, met een diepe grondwaterstand** bieden kansen voor het opbouwen van een grondwatervoorraad waarmee droge jaren kunnen worden overbrugd. Deze zones worden aangeduid in het **donkerbruin** op de watersysteemkaart.

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

Daarnaast zijn er tal van **gebieden, natuurlijke depressies in het landschap die toch relatief hoog gelegen, die tijdelijk nat** zijn (**blauwgroen**). Dergelijke systemen ontvangen een aanvoer van afstromingswater en ondiep bodemwater dat zich verzamelt en verplaatst op minder doordringbare bodemlagen. Door hun relatief klein voedingsgebied en topografische ligging worden deze gebieden van nature gekenmerkt door een grote fluctuatie in de waterstand. Omdat het infiltratiegebied relatief klein is, is er een sterk seizoensgebonden effect van de kwelintensiteit. Perioden met een hoog neerslagoverschot leiden tot afstroming of de vorming van een schijngrondwaterstand op een minder doordringbare laag in de ondergrond. Onder natuurlijke omstandigheden wordt dit water opgevangen in natuurlijke landschapsdepressies die niet zijn aangesloten op het hydrologische netwerk. Deze kleinschalige tijdelijke moerasgebieden houden het overtollige water vast en maken een langzame maar gestage uitgestelde infiltratie mogelijk. Het zijn net deze gebieden die men reeds eeuwen

geleden heeft ontgonnen voor landbouw omdat men enkel een gracht moest graven om ze te draineren. Vaak bestaat er een aaneenschakeling van landschapsdepressies, verbonden door diepe grachten. Daardoor wordt het water sneller afgevoerd, krijgt het minder de kans om te infiltreren en ontstaan er piekdebieten in nattere perioden met wateroverlast benedenstrooms tot gevolg.

De verhouding tussen infiltratiegebieden, tijdelijk natte zones en permanent natte gebieden zijn vrij stabiel, maar kunnen licht verschillen op provincieschaal (Tabel 8). In het algemeen geldt de verhouding 70/15/15 voor respectievelijk infiltratiezones, permanent natte zones en tijdelijk natte zones.

Tabel 8: Absolute en procentuele oppervlaktes voor elk typegebied in de watersysteemkaart per provincie.

	Infiltratiegebied (km ²)	Permanent Nat (km ²)	Tijdelijk nat (km ²)
Antwerpen	2.005,91	407,94	461,61
West-Vlaanderen	2.252,31	420,63	484,70
Oost-Vlaanderen	2.114,27	443,53	449,96
Limburg	1.703,65	338,08	385,85
Brabant	1.441,24	338,98	338,34
Vlaanderen	9.517,38	1.949,16	2.120,46
	Infiltratiegebied (%)	Permanent Nat (%)	Tijdelijk nat (%)
Antwerpen	70	14	16
West-Vlaanderen	71	13	15
Oost-Vlaanderen	70	15	15
Limburg	70	14	16
Brabant	68	16	16
Vlaanderen	70	14	16

De kaart met de drainageverliezen werd vervolgens gecombineerd met deze watersysteemkaart om een schatting te maken van het waterleverend vermogen van de tijdelijk natte en permanent natte zones en mogelijke drainageverliezen. Het potentieel/natuurlijk waterleverend vermogen van deze tijdelijk natte (541,9 mio m³) en permanent natte (560,3 milj. m³) zones is samen 1.102 milj. m³ jaar. Het totale waterleverend vermogen op schaal Vlaanderen wordt geschat op 2.160 milj. m³ / jaar. Dit toont aan dat er ook aanzienlijke drainage plaatsvindt buiten de permanent/tijdelijk natte zones van de watersysteemkaart (Figuur 19). Er zijn dan ook tal van grachten aanwezig (net) buiten de permanent en tijdelijk natte zones. Ook deze grachten zorgen mee voor de ontwatering. Deze drainage is vaak onnodig en vindt enkel in de winter/lente plaats, maar is door de ruimtelijke omvang toch aanzienlijk. Het plaatsen van stuwtejes en drempels op deze niet-permanent watervoerende grachten kan dan ook een grote impact hebben op de waterbeschikbaarheid zonder dat daar "offers" voor nodig zijn.

Natte gebieden

■ Permanent nat

■ Tijdelijk nat

Drainageverliezen

cm onder het maaiveld

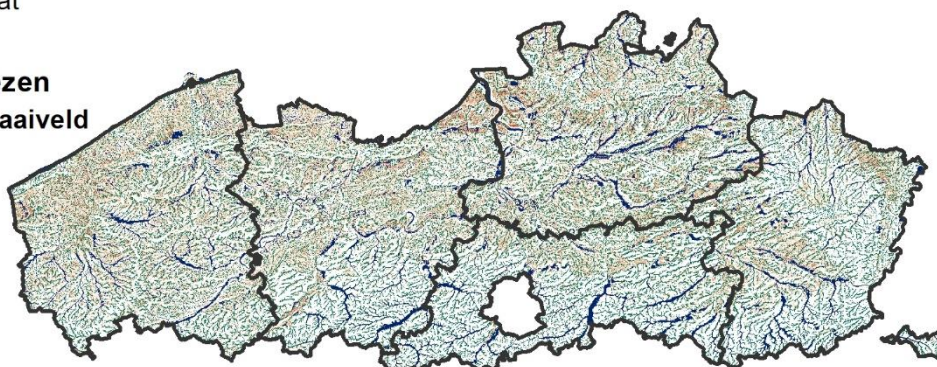
■ -150 - -120

■ -110 - -90

■ -89 - -60

■ -59 - -30

■ -29 - 0



Figuur 19: Drainageverliezen onder hogere schatting die gelegen zijn buiten de permanent natte en tijdelijk natte zones van de watersysteemkaart.

Niettemin staat 30% van de oppervlakte van Vlaanderen in voor 50% van het waterleverend vermogen. Het ontwikkelen van blauwgroene netwerken in dergelijke zones zal dus zeker ook de waterbeschikbaarheid verhogen. Door drainage gaat immers tussen de 338 milj. m³ (lage drainage diepte) en 676 milj. m³ (hoge drainage diepte) van het waterleverend vermogen verloren.

Tabel 9: Analyse van het waterleverend vermogen voor de combinaties van tijdelijk en permanent natte gebieden volgens de watersysteemkaart.

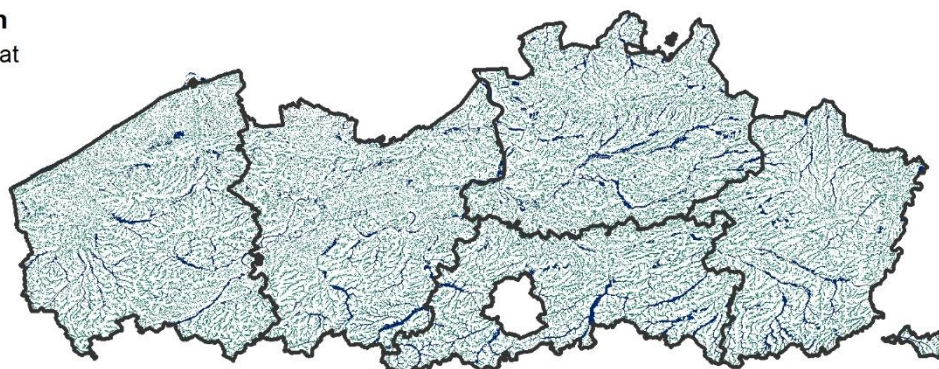
Aantal centimeter water aanwezig tot op 1 m onder maaiveld	Permanent nat			Tijdelijk nat		
	Geen (cm)	Laag (cm)	Hoog (cm)	Geen (cm)	Laag (cm)	Hoog (cm)
Drainage =>						
Antwerpen	85 (0)	60 (-25)	37 (-48)	75 (0)	53 (-22)	28 (-47)
West-Vlaanderen	67 (0)	45 (-22)	23 (-44)	69 (0)	48 (-21)	22 (-47)
Oost-Vlaanderen	73 (0)	50 (-23)	29 (-44)	65 (0)	44 (-21)	22 (-43)
Limburg	70 (0)	50 (-20)	32 (-38)	56 (0)	40 (-16)	24 (-32)
Brabant	63 (0)	43 (-20)	26 (-37)	50 (0)	33 (-17)	18 (-32)
Vlaanderen	72 (0)	50 (-22)	30 (-42)	63 (0)	44 (-19)	23 (-40)
Totaal volume waterleverend vermogen (milj. m ³)	Permanent nat			Tijdelijk nat		
	Geen drainage (mio m ³)	Bepaalde drainage (mio m ³)	Sterke drainage (mio m ³)	Geen drainage (mio m ³)	Bepaalde drainage (mio m ³)	Sterke drainage (mio m ³)
Drainage =>						
Antwerpen	692 (0)	493,6 (-198,4)	303,4 (-388,6)	689,8 (0)	485,2 (-204,6)	260,9 (-428,9)
West-Vlaanderen	564,4 (0)	379,2 (-185,2)	193,1 (-371,3)	669,1 (0)	463,5 (-205,6)	210,6 (-458)
Oost-Vlaanderen	643,6 (0)	442,7 (-200,9)	260,4 (-383,2)	580,9 (0)	399,9 (-181)	196,9 (-384)
Limburg	471,7 (0)	336,8 (-134,9)	217 (-254,7)	432 (0)	309,3 (-122,7)	187,7 (-244,3)
Brabant	429,9 (0)	289,3 (-140,6)	177,1 (-252,8)	337,8 (0)	221 (-116,8)	121,1 (-216,7)
Vlaanderen	560,3 (0)	388,3 (-172)	230,2 (-330,1)	541,9 (0)	375,8 (-166,1)	195,5 (-346,4)

Verlies waterleverend vermogen	Permanent nat			Tijdelijk nat		
	Geen drainage	Beperkte drainage	Sterke drainage	Geen drainage	Beperkte drainage	Sterke drainage
Drainage =>						
Antwerpen	0%	-29%	-56%	0%	-30%	-62%
West-Vlaanderen	0%	-33%	-66%	0%	-31%	-69%
Oost-Vlaanderen	0%	-31%	-60%	0%	-31%	-66%
Limburg	0%	-29%	-54%	0%	-28%	-57%
Brabant	0%	-33%	-59%	0%	-35%	-64%
Vlaanderen	0%	-31%	-59%	0%	-31%	-64%

Uit Tabel 9 blijkt dat ongeveer 656 miljoen kubieke meter, ofwel zo'n 60% van het potentieel waterleverend vermogen verloren gaat onder het scenario van intensieve drainage. Er zijn geen opmerkelijke verschillen tussen tijdelijk natte en permanent natte gebieden. Ze worden beiden overmatig gedraineerd en er zijn weinig ruimtelijke verschillen (Figuur 20). De tijdelijk natte gebieden hebben onder natuurlijke omstandigheden een uitzonderlijk water regulerend vermogen waardoor hier veel winst geboekt worden. Doordat deze vaak eeuwen geleden ontgonnen en gedraineerd zijn, wordt de rol van tijdelijk natte gebieden in de waterbuffering grotendeels over het hoofd gezien. De biodiversiteitswaarde ligt er vaak ook lager dan voor de permanent natte gebieden, waardoor ze soms buiten de focus van natuurherstel vallen. In een aantal recente publicaties wordt het belang van deze waterrijke gebieden die niet hydrologisch verbonden zijn met het rivierennetwerk aangehaald. In de wetenschappelijke literatuur wordt verschillende terminologie gebruikt om te verwijzen naar dergelijke wetlands, namelijk "depressional wetlands" (Evenson *et al.*, 2018), "non-floodplain wetlands" (Lane *et al.*, 2018; Jones *et al.*, 2019) of "geografisch geïsoleerde wetlands" (Cohen *et al.*, 2016; Evenson *et al.*, 2016; Rains *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2018).

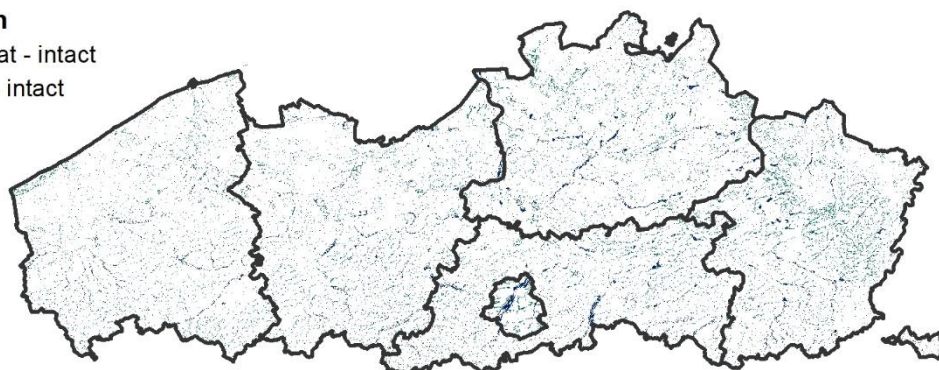
Natte gebieden

- Permanent nat
- Tijdelijk nat



Natte gebieden

- permanent nat - intact
- Tijdelijk Nat - intact



Figuur 20: Bovenste kaart: permanent en tijdelijk natte gebieden (cfr. watersysteemkaart). Onderste kaart: de permanent/tijdelijk natte gebieden die niet onderhevig zijn aan drainage. De drempel wordt gelegd op een verlies van minder dan 25 % van het natuurlijk water leverend vermogen. Bij die drempel zijn slechts 22% van de permanent natte gebieden intact en slechts 17 % van de tijdelijk natte gebieden.

5. Watervoorziening

5.1. Actualisatie freatische grondwaterwinningen

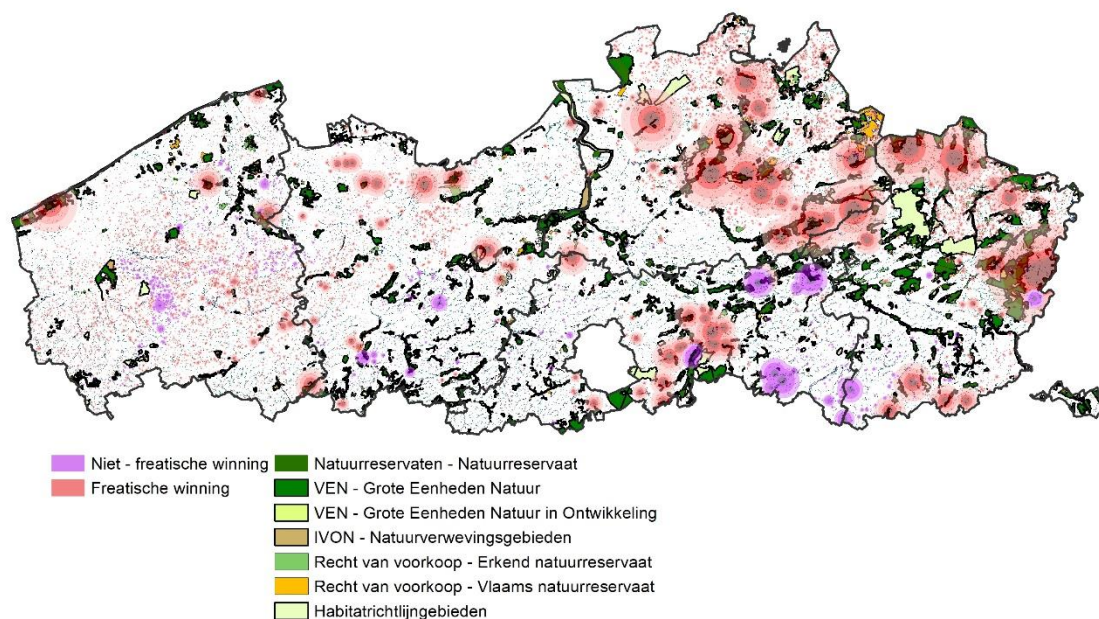
De watervoorziening in Vlaanderen is afkomstig uit zowel oppervlakte- als grondwater. De locaties en hoeveelheden water die uit het grondwater worden onttrokken veranderen doorheen de jaren. Voor de evaluatie van de watervoorziening uit grondwater werd daarom de dataset van 2009 geüpdatet met de vergunde winningen in 2021. Figuur 21 geeft een ruimtelijk beeld van de actueel vergunde freatische en niet-freatische winningen, waarbij we de opgepompte debieten projecteren als een oppervlakte equivalent. Voor de verdere berekeningen werd enkel gebruik gemaakt van de vergunningen die betrekking hebben op grondwaterlagen die freatisch worden aangevuld of waarvan de aanvulling onbekend is en er wordt aangenomen dat de meeste freatisch worden aangevuld.

De voorbije decennia is er sterk ingezet op een duurzaam beheer van de grondwatervoorraden. Hierdoor is de totale hoeveelheid grondwater die wordt vergund tussen 2000 en 2019 sterk afgenomen (MIRA). Uit een vergelijking van de datasets, 2009 en 2021, komt een meer genuanceerd beeld naar voor voor de freatische winningen. Hoewel het totaal vergund debiet en aantal winningen is afgenomen t.o.v. 2009, is dit beeld sterk afhankelijk van de locatie. In het westen van Vlaanderen heeft er een sterke daling plaats gevonden, terwijl dit in de Kempen is toegenomen (Tabel 10). Voor de meeste provincies is vooral het aantal kleine winningen gedaald, waardoor de mediaan meestal gestegen is (Figuur 22). Uit de cijfers blijkt dat het totale vergunde debiet de voorbije jaren niet meer gedaald is en zelfs licht stijgt. Het totaal vergund debiet voor alle winningen (incl. gespannen lagen) was in 2017 382 miljoen m³. In 2021 is dit gestegen tot 387 miljoen m³.

Bij deze cijfers moet worden opgemerkt dat het vergunningsbeleid is aangepast in 2009 en 2014, waardoor voor een deel van de winningen tegenwoordig enkel een meldingsplicht geldt en deze niet langer zijn opgenomen in de analyse. In 2018, het laatste jaar waarvoor cijfers beschikbaar zijn, waren er 57.000 putten gemeld (28 miljoen m³), ongeveer 3.000 meer dan in 2014. Voor de gekende kleine winningen en komt er alleen voor de provincie Antwerpen nog eens 12 miljoen m³ bij. Hierbij wordt er wel vanuit gegaan dat de jaardebieten maximaal worden gebruikt. De provincies met de hoogste natuurwaarden en de meest kwetsbare waterlopen, hebben dus proportioneel de hoogste winningsdruk en die is de laatste 10 jaar sterk gestegen. Ondanks hun klein jaardebiet, hebben kunnen hun groot aantal wel een impact hebben op het lokale grondwater. Daar tegenover staat dat uit enquêtes blijkt dat het gebruik van grondwater voor huishoudelijk verbruik stelselmatig afneemt van 13 milj. m³ in 2000 naar 3 milj. m³ in 2018 (VMM 2018).

Ook illegale winningen hebben wellicht een belangrijke impact op het grondwater. Op basis van ervaring en controles op het terrein schatten toezichthouders en experts bij de Vlaamse Milieumaatschappij dat er 10 à 20 procent illegale winningen zijn. Het gaat dan zowel om illegale putten als om vergunde putten waaruit meer wordt opgepompt dan is toegestaan. Hoeveel putten er écht zijn, wat hun jaarlijks debiet is en hun ruimtelijke spreiding, is onduidelijk (De Cleene 2020). Maar wellicht komen deze meer voor in verkavelingen en de open ruimte dan in stedelijke kernen.

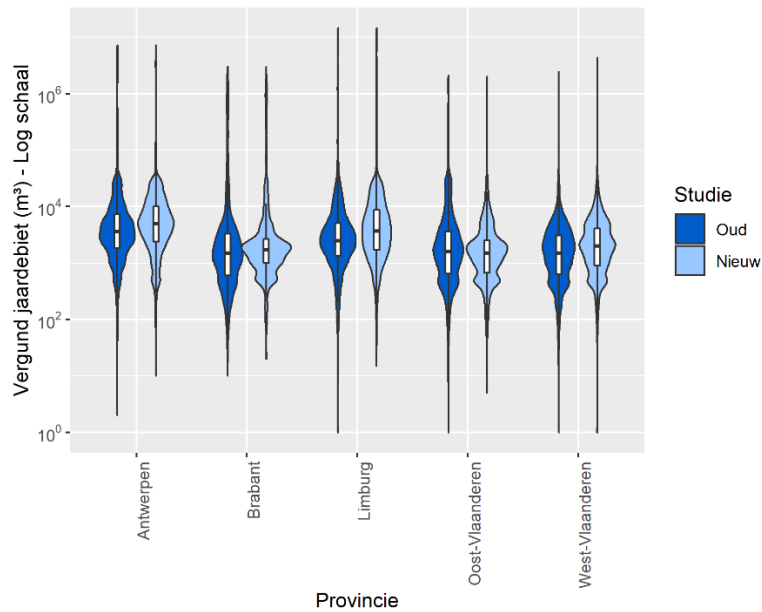
Gezien de grote onzekerheid bij de debietschattingen van winningen met meldingsplicht en illegale winningen als ook de ruimtelijke spreiding van deze winningen is het momenteel onmogelijk om een betrouwbare analyse van hun impact door te rekenen. In de verdere berekeningen wordt daarom enkel gebruik gemaakt van de vergunde debieten, wat een onderschatting geeft van de bestaande impact.



Figuur 21: Beeld van de freatische (rode cirkels) en niet-freatische (paars) winningen. De cirkels visualiseren de invloedssfeer van de winningen. Ze tonen de oppervlakte aan infiltratie die nodig is om de winning te compenseren (respectievelijk 100 %, 75%, 50%, 25%, 5% van 250 mm aanvulling per vierkante meter).

Tabel 10: Aantal winningen en totaal vergund debiet voor de Vlaamse provincies

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

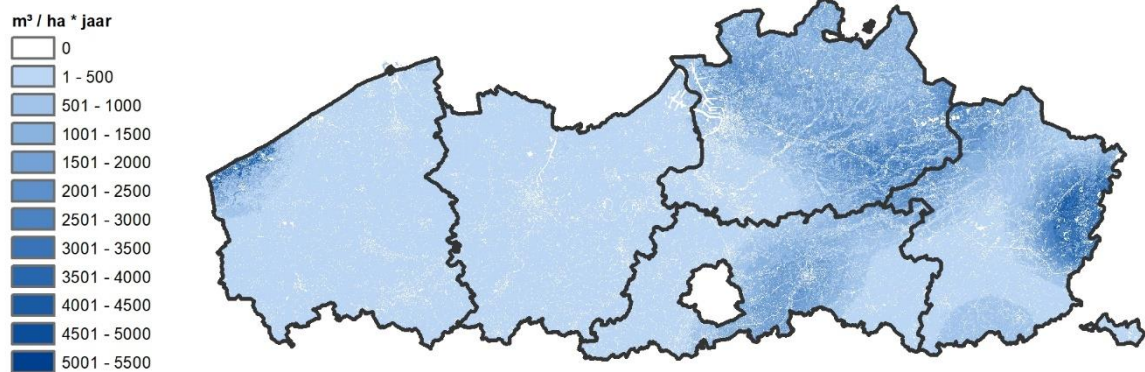


Figuur 22: Spreiding van de vergunde debieten voor de Vlaamse provincies voor 2009 en 2021. De vergunde debieten wordt weer gegeven volgens een log-schaal.

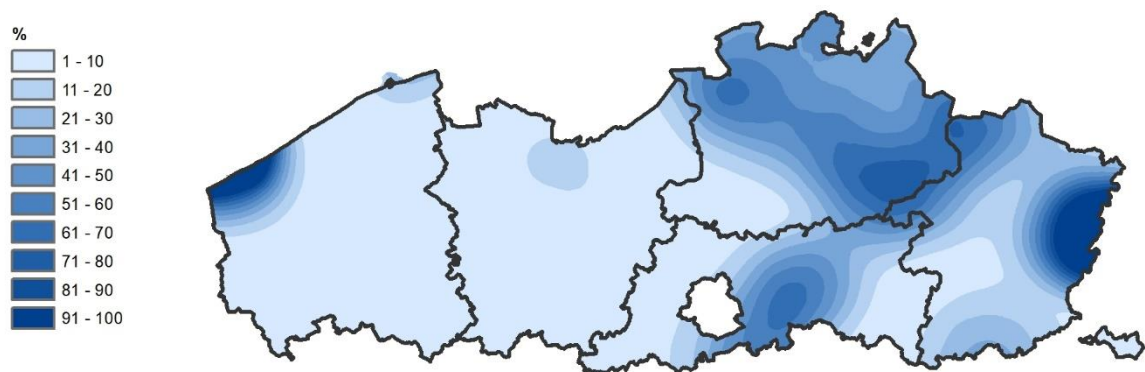
Op basis van de vergunde debieten en de huidige infiltratiecapaciteit van de bodem kan een inschatting gemaakt worden van de hoeveelheid (Figuur 23) en het percentage (Figuur 24) geïnfiltreerd water dat op jaarbasis terug wordt opgepompt (o.b.v. de vergunde jaardebieten van de winningen). Vooral in de Kempen is de hoeveelheid grondwater dat kan worden opgepompt hoog en is, ondanks de grote aanvulling, ook de algemene druk op het freatisch grondwatersysteem het hoogst. Ook rond Leuven is er een grote impact die verband houdt met drinkwaterwinningen en industriële vergunningen.

De grote drinkwatervergunningen in de buurt van de Maas worden voornamelijk aangevuld door infiltrerend Maaswater. Waardoor ze in realiteit wellicht een kleinere impact op het omliggende grondwater hebben. Dit geldt ook voor de winning in Nieuwpoort die voornamelijk gevoed wordt door de gerichte infiltratie van gezuiverd afvalwater.

Grondwaterstromingen houden geen rekening met administratieve grenzen en winningen kunnen dus deels grensoverschrijdende effecten hebben. Winningen gelegen buiten de Vlaamse grenzen kunnen een effect hebben op de grondwaterstanden binnen Vlaanderen en omgekeerd. Om deze tegengestelde effecten deels te compenseren, worden de Vlaamse winningen volledig binnen geplaatst. Regenwater dat infiltreert binnen Vlaanderen moet dus het volledige vergunde debiet compenseren. Hierdoor kunnen er lokaal wel over- of onderschattingen zijn in de druk op het freatisch grondwater afhankelijk van het aantal grondwaterwinningen dat over de grenzen aanwezig is.



Figuur 23: Hoeveelheid geïnfiltrerd water dat op basis van vergunningen kan worden opgepompt.

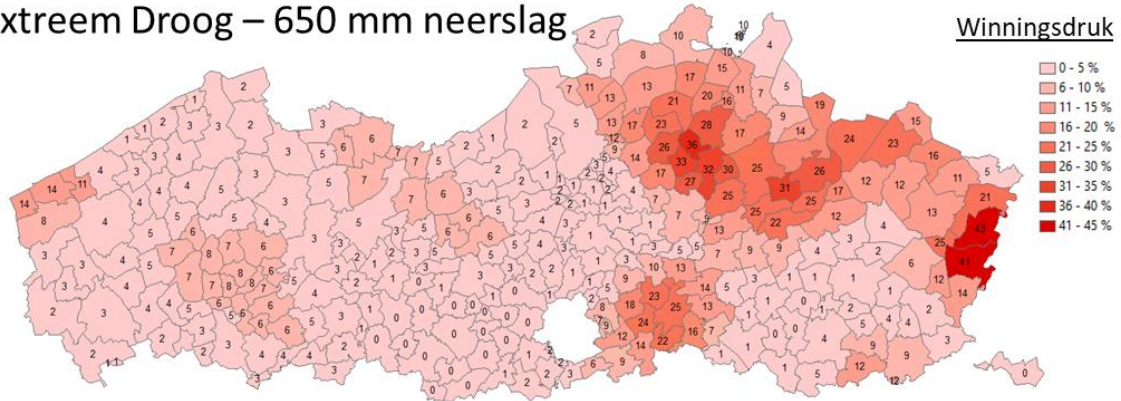


Figuur 24: Percentage van het infiltrerende water dat onttrokken wordt.

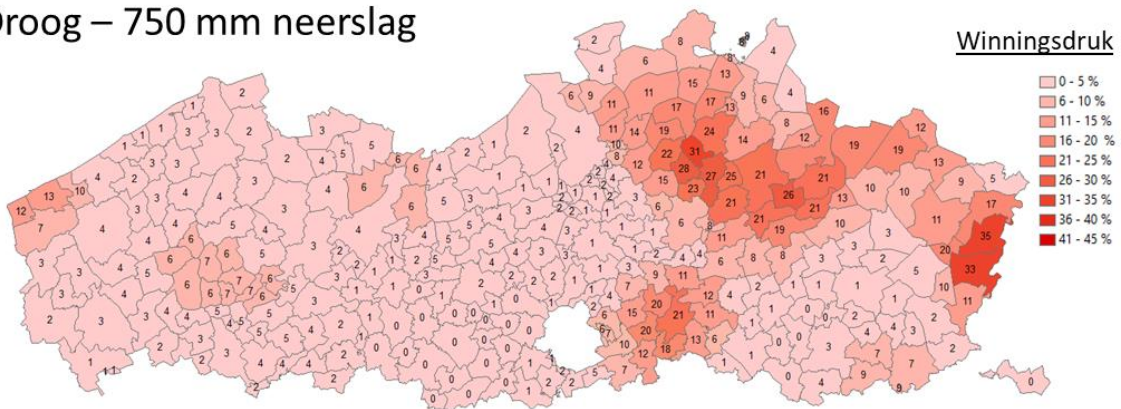
5.2. Evaluatie van klimaatverandering op winningsdruk

Bovenstaande analyses gaan uit van een gemiddelde neerslag en grondwateraanvulling. De klimaatscenario's tonen dat een verminderde neerslag een aanzienlijk effect kan hebben op de grondwateraanvulling en dus ook indirect op de winningsdruk. Hierbij wordt er dan nog geen rekening gehouden met het gegeven dat er tijdens een droog jaar wellicht een hogere watervraag is vanuit bepaalde sectoren (landbouw, recreatie, huishoudens). Indien er gemiddeld meer drogere jaren voorkomen, kan er dus bijkomende druk ontstaan op het grondwatersysteem (Figuur 25). Dit is zichtbaar dat voor een gemeente met een hoge winningsdruk (Vorselaar), de winningsdruk bij een opeenvolging van extreem droge jaren zo'n 36 % bedraagt, terwijl dit voor opeenvolgende natte jaren kan dalen naar 26 %. De ecoregio Kempen kent over het algemeen een erg hoge winningsdruk. Voor Grote en Kleine Nete (en zijlopen) werden de afgelopen jaren meermaals extreem lage debieten opgetekend en captatieverboden uitgevaardigd. Tegelijk is tussen 2010 en 2020 is het totaal vergund debiet voor grondwaterwinningen met 10 % toegenomen.

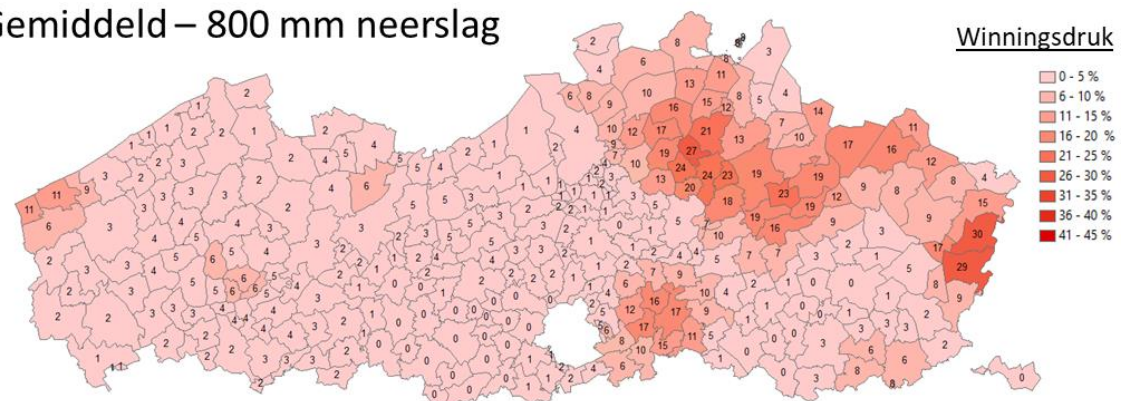
Extreem Droog – 650 mm neerslag



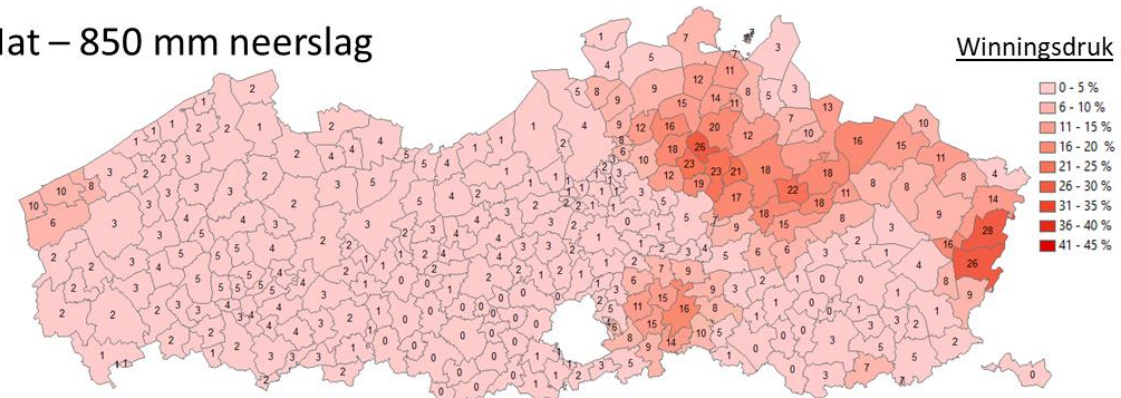
Droog – 750 mm neerslag



Gemiddeld – 800 mm neerslag



Nat – 850 mm neerslag

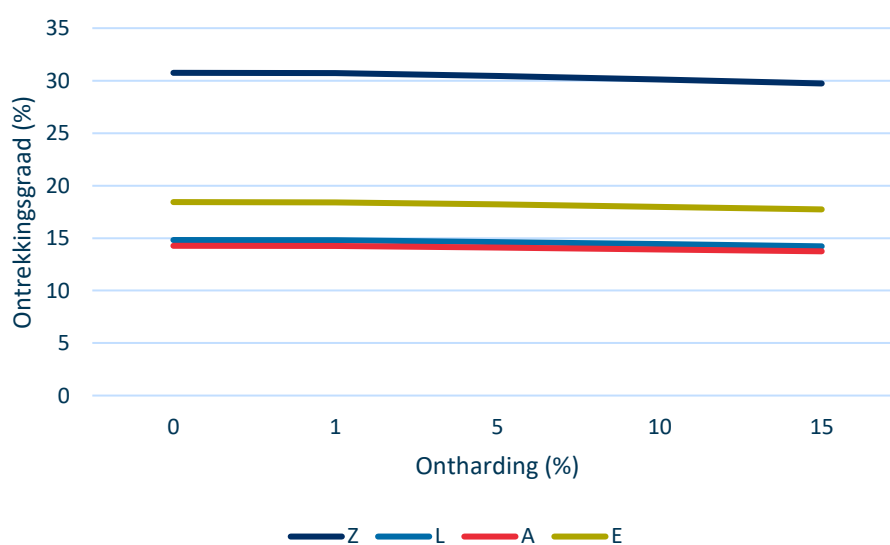


Figuur 25: Veranderingen in winningsdruk onder verschillende klimaatscenario's. De gemiddelde winningsdruk werd berekend per gemeente.

5.3. Evaluatie van herstelopties op winningsdruk

Van de onthardingsopties werd enkel voor optie 4 (hoe meer, hoe beter?) het effect op de winningsdruk doorgerekend. Hieruit blijkt dat de ontharding wel een effect heeft op de winningsdruk, maar dat dit effect relatief beperkt blijft (Figuur 26). Dit valt grotendeels te verklaren door de ruimtelijke discrepantie tussen de locatie van de ontharding en de locatie van de winning. De meeste en vooral grootste (drinkwater)winnings, bevinden zich vaak in een gebied dat een relatief beperkte verharding heeft. De gekozen scenario's ontharden vooral in gebieden met een lagere winningsdruk.

Dit betekent echter niet dat het ontharden niet zinvol zou zijn voor de aanvulling van het grondwater. Het ontharden zal immers lokaal wel leiden tot meer grondwateraanvulling en zo bijdragen tot een meer klimaat robuust watersysteem dat minder gevoelig is voor droogte. Hierbij kunnen ontharde stukken bijdragen tot het bufferen van neerslag bij intense neerslagbuien. De toename in infiltratie kan ook de lage grondwaterstanden in stedelijk gebied deels compenseren en meehelpen bij de instandhouding van de groeninfrastructuur tijdens droogte. Naast deze water gerelateerde voordelen, zullen deze gebieden uiteraard ook bijkomende voordelen op leveren zoals vermindering van het hitte-eilandeffect.



Figuur 26: Ontrekkingsgraad voor de verschillende bodemtexturen onder de optie toenemende ontharding.

5.4. Ontwatering in relatie tot bodembedekking, landgebruik en bestemming.

In de strategische visie van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen wordt het ontwikkelen van groenblauwe netwerken (GBN) als belangrijk thema naar voor geschoven. Maar hoe blauw zijn de netwerken? Kunnen GBN een rol vervullen in klimaatadaptatie?

Om dit na te gaan werd de combinatie gemaakt tussen bodembedekking/bodemgebruik en een vereenvoudiging van ruimtelijke bestemmingen. Voor de combinatie bodembedekking en bestemming zijn er enkele interessante vaststellingen. Enerzijds hebben de beschermde groengebieden de hoogste potentie om water vast te houden.

Het potentieel waterleverend vermogen is met 0.49 m³/m² substantieel hoger dan de andere combinaties (Tabel 11). Het water leverend vermogen is het minst aangetast (- 19 tot -35%) in de beschermde gebieden die een groene invulling kregen, maar nog wel onverwacht hoog. Maar er is nog relatief veel landbouw aanwezig (3.88 % van Vlaanderen) in de gebieden met een beschermingsstatus voor biodiversiteit (Tabel 13). Het waterleverend vermogen van deze combinatie is met 0,46 m³/m² de tweede hoogste en ook de aantasting van dit waterleverend vermogen is vergelijkbaar met dat van de combinatie groengebied/beschermd. Dit is niet onlogisch. Veel van de natuurgebieden in Vlaanderen liggen in valleien en kwelgebieden met een hoge potentie voor vernatting. Maar er is nog veel versnippering en vernatting is enkel mogelijk voor grote aaneengesloten gebieden. De (vaak beperkte) aanwezigheid van landbouw staat een vernatting van deze gebieden in de weg. Een disproportioneel aandeel van tijdelijk nat komt voor in de combinatie Landbouw/Beschermd. Ondanks dat deze combinatie slechts 3.88 % van Vlaanderen omvat, vertegenwoordigt ze toch 11% van alle tijdelijk natte gebieden (Tabel 12). Datzelfde patroon is ook zichtbaar in de combinatie van het bodemgebruik en de beschermde gebieden. Van alle gebieden met een beschermingsstatus (VEN, Habitatrictlijngebied) valt slechts een 25 % onder natuurbeheer (Tabel 14). De grootste aaneengesloten natuurgebieden zijn bovendien overwegend droog. Hierdoor heeft het aandeel van de gebieden met beschermingsstatus dat nog niet in natuurbeheer is, een groter potentieel waterleverend vermogen dan de gebieden die effectief onder natuurbeheer staan.

Een tweede observatie is het hoog potentieel waterleverend vermogen (0,46 m³/m²) van landbouw binnen "harde bestemmingen" (woongebieden, industrie, infrastructuur). Dit toont misschien aan dat men bij het volbouwen van Vlaanderen, de meest natte gebieden toch enigszins ontzien heeft en dat deze zones daarom nog in landbouwgebruik zijn. Het betreft maar een beperkte oppervlakte (2,8 % van Vlaanderen), maar er is een hoog potentieel om deze gebieden in te zetten voor klimaatadaptatie in plaats van deze vol te bouwen. De aantasting van het waterleverend vermogen is met -22 tot -46% wel relatief hoog. Een visuele controle toont dat het vaak gaat om eerder nattere condities volgens de watersysteemkaart (blauw/groen) en de overgang naar droog (lichtgele zones) (Figuur 27).

Tabel 11: analyse van het (verlies aan) water leverend vermogen binnen de combinaties bodembedekking en ruimtelijke bestemming.

Bodembedekking	Bestemming	% oppervlakte	Waterleverend vermogen (m ³ /m ²) (verlies tov geen drainage in m ³ /m ² / relatief verlies %)		
			Geen drainage	Beperkte drainage	Sterke drainage
Verhard	Harde bestemming	10,87	0,22	0,15 (-0,06 / -29)	0,09 (-0,13 / -59)
Verhard	Open ruimte	4,84	0,32	0,26 (-0,06 / -20)	0,14 (-0,18 / -56)
Verhard	Beschermd	0,58	0,4	0,32 (-0,08 / -19)	0,22 (-0,18 / -46)
Landbouw	Harde bestemming	2,79	0,46	0,36 (-0,10 / -22)	0,25 (-0,21 / -46)
Landbouw	Open ruimte	45,35	0,34	0,25 (-0,09 / -27)	0,17 (-0,17 / -50)
Landbouw	Beschermd	3,88	0,46	0,39 (-0,07 / -15)	0,30 (-0,16 / -34)
Groen gebied	Harde bestemming	10,02	0,3	0,21 (-0,09 / -30)	0,14 (-0,16 / -52)
Groen gebied	Open ruimte	12,76	0,24	0,18 (-0,06 / -26)	0,09 (-0,15 / -61)
Groen gebied	Beschermd	8,92	0,49	0,40 (-0,09 / -19)	0,32 (-0,17 / -35)

Tabel 12: analyse van het voorkomen van de zones van de watersysteemkaart (droog, tijdelijk nat, permanent nat) binnen de combinaties bodembedekking en ruimtelijke bestemming.

Bodembedekking	Bestemming	% oppervlakte	% bodembedekking - bestemming			% watersysteem zone		
			Infiltratie	tijdelijk nat	permanent nat	Infiltratie	tijdelijk nat	permanent nat
Verhard	Harde bestemming	10,87	81	7	12	12	5	8
Verhard	Open ruimte	4,84	79	8	13	5	3	4
Verhard	Beschermd	0,58	71	18	12	1	1	0

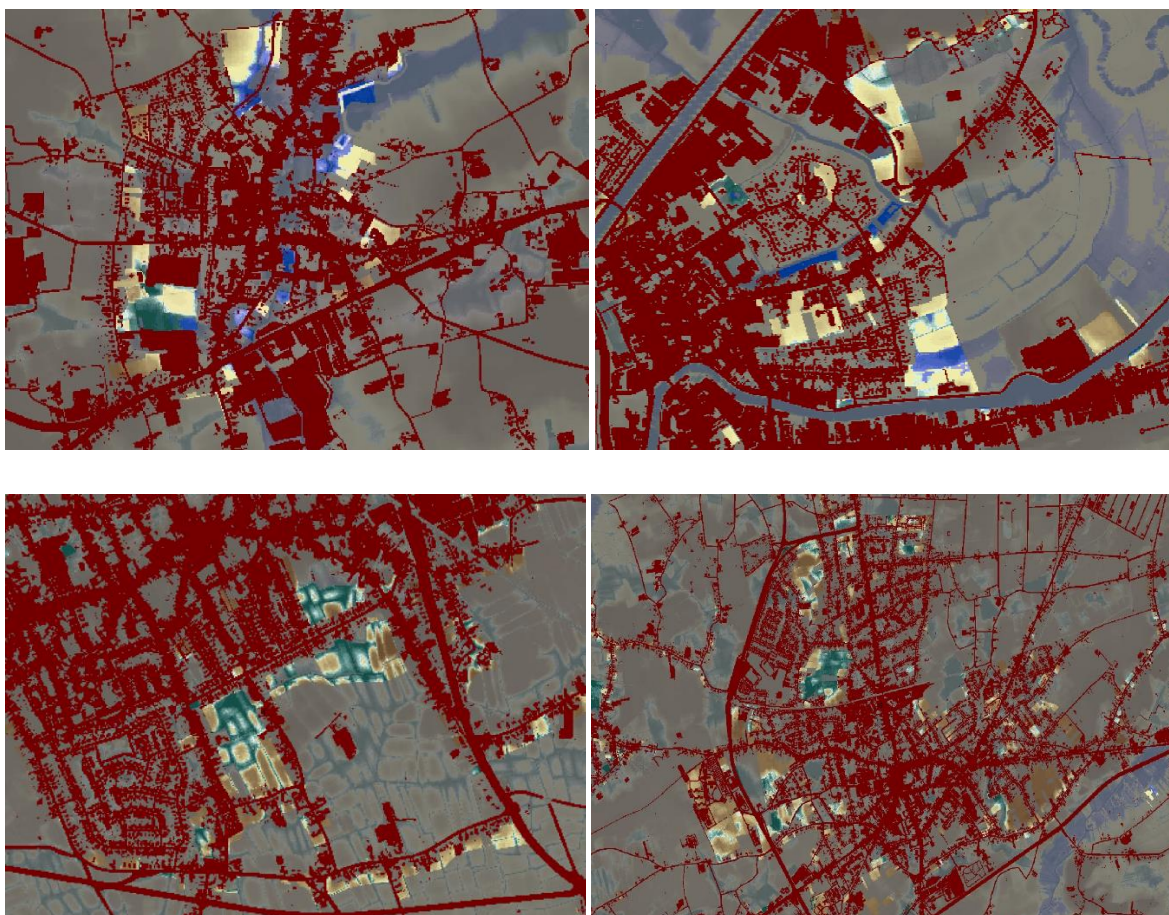
Landbouw	Harde bestemming	2,79	71	11	18	3	2	3
Landbouw	Open ruimte	45,35	70	13	17	44	40	48
Landbouw	Beschermd	3,88	44	40	15	2	11	4
Groen gebied	Harde bestemming	10,02	76	10	14	12	7	9
Groen gebied	Open ruimte	12,76	70	13	16	13	12	14
Groen gebied	Beschermd	8,92	58	28	15	8	18	9
						100	100	100

Tabel 13: analyse van het (verlies aan) water leverend vermogen binnen de combinaties bodemgebruik en ruimtelijke bestemming.

Bodemgebruik	Bestemming	% oppervlakte	Waterleverend vermogen (m ³ /m ²) (verlies tov geen drainage in m ³ /m ² / relatief verlies %)		
			Geen drainage	Beperkte drainage	Sterke drainage
Harde functie	Harde bestemming	24,87	0,22	0,16 (-0,06 / -29)	0,09 (-0,13 / -59)
Harde functie	Open ruimte	9,52	0,24	0,18 (-0,06 / -25)	0,09 (-0,15 / -61)
Harde functie	Beschermd	1,27	0,28	0,20 (-0,07 / -27)	0,14 (-0,13 / -48)
Open ruimte	Harde bestemming	7,19	0,30	0,22 (-0,08 / -25)	0,13 (-0,17 / -58)
Open ruimte	Open ruimte	75,44	0,32	0,26 (-0,06 / -19)	0,14 (-0,18 / -56)
Open ruimte	Beschermd	12,99	0,52	0,41 (-0,11 / -21)	0,26 (-0,26 / -50)
Natuurbeheer	Harde bestemming	0,07	0,28	0,19 (-0,08 / -31)	0,12 (-0,15 / -56)
Natuurbeheer	Open ruimte	0,43	0,32	0,24 (-0,08 / -25)	0,14 (-0,18 / -56)
Natuurbeheer	Beschermd	3,88	0,43	0,34 (-0,09 / -20)	0,26 (-0,17 / -41)

Tabel 14: analyse van het voorkomen van de zones van de watersysteemkaart (droog, tijdelijk nat, permanent nat) binnen de combinaties bodemgebruik en ruimtelijke bestemming.

Bodemgebruik	Bestemming	% oppervlakte	% bodemgebruik - bestemming			% watersysteem zone		
			Infiltratie	tijdelijk nat	permanent nat	Infiltratie	tijdelijk nat	permanent nat
Harde functie	Harde bestemming	24,87	81	7	12	20	8	14
Harde functie	Open ruimte	9,52	78	8	14	8	4	6
Harde functie	Beschermd	1,27	68	19	13	1	1	1
Open ruimte	Harde bestemming	7,19	68	15	17	7	8	8
Open ruimte	Open ruimte	75,44	70	13	17	54	50	59
Open ruimte	Beschermd	12,99	53	32	15	8	22	10
Natuurbeheer	Harde bestemming	0,07	56	33	11	0	0	0
Natuurbeheer	Open ruimte	0,43	58	26	16	0	1	0
Natuurbeheer	Beschermd	3,88	55	31	15	2	6	3
						100	100	100



Figuur 27: voorbeeld van actueel bodemgebruik landbouw binnen harde bestemmingen (Links boven Ardooie, Rechts boven Deinze, Links onder Zele, rechts onder Geel). De betreffende zones zijn helder met onderliggend de watersysteemkaart. Blauw is permanent nat, groen is tijdelijk nat. De gradiënt geel-bruin toont infiltratiegebieden waarbij de gele kleuren duiden op beperkte infiltratie vanwege relatief ondiep bodemwater.

6. Conclusies

6.1. Grondwateronttrekking ten opzichte van de natuurlijke aanvulling

Alhoewel het totaal vergunde debiet voor grondwaterwinning de voorbije jaren is gedaald, blijkt dat er vooral 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. De provincies met de hoogste natuurwaarden en de meeste kwetsbare waterlopen, hebben proportioneel de hoogste winningsdruk en die is de laatste jaren verder gestegen.

In deze studie werd er geen rekening gehouden met de niet-vergunningsplichtige en illegale winningen omdat er weinig betrouwbare gegevens voorhanden zijn. Er kan verwacht worden dat deze proportioneel zijn ten opzichte van de vergunde winningen. Toezichhouders en experts bij de Vlaamse Milieumaatschappij schatten op basis van ervaring en controles op het terrein dat er 10 à 20 % vergunningsplichtige illegale winningen zijn. Wellicht betreft het dan vooral kleine tot middelgrote winningen voor irrigatie (< 50.000 m³/jaar). Onder die aanname komt dit neer op 7.5 tot 15 miljoen m³/jaar, wat een aanzienlijke bijkomende druk vormt op het freatisch grondwater.

Uit de vergelijking van het vergund debiet voor freatische winningen met de actuele grondwateraanvulling blijkt dat zelfs bij een normale jaarlijkse neerslag er voor tal van gemeenten een winningsdruk van meer dan 10 % genoteerd wordt. Dit betekent dat 10 % van alle water dat jaarlijks infiltreert terug opgepompt wordt. Zelfs zo'n 'beperkte' winningsdruk heeft nog steeds een impact op het hydrologisch systeem. Het opgepompte water is immers niet meer beschikbaar voor het voeden van waterlopen en kwelgebieden en maakt ze hierdoor gevoeliger voor droogte. Wat een impact heeft op mogelijkheden voor de captatie van oppervlaktewateren, maar ook andere water-gerelateerde activiteiten.

Door klimaatverandering neemt bovendien de kans toe op een opeenvolging van drogere jaren. De periode 2017-2020 jaren werd gekenmerkt door droge zomers, wat niet enkel een substantiële daling in de totale jaarlijkse neerslag inhield, maar wellicht ook leidde tot hogere onttrekkingen. Uit de analyses blijkt dat droge jaren (750 mm op jaarbasis) een grotere impact hebben op de winningsdruk dan natte jaren (850 mm op jaarbasis). Tijdens natte jaren gaat er relatief gezien meer water verloren door afstroming en verdamping. Waar er op verdamping moeilijk kan worden ingegrepen, kan dit wel voor afstroming. Hierbij gaat het niet enkel over "ontharden" in urbane gebieden, maar dient men ook afstroming te beperken in het buitengebied en water maximaal vast te houden voor uitgestelde infiltratie. Steeds meer neerslag zal immers vallen onder de vorm van zomeronweders (extreme neerslagintensiteiten) of gedurende winterstormen.

De toename in droge periodes heeft dus een dubbel effect waarbij de grondwateraanvulling sterk vermindert en de vraag toeneemt. Er zijn weinig gegevens over de invloed van droogte op de effectief opgepompte debieten. Maar uiteraard zullen deze omstandigheden leiden tot een stijging van de onttrekkingen voor irrigatie als ook een toename voor huishoudelijk verbruik. Daarnaast zullen droge jaren en de captatieverboden ook leiden tot een structurele verschuiving van oppervlaktewatercaptatie naar grondwaterwinningen voor irrigatie.

6.2. De effecten van ontharding op infiltratie

Vanuit de overheid wordt er sterk op ontharding ingezet als maatregel voor klimaatadaptatie. Uit de analyses blijkt dat ontharden best gericht gebeurt, met aandacht voor het functioneren van het watersysteem en dus op hoger gelegen gronden en voor locaties met een hoge afstroming. De vergelijking tussen een willekeurige ontharding en een gerichte ontharding toont aan dat gerichte maatregelen een aanzienlijk groter effect hebben dan niet-gerichte maatregelen. Het voorzien van infiltratievoorzieningen of ontharding in zones met een lagere

infiltratiecapaciteit of hogere gemiddelde grondwaterstanden heeft ook een veel kleiner effect op de totale infiltratie. Bij een gerichte ontharding worden de meest effectieve locaties, die een hoge afstroming genereert op de meest doorlaatbare bodems, eerst onthard. Op uitzondering van enkele polderdorpen waarbij er overwegend kleibodems aanwezig zijn, wordt bij onthardingsdoelen van 15% nog geen daling van de effectiviteit vastgesteld. Dit betekent dat iedere bijkomende vierkante meter 'ontharding' nog altijd evenveel infiltratie oplevert. Dus er zijn veel locaties die het ontharden waard zijn.

Ontharding zal dus een positief effect hebben op de grondwateraanvulling, maar kan niet echt compenseren voor de impact van grondwaterwinningen. De meeste winningen zijn immers gelegen in landelijk gebied waar er een relatief lage verhardingsgraad is. Er is dus een ruimtelijke mismatch tussen ontharding en grondwateronttrekking. Niettemin blijft ontharden een topprioriteit in functie van andere doelstellingen en kan een verhoogde grondwateraanvulling enkel maar positieve effecten hebben.

6.3. De effecten van drainage op het waterleverend vermogen

Historisch gezien genoot Vlaanderen van een eerder nat en wisselvallig klimaat. Nattere gebieden zijn doorheen de eeuwen steeds sterker ontwaterd door het aanleggen van grachten, rioleringen en dijken om deze zo beschikbaar te maken voor landbouw en bebouwing. Hierdoor wordt neerslag sneller afgevoerd en het ondiepe bodemwater gedraineerd. Dit bodemwater tot op één meter onder maaiveld is echter een zeer belangrijke buffer. Het draineren is te vergelijken met een grondwaterwinning. Door het tijdens de winter/lente reeds af te voeren, is dat water niet meer beschikbaar tijdens de zomer.

Heel Vlaanderen is dooraderd met grachten. Hierdoor daalt het gemiddeld bodemwaterpeil voor Vlaanderen van 68 cm naar 85 cm onder het maaiveld. Op jaarbasis verliest Vlaanderen daardoor 1128 milj m³ - dat is ongeveer 53% van het natuurlijk waterleverend vermogen (2160 miljoen m³/jaar).

In een scenario waarbij een aangepast drainagebeheer wordt toegepast (lagere gewenste drainagediepte), zou het gemiddeld waterpeil in de bodem kunnen stijgen tot 75 cm onder het maaiveld. Onder die aanname gaat er slechts 22% van het natuurlijk waterleverend vermogen verloren: , het drainageverlies bedraagt dan 473 milj m³ op een hypothetisch maximale waterbeschikbaarheid van 2160 miljoen m³/jaar. 1128 milj. m³). Ten opzichte van de huidige situatie bedraagt het "vermeden drainageverlies" dan 665 milj. m³/jaar. t Maar een aangepast drainagebeheer vraagt wellicht ook een aangepast landgebruik (aangepaste teelten, uitgestelde bodembewerking, manier van bouwen, etc.).

De aantasting van het waterleverend vermogen door drainage is vrij groot en ruimtelijk verspreid. Gebieden met natuurdoelen (resp. de groen en bosgebieden van het gewestplan, habitatrichtlijngebied, Vlaams Ecologisch Netwerk, erkende reservaten + perimeters recht van voorkoop) hebben de hoogste potentie om water vast te houden. Het potentieel waterleverend vermogen is met 0,49 m³/m² immers substantieel hoger dan voor andere bestemmingen. Het water leverend vermogen is het minst aangetast (- 19 tot -35%) in die delen van de beschermde gebieden die effectief een groene invulling kregen (natuurbeheer), maar deze aantasting blijft nog wel onverwacht hoog. Dit kan deels verklaard worden doordat er nog relatief veel landbouw aanwezig is in de gebieden met een beschermingsstatus voor biodiversiteit (29% van het beschermde gebied of 3.88 % van Vlaanderen).

Het waterleverend vermogen van de gebieden met natuurdoelen die nog in landbouwgebruik zijn, is met 0,46 m³/m² ook relatief hoog. De aantasting van het waterleverend vermogen in deze categorie is vergelijkbaar met dat van de combinatie groengebied/beschermde. Dit is niet onlogisch. Veel van de natuurgebieden in Vlaanderen liggen in valleien en kwelgebieden met een hoge potentie voor vernatting. Maar er is nog veel versnippering van de percelen onder natuurbeheer en er is nog relatief veel landbouw aanwezig in de gebieden met een beschermingsstatus voor biodiversiteit. Vernatting is enkel mogelijk voor grote aaneengesloten gebieden, de aanwezigheid van landbouw staat een verdere vernatting van deze gebieden in de weg. Een disproportioneel

aandeel van “tijdelijk nat” gebied komt voor in de combinatie Landbouw/Beschermd. Ondanks dat deze combinatie slechts 3.88 % van Vlaanderen omvat, representeert ze toch 11% van alle tijdelijk natte gebieden.

Er is dus een enorme potentie om groenblauwe netwerken uit te bouwen. Het meest evidente is om deze eerst uit te bouwen binnen de bestaande gebieden met natuurdoelen (SBZ). Er is een groot potentieel om deze gebieden in te zetten voor klimaatadaptatie tegen droogte. Zeker in de gebieden met een hoge winningsdruk is het belangrijk om in te zetten op vernatting. Door zo veel mogelijk water vast te houden in de bovenlopen en landschapsdepressies, kunnen de basisdebieten van deze kwetsbare waterlopen verhoogd en de grondwateraanvulling versterkt worden. Maar er is nog een lange weg te gaan. Van alle gebieden met natuurdoelen (VEN, Habitatrictlijngebied), valt er slechts 25 % onder natuurbeheer. Daarenboven valt af te leiden uit onze analyses dat ook de gebieden onder natuurbeheer hun potenties voor het waterleverend vermogen niet halen. Door de beperkte omvang en versnippering kan men geen vernatting realiseren zonder in conflict te komen met andere landgebruiken.

Tenslotte moet er aandacht gaan naar de nog resterende open ruimte binnen de harde bestemmingen. Er zijn aanwijzingen dat men een deel van de historisch natte gebieden tot nog toe gevrijwaard heeft van bebouwing. Gezien de grote druk op de open ruimte en de vraag naar bouwgronden zullen wellicht minstens een deel van deze zones alsnog ten prooi vallen aan urbanisatie. Door de droogte van de laatste jaren, de omliggende verharding en de grondwaterwinningen kan het zijn dat deze gronden door verdroging geschikt bevonden worden voor bebouwing op basis van recente metingen. We willen oproepen om niet af te gaan op de vertekende situatie, maar deze zones te vrijwaren en om te vormen naar klimaatparken. Ontharding en andere maatregelen voor verhoogde infiltratie, maar ook opeenvolgende natte jaren, kunnen er voor zorgen dat deze gebieden toch opnieuw vernatten. Bovendien vormen deze gebieden ideale locaties om een deel van het omliggende afstromingswater, tijdelijk te bufferen. Het vrijwaren van deze gebieden en hen omvormen tot bijvoorbeeld klimaatparken heeft een groot potentieel om de urbane gebieden klimaatrobuuster te maken.

Referenties

- AGIV (2014). Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II, DTM, raster, 1 m. AGIV. Brussel.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith (1998). Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *FAO Irrig. Drain. Pap.* Rome, FAO. **56**: 300.
- De Cleene, D. (2020). Illegale grondwaterwinning bemoeilijkt strijd tegen droogte. *EOS Magazine*. Antwerpen, Eos Wetenschap. **05/2020**.
- Geessels, G. (2012). Verdamping in België: spatio-temporele analyse van potentiële evapotranspiratie en het verband tussen actuele en potentiële verdamping. Bio-ingenieur in het land- en bosbeheer, Universiteit Gent.
- Gejl, R. N., P. L. Bjerg, H. J. Henriksen, K. Bitsch, L. Troldborg, J. Schullehner, J. Rasmussen and M. Rygaard (2020). "Relating wellfield drawdown and water quality to aquifer sustainability – A method for assessing safe groundwater abstraction." *Ecological Indicators* **110**: 105782.
- KMI. (2021). "Het Belgische klimaat, maand na maand." Retrieved 30/08/2021, 2021, from <https://www.meteo.be/nl/unpublish/algemeen-klimaat-belgie/maand-per-maand>.
- MIRA. (2021, 09/2018). "www.milieurapport.be - Bebouwde oppervlakte." Retrieved 20/06/2021, 2021, from <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/waterbeschikbaarheid>.
- MIRA. (2021, 01/2020). "www.milieurapport.be - Grondwaterstand." Retrieved 20/06/2021, 2021, from <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/grondwaterwinning>.
- MIRA. (2021, 02/2021). "www.milieurapport.be - Grondwaterwinning." Retrieved 20/06/2021, 2021, from <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/grondwaterwinning>.
- MIRA. (2021, 05/2020). "www.milieurapport.be - Neerslagtekort." Retrieved 20/06/2021, 2021, from <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/waterbeschikbaarheid>.
- MIRA. (2021, 09/2010). "www.milieurapport.be - Waterbeschikbaarheid." Retrieved 20/06/2021, 2021, from <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/waterbeschikbaarheid>.
- Myhre, G., K. Alterskjær, C. W. Stjern, Ø. Hodnebrog, L. Marelle, B. H. Samset, J. Sillmann, N. Schaller, E. Fischer, M. Schulz and A. Stohl (2019). "Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming." *Scientific Reports* **9**(1): 16063.
- Nelson, J. A., O. Pérez-Priego, S. Zhou, R. Poyatos, Y. Zhang, P. D. Blanken, T. E. Gimeno, G. Wohlfahrt, A. R. Desai, B. Gioli, J. M. Limousin, D. Bonal, E. Paul-Limoges, R. L. Scott, A. Varlagin, K. Fuchs, L. Montagnani, S. Wolf, N. Delpierre, D. Berveiller, M. Gharun, L. Belelli Marchesini, D. Gianelle, L. Šigut, I. Mammarella, L. Siebicke, T. Andrew Black, A. Knohl, L. Hörtnagl, V. Magliulo, S. Besnard, U. Weber, N. Carvalhais, M. Migliavacca, M. Reichstein and M. Jung (2020). "Ecosystem transpiration and evaporation: Insights from three water flux partitioning methods across FLUXNET sites." *Global Change Biology* **26**(12): 6916-6930.
- Rammal, M. and E. Berthier (2020). "Runoff Losses on Urban Surfaces during Frequent Rainfall Events: A Review of Observations and Modeling Attempts." *Water* **12**(10): 2777.
- Schneiders, A., K. Alaerts, H. Michels, M. Stevens, P. Van Gossum, W. Van Reeth and I. Vught (2020). *Natuurrapport 2020: feiten en cijfers voor een nieuw biodiversiteitsbeleid*. (Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek; Nr. 2). Brussel, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Staes, J. (2021). Het gebruik van de watersysteemkaart bij de opmaak van hemelwater- en droogteplannen. (versie 2021/06/14). Antwerpen, Universiteit Antwerpen.
- 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>.
- Timm, A., B. Kluge and G. Wessolek (2018). "Hydrological balance of paved surfaces in moist mid-latitude climate – A review." *Landscape and Urban Planning* **175**: 80-91.
- VMM (2018). Watergebruik door huishoudens – het watergebruik in 2016 bij de Vlaming thuis. Aalst, VMM.
- VMM (2020). Rioleringsdatabank Vlaanderen, toestand 20 januari 2020. VMM. Aalst, AGIV.
- VMM (2020). Vlaamse Hydrografische Atlas - Waterlopen, 7 augustus 2020. Brussel, Vlaamse Milieumaatschappij - afdeling Operationeel Waterbeheer.
- VMM. (2021, juli 2021). "Grondwaterstand (2000-2020)." Retrieved 30/08/2021, 2021, from <https://www.vmm.be/water/grondwater/grondwaterstand>.

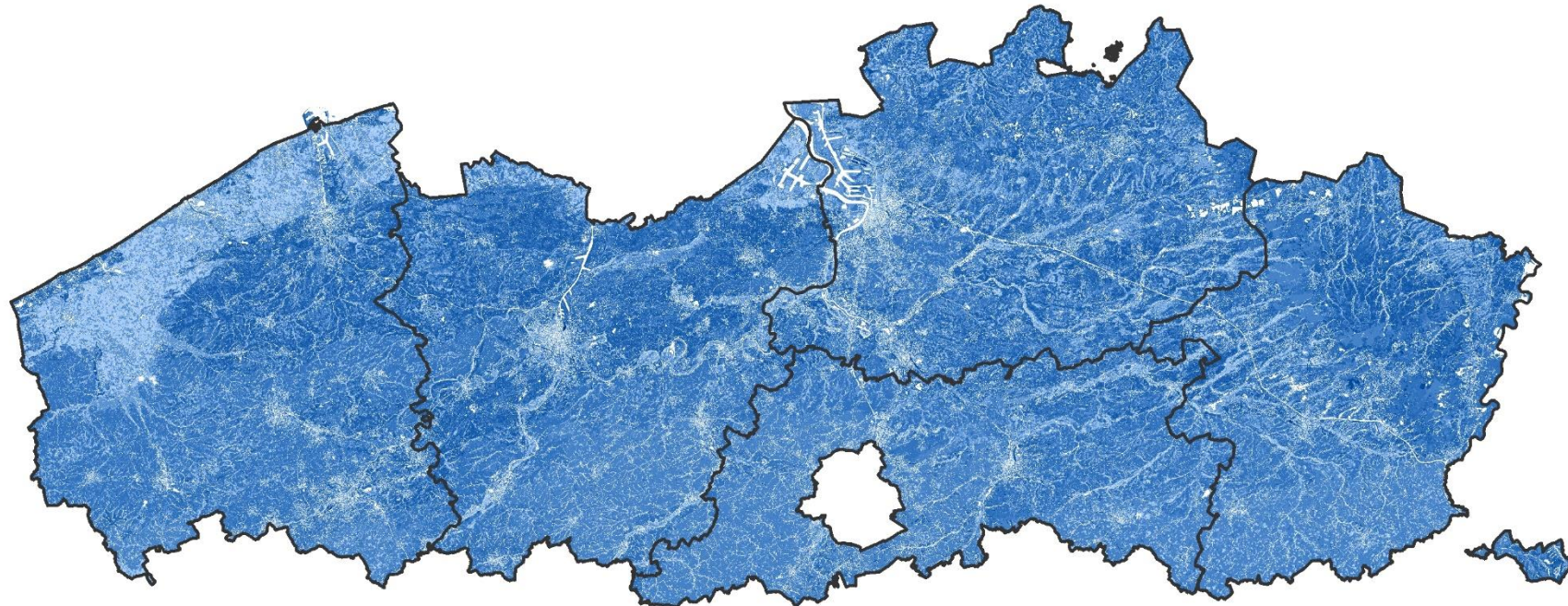
VMM (2021). Uitwerking van een reactief afwegingskader voor prioritair watergebruik tijdens waterschaarste. Brussel, VMM.

VMM, SCK and De Watergroep. (2020). "Actuele grondwaterstandindicator." Retrieved 02/10/2021, from <https://www.dov.vlaanderen.be/page/actuele-grondwaterstandindicator>.

Vrebos, D., J. Staes, E. Bennetsen, S. Broeckx, L. De Nocker, K. Gabriels, P. Goethals, M. Hermy, I. Liekens, C. Marsboom, S. Ottoy, K. Van der Biest, J. Van Orshoven and P. Meire (2017). ECOPLAN-SE: Ruimtelijke analyse van ecosysteemdiensten in Vlaanderen, een Q-GIS plugin, Versie 1.0. Antwerpen, Universiteit Antwerpen: 141.

Bijlage 1: Kaarten

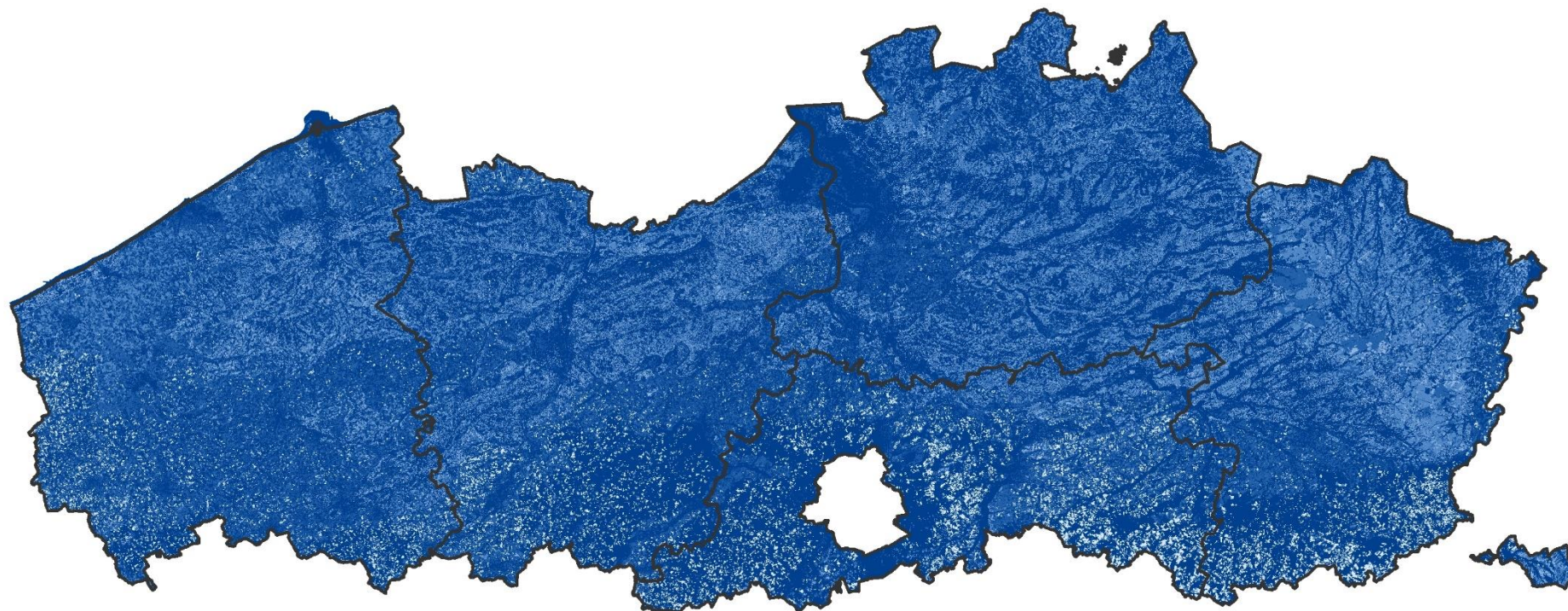
Figuur 28: Huidige infiltratie in Vlaanderen onder een gemiddelde neerslagsscenario



m³ / ha * jaar



Figuur 29: Afname in infiltratie onder het droge scenario t.o.v. de gemiddelde infiltratie.



m³ / ha * jaar

-25 - -20

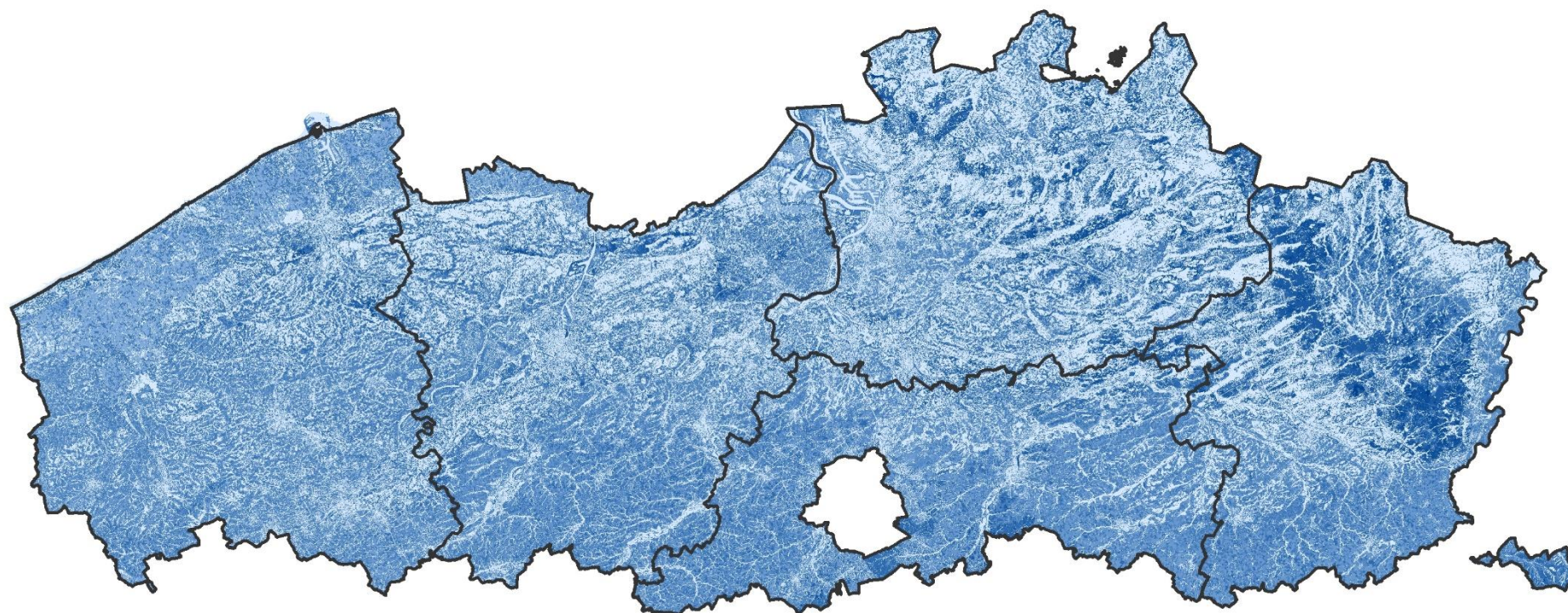
-19 - -15

-14 - -10

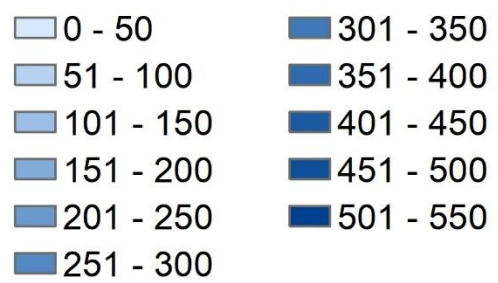
-9 - -5

-4 - 8

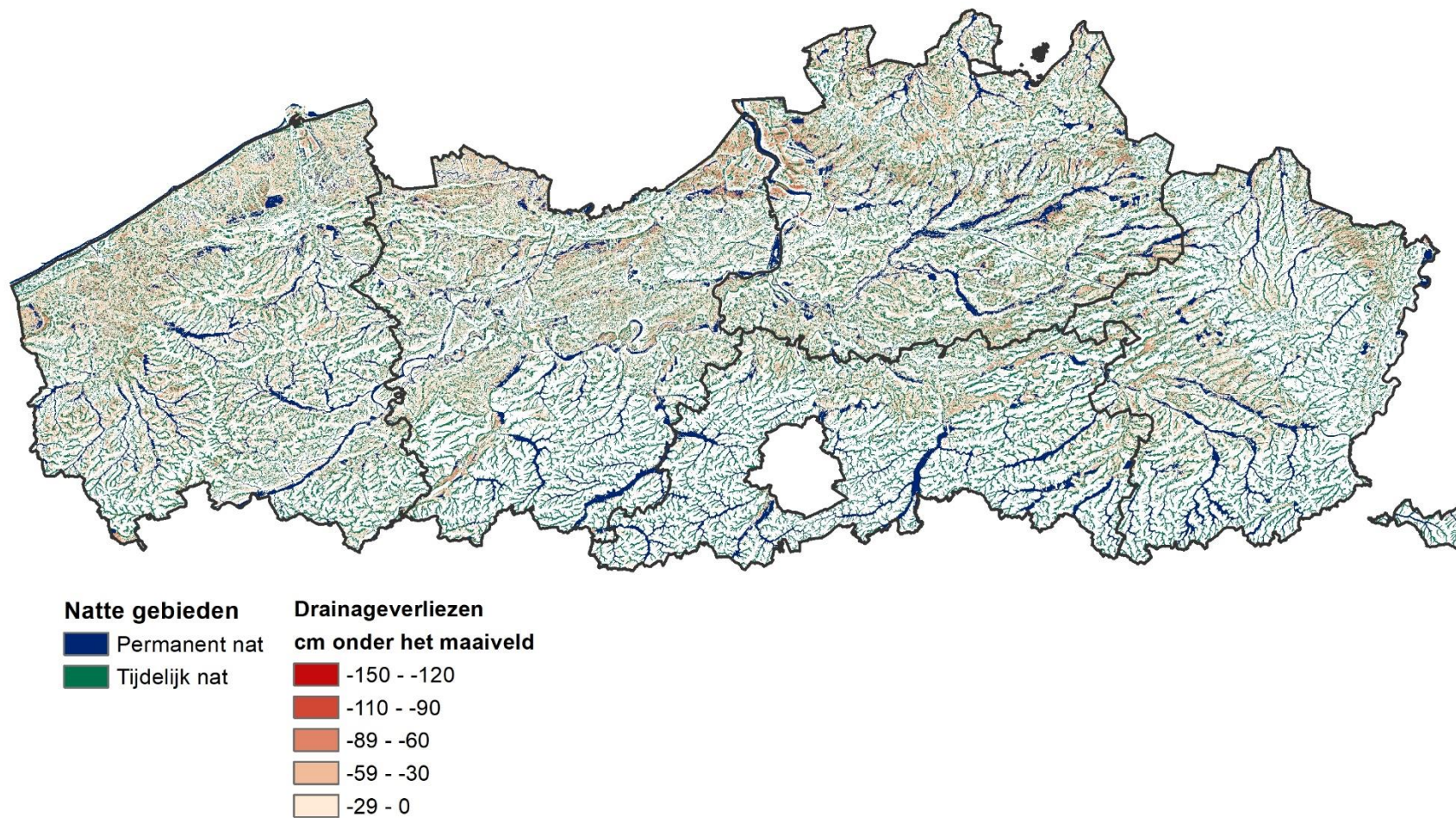
Figuur 30: Toename in infiltratie onder het natte scenario t.o.v. de gemiddelde infiltratie.



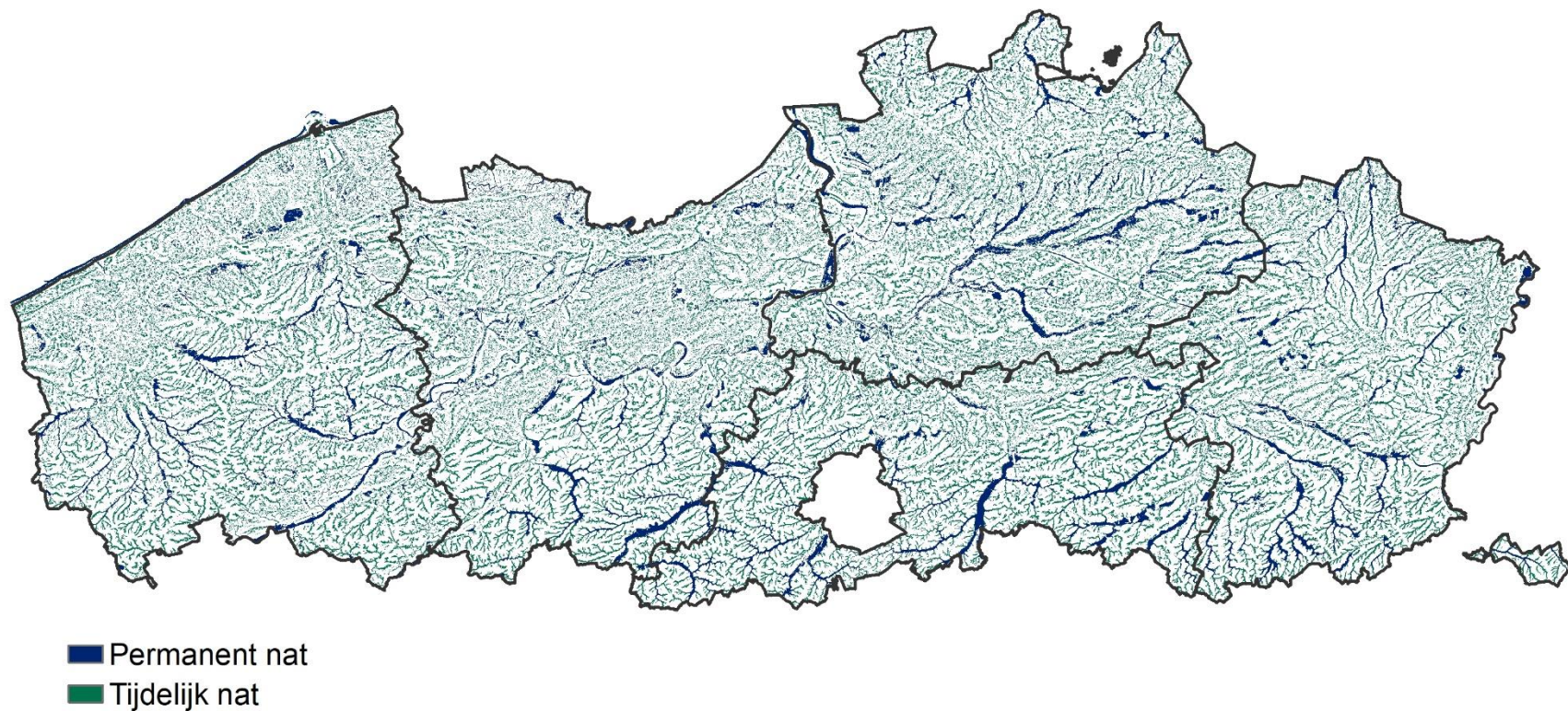
m³ / ha * jaar



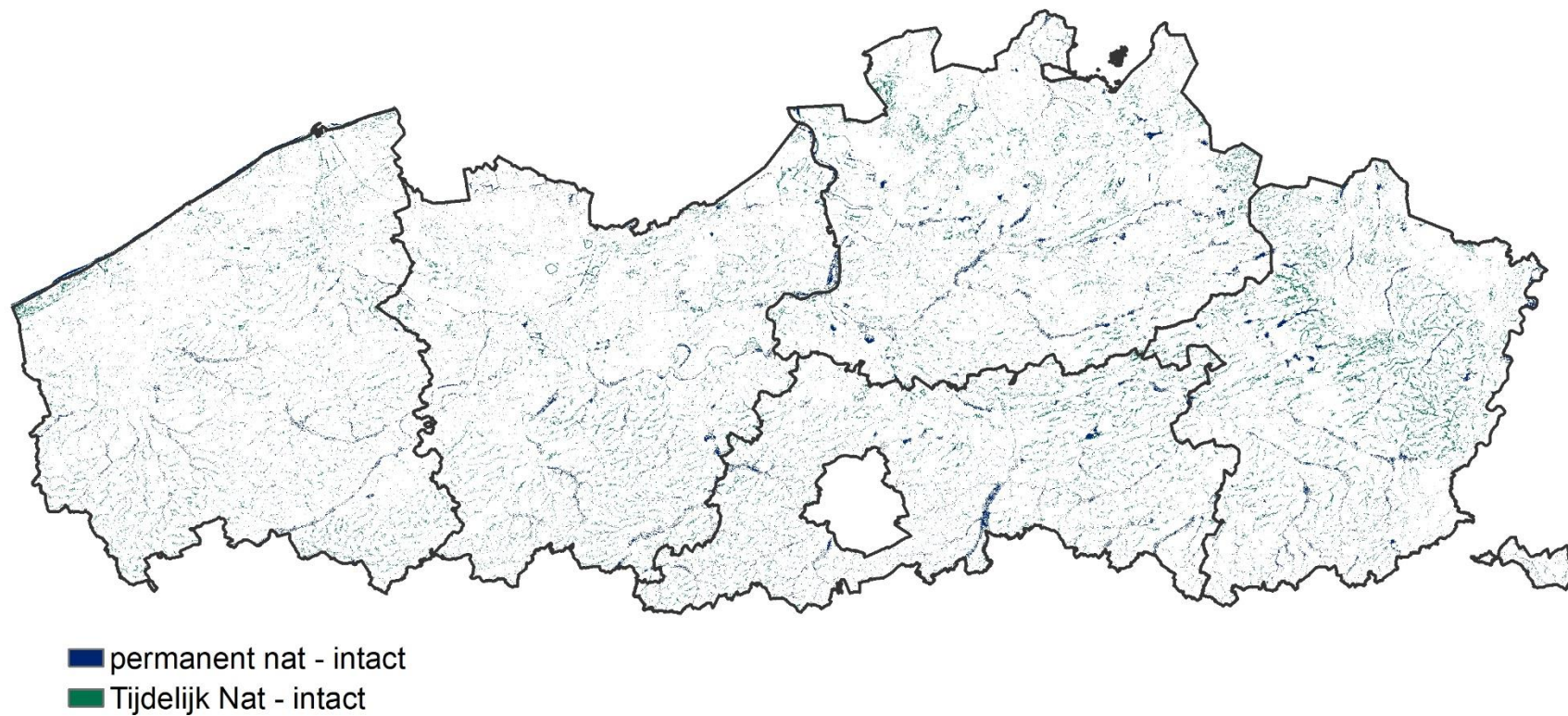
Figuur 31: Drainageverliezen onder hogere schatting (rood), gemaskeerd door de permanent natte en tijdelijk natte zones van de watersysteemkaart.



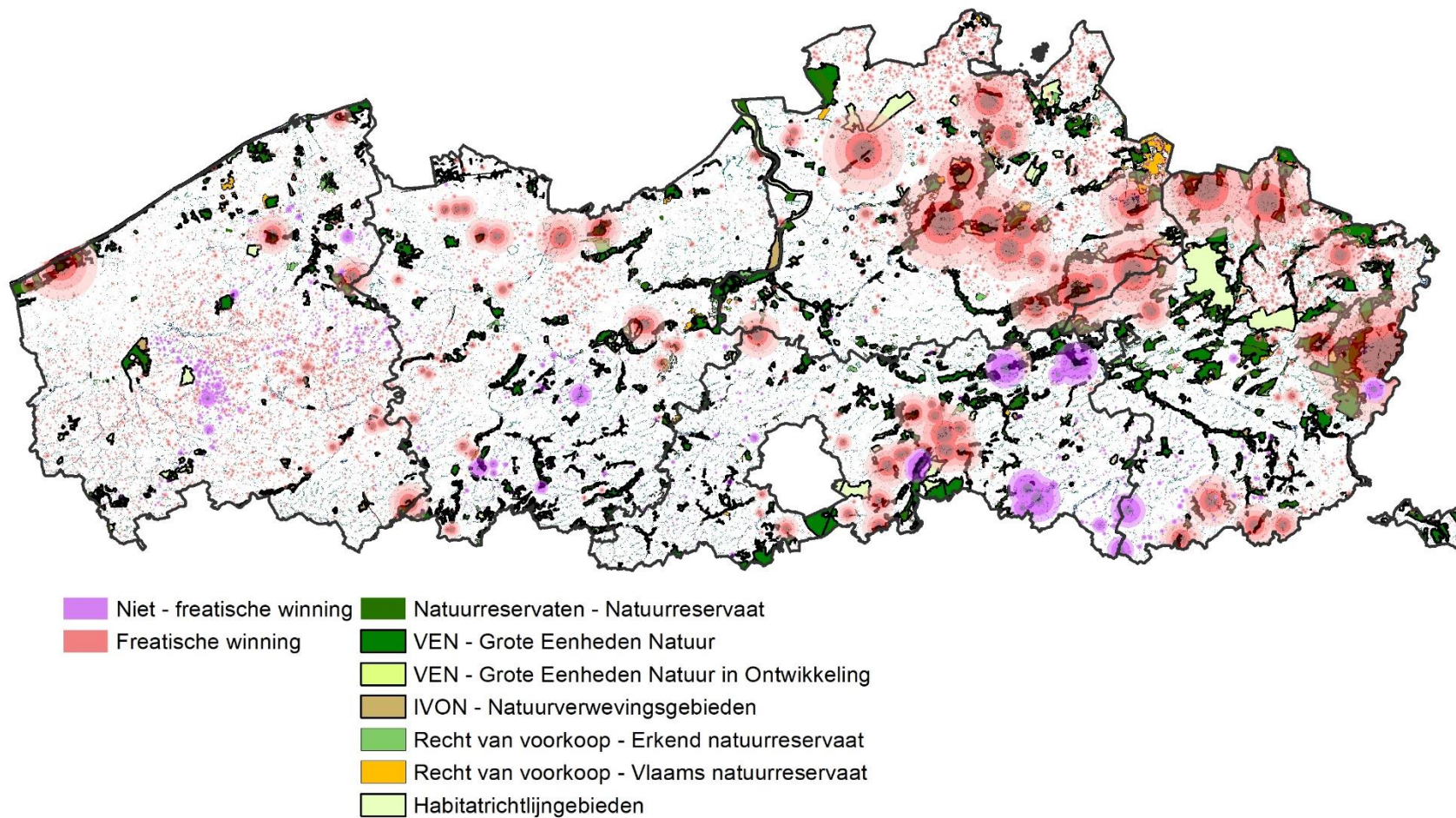
Figuur 32a: Permanent en tijdelijk natte gebieden.



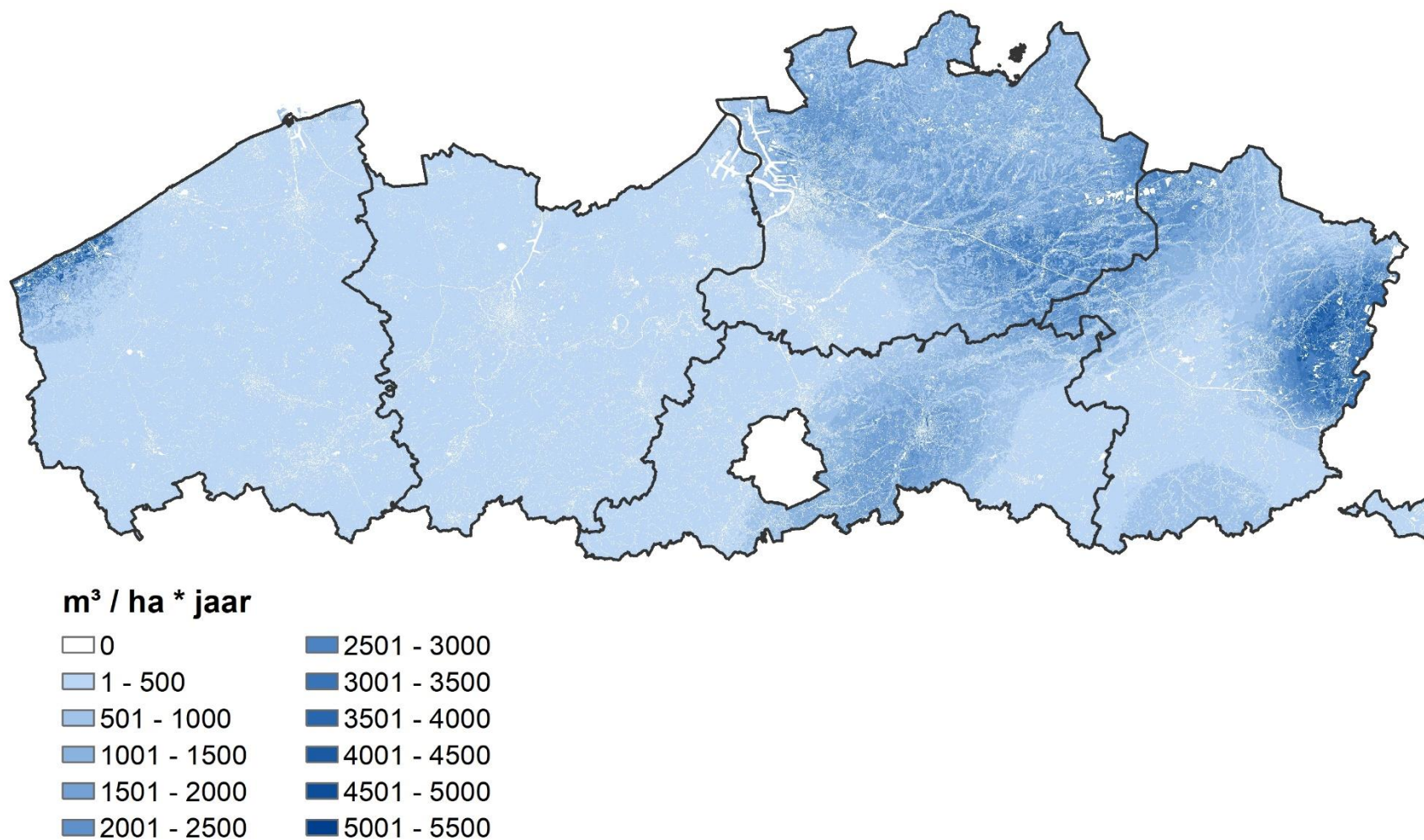
Figuur 33b: Permanent/tijdelijk natte gebieden die niet onderhevig zijn aan drainage.



Figuur 34: Beeld van de freatische (rode cirkels) en niet-freatische (paars) winningen.



Figuur 35: Hoeveelheid geïnfiltererd water dat op basis van vergunningen kan worden opgepompt.



Figuur 36: Percentage van het infiltrerende water dat onttrokken wordt.

