

Het effect van schotbalkstuwten op het conserveren
van grondwater tijdens het groeiseizoen in
studiegebied Glanerbeek

Een verkennende gebiedsstudie in een hellend dekzandgebied in Oost-Twente

Auteur: R. G. Wiebing
Universiteit Twente – BSc Civiele Techniek
s1858343
Bachelor eindopdracht

Versie: Definitieve versie

Datum: 13 juli 2020

Colofon

Titel:	Het effect van schotbalkstuwen op het conserveren van grondwater tijdens het groeiseizoen in studiegebied Glanerbeek
Ondertitel:	<i>Een verkennende gebiedsstudie in een hellend dekzandgebied in Oost-Twente</i>
Versie:	Definitieve versie
Datum:	16 juli 2020
Periode van uitvoer:	27 april 2020 – 10 juli 2020
In opdracht van:	Waterschap Vechtstromen: Team Strategie & Omgeving
Ten behoeve van:	De bachelor eindopdracht Civiele Techniek aan de Universiteit van Twente
Auteur:	Dhr. R. G. Wiebing
Interne begeleider:	Dhr. ir. W. M. van der Sande
Externe begeleiders:	Dhr. ir. B. Worm Dhr. ir. J. van der Scheer
Tweede beoordelaar:	Dhr. dr. A. Hartmann

Voorwoord

Voor u ligt mijn scriptie met de titel ‘Het effect van schotbalkstuwten op het conserveren van grondwater tijdens het groeiseizoen in studiegebied Glanerbeek’. Deze scriptie is geschreven ten behoeve van de afronding van de bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit van Twente. De opdracht is uitgevoerd in opdracht van Waterschap Vechtstromen, over de periode van maandag 27 april 2020 tot en met vrijdag 10 juli 2020. Dit viel precies in de COVID-19 crisis, waardoor de scriptie vanuit huis uitgevoerd diende te worden. Dit was niet de ideale situatie, ik was juist benieuwd hoe het er op een externe organisatie aan toe ging. Wel was ik zeer vergenoegd dat de opdracht wél door kon gaan ondanks de crisis.

Hiervoor wil ik Waterschap Vechtstromen hartelijk danken, en in het bijzonder Anke Wiegman (teamleider) en Bas Worm (begeleider) voor het helpen met opstarten om ook daadwerkelijk vanuit huis te kunnen werken. Verder wil ik Bas en Jeroen van der Scheer (begeleider) bedanken voor het meedenken en het advies tijdens de opdracht, ik heb dit als zeer fijn ervaren. Ook wil ik mijn Universiteit Twente-begeleider, Wessel van der Sande, bedanken voor de geboden hulp en op- en aanmerkingen. Dit was ook zeer fijn en bovenal nuttig. Als laatste wil ik mijn broertje bedanken, Sander Wiebing, die mij geholpen heeft om een raamwerk voor het model op te zetten in Python, en mijn toeverlaat was als ik een foutmelding niet kon oplossen.

Verder wil ik u veel leesplezier wensen bij het lezen van dit rapport. Ik sta altijd open voor vragen en opmerkingen.

Rutger Wiebing

Lunteren, juli 2020

Samenvatting

In Nederland zijn de waterschappen decennialang gericht geweest op de visie om zo veel mogelijk water in een zo kort mogelijke tijd af te voeren. Het watersysteem in Nederland is conform deze visie ingericht. Mede door de grotere afvoerpieken maar zeker ook door droogteschade werden er kanttekeningen geplaatst bij dit beleid. Als reactie deed de drietrapsstrategie (vasthouden, bergen en dan afvoeren) zijn intrede, dat onder andere probeert het water vast te houden bij de bron, om zo afvoerpieken te mitigeren en droogte te bestrijden. In dit onderzoek is de potentie van schotbalkstuwen voor het vasthouden van water onderzocht, om optredende droogte in het groeiseizoen te bestrijden.

Dit is gedaan voor een deelgebied binnen het Glanerbeek gebied. Dit is een gebied in Hoog-Nederland, vlak onder de Oost-Twentse stuwwal. Het deelgebied betreft een dekzandgebied met een ondiepe weerstandslaag, wat alleen wordt gevoed door neerslag. Deze omstandigheden zorgen voor een snelle afvoer uit het gebied, met bijbehorende problematieken. Hierdoor zou dit een doeltreffend gebied kunnen zijn om water vast te houden bij de bron door middel van schotbalkstuwen. Dit betekent dat het water wordt vastgehouden dan wel opgeslagen in het gebied zelf (de bron, waar de neerslag valt), door middel van schotbalkstuwen.

In dit onderzoek is er gepoogd een onderbouwde conclusie te schrijven die aangeeft óf en waar er additionele conservering optreedt die veroorzaakt wordt door schotbalkstuwen. Er is eerstens een literatuurstudie uitgevoerd naar de karakteristieken die een effect hebben op de potentie van stuwen, waarna deze karakteristieken in kaart gebracht zijn voor het studiegebied. Op basis daarvan is er een verwachting geuit. Daarna is er een modelscript geschreven in Python om daarmee een kwantificatie uit te voeren.

De verwachting op basis van de literatuurstudie was dat de conservering steeds groter zou zijn naarmate de percelen oostelijker lagen. Deze verwachting is gebaseerd op de karakteristieken van een vlakkere helling in combinatie met een dikkere watervoerende laag, wat volgens de literatuurstudie de twee belangrijkste indicatoren zijn voor de effectiviteit van stuwen in Hoog-Nederland. Na de uitvoering van de kwantificatie bleek de verwachting te kloppen. In het westen was er geen significante conservering, in het oosten wél. Uiteindelijk is er een kaart gemaakt met deelgebieden die laten zien waar de stuwen bijna geen conservering veroorzaakte, waar de stuwen alleen in gemiddelde jaren significante conservering laten zien en deelgebieden waar er in droge én gemiddelde jaren een significante conservering optreedt.

Inhoudsopgave

Colofon.....	2
Voorwoord.....	3
Samenvatting.....	4
Inhoudsopgave.....	5
1 Introductie.....	7
1.1 Probleemstelling.....	7
1.1.1 Studiegebied	8
1.2 Doelstelling.....	8
1.3 Onderzoeksvragen.....	9
1.4 Theoretisch kader.....	10
1.4.1 Stuwen	10
1.4.2 Analytische formule	11
1.5 Afbakening van het onderzoek.....	12
1.6 Leeswijzer	13
2 Methoden.....	14
2.1 Sectie 1: kwalitatief	14
2.2 Sectie 2: kwantitatief.....	14
3 Gebiedsstudie.....	16
3.1 Karakteristieken die invloed hebben op het effect van stuwen m.b.t. grondwaterconservering	16
3.1.1 Karteerbare karakteristieken	16
3.1.2 Conclusie	19
3.2 Kenmerking van de karakteristieken in studiegebied Glanerbeek.....	19
3.2.1 Gebiedsindeling.....	19
3.2.2 Geomorfologie	20
3.2.3 Bodemkaart.....	22
3.2.4 weerstandslaag	23
3.2.5 Landgebruik.....	23
3.2.6 Buisdrainage.....	24
3.2.7 Helling	24

3.3	Spreidingslengte	24
3.4	Conclusie over het studiegebied Glanerbeek.....	26
4	Kwantificatie.....	28
4.1	Conserveringskaarten.....	28
4.2	Conserveringsgrafieken	30
4.3	Duiding.....	32
5	Discussie	34
6	Conclusie en aanbevelingen.....	35
6.1	Conclusie.....	35
6.2	Aanbevelingen	35
	Literatuur	37
	Bijlagen.....	41
	Bijlage A – Gebiedsindeling	41
	Bijlage B – Geomorfologische kaart van studiegebied Glanerbeek	42
	Bijlage C – Bodemkaart van studiegebied Glanerbeek.....	44
	Bijlage D – Diepe boringen in studiegebied Glanerbeek	45
	Bijlage E – landgebruik in studiegebied Glanerbeek	47
	Bijlage F – Percelen met buisdrainage in studiegebied Glanerbeek	48
	Bijlage G – Hellingspercentage	49
	Bijlage H – Benodigde stuwen	50
	Bijlage I – Conserveringskaarten en -grafieken per jaar.....	51
	Bijlage J – Conceptueel model.....	69
	Conceptueel model in de vorm van een stroomdiagram	74

1 Introductie

1.1 Probleemstelling

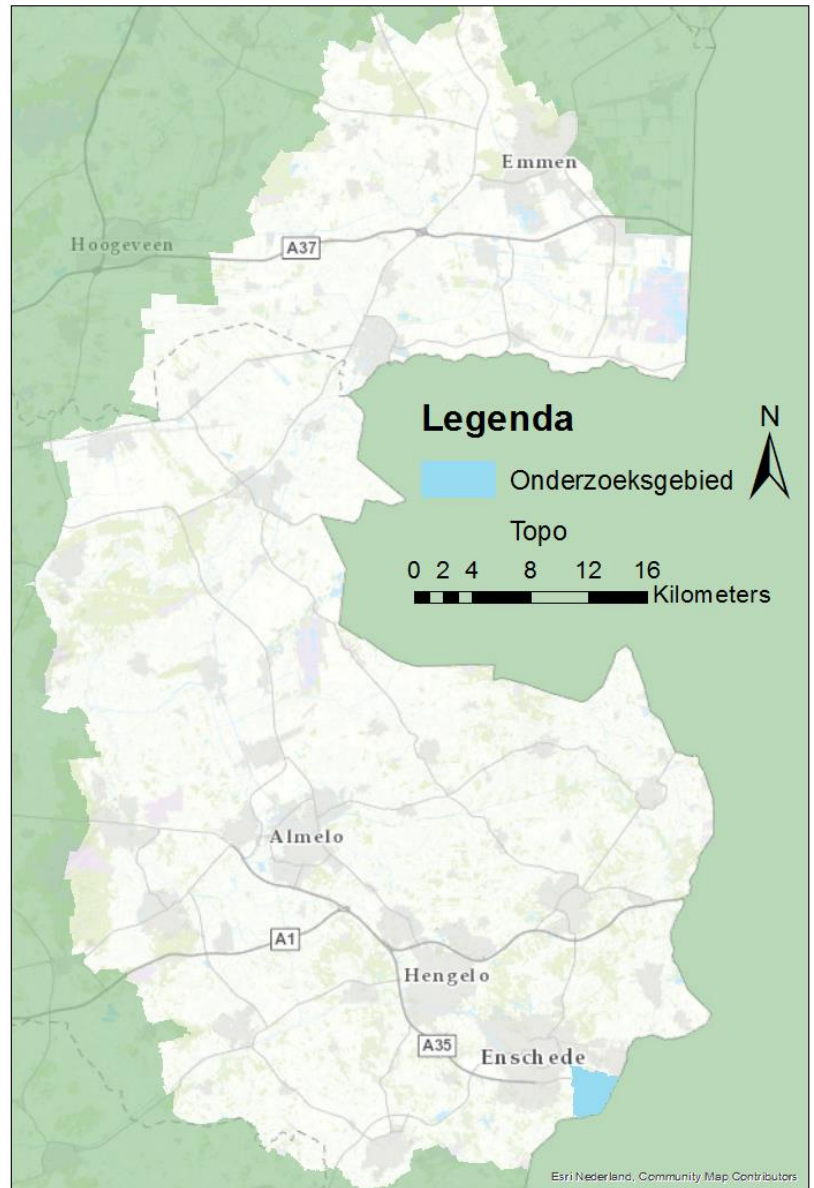
Decennialang specialiseerde de waterschappen zich vooral in het zo snel mogelijk afvoeren van watervolumes [1]. Er is echter een verschuiving gaande naar een andere aanpak. Zoals onder andere geconstateerd in de zomers van 2018 en 2019, is droogte een reëel probleem voor watersystemen [2]. Interventies om droogteschade te beperken zijn daarom gewenst. Deze interventies zijn conform de opgestelde ‘drietrapsstrategie’ visie, dat de volgende drie onderdelen bevat: vasthouden, bergen en afvoeren [3]. De aangegeven volgorde doet ertoe, de voorkeur luidt zodoende: eerst vasthouden, dan bergen, en als laatste pas afvoeren [4]. Dit betekent de facto dat de focus in watervraagstukken verschoven dient te worden van snelle afvoer naar het vasthouden en bergen van water in een gebied [1]. Het ‘vasthouden’ van water betekent dat er water wordt vastgehouden in de bodem en het oppervlaktewater van het desbetreffende gebied, eventueel voor later gebruik. Dit helpt bij het mitigeren van afvoerpieken, het tegengaan van verdroging en het aanvullen van waterbalansen. Het ‘bergen’ van water houdt in dat het water tijdelijk opgeslagen wordt in specifiek daarvoor bestemde retentiegebieden en oppervlaktewateren, bijvoorbeeld in een meer [5]. In dit rapport ligt de focus op de mogelijkheid tot het vasthouden van water in een gebied.

De drietrapsstrategie brengt uitdagingen met zich mee op het gebied van ruimtelijke planning, hydrologische wisselwerkingen en de inrichting van drainagesystemen. Er is derhalve dan ook veel onderzoek gedaan naar mogelijke maatregelen, interventies, effecten, kosten, et cetera.

Er is reeds een scala aan maatregelen getroffen om meer water vast te houden bij de bron. Hierbij is te denken aan regelbare drainagebuizen, ophogen en/of versmallen van watergangen, het planten van vegetatie en (knijp)stuwen [4]. De (knijp)stuw is een goed voorbeeld van een thans veel gebruikte maatregel [6, 7]. Ze zijn relatief goedkoop om te plaatsen en leveren vaak meer op dan dat ze kosten [8]. De effectiviteit van een stuw is echter zeer afhankelijk van de locatie waar hij geplaatst wordt [6]. Dit is het resultaat van de verschillende karakteristieken die een gebied heeft (bijvoorbeeld: maaiveldhelling, dikte van grondpakketten, landgebruik enzovoorts), die invloed hebben op factoren zoals de bergingscapaciteit en het verschil in afvoersnelheid [9, 10]. Door deze veranderlijke effectiviteit is het van belang om een gebied goed in kaart te brengen voordat er onderzocht kan worden of stuwen een bijdrage kunnen leveren in verschillende watervraagstukken. In deze gebiedsstudie zal de focus liggen op de effectiviteit van stuwen met betrekking tot het conserveren van water, om zo een bijdrage te leveren in de droogte bestrijding.

1.1.1 Studiegebied

Deze gebiedsstudie richt zich op een deel van het Glanerbeek gebied, en gaat voort op twee reeds uitgevoerde studies aangaande het neerslag-afvoer regime en de invloed van stuwen op het afvoerdebiet. In deze studie wordt de focus gelegd op het effect van stuwen op de grondwaterstand, oftewel de potentie van stuwen tot het vasthouden en conserveren van water in het Glanerbeek gebied. Het studiegebied is gesitueerd in Twente, ten oosten van Enschede en ten zuiden van Glanerbrug. Het valt binnen het gebied van Waterschap Vechtstromen en bevindt zich in de provincie Overijssel. De ligging is weergegeven in Figuur 1.1. Door glaciële opstuwung is er in dit gebied een stuwwal ontstaan waardoor de oude afzettingen tot dicht onder het maaiveld te vinden zijn, dat voornamelijk keileem (grondmorene) is [11]. Het reliëf is later afgevlakt door de bedekking van de stuwwal (vooral de beekdalen) met dekzand [11]. Door de ruimtelijke variatie van de opgestuwde grondpakketten, en de vaak ondiepe niet-waterdoorlatende laag is het gebied geohydrologisch gezien relatief lastig. In het kwalitatieve deel van deze studie wordt de opbouw van de ondergrond verder gedetailleerd.



Figuur 1.1: Ligging van het studiegebied binnen Waterschap Vechtstromen [17]

1.2 Doelstelling

Er zijn reeds twee scripties afgerond door medestudenten in dit studiegebied. De eerste betrof een studie over het effect van stuwen op de afvoerdebieten, het tweede betrof een neerslag-afvoermodel van het gebied. Nu is het waterschap geïnteresseerd in het effect van interventies op de grondwaterstand. Het doel van deze scriptie is daarom het verkrijgen van inzicht in, en het voorspellen van, de effectiviteit van regelbare stuwen op de grondwaterconservering in studiegebied Glanerbeek. Dit wordt eerstens aan de hand van een kwalitatieve gebiedsstudie gedaan, waarna wordt gepoogd het te kwantificeren.

Grondwaterconservering is voor agrariërs (die een groot deel van de kosten van een stuw dragen) voornamelijk van belang in het groeiseizoen van de gewassen. Ook voor de functie natuur is het van groot belang. Vooral in droge zomers met een groot tekort aan neerslag telt iedere druppel. Hierin kan een stuw wellicht helpen in het verminderen van droogteschade aan gewassen en percelen. Hierdoor luidt de doelstelling:

“Het voorspellen van het effect van schotbalkstuwen op de grondwaterconservering per perceel tijdens het groeiseizoen”

1.3 Onderzoeksvragen

Om de doelstelling te halen, zijn er verschillende onderzoeksvragen opgesteld. De eerste twee vragen behoren tot het kwalitatieve deel, de laatste (hoofd)vraag bij het kwantitatieve deel.

Door het zeer gebiedsafhankelijke karakter van grondwater is het een noodzaak om het studiegebied zeer nauwkeurig te bestuderen alvorens er bruikbare conclusies getrokken kunnen worden met betrekking tot het halen van de doelstelling. Hiervoor is het noodzaak om te weten welke gebiedsafhankelijke karakteristieken een significante invloed hebben op de effectiviteit van stuwen. Daarom luidt de eerste onderzoeksvraag:

- 1. Welke gebiedskarakteristieken beïnvloeden de effectiviteit van stuwen met betrekking tot de grondwaterconservering?**
 - *Is deze invloed significant met betrekking tot de doelstelling?*

Nadat de karakteristieken die de effectiviteit beïnvloeden bekend zijn, is het zaak het studiegebied te bestuderen om te onderzoeken hoe deze karakteristieken zich kenmerken binnen studiegebied Glanerbeek. Hier kunnen vervolgens globale conclusies aan verbonden worden. De tweede vraag luidt dus:

- 2. Hoe zijn deze gebiedskarakteristieken gekenmerkt in het studiegebied Glanerbeek?**

Door vraag twee te beantwoorden worden specifieke karakteristieken per perceel verzameld, waardoor er allicht een globale uitspraak gedaan kan worden over het effect van de stuwen in verschillende deelgebieden. Tevens kan er middels deze karakteristieken gepoogd worden om ‘de effectiviteit van de stuw’, wat tot dan toe een vage maatstaf is, concreter te maken.

Er zal een model geschreven worden dat probeert de effecten van een stuw te kwantificeren, voor ieder perceel afzonderlijk. Ook is het belangrijk om te weten wat de invloed is van de meteorologische omstandigheden (neerslag) op de effectiviteit, omdat dit sterk varieert door de jaren heen. Hierdoor luidt de derde vraag:

- 3. Wat is het gekwantificeerde effect op de waterconservering per perceel?**
 - *Wat is het effect in een groeiseizoen met een lage hoeveelheid neerslag?*
 - *Wat is het effect in een groeiseizoen met een hoge hoeveelheid neerslag?*

De uitkomsten kunnen vervolgens geanalyseerd en bediscussieerd worden, om zo hopelijk antwoord te krijgen op de doelstelling van dit rapport:

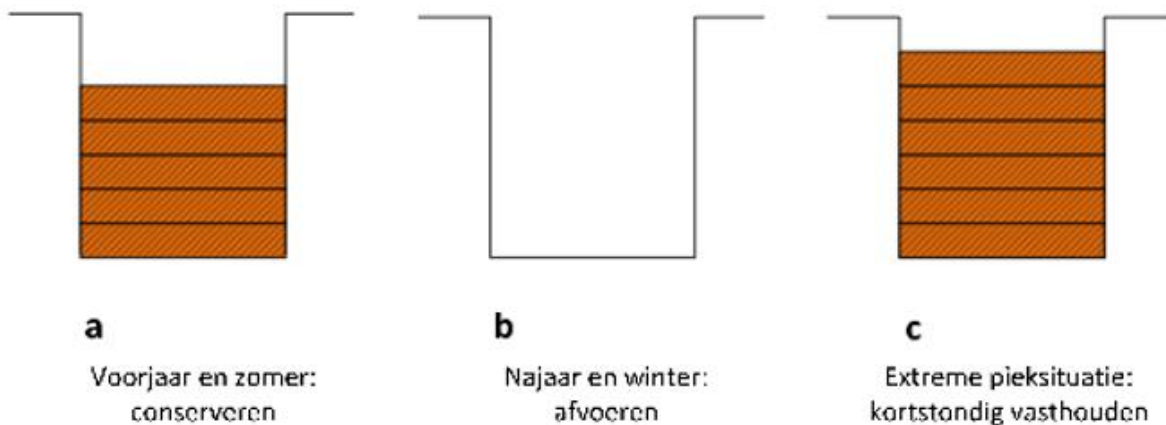
“Het voorspellen van het effect van schotbalkstuwen op de grondwaterconservering per perceel tijdens het groeiseizoen”

1.4 Theoretisch kader

1.4.1 Stuwen

Er zijn verschillende soorten stuwen, die onder verschillende categorieën te verdelen zijn. Zo is er bijvoorbeeld een verschil te maken tussen regelbare stuwen (stuwen die in hoogte af te stellen zijn) en stuwen die een vaste hoogte hebben, of beweegbare en niet-beweegbare stuwen. Dit onderzoek richt zich op de zogenaamde LOP-stuw (Landbouw-Op-Peil-stuw) en de daaruit voortgekomen knijpstuw. Deze zijn uitermate geschikt voor het gebruik in kavelsloten (particulier beheerde sloten), omdat er veel medewerking is door de laagdrempeligheid van de stuwen [12]. De stuwen in kavelsloten passen uitstekend bij de visie van het ‘vasthouden’, omdat ze water vasthouden en bergen in de haarvaten van het watersysteem, dus bij de bron [13].

Een LOP-stuw betreft doorgaans een schotbalkstuw, waarbij de mogelijkheid bestaat om de schotbalken bij te zetten of af te halen om zo de hoogte van de stuw te reguleren. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1.2 [4].

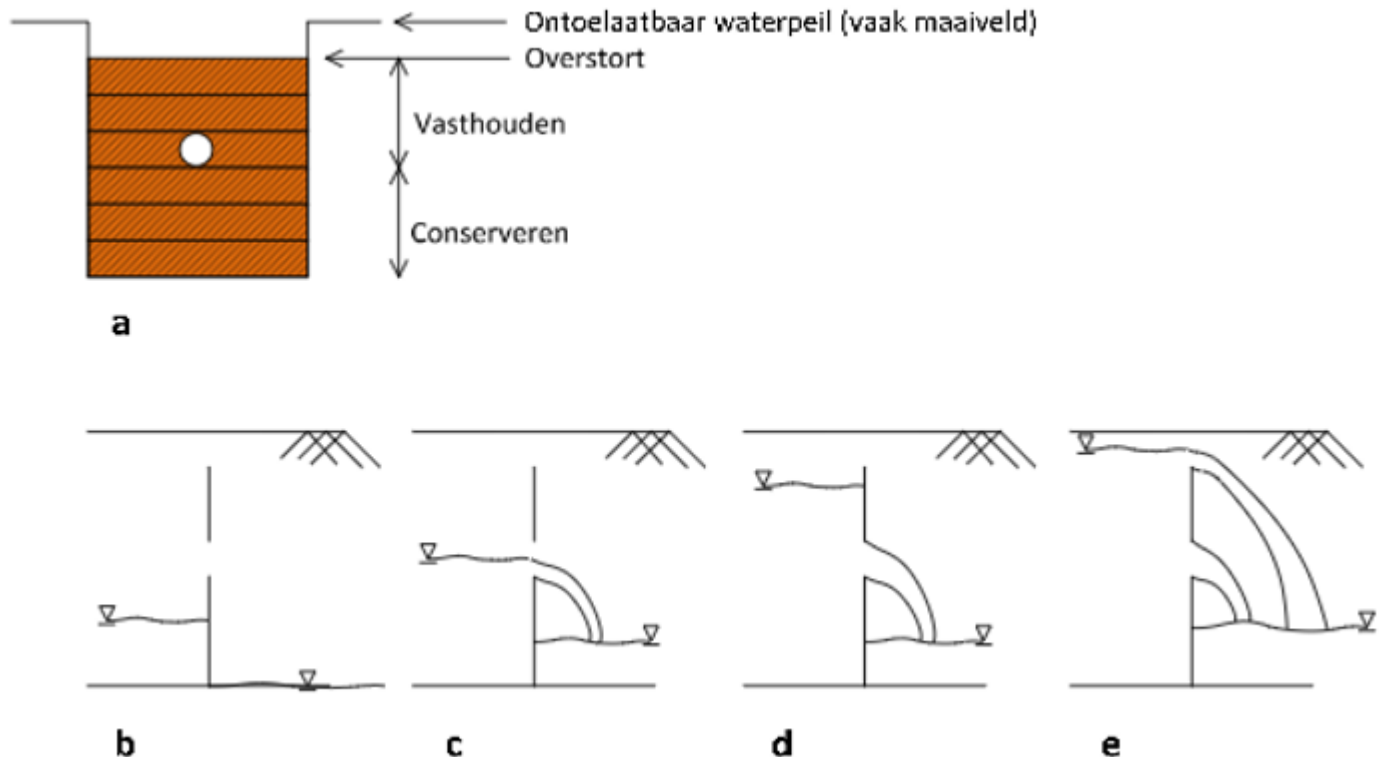


Figuur 1.2: Een schematische weergave van een LOP-stuw in verschillende situaties [4]

De LOP-stuw kan naar wens worden ingesteld qua hoogte, om zo water te kunnen conserveren in het voorjaar en de zomer (a), maar de waterafvoer in de natte periode niet te stremmen (b). Ook kunnen er maatregelen worden genomen om tijdelijk water te bergen om afvoerpieken te mitigeren in extreme situaties (c).

Er is ook een variant op de LOP-stuw ontstaan, namelijk de zogenoemde knijpstuw. Een dilemma bij het beheren van de LOP-stuw is namelijk het bepalen van het moment tot peilopzet en -afzet, zodat de mogelijkheid tot conservering of mitigatie optimaal benut wordt, maar er geen schade ontstaat. Hierop

is de knijpstuw bedacht, wat eigenlijk een LOP-stuw is met een opening op een ingestelde hoogte. Dit is geschematiseerd weergegeven in Figuur 1.3 [4].



Figuur 1.3: Schematische weergave van een knijpstuw en een zijaanzicht van mogelijke afvoerpatronen [4]

Indien het waterpeil onder het gat staat (situatie 'b'), zal er geen afvoer plaatsvinden wat resulteert in de conservering van water. Het gat is dusdanig groot dat in natte situaties het water wél afgevoerd kan worden als het boven het gewenste conserveringspeil komt (c). In extreem natte situaties is het gat echter niet groot genoeg om de water aanvoer af te voeren, waarna het overschot aan water tijdelijk geborgen wordt (boven het gat) achter de stuw (d). Na de extreme situatie zal het peil over een aantal dagen vanzelf geleidelijk afgevoerd worden en weer tot het peil van het gat terugkeren. Als de bui zo hevig of langdurig is dat de bergingscapaciteit boven het gat van de stuw volledig benut is, en de wateraanvoer nog steeds te hoog is voor het gat, zal het water afgevoerd worden via afstroming over de stuw boven het overstortpeil (e). Dit is om te voorkomen dat het ontoelaatbaar geachte waterpeil bereikt wordt.

1.4.2 Analytische formule

Het effect van de peilveranderingen in de watergangen zal gekwantificeerd worden met behulp van de volgende analytische formule [14, 15, 16]:

$$h(x) = h_0 * \operatorname{erfc} \left(x * \sqrt{\frac{s}{kD * t}} \right) \quad (1)$$

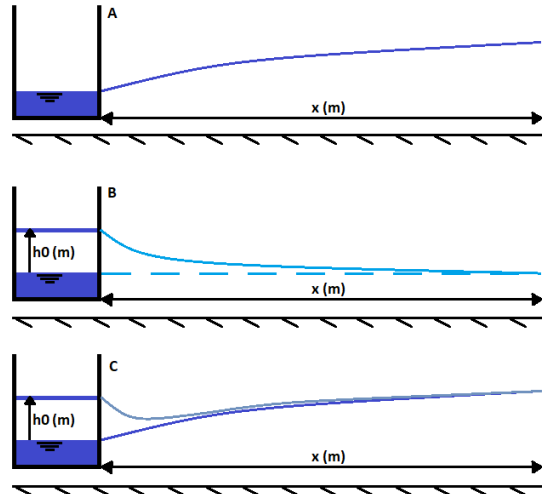
Hierbij is:

- $h(x)$ = grondwaterstand over afstand x (m)
- h_0 = verandering van het waterpeil in de waterloop (m)

kD	= doorlaatvermogen van het watervoerend pakket (m^2d^{-1})
x	= afstand tot de waterloop (m)
t	= de tijd (d)
S	= freatische bergingscoëfficiënt (-)
erfc	= een complementaire errorfunctie (een bekende speciale functie)

Hierbij dient wel vermeld te worden dat de capillaire opstijging (water kan omhoog worden gedrukt of getrokken) op $t=0$ op 0 gesteld wordt. Dit is aanvaardbaar doordat het studiegebied een hooggelegen zandgrond betreft zonder watertoevoer en wat gemiddeld genomen 'droog' is in het groeiseizoen.

De uitkomst van de formule is een grafiek die het verloop van het waterstandseffect als consequentie van een peilverhoging over een afstand x weergeeft, na de ingevulde tijdsduur (afbeelding B in Figuur 1.4). Dit dient vervolgens gesuperponeerd te worden op de initiële grondwaterstand (afbeelding A in Figuur 1.4), om zo de nieuwe situatie te krijgen (afbeelding C in Figuur 1.4). Door de oppervlakte onder de uitgerekende grafiek te berekenen kan de conservering per strekkende meter bepaald worden wat veroorzaakt wordt door een peilverhoging. De grondwaterstand zelf is niet bekend of berekend.



Figuur 1.4: Schematisering van de uitkomst volgens de formule van Ernst

1.5 Afbakening van het onderzoek

Door het tijdslimiet van 11 werkweken zijn er keuzes gemaakt wat betreft de begrenzings van het onderzoek. Eén daarvan is de keuze om in dit onderzoek alleen het effect van stuwen op de grondwaterconservering mee te nemen. Daarnaast zullen er in dit onderzoek geen daadwerkelijke metingen in het onderzoeksgebied plaatsvinden, de gegevens worden afgeleid uit reeds bestaande databestanden en kaarten. Verder wordt het in het studiegebied aanwezige Natura2000 gebied (het 'Aamsveen', verder toegelicht in 3.2.1) in deze studie niet onderzocht door de uitgebreide, reeds voltooide onderzoeken naar de optimalisatie van de waterhuishouding aldaar.

Conservering buiten het groeiseizoen heeft ook effect op de waterconservering in het groeiseizoen. De kwantificering zal echter alleen berekend worden voor het groeiseizoen omwille van de beschikbare tijd. Daarnaast kan het opzetten van stuwen buiten het groeiseizoen conflicten opleveren met agrariërs die graag een 'droog' perceel hebben als ze in het voor- en najaar het land bewerken. Ook spelen dan fenomenen zoals (verhoogde) piekafvoeren en natschade een grote(re) rol.

Het conserverend vermogen van een stuw gaat over het aantal kubieke meters (m^3) wat er potentieel met een stuw geconserveerd kan worden [6]. Dit aantal zegt echter niets over de waarde van die kubieke meters [6]. In een gebied met een slecht doorlatende bodem kunnen er misschien wel minder kubieke meters geconserveerd worden, maar kunnen ze veel waardevoller zijn dan in een ander gebied

waar meer kubieke meters vastgehouden kunnen worden maar waar er eigenlijk geen droogteprobleem speelt. Dit dient in acht genomen te worden als er conclusies worden getrokken over het nut van een stuw op een locatie. Er kan bijvoorbeeld een kosten-baten analyse gemaakt worden, om zo de netto-opbrengst van het aantal geconserveerde kubieke meters te berekenen. Bij de functie landbouw kan bijvoorbeeld een vergelijking gemaakt worden tussen de kosten van de stuw en de verhinderde droogteschade door de stuw [6]. De waarde van elke afzonderlijke kubieke meter wordt echter niet meegenomen in deze gebiedsstudie omdat dit een droog gebied betreft, waar aangenomen wordt dat elke geconserveerde kubieke meter waardevol zal zijn.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de gebruikte methoden om tot het eindresultaat te komen beschreven. In hoofdstuk 3 is de literatuurstudie te vinden, alsmede de karakterisering van het studiegebied. Hier is ook een verwachting uitgesproken over de effectiviteit van stuwen binnen het gebied. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens geprobeerd het effect te kwantificeren. Dit is gedaan door middel van een model in de vorm van een Python script. De werkwijze en opzet van het model is te vinden in 'Bijlage J – Conceptueel model'. De kwantificatie wordt geduid, waarna er in hoofdstuk 5 een discussie volgt. In Hoofdstuk 6 volgt er een conclusie en afsluitend een aanbeveling.

2 Methoden

In dit hoofdstuk worden de gebruikte methodes beschreven. Dit is gedaan aan de hand van de tweedeling in het verslag: het kwalitatieve en het kwantitatieve deel. Het kwalitatieve deel wordt besproken in paragraaf 2.1, het kwantitatieve deel in paragraaf 2.2.

2.1 Sectie 1: kwalitatief

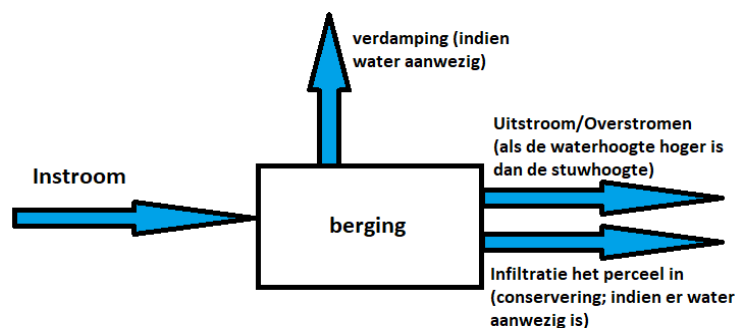
In het kwalitatieve deel van het verslag is gepoogd een kaart te maken die de te verwachten effectiviteit van stuwen weergeeft. Deze kaart is gebaseerd op een literatuur- en gebiedsstudie naar de karakteristieken die het effect van stuwen op het conserveren van water beïnvloeden. Om te beginnen is de literatuurstudie uitgevoerd, waardoor inzicht verkregen is over de relevante karakteristieken met betrekking tot het conserveren. Zo kon er in de gebiedsstudie doelbewust gekeken worden naar deze karakteristieken. Deze karakteristieken zijn in kaart gebracht voor het studiegebied op basis van bestaande gegevens. Aan de hand van de verzamelde gegevens is er een kaart met de zogenoemde spreidingslengte gemaakt, waar enkele verwachte uitkomsten over de effectiviteit van conservering door stuwen zijn betoogd. Door middel van het kwantitatieve deel zal gepoogd worden deze conclusies te toetsen.

2.2 Sectie 2: kwantitatief

Om het effect van de schotbalkstuwen te kwantificeren wordt gebruik gemaakt van de analytische formule zoals beschreven in paragraaf 1.4.2. Omdat deze formule over de gehele breedte van een perceel berekend moet worden, het 240 afzonderlijke percelen betreft en er ook nog eens meerdere jaren berekend moeten worden, is er gekozen om een script te schrijven in de programmeertaal 'Python 3.7' om het rekenwerk snel en op een eenduidige manier uit te voeren.

Dit script laadt de in het kwalitatieve deel verzamelde gegevens voor de 240 afzonderlijke percelen in om vervolgens te gebruiken in de berekeningen. De gegevens betreffen bijvoorbeeld specifieke perceelwaarden zoals de helling, de lengte en breedte van het perceel, of het perceel grenst aan een sloot of een greppel, de dikte van de watervoerende laag, et cetera. Verder zijn er voor de jaren 2011 tot en met 2019 afstroomgegevens ingeladen voor 21 afzonderlijke afwateringseenheden (het totale gebied dat afwatert op een desbetreffende waterloop) waar de percelen onder vallen. Deze afstroomgegevens representeren het aantal millimeters per dag dat uit een vierkante meter afstroomt naar de watergang. Deze gegevens zijn berekend met behulp van een neerslag-afvoer model dat gemaakt is door een voorgaande student [17].

Heel globaal kan gezegd worden dat het model bestaat uit een berging voor (stroomopwaarts) de stuw die afhankelijk is van de eigenschappen van een watergang. Hieruit kan water het perceel in filtreren, verdamt er elke dag een gering deel, en kan er water de



Figuur 2.1: Een grove schematisering van het model

berging in stromen als gevolg van de afstroomgegevens voor de percelen. De berging wordt voor elke dag berekend. Elke dag infiltreert er een berekende hoeveelheid water (mits aanwezig) het perceel in, dit is de conservering. Dit wordt vervolgens van de berging afgetrokken. Verder is er een oppervlaktewater verdamping van 2 millimeter per dag (gemiddelde zomerdag [18]), wat elke dag van de berging af gaat. Dit is de hoofdgedachte en is schematisch weergegeven in Figuur 2.1.

Dit schema is eenvoudig, maar de complexiteit zit in de veranderlijkheid van de percelen. Doordat het een hellend gebied betreft zal bijvoorbeeld de hellingshoek, de lengte van het perceel en de hoogte van de stuw de berging erg beïnvloeden. Ook wordt bijvoorbeeld de eventuele aanwezigheid van een weerstandslaag meegenomen. Een verdere detaillering van het model is te vinden in 'Bijlage J – Conceptueel model'.

Het Python script is te vinden via de volgende link: <https://github.com/rwieb/Schotbalkstuw.git>. De verschillende files zoals day.py en parcel.py zijn vervolgens te vinden in de map 'controller'.

3 Gebiedsstudie

3.1 Karakteristieken die invloed hebben op het effect van stuwen m.b.t. grondwaterconservering

Er zijn veel factoren die invloed hebben op de effectiviteit van het water conserverend vermogen van stuwen. Soms zijn deze factoren praktisch ook niet haalbaar. Zo leidt bijvoorbeeld het permanent conserveren (permanente peilopzet) van water tot een groter conserverend effect van een stuw [9, 14], maar is dit in de praktijk vaak niet gewenst door optredende natschade of niet bereikbaarheid van de percelen. Ook het verkleinen van peilvakken (het gebied waar getracht wordt hetzelfde peil te handhaven) heeft vaak een positieve uitwerking op de effectiviteit van stuwen [9, 14]. Dit komt doordat het gewenste peil meestal bepaald is aan de hand van de laagste delen van het peilvak. Dus hoe kleiner het peilvak, des te passender het peil is [9]. Dit brengt echter ook nadelen met zich mee. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan de stijging van aanlegkosten en de stijging van onderhoudskosten. De hiervoor genoemde karakteristieken zijn overigens vooral beleidsmatige afweging.

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de karteerbare (oftewel de in kaart te brengen) eigenschappen die de effectiviteit van het conserverend vermogen van een stuw beïnvloeden. Aan de hand van deze karakteristieken, gesteld en toegelicht in paragraaf 3.1.1, wordt een verwachting geuit met betrekking tot het effect van de stuwen.

Verder wordt de effectiviteit ook beïnvloed door verschijnselen zoals de hoeveelheid gevallen regen, de verdeling van die regen, de al dan niet juiste bediening van de stuwen, de staat van de stuwen en de participatiegraad [20]. Deze verschijnselen zijn niet te karteren en tijdsafhankelijk, maar vormen wel de randvoorwaarden voor het systeem. Doorgaans (en ook in deze studie) wordt uitgegaan van een participatiegraad van 100% [20] en kunnen er verschillende scenario's doorgerekend worden voor verschillende metrologische jaren (jaren met verschillende neerslaghoeveelheden).

3.1.1 Karteerbare karakteristieken

In deze paragraaf worden de karteerbare karakteristieken die effect hebben op de effectiviteit van de stuw met betrekking tot het conserveren van grondwater beschreven en nader toegelicht in afzonderlijke sub-paragrafen.

3.1.1.1 Doorlaatvermogen van de bodem

Het doorlaatvermogen is de maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten, uitgedrukt in de kD -waarde (m^2/dag). De kD -waarde bestaat uit de k -waarde (doorlatingscoëfficiënt in m/dag) en de dikte D van het watervoerend pakket (m) en varieert dus voor verschillende bodemlagen. Hier geldt: hoe groter het doorlaatvermogen, hoe groter de effectiviteit van stuwen [6, 9, 16]. Dit komt doordat de interventie dan doorwerkt over een grotere afstand en dus een groter gebied. Als het eerste watervoerende pakket zeer dik is, en dus een grote D -waarde kent, zal de kD -waarde ook aanzienlijk stijgen. Dit kan echter nadelig zijn voor de effectiviteit van de stuwen omdat het geconserveerde water wegstroomt via de ondergrond [9]. Verder zal een watersysteem met een

zandlaag als eerste watervoerend pakket en een slecht doorlatende (zoals klei of keileem) laag op geringe diepte sneller reageren op peilwisselingen, wat positief is voor de effectiviteit van stuwen [9, 14].

3.1.1.2 De bergingscoëfficiënt van de bodem

De bergingscoëfficiënt (-) is in feite een maat voor het aantal poriën in de bodem waar water geborgen kan worden. Dus hoe hoger de bergingscoëfficiënt, des te meer water er geborgen kan worden in de bodem per kubieke meter [4, 9, 17]. Dit resulteert vervolgens bij grotere volumes aan conservering in een kleinere grondwaterstijging [9]. Dus hoe hoger de bergingscoëfficiënt, des te groter de potentie tot conserveren door een stuw.

3.1.1.3 Verhang van een watergang

In steile gebieden wordt water snel afgevoerd en zullen er door de helling veel stuwen nodig zijn om het gewenste waterpeil te beheren in de watergangen [9, 16]. Dit komt doordat de lengte van invloed (invloedsafstand) achter de stuw groter wordt naarmate de helling vlakker wordt [4, 16, 18]. Dit is in Figuur 3.1 geschematiseerd aan de hand van een hellende watergang (zwart), een stuw (grijs) en het verloop van het waterpeil (blauw). Bij een minder groot verhang is de effectiviteit van stuwen dus groter [9]. Wel is de kans op conflicten door de kortere afstand van invloed geringer in een hellend gebied (zoals conflicten tussen derden over het gewenste peil).



Figuur 3.1: Invloedsafstand achter de stuw

3.1.1.4 Verhang van een gebied

Het verhang van een gebied en het verhang van de watergang hangen vaak sterk samen met elkaar. Toch is dit niet hetzelfde en kunnen ze een afwijkende hellingsgraad ten opzichte van elkaar hebben. Als het verhang van een gebied groter is dan dat van de waterlopen betekent dat dat de sloten dieper het landschap insnijden. Dit is bevorderlijk voor de maximale peilopzet en dus de bergingscapaciteit achter de stuw, maar negatief ten opzichte van het optimaal benutten van het conserveringsvermogen van de bodem [4]. Als het verhang van een gebied kleiner is dan dat van een waterloop zal het nadelig zijn voor de bergingscapaciteit achter de stuw maar kan de potentie tot conserveren in de bodem wel beter benut worden. In overleg met de begeleiders van het waterschap is het verhang van het gebied gelijk gesteld aan de aangrenzende watergangen, wat in dit gebied een aanvaardbare aanname is.

3.1.1.5 Kwel en wegzijging

Kwelgebieden (gebieden waar het grondwater zich vanuit de diepere ondergrond beweegt naar het maaiveld, een vorm van watertoevoer [21]) en wegzijgingsgebieden (grondwater beweegt zich van het maaiveld af naar de diepere ondergrond, een vorm van waterafvoer) beïnvloeden het grondwatersysteem in een gebied. In een wegzijgingsgebied is de kans aanwezig dat de conservering weinig nettoresultaat oplevert door toename van de wegzijging. Wel is het 'uitstralings-effect' van wegzijgingsgebieden dan groot: het water zijgt weg uit het gebied, om vervolgens in kwelgebieden weer

omhoog te komen waar het een positief effect kan hebben om verdroging tegen te gaan [6, 9, 14]. Een vermeerdering van kwelwater kan in sommige gebieden echter ook ongewenst zijn. Om dit effect in kaart te brengen zal er ook buiten het studiegebied gekeken moeten worden, wat in deze gebiedsstudie buiten beschouwing gelaten wordt.

3.1.1.6 Gebiedsvreemde watertoevoer in een gebied

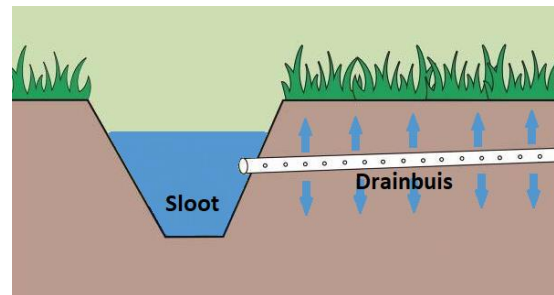
Sommige gebieden hebben een toevoer van gebiedsvreemd water. Dit helpt om het gewenste peil te handhaven, zeker in periodes met weinig neerslag. Hierdoor is de effectiviteit van stuwen groter in gebieden waar water aangevoerd kan worden [9, 14, 16]. De afwijkende kwaliteit van inlaatwater kan echter wel een effect hebben op de (grond)waterkwaliteit.

3.1.1.7 Wijze van afwatering

Er bestaan 2 typen van afwatering, namelijk: vrij afwaterend (Hoog-Nederland) of peilbeheerst afwaterend (Laag-Nederland) [9]. Een peilbeheerst gebied betekent in feite dat het lager ligt dan de grote rivieren waarop het afwatert of onder zeeniveau, en zal er bemaling moeten plaatsvinden. Dit is de vorm van peilbeheerst afwateren. Over het algemeen is de mogelijkheid tot conserveren in de bodem beperkt, maar het peil kan wel nauwkeurig gestuurd worden [9, 14]. Hoog-Nederland kan echter vrij afwateren onder vrij verval. Hier is de potentie tot conserveren van water door middel van stuwen groter. Daarentegen is de kans op droogval van watergangen ook groter [9, 14].

3.1.1.8 Gedraineerde percelen in een gebied

De aanwezigheid van draineerbuisen heeft een positieve uitwerking op de effectiviteit van een stuw [21]. Door de draineerbuisen kan het opgestuwde water (mits de draineerbuisen onder het opgestuwde waterpeil liggen) tot ver in de percelen stromen, om vervolgens te infiltreren in de bodem. Een geschematiseerde uitwerking is gegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Schematisering van een drainebuis

3.1.1.9 Landgebruik

Het landgebruik kan ook invloed hebben op de potentie tot het conserveren [19]. Zo zijn er bijvoorbeeld gewenste maximale grondwaterstanden bij verschillende gewastypen. Dit kan conflicten geven over bijvoorbeeld de streefpeilhoogte of het moment van peilopzet als twee percelen met andere gewassen beïnvloed worden door dezelfde stuw. Ook wanneer het landgebruik getypeerd wordt door bebouwing of natuurgebieden zal dat de effectiviteit van stuwen kunnen beïnvloeden door ingestelde regels en streefpeilen. Vooral als het landgebruik (vaak de landbouw) de randvoorwaarden vaststelt voor de peilopzet, wordt de potentie voor het conserveren niet optimaal benut wegens tegenstrijdige belangen [9, 14].

3.1.1.10 Drainagedichtheid in een gebied

Als een gebied een hoge drainagedichtheid (veel watergangen per oppervlakte eenheid) heeft, waar het peil gehandhaafd kan worden, zal dit een verhogend effect hebben op de

grondwaterconservering [21]. Dit komt omdat het totale watgangstalud waar water het perceel in kan filtreren groter is. Daarnaast zal een groter deel van het gebied beïnvloed worden door het oppervlaktewater. Wanneer het waterpeil niet gehandhaafd kan worden, kan het ook een negatief effect hebben op de grondwaterconservering door een verhoogde potentiële ontwatering.

3.1.2 Conclusie

De effectiviteit van stuwen is afhankelijk van meerdere factoren. Het wordt bepaald door gebiedsspecifieke factoren, zowel constant als tijdsafhankelijk, alsmede beleidsmatige afwegingen. Hierdoor is het belangrijk om een gebiedsgerichte studie te doen naar de potentie van stuwen tot het conserveren van water. Dit te meer doordat sommige factoren elkaar logischerwijs versterken of afzwakken. De factoren dienen dus tezamen beschouwd te worden, wat het lastig maakt een rangschikking te maken tussen de factoren aangaande de grootte van het belang voor de effectiviteit. Wel is er in de literatuur duidelijk vermeld dat in Hoog-Nederland niet de aanwezige bodem, maar het hellingspercentage en de aanwezigheid van een weerstandslaag (een grondlaag dat nauwelijks water doorlaat, zoals keileem of klei) de belangrijkste factoren zijn voor de mate van effectiviteit van een stuw [9].

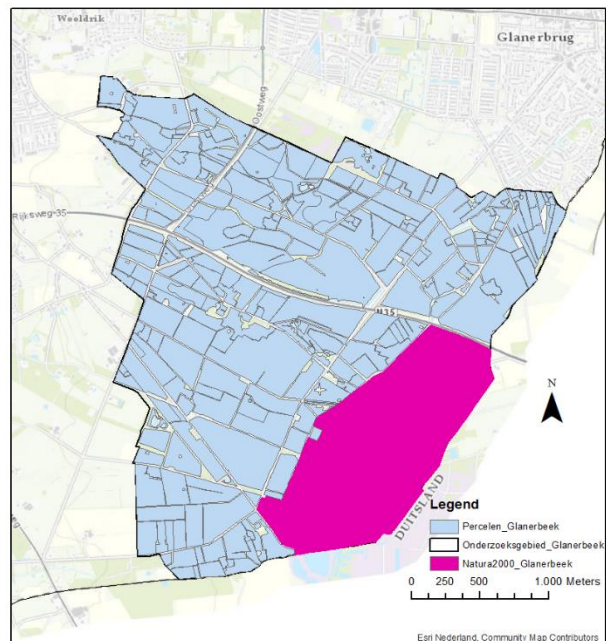
3.2 Kenmerking van de karakteristieken in studiegebied Glanerbeek

In deze paragraaf zijn de bevindingen van de gebiedsstudie gepresenteerd en gevisualiseerd.

3.2.1 Gebiedsindeling

Het gebied is ingedeeld op basis van afzonderlijke percelen. Deze indeling is gebaseerd op verschillen in landgebruik alsmede de aanwezigheid van afscheidingen zoals houtwallen, bomenrijen, watergangen en wegen. Zo ontstaat er een onderverdeling in 240 afzonderlijke percelen en een Natura2000 gebied, welke te zien zijn in Figuur 3.3. Op basis van deze verdeling worden gegevens verzameld die nodig zijn voor de beschrijving van het gebied. Een meer gedetailleerde afbeelding is te vinden in ‘

Bijlage A – Gebiedsindeling’, inclusief de perceel nummering. Het Natura2000 betreft het zogenaamde Aamsveen, en is reeds uitvoerig onderzocht in opdracht van het waterschap [19, 20]. Ook zijn er al onderzoeken binnen het Aamsveen uitgevoerd met betrekking tot de geohydrologie en maatregelen tot herstel van de natuurlijke



Figuur 3.3: Percelen verdeling in het studiegebied Glanerbeek

grondwaterdynamiek [20, 21]. Het Natura2000 gebied zal om deze redenen niet verder onderzocht worden in deze gebiedsstudie.

3.2.2 Geomorfologie

Geomorfologie is de wetenschap die zich bezig houdt met het bestuderen van de vormen van het aardoppervlak (geo = aarde; morfo = vorm) [26]. De geomorfologische kaart bevat informatie over hoogteverschillen, het ontstaan en de ouderdom van verschillende kaartelementen [26]. De geomorfologische kaart laat patronen zien tussen verschillende elementen waardoor het ontstaan van het landschap duidelijk wordt [26]. Dit heeft ook invloed op de huidige waterhuishouding.

In het Saalien (200.000-100.000 jaar geleden) lagen er grote ijskappen over Noord-Nederland, afkomstig uit Scandinavië [11, 23, 24]. Deze hebben een grote invloed gehad op het sedimentatiepatroon, het reliëf en de morfologie van Nederland [28]. Door de schurende werking van de ijskappen werd het onderliggende bodemmateriaal vermengd en vermalen tot keileem (grondmorene) [23, 25]. Bij de ijstongen (de einden van een gletsjer) werd bodemmateriaal opgestuwd tot hoge stuwwallen [11, 23, 24, 25]. Oorspronkelijk horizontaal liggende lagen werden scheef opgestuwd waardoor oudere afzettingen aan de oppervlakte kwamen te liggen [11, 25]. Het door het ijs getransporteerde materiaal, de grondmorene, bleef achter in de vorm van ruggen, welvingen en vlakten [11, 24]. Grondmorene dat afgezet is door het landijs bestaat uit keileem, heeft een brede korrelgrootteverdeling, en is een mengsel van (tertiaire) klei, fluviatiele afzettingen, grind en keien die uit het noorden zijn aangevoerd [11]. Deze grondsoort laat water slecht door [23, 24]. Dit resulteerde in het feit dat (smelt)water niet goed kon filtreren in deze keileem laag, waardoor er een fijnmazig stelsel van smeltwaterbeken ontstond [27].

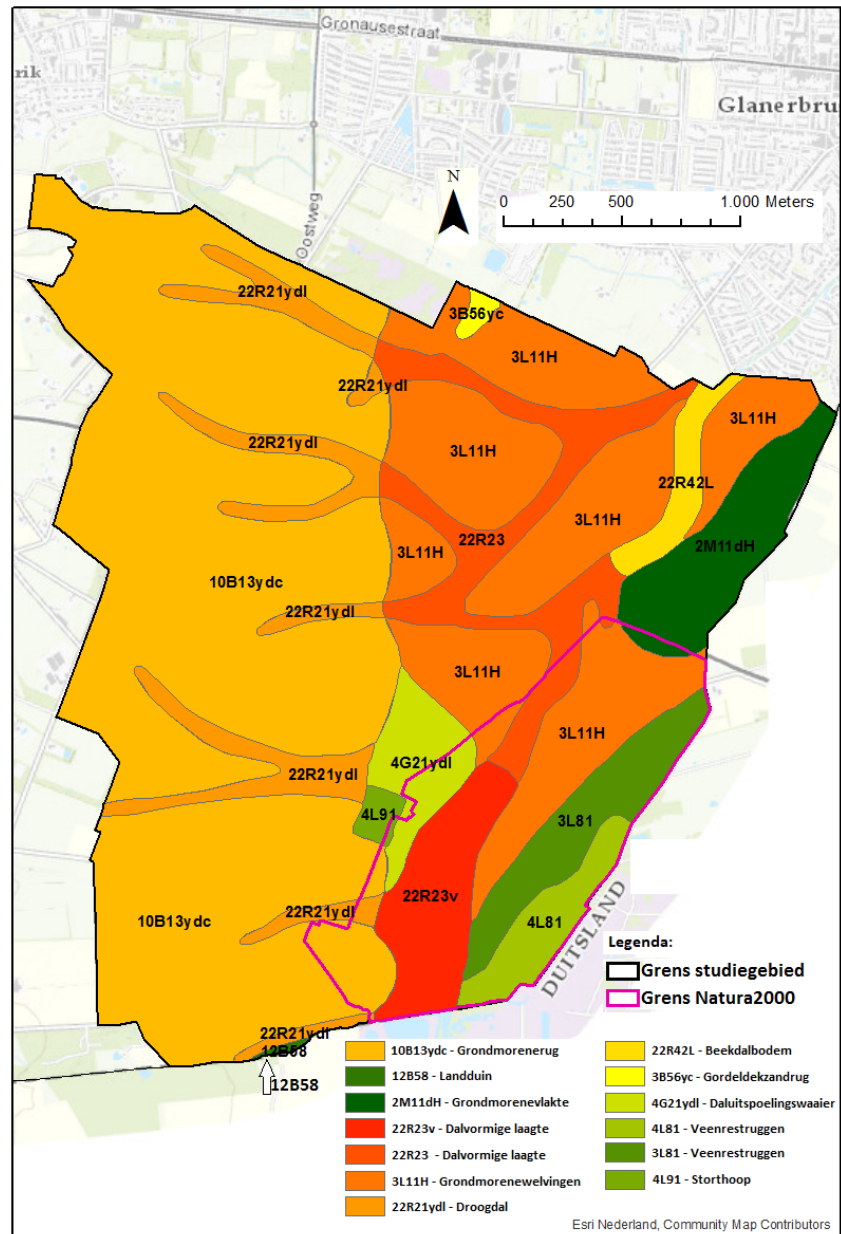
In het Eemien (100.000-70.000 jaar geleden) werd het klimaat warmer en keerde de vegetatie terug [27]. Dit resulteerde in de afname van optredende erosie en het vastleggen van de hoofdvormen uit het Saalien [27].

In de tot noch toe laatste ijstijd, het Weichselien (70.000-10.000 jaar geleden), werden de hoofdvormen uit het Saalien verder vormgegeven [27]. Het landijs uit het noorden bereikte dit keer Nederland niet. Wel heerste er een koud en droog klimaat in Nederland (een poolwoestijn) [27]. De diepere bodemlagen waren in deze periode permanent bevroren (permafrost) waardoor smelt- en regenwater via de oppervlakte naar andere gebieden afstroomde [23, 11]. Hierdoor is het merendeel van de huidige beekdalen ontstaan [23, 11]. Het einde van het Weichselien kenmerkte zich door een extreem koude en droge periode waarin de wind vrij spel had op het landschap, wat resulteerde in de verplaatsing van grote hoeveelheden dekzand [27]. Dit dekzand, samen met smeltwaterafzettingen en weggespoelde zanden, vulde vooral de dalen en bekkens op [11, 23, 24]. Dit leidde tot een afzwakking van het reliëf [11]. Het Weichselien is onomstotelijk van zeer groot belang geweest voor de vorming van het huidige landschap in Twente [28]. Dit niet alleen door het nieuwgevormde (kleinere) reliëf, maar ook door de algehele of gedeeltelijke bedekking van de bestaande landschapsvormen met zand. Tegen het einde van het Weichselien was ook het grootste deel van het beekdalstelsel opgevuld en 'afgesnoerd' met dekzand (ook in Twente), met uitzondering van de grotere watervoerende beekdalen [27]. Ook verdween de permafrost waardoor het neerslagoverschot in de zandgebieden grotendeels door de ondergrond werd afgevoerd [30]. Hierdoor droogde veel beekdalen op en ontstonden de zogeheten 'Droge dalen', met name op de stuwwalzijden [27].

In het Holoceen (vanaf 10.000 jaar geleden) werd het klimaat weer warmer waardoor de vegetatie weer terug kwam, wat de landschapsvormen min of meer vastlegde [31]. Er ontstond echter wel een dichter stelsel van beekdalen door terugschrijdende erosie uit de grotere beekdalen [32]. Daarnaast wordt aangenomen dat vanaf dit tijdperk de mens actief deel begon te nemen aan de ontwikkeling van beekdalstelsels door het graven van sloten en het verbinden van laagtes [26, 28, 29]. Deze ‘beken’ zijn gaan meanderen en daardoor nauwelijks te onderscheiden van zogenoemde ‘natuurlijke beken’ [34]. Ook bedijking, ontwatering, verharding en ontginning heeft tot op heden veel effect op het landschap en de watersystemen [23, 24, 31].

3.2.2.1 Geomorfologie Glanerbeek

In het studiegebied Glanerbeek komen meerdere geomorfologische landvormen voor. De geomorfologische kaart van het studiegebied is weergegeven in Figuur 3.4. In het westen van het gebied ligt een grondmorenerug (code 10B13ydc in Figuur 3.4), welke in het verlengde ligt van De Oost-Twentse Stuwwal. Hier zijn steile(re) hellingen te verwachten. Specifiek nabij Enschede heeft de grondmorene een hoger aandeel tertiair klei, waardoor het lemiger is [28]. De grondmorenerug is afgedekt met zand en al dan niet oud-landbouwdek. In het Weichselien ontstonden er stroompjes voor de afvoer van smeltwater op de grondmorenerug, die later opdroogde en opgevuld werden met dekzand en löss. Dit zijn de droogdalen (22R21ydl). Deze droogdalen gaan over in dalvormige laagten (22R23). Deze verzorgde de verdere afvoer van het smeltwater, en later van het regenwater [28]. Soms is er in het Holoceen ook veen ontstaan in deze dalvormige laagten (22R23v). Deze laagten gaan in Glanerbeek vervolgens over in een beekdalbodem (22R42L), het lager gelegen vlakke deel van een beek. Ook deze beekdalbodems stammen uit de ijstijd en zijn ontstaan door het afvoeren van smeltwater. Er komen daar ook smeltwaterafzetting voor. Tussen deze landvormen liggen de grondmorenewelvingen (3L11H), wat licht reliëf vertoont in de vorm van bogen. Deze zijn vrijwel altijd bedekt zijn met dekzand [27].



Figuur 3.4: Geomorfologische kaart van het studiegebied

Hetzelfde geldt voor de grondmorenevlakte (2M11dH) [27]. Het reliëf is daar overigens wel vlakker en bestaat dus niet uit welvingen. In het midden van het studiegebied is een daluitspoelingswaaier (4G21ydl) te vinden. Dit is afgezet bodemmateriaal dat van de helling van de grondmorenerug afkomstig is. Het betreft vaak grof materiaal en is al dan niet bedekt met (zandige) löss. Daaronder is een klein vierkant te zien, wat een storthoop (4L91) betreft. Dit is in feite een depot voor delfstoffen en restgronden die vrijgekomen zijn bij de winning van zand, grind of klei.

Toen het klimaat weer warmer en vochtiger werd in het Holoceen, in combinatie met hogere waterstanden, heeft er veenvorming plaatsgevonden [28]. Zo ook in het zuidoosten van het studiegebied, mede doordat de afwatering daar slecht was [11]. Na de gedeeltelijke afgraving van het veen door de mens zijn veenrestruggen ontstaan (3L81 en 4L81). De veengebieden in het studiegebied liggen in het nieuwe Natura2000 gebied genaamd 'Het Aamsveen'. Er wordt geprobeerd dit veengebied weer in ere te herstellen. In het zuidelijke puntje van het gebied bevindt zich een kleine landduin (12B58), gevormd door stormen in het Laat-Pleistoceen. In het noorden ligt nog een klein deel van een gordeldekzandrug (3B56yc). Deze zijn ontstaan door de wind in het Weichselien en omgeven stuwallen alsmede grondmoreneruggen als een 'gordel' bestaande uit fluviatiel dekzand. De Glanerbeek zelf is ontstaan door het afstromende water van zowel de stuwwal als de grondmorenerug, gecombineerd met het wegsijpelende water van het veen [11]. Het afstromende water van de grondmorenerug stagneerde bij het veen en werd gedwongen om naar het noorden af te stromen.

3.2.3 Bodemkaart

“De Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 geeft informatie over belangrijke kenmerken van het bodem profiel tot een diepte van 1,20 m” [36] en is voor vrijwel heel Nederland beschikbaar. De bodemkaart van het studiegebied Glanerbeek is weergegeven in 'Bijlage C – Bodemkaart van studiegebied Glanerbeek', alsmede de verklaring van de bodemcodes. De bodemkaart geeft informatie tot 1 meter 20. Voor de toepassing van deze studie is echter meer informatie nodig, zoals de totale dikte van de bovenste bodemlaag (bodemlaag tot aan de niet-waterdoorlatende laag, ook wel weerstandslaag genoemd). Daarom is de Bodemkaart 'verdiept' aan de hand van grondboringen uit 'DINO loket' (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) [37], en in 2 gevallen met grondboringen uit het Historisch Bodem Bestand (HBB) van de gemeente Enschede [38]. Op één uitzondering na weergaven alle grondboringen de bovenste bodemlaag tot aan een weerstandslaag (leem/klei). Uit de boringen is de opbouw van de bovenste watervoerende bodemlaag afgeleid en de bijbehorende diktes ('D' in meters). Op basis van de grondboringen is onderscheid gemaakt tussen uiterst grof zand, matig grof zand, matig fijn zand en zeer fijn zand. Binnen deze verdeling is er tevens onderscheid gemaakt tussen leemarm, zwak lemig, lemig en sterk lemig zand. Hieruit is de doorlatendheidscoëfficiënt ('k' in meters per dag) van de verschillende bodemlagen afgeleid [39]. Hieruit kan het doorlaatvermogen ('T' dan wel 'kD' in m² per dag) van de totale bovenste bodemlaag berekend worden met [36, 37, 38]:

$$kD = \sum_{i=0}^{N_L} k_i D_i \quad (2)$$

Hierbij is:

kD	= transmissiviteit ($m^2.d^{-1}$)
D_i	= dikte van laag i (m)
k_i	= horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van laag i ($m.d^{-1}$)
N_L	= aantal bodemlagen in profiel

3.2.4 weerstandslaag

Weerstandslagen zijn bodemlagen die zeer weinig water doorlaten, wat een resultaat is van de structuur en opbouw van deze lagen. Voorbeelden hiervan zijn bodemlagen bestaande uit rivierklei, potklei of keileem. De weerstand van een bodemlaag is uitgedrukt in de c -waarde (in dagen) en is een maat voor de verticale doorlatendheid van grondwater in een bodemlaag. Deze valt te berekenen met de volgende formule [37, 38, 39]:

$$c = \sum_{i=0}^{N_L} \frac{D_i}{k_i} \quad (3)$$

Hierbij is:

c	= weerstand (d)
D_i	= dikte van laag i (m)
k_i	= verticale doorlatendheidscoëfficiënt van laag i ($m.d^{-1}$)
N_L	= aantal bodemlagen in profiel

Uit de formule valt logischerwijs af te leiden dat de weerstand groter is naarmate de dikte van de laag groter is en/of de doorlatendheidscoëfficiënt kleiner is. Doordat slecht doorlatende bodemlagen zoals keileem en klei een kleine doorlatendheidscoëfficiënt hebben, bieden deze bodemlagen veel weerstand tegen verticale grondwaterstroming. Zand of grind, die een hogere doorlatendheidscoëfficiënt kennen, bieden aanzienlijk minder weerstand. Als gevolg van vormingen uit de glaciële tijdperken (zoals reeds vermeld in paragraaf 3.2.2) zijn er dikke weerstandslagen op geringe diepte te vinden in het studiegebied. In 'Bijlage D – Diepe boringen in studiegebied Glanerbeek' zijn diepe boorprofielen opgenomen die dit ondersteunen. De weerstandslaag bestaat uit een zeer dikke laag leem en klei. Dit betekent dat er een hoge c -waarde geldt voor de eerste weerstandslaag in het gebied. Overeenkomstig het 'BRO REGIS II v2.2' model behoort hier een c -waarde van tussen de 1000 en 5000 dagen toe. Voor deze gebiedsstudie is de conservatiefste waarde van 1000 dagen aangehouden.

3.2.5 Landgebruik

Het landgebruik is afgeleid uit de ArcMap kaart 'begroeidTerreindeel_v', tezamen met een controle middels Google Maps met actuele satellietfoto's. Ook zijn bebouwde percelen toegevoegd. De kaart met het landgebruik is weergegeven in 'Bijlage E – landgebruik in studiegebied Glanerbeek'. In het gebied is onderscheid gemaakt tussen de volgende categorieën: Natura2000, bebouwing, gemengd bos, loofbos, grasland agrarisch, grasland overig, bouwland en heide.

3.2.6 Buisdrainage

Buisdrainage kan de effectiviteit van het conserveren beïnvloeden. De percelen met aangelegde buisdrainage in het studiegebied zijn afgeleid uit de ‘Buisdrainagekaart 2015’ [44]. Dit is een onderschatting, maar het meest recent en nauwkeurig tot op heden.

3.2.7 Helling

Het grondmoreenerug gebied in het westen van het gebied is een hooggelegen deel. Het water stroomt af richting Glanerbrug (het noordoosten), wat het lageregelegen deel is. De helling loopt hierdoor globaal af van het zuidwesten naar het noordoosten.

De helling is per perceel bepaald door het hoogteverval te delen door de lengte van het perceel evenwijdig aan de watergang(en). Het hoogteverval is bepaald middels de Algemene Hoogtekaart Nederland 2 (AHN2). De lengte afgeleid uit de topografiekaart. De helling is vastgesteld van het westen naar het oosten en/of van het zuiden naar het noorden. Dit is de stroomrichting en resulteert in een aflopende (negatieve) helling bij vrijwel alle percelen. Gelijktijdig met het vaststellen van de helling zijn de lengte van de percelen, de maximale afstand van een punt op het perceel naar de watergang en het type watergang bepaald. De kaart die de helling per perceel weergeeft is te vinden in ‘Bijlage G – Hellingspercentage’.

3.3 Spreidingslengte

De spreidingslengte (λ in meter) is een maat voor de afstand waarover een perceel nog invloed ondervindt van hydrologische ingrepen. De spreidingslengte kan gebruikt worden om de lengte van invloed van peilveranderingen op grondwaterstromingen te bepalen middels de volgende formule [36, 41, 42, 43]:

$$\lambda = \sqrt{kD c} \quad (4)$$

Hierbij is:

- λ = spreidingslengte (m)
- c = weerstand van de aangrenzende slecht doorlatende lagen (d)
- D = dikte van het watervoerend pakket (m)
- k = horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van het watervoerend pakket ($m \cdot d^{-1}$)

Om deze formule toe te kunnen passen in de bovenste niet afgedekte laag moet de drainage weerstand (weerstand tegen de grondwaterstroming naar of van waterlopen [48]) ook meegenomen worden in de vorm van een vervangende c -waarde (c^* , de zogenoemde voedingsweerstand). Voor gebieden met een klein doorlaatvermogen met daaronder een dikke weerstandslaag geldt de formule [41, 42]:

$$c^* = c_d^* + c \quad (5)$$

Hierbij is:

- c^* = voedingsweerstand (d)
- c_d^* = drainageweerstand (d)
- c = weerstand van de weerstandslaag (d)

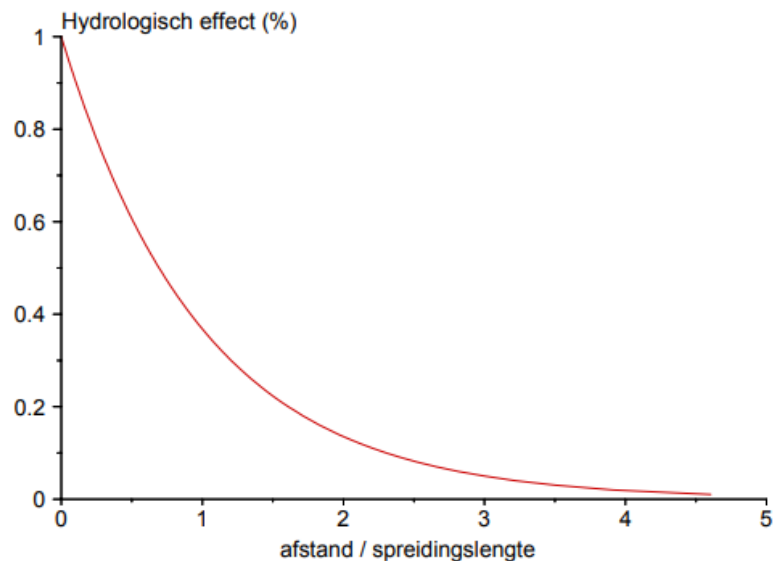
De drainageweerstand binnen het gebied bedraagt 75 dagen [49], wat een gering deel is van de totale weerstand door de hoge waarde van de weerstandslaag (1000-5000 dagen). De freatische spreidingslengte (spreidingslengte in de bovenste doorlatende laag) wordt berekend met de volgende formule:

$$\lambda^* = \sqrt{kD c^*} \quad (6)$$

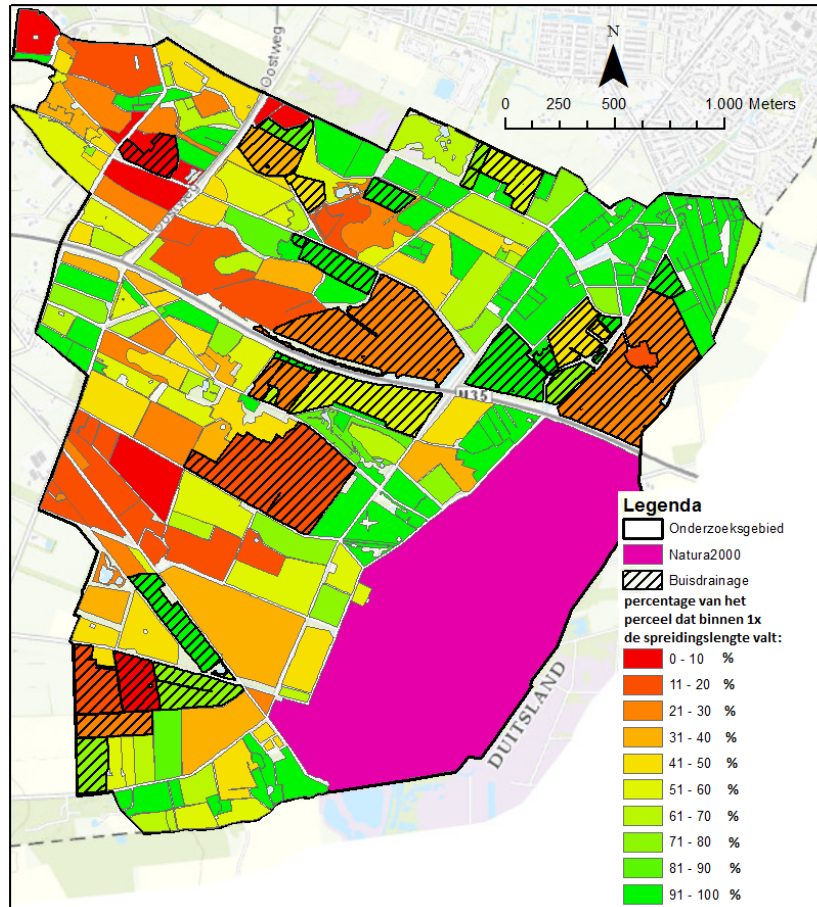
Hierbij is:

- λ^* = freatische spreidingslengte (m)
- c^* = voedingsweerstand (d)
- D = dikte van het watervoerend pakket (m)
- k = horizontale doorlatendheidscoëfficiënt van het watervoerend pakket ($m \cdot d^{-1}$)

Het hydrologisch effect (in procenten) van een ingreep over de spreidingslengte is weergegeven in Figuur 3.5 [41, 43]. Praktisch gezien betekent dit dat als bijvoorbeeld de stijghoogte nabij een watergang met 1 meter verhoogd wordt door bijvoorbeeld een peilverhoging, dit na 1 keer de spreidingslengte nog 40 centimeter (40%) bedraagt, na 2 keer nog 20 centimeter (20%) en na 3 keer nog 5 centimeter (5%).



Figuur 3.5: Hydrologisch effect in % [41, 43]



Figuur 3.6: percentage van het perceel dat beïnvloed wordt door 1x de freatische spreidingslengte, vanaf de waterlopen.

In Figuur 3.6 is een kaart weergegeven dat het beïnvloede percentage van de verschillende percelen laat zien door 1x de spreidingslengte te nemen vanaf een aangrenzende watergang. Oftewel: het percentage van een perceel dat een minimale invloed ondervindt van 40% van het effect van een hydrologische ingreep in een watergang. Hoe hoger het percentage, hoe meer effect een ingreep sorteert op een perceel. Ook zijn de percelen met buisdrainage weergegeven, omdat de aanwezigheid van buisdrainage van invloed is op de hoeveelheid water wat kan infiltreren van het oppervlaktewater naar de bodemlaag en vice versa. Hierdoor beïnvloedt het de spreidingslengte, terwijl dit niet verwerkt is in de berekening ervan.

3.4 Conclusie over het studiegebied Glanerbeek

Het studiegebied Glanerbeek kenmerkt zich door de grote invloed van ijstijden op bodemlagen nabij het maaiveld (de oppervlakte) en daarmee de waterhuishouding. Door glaciële vermenging en opstuwing liggen slecht doorlatende lagen dicht onder het maaiveld en zijn ze zeer dik. Hierdoor is de bovenste watervoerende laag erg dun, soms zelfs één of enkele decimeters. Vooral op de grondmorenerug is de watervoerende laag dun. Des te (noord-)westelijker de percelen gelegen zijn, des te dikker de watervoerende zandlaag is door onder andere de invloed van smeltwater. Dit is ook te zien op de bodemkaart, waar grofweg de westelijke helft van het gebied bestaat uit bodemcode 'KX' (zeer ondiepe leem, potklei etc.) of een bodemcode met de toevoeging 'x' (keileem of potklei beginnend vanaf 40-120 cm), waar het oostelijke deel dit niet heeft en dus de zandlaag doorgaans dikker is dan 1 meter 20. Een dikkere zandlaag betekent doorgaans ook dat er een grote bergingscapaciteit is voor grondwater in die laag. Verder is opgevallen dat ook op perceelsniveau de dikten van de grondlagen significante verschillen kunnen vertonen.

In de hellingspercentagekaart is (zoals voorspeld op basis van de geomorfologie) te zien dat op de westelijk gelegen grondmorenerug het hellingspercentage hoger is dan in het oostelijke deel. Op het

meest westelijke deel van de grondmorenerug komen echter ook kleine hellingspercentages (of zelfs 0) voor, wat de 'top' van de rug representeert. Daarnaast is te zien dat de percelen langs dezelfde watergangen doorgaans een vergelijkbaar hellingspercentage hebben.

Verder valt op dat het merendeel van het gebied gebruikt wordt als grasland, met in het midden en noordoosten de meeste bebouwing. Daarnaast valt op dat de percelen met de functies 'gemengd bos', 'loofbos' en 'heide', dus de natuur, zeer lage percentuele spreidingslengtes kennen ten opzichte van de andere percelen. Ook is in de spreidingslengtekaart de tweedeling tussen oost en west te zien. In het westen is de percentuele spreidingslengte gemiddeld genomen aanzienlijk kleiner, wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de geringe dikte van de bovenste watervoerende laag. In het oosten, waar de zandlaag over het algemeen dikker is, is de gemiddelde spreidingslengte ook groter. Hieruit valt te concluderen dat in het oostelijke deel het conserveren van water waarschijnlijk effectiever (meer geconserveerde kubieke meters) zal zijn. In hoofdstuk 4 zal gepoogd worden het aantal te verwachten geconserveerde kubieke meters te berekenen, waarna verdere conclusies getrokken kunnen worden.

4 Kwantificatie

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van het model gepresenteerd. Het model is doorgerekend voor het groeiseizoen gedurende de jaren 2011 tot en met 2019. Het groeiseizoen loopt van 1 april tot en met 31 augustus en bedraagt dus 153 dagen. De kwantificatie is gedaan op basis van de geconserveerde millimeters. Geconserveerd betekent hier: het extra aantal millimeter water in een perceel dat veroorzaakt is door de plaatsing van een stuw. Dit is dus het additionele grondwater dat extra het perceel in is gekomen ten gevolge van een geplaatste stuw (of meerdere stuwen).

In Tabel 1 is de totaal gevallen neerslag weergegeven voor de verschillende jaren. Deze gegevens zijn op basis van de dag gegevens van meetstation Twenthe (station code 290) van het KNMI [50]. Hierin is te zien dat het jaar 2014 het natst was, en de jaren 2013, 2018 en 2019 droger waren, met in 2018 en 2019 zeer grote neerslagtekorten. De jaren 2011, 2012, 2015, 2016 en 2017 zijn meer gemiddeld qua neerslag, met wisselende maxima voor het neerslagtekort.

Tabel 1: Neerslag en neerslagtekort gegevens in millimeters voor meetstation Twenthe (290)

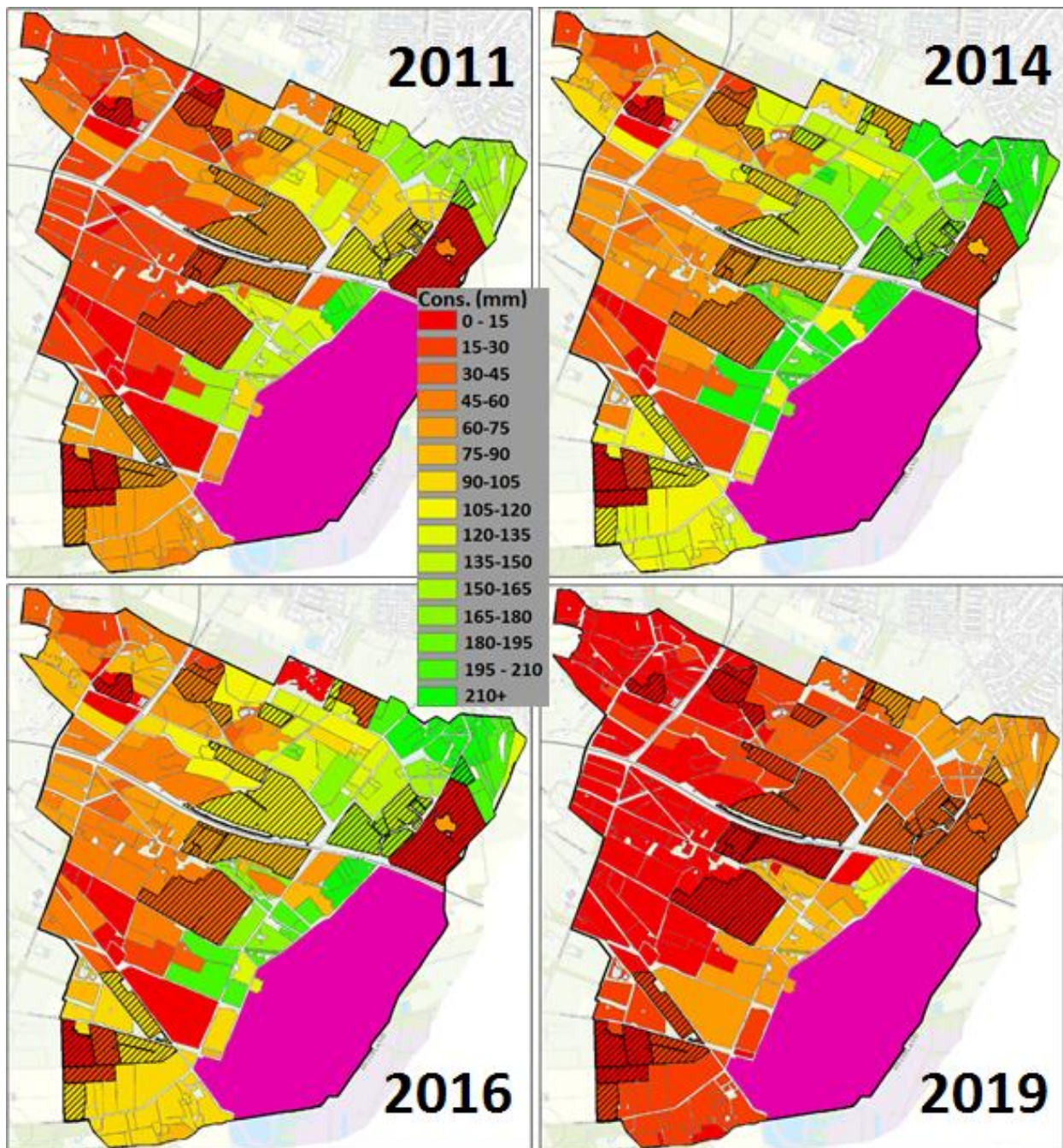
<i>Jaar</i>	<i>Gemeten neerslag KNMI (mm)</i>	<i>Maximaal neerslagtekort (mm)</i>
2011	340	174
2012	330	95
2013	229	181
2014	440	38
2015	352	170
2016	333	85
2017	305	150
2018	219	312
2019	181	304

In 4.1 zijn enkele conserveringskaarten weergegeven, met bijbehorende uitleg. Daarnaast zijn er enkele conserveringsgrafieken weergegeven in 4.2, met eveneens bijbehorende uitleg. In 4.3 zijn er conclusies getrokken op basis van de resultaten.

4.1 Conserveringskaarten

De uitkomsten zijn gepresenteerd in kaarten van het gebied waar per perceel het aantal geconserveerde millimeters is aangegeven. Deze zijn gevisualiseerd door de percelen een kleur toe te kennen dat behoort tot een bepaald interval wat volgt uit de hoeveelheid conservering. De intervallen zijn bij elke kaart 15 millimeter, met in totaal 15 intervallen. Deze lopen dus van 0 tot 210 millimeter, waarna één interval de resterende percelen bevat. Het laatste interval is het enige dat varieert door de jaren heen. Ook komt het voor dat er intervallen zijn zonder percelen daarin. Toch is het aantal intervallen gelijk gehouden zodat de kaarten beter met elkaar vergeleken kunnen worden. De kaarten zijn per jaar weergegeven in 'Bijlage I – Conserveringskaarten en -grafieken per jaar'. In 'Bijlage H – Benodigde stuwen' is een overzicht te vinden van het aantal stuwen dat nodig is om het hele perceel beïnvloed te laten worden. In deze paragraaf worden de jaren 2011 (gemiddeld), 2014 (nat), 2016 (gemiddeld) en 2019 (zeer

droog) in Figuur 4.1 weergegeven, dit geeft een vergelijkend beeld van de conservering in verschillende jaren met verschillende omstandigheden.



Figuur 4.1: Conserveringskaarten voor de jaren 2011 (gem.), 2014 (nat), 2016 (gem.), 2019 (droog)

In de conserveringskaarten is er duidelijk een tweedeling tussen oost en west te zien. Vooral in de drogere jaren is te zien dat conserveren in het westen eigenlijk niet veel oplevert, terwijl er in het oosten nog wel geconserveerd wordt. Ook in natte en gemiddelde jaren is deze tweedeling te zien, maar zijn er wel meer percelen waar er toch nog een redelijk aantal millimeters geconserveerd wordt.

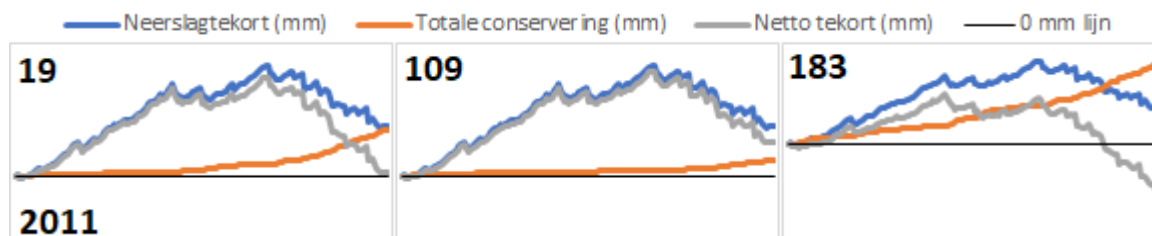
4.2 Conserveringsgrafieken

Verder zijn er 4 percelen uitgelicht waarvan de conservering over de 153 dagen van het groeiseizoen is weergegeven in een grafiek. Dit zijn perceel 19, 109, 182 en 231 (zie ook Figuur 4.2). Deze zijn gekozen omdat ze verspreid over het gebied liggen, wat een groot effect heeft op de conservering door het verschil in ruimtelijke eigenschappen.

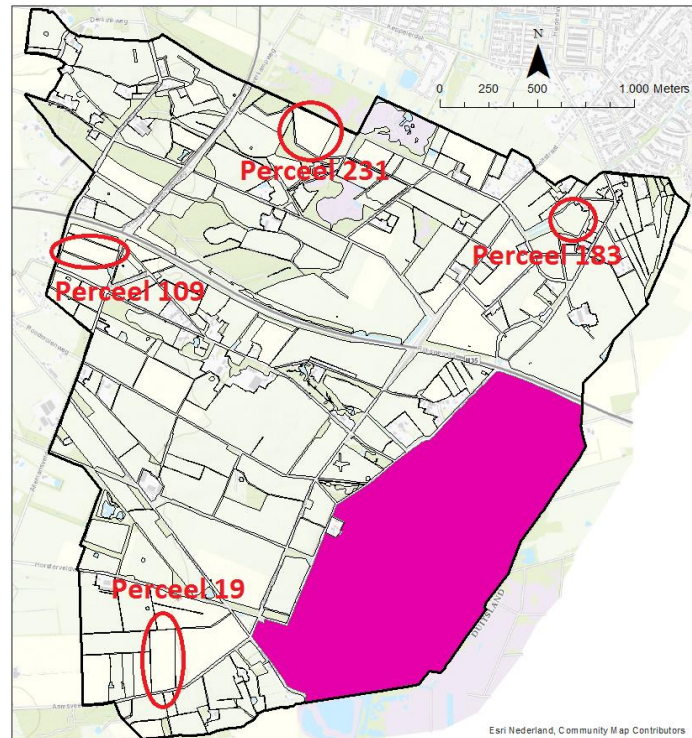
De grafiek met de totale conservering is uitgezet tegen het neerslagtekort van dat jaar, wat een maatstaf is voor de droogte. Dit is afgeleid uit KNMI gegevens van meetstation Twenthe [50]. Het neerslagtekort representeert de gevallen neerslag minus de (berekende) verdamping door planten [51]. Met andere woorden: wat er te weinig valt aan neerslag om aan de verdampingsbehoefte van gewassen te voldoen. Daarnaast is het aantal berekende geconserveerde millimeters afgetrokken van het neerslagtekort, waardoor een 'netto neerslagtekort' ontstaat. Dit zou dus het 'nieuwe' neerslagtekort bedragen als er een stuw geplaatst zou zijn in de watergang. De volledige grafieken (met x- en y-as labels en de getallen) zijn per jaar te vinden in 'Bijlage I – Conserveringskaarten en -grafieken per jaar'.

In deze paragraaf zijn voor de jaren 2011, 2012, 2014 en 2019 de grafieken van perceel 19 (gemiddelde conservering), 109 (weinig conservering) en 183 (veel conservering) in het klein naast elkaar gezet, om zo een vergelijking te kunnen maken. Perceel 231 is in deze grafieken weggelaten, omdat deze zeer veel overeenkomst toont met perceel 19.

Let wel: het neerslagtekort is voor elk perceel hetzelfde per jaar (blauwe lijn). Het lijkt overigens af en toe af te wijken van elkaar (2012 en 2014) maar dat komt door de verhouding van de grafiek. Dit hangt af van het aantal mm conservering. Voor de berekende waardes is bijlage I te raadplegen.

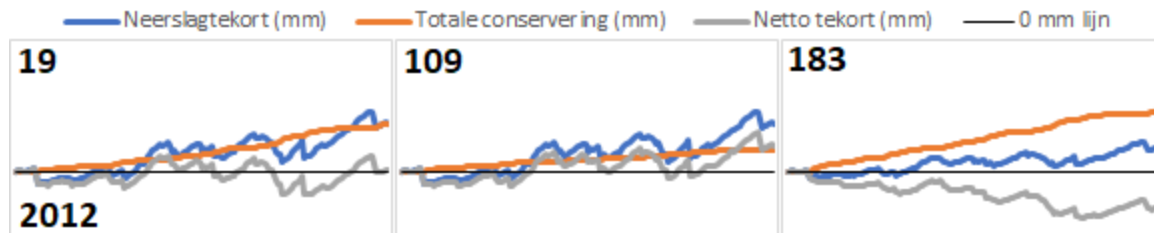


Figuur 4.3: Grafieken van de conservering en tekorten voor 3 verschillende percelen (2011, maximaal neerslagtekort is 174 millimeter)



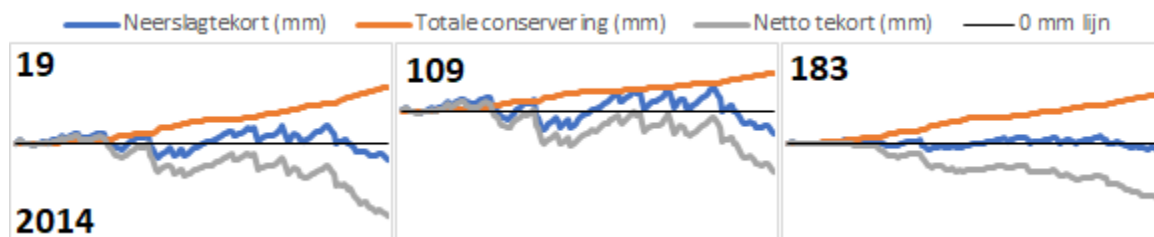
Figuur 4.2: percelen die worden uitgelicht

In Figuur 4.3 zijn de grafieken voor het jaar 2011 (gemiddeld jaar) weergegeven. Hier is duidelijk te zien dat bij perceel 183 er door het hele groeiseizoen een significant conserveringseffect optreedt. Bij perceel 19 er in het begin nauwelijks conservering, een significante conservering begint pas als het stevig gaat regenen. Dit zorgt wel voor een forse reductie van het neerslagtekort, maar dit gebeurt wel in de periode waar er toch al regen viel. De vraag is dus hoeveel waarde dit praktisch gezien heeft. Bij perceel 109 treedt geen significant conserveringseffect op.



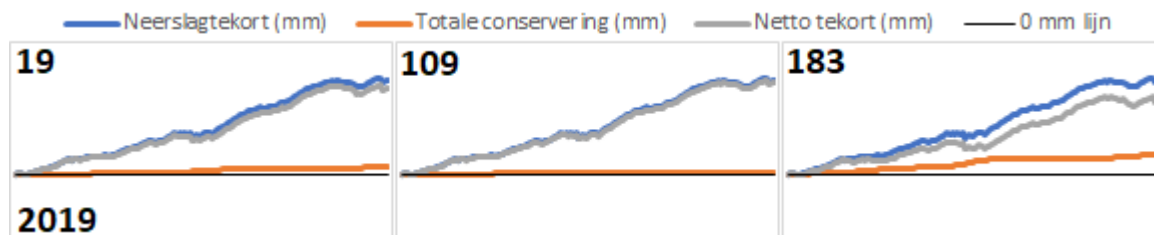
Figuur 4.4: Grafieken van de conservering en tekorten voor 3 verschillende percelen (2012, maximaal neerslagtekort is 95 millimeter)

Uit Figuur 4.4 is af te leiden dat de neerslag over 2012 (gemiddelde neerslag) beter verdeeld is in vergelijking met 2011. Dit zorgt ook voor een constantere conservering gedurende het hele groeiseizoen. Bij perceel 19 is er ook een grote reductie van het neerslagtekort te zien. In perceel 183 wordt erg veel geconserveerd ten opzichte van het neerslagtekort. In perceel 109 wordt er wel water geconserveerd, maar is dit aanzienlijk minder. Soortgelijke effecten zijn ook te vinden in de jaren 2013 en 2017 (beter verdeelde neerslag, weergegeven in 'Bijlage I – Conserveringskaarten en -grafieken per jaar'), alleen loopt daar het neerslagtekort hoger op.



Figuur 4.5: Grafieken van de conservering en tekorten voor 3 verschillende percelen (2014, maximaal neerslagtekort is 38 millimeter)

In Figuur 4.5 zijn de grafieken voor 2014 weergegeven, wat een nat groeiseizoen betrof. Hier is te zien dat er in vergelijking met het neerslagtekort er erg veel geconserveerd wordt.

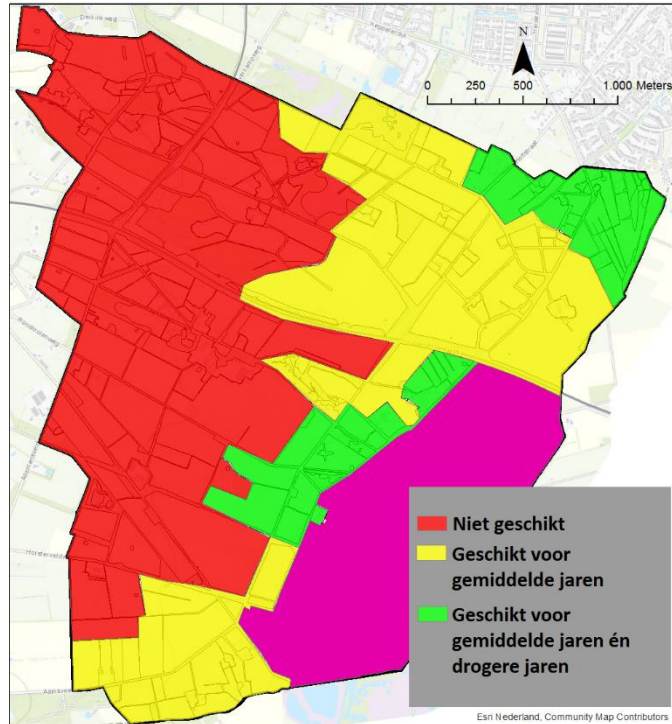


Figuur 4.6: Grafieken van de conservering en tekorten voor 3 verschillende percelen (2019, maximaal neerslagtekort is 304 millimeter)

In Figuur 4.6 zijn de grafieken van het jaar 2019 (droog jaar) weergegeven. Te zien is dat er in perceel 19 en 109 geen significante conservering plaatsvindt. Bij perceel 183 wordt het neerslagtekort ook niet heel erg gecompenseerd door de stuw, maar is er toch een aanzienlijke conservering te zien, die waarschijnlijk erg waardevol geacht wordt in een droog jaar.

4.3 Duiding

De resultaten zijn overwegend conform de verwachtingen op basis van de literatuurstudie. De verwachting was dat het conserveren effectiever zou zijn naarmate de percelen oostelijker liggen omdat hier de hellingshoek afneemt en het begin van de weerstandslaag dieper onder maaiveld ligt. Dit blijkt te kloppen volgens de kwantificatie. Op basis van de conserveringskaarten is een 'algemenere' conserveringskanskaart gemaakt, die de geschatte potentie van stuwen laat zien in verschillende deelgebieden. Deze is te zien in Figuur 4.7 en maakt onderscheid tussen gebieden waar bijna geen conservering optrad (rood), gebieden waar alleen in de gemiddelde jaren een noemenswaardige conservering optrad (geel) en als laatste gebieden waar er alle jaren een noemenswaardige conservering optrad (groen).



Figuur 4.7: Algemene conserveringskanskaart

Verder valt er uit de conserveringskanskaart af te leiden dat de freatische spreidingslengte kaart (Figuur 3.6, paragraaf 3.3) géén goede voorspelling geeft van de effectiviteit van stuwen voor een hellend dekzandgebied, wat waarschijnlijk te wijten is aan het feit dat de formule voor de spreidingslengte de helling én het totale taludoppervlak waar water kan infiltreren niet meeneemt.

Water wat zich achter de stuw in de berging bevindt kan via het talud van de watergang het perceel in infiltreren. Dit zal vooral gebeuren via de goed doorlatende zandlaag, en nauwelijks door een laag dat bijna geen water doorlaat, zoals klei of leem. Als er dus een ondiepe weerstandslaag aanwezig is direct naast de watergang, zal dit resulteren in een afname van de totale taludsoppervlakte waar water het perceel in kan infiltreren (Figuur J.0.34). Ditzelfde geldt voor een perceel met een hellingshoek in de watergang. Dit komt omdat water horizontaal achter de stuw staat. Gecombineerd met een hellingshoek in de watergang waardoor de bodem 'omhoog' loopt hoe verder er van de stuw afgegaan wordt, is er een steeds kleiner taludoppervlak waar water het perceel in kan infiltreren. Dit is waarschijnlijk de reden waarom er in het oosten veel minder geconserveerd wordt ten opzichte van het westen.

Daarnaast is ook het 'algemene probleem' van het conserveren met stuwen in Hoog-Nederland goed te zien in de resultaten. Het probleem in Hoog-Nederland is namelijk dat er alleen geconserveerd wordt wanneer er ook daadwerkelijk neerslag valt, omdat gebieden in Hoog-Nederland vrij afwateren

(afwateren door verval, niet door gemalen et cetera) waardoor er vaak geen vast peil gehandhaafd kan worden. Ook is het inlaten van gebiedsvreemd water om een waterpeil te handhaven vaak geen optie. Er komt alleen water in de berging te staan als er neerslag is gevallen, terwijl de conservering voor een agrariër of natuurbeheerder vaak juist het waardevolst is bij het uitblijven van neerslag. Hierbij dient wel vermeld te worden dat er een verschil bestaat tussen meteorologische droogte en hydrologische droogte. Bij het eerste wordt het uitblijven van neerslag bedoeld, bij hydrologische droogte wordt de droogte in de bodem bedoeld (lage grondwaterstanden). Het conserveren zal het doeltreffends zijn bij veel neerslag (en dus veel conservering) wanneer het hydrologisch gezien droog is. Hier is echter geen nader onderzoek naar gedaan in deze studie, maar zal wel invloed op de doeltreffendheid van de stuwen.

In het jaar 2011 is bijvoorbeeld te zien dat het merendeel van de conservering in het laatste deel van het groeiseizoen geschiedt, wanneer het toch al regent. Ook in het natte 2014 wordt er veel geconserveerd, alleen is hierbij de kanttekening te plaatsen of het ook nuttig is door de toch al natte omstandigheden, of dat er eventueel zelfs natschade optreedt. In 2012, 2013, 2016 en 2017 is te zien dat de neerslag verspreid is, waardoor er geleidelijk over het groeiseizoen geconserveerd wordt. In deze jaren zijn de stuwen waarschijnlijk zeer doeltreffend. De jaren 2018 en 2019 waren zeer droog met weinig neerslag, wat resulteert in weinig conservering. Er zijn maar weinig percelen die dan een noemenswaardige conservering laten zien.

Verder is er in de resultaten te zien dat de percelen met aangelegde buisdrainage over het algemeen slecht presteren. Dit komt doordat waterinfiltratie vanuit de buizen het perceel in niet is meegenomen in het model. De percelen met buisdrainage worden dus behandeld als 'normale' percelen, waar water alleen infiltreert via het talud en dus niet uit de draineerbuizen die verspreid liggen door het hele perceel. Daar komt nog bij dat deze percelen juist vaak heel breed zijn met alleen twee watergangen aan weerszijde, omdat de draineerbuizen de functie van conventionele watergangen 'overnemen'. De uitkomsten van dit model zijn dus waarschijnlijk niet representatief voor de (bredere) buis gedraineerde percelen.

Uit de literatuur bleek dat het type ondergrond in Hoog-Nederland er minder toe deed. Toch is er in de resultaten wel wat van terug te zien. Zo zijn er soms percelen (bijvoorbeeld perceel 79 en 84) die ten opzichte van de omliggende percelen minder conservering kennen, terwijl het bodemtype de enige karakteristiek is dat echt varieert ten opzichte van de omliggende percelen. Deze percelen bestaan uit lemig, uiterst fijn zand, wat een lage doorlatingscoëfficiënt (k) kent. De omliggende percelen (met verder grofweg dezelfde eigenschappen) bestaan uit matig fijn zand dat een zes keer zo hoge doorlatingscoëfficiënt kent. Dit is terug te zien in de hoeveelheid dat geconserveerd wordt en kan de bodemsoort wel degelijk een merkbaar effect hebben op het effect van stuwen.

5 Discussie

De kwantificatie is gedaan met een zelfgebouwd model. De uitkomsten van het model kunnen (nog) niet getoetst worden, omdat er nu eenmaal nog geen stuwen geplaatst zijn en er dus geen meetgegevens zijn om het model te valideren voor dit gebied. Het blijft tot nu toe dus een schatting zonder te weten of het berekende effect ook daadwerkelijk (ongeveer) hetzelfde zal zijn. Wel zijn de uitkomsten van het model conform de verwachtingen, wat ondersteunt dat het model in de juiste richting zit. Dit betekent dat de conclusie waarschijnlijk terecht is, maar dat de kwantiteit van de uitkomsten kan verschillen.

Verder is er in het model geen rekening gehouden met de intreeweerstand (de weerstand dat een druppel ondervindt van het talud om het perceel in te filtreren). De invloed van deze versimpeling op de resultaten is onbekend maar zal er zeker zijn. De intreeweerstand maakt het moeilijker voor water om het perceel in te filtreren en heeft daardoor vooral invloed op de dagen met een grote berging (nattere perioden). Het bergingswater zal minder snel het perceel in filtreren (minder liter per dag), waardoor de berging minder snel afneemt. Als er dan langdurig een grote instroom van water de berging in is, zal de berging eerder en langer 'overstromen' omdat de maximale berging sneller en langer bereikt zal worden. Deze 'overstroomde' liters water stromen weg uit de berging en kunnen in de resterende dagen niet meer het perceel in filtreren.

Daarnaast kent het model ook de plaats van de percelen niet. Hierdoor wordt er geen rekening gehouden met het feit dat 'overstroomd' water uit een voorgaande berging, de volgende berging aan kan vullen. In het model verdwijnt overstroomd water, wat in werkelijkheid niet zo is. Ook bestaat er de mogelijkheid dat twee percelen op één berging afwateren. Doordat het model de plaats van de percelen niet kent is dit ook niet meegenomen. Ook dit zal meer effect hebben op perioden met veel neerslag dan op perioden met weinig of gelijkmatig verdeelde neerslag.

Ten slot worden de uitkomsten in grote mate bepaald door de invoergegevens. Deze invoergegevens bevatten waarschijnlijk ook onnauwkeurigheden. Het type bodem is bijvoorbeeld bepaald op basis van bestaande boorgegevens. Op sommige plekken lagen de boringen verder van elkaar waardoor er meer percelen op één boorprofiel zijn gebaseerd. Ook de invoergegevens over de afstroom bij de percelen bevat waarschijnlijk onnauwkeurigheid omdat deze gegevens ook met een model berekend zijn. Deze zullen een grote invloed op de resultaten hebben, omdat deze gegevens het volume dat de berging instroomt bepalen.

6 Conclusie en aanbevelingen

6.1 Conclusie

Op basis van dit onderzoek is te zeggen dat de hoeveelheid water dat geconserveerd wordt door de stuwen grote verschillen kent binnen het gebied. Alvorens de uitvoering van de kwantificatie is er een verwachtingspatroon geschetst dat des te oostelijker de percelen gelegen zijn, des te meer er geconserveerd zal worden. Deze verwachting was voornamelijk gebaseerd op de toenemende dikte van de watervoerende laag en de vlakker hellingshoek naarmate de percelen oostelijker liggen. Deze kenmerken zijn af te leiden uit de geomorfologie alsmede de hellings- en bodemkaart van het gebied.

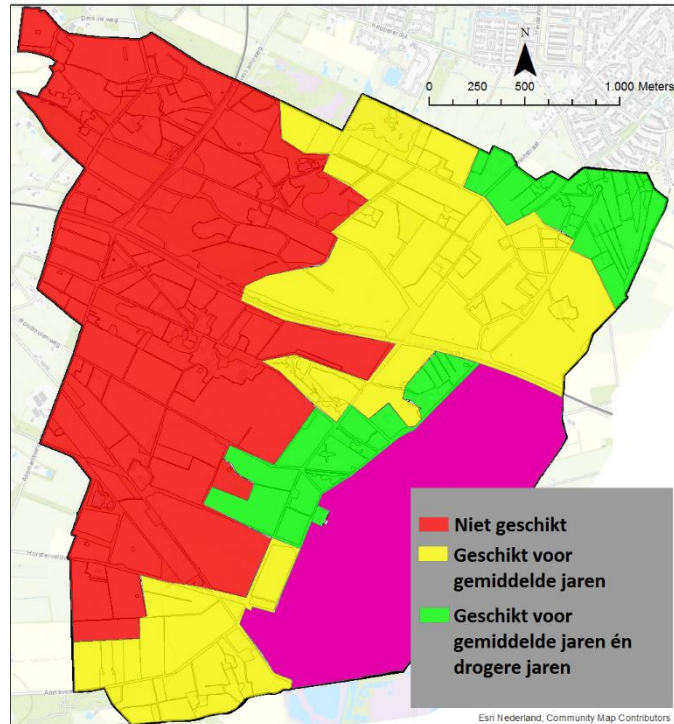
Deze scheidslijn tussen oost en west is zeer duidelijk op te merken in de resultaten, wat het vermoeden van de kwalitatieve studie bevestigt. Dit is ook te zien in Figuur 6.1. De informatie uit de literatuurstudie lijkt te kloppen, namelijk dat de helling en de aanwezigheid van een weerstandslaag het meest bepalend is voor de grootte van het effect dat veroorzaakt wordt door stuwen. Met de conserveringskaarten en de geschatte conserveringskansenkaart is de doelstelling van dit onderzoek behaald, namelijk:

“Het voorspellen van het effect van schotbalkstuwen op de grondwaterconservering per perceel tijdens het groeiseizoen”

Wel is het zo dat de conservering vooral in de natte perioden waarschijnlijk te hoog wordt ingeschat. Verder is er over de rentabiliteit van het effect door stuwen op basis van dit onderzoek geen uitspraak te doen. Hiervoor is een kosten-baten analyse nodig dat de opbrengsten uitzet tegen de kosten. Zo kan inzichtelijk gemaakt worden waar (en over welke tijdsperiode) stuwen rendabel zijn voor een agrariër of een natuurbeheerder. Dat is per slot van rekening degene die de schotbalkstuwjes moet bekostigen.

6.2 Aanbevelingen

De eerste aanbeveling is om de intreeweerstand mee te nemen in de berekeningen. Naar verwachting zal dat vooral in de nattere perioden een significante invloed hebben op de uitkomsten. Dit zou in de analytische formule geschreven kunnen worden (Ernst geeft daar een aparte analytische oplossing voor [16]). Ook zou er gezocht kunnen worden naar manieren om het model de plaats van de



Figuur 6.1: Algemene 'conserveringskansenkaart'

percelen te doen kennen. Hierdoor kunnen gedeelde bergingen alsmede het overstromingseffect meegenomen worden.

Doordat het model nu nog niet getoetst kan worden is de volgende aanbeveling om een pilot op te zetten zodat er bepaald kan worden hoeveel water er nu daadwerkelijk geconserveerd wordt door een stuw. Dit zou gedaan kunnen worden door twee soortgelijke percelen te nemen, om vervolgens bij één van de twee een schotbalkstuw te plaatsen (indien mogelijk met een invloedsafstand kleiner dan de lengte van het perceel). Als er vervolgens grondwaterstandmeters geplaatst worden in beide percelen kunnen de twee 'proeven' met elkaar vergeleken worden. Hierdoor kan het effect van het plaatsen van een stuw berekend kan worden. Zo kan er gekeken worden naar de werkelijke conservering veroorzaakt door de geplaatste stuw. Als dit voldoende effectief blijkt zou de 'algemene conserveringskanskaart' (Figuur 6.1) toegepast kunnen worden om andere waarschijnlijk effectieve locaties te bepalen.

Daarnaast is het wellicht nuttig om een literatuurstudie naar de invloed van stuwen op de percelen met buisdrainage uit te voeren. Dit is in deze studie niet gedaan, wat een niet-representatief beeld geeft van de conservering in percelen met buisdrainage. De verwachting is dat dit een aanzienlijk en doeltreffend conserverend effect kan opleveren, mits er genoeg water aanwezig is in de berging.

Verder zal er gekeken moeten worden naar de kosten versus de baten van de stuwen. Hierbij is het raadzaam om de invloedsafstand mee te nemen voor de bepaling van de te plaatsen stuwen. Hierna kan de rentabiliteit bepaald worden. Dan kunnen natuur beherende organisaties of een agrariër een betere beslissing maken, dat zijn namelijk degenen die de stuw moeten betalen, instellen en onderhouden. In de kosten-baten analyse kan dan bijvoorbeeld gekeken worden naar de geschatte extra opbrengsten door de stuw (rekening houdend met de meteorologische én hydrologische omstandigheden) alsook de kosten van bijvoorbeeld het bouwen, onderhouden en eventuele natschade. Dit zou kunnen aan de hand van de HELP-tabellen, het waternood instrumentarium of de waterwijzers landbouw en natuur.

Literatuur

- [1] J. Stumpe and F. Tielrooij, “Waterbeleid voor de 21e eeuw: Geef water de ruimte en de aandacht die het verdient. Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw,” Commissie WB21, Aug. 2000. Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A102e013a-1357-4087-b9f3-387f877c793f>.
- [2] Karel van Hussen, I. van de Velde, R. Läkamp, and S. van der Kooij, “Economische schade door droogte in 2018,” Rotterdam, 2019. [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/publicaties/2019/04/03/achtegronddocumenten-beleidstafel-droogte/Economische+schade+door+droogte+in+2018.pdf>.
- [3] J. Stumpe, “basisrapport bij het advies van de commissie waterbeheer 21e eeuw.pdf,” 2000.
- [4] J. van Bakel, B. Bardoel, D. Boland, N. Entzinger, I. Menger, and C. van Rens, “Water vasthouden aan de bron; praktijkonderzoek om wateroverlast te verminderen door bovenstrooms water vast te houden.,” Noord-Brabant, 2013.
- [5] ProjectgroepWB21, “WB 21 in Zeeland; Deelstroomgebiedsvisie Zeeland,” Zierikzee, Jun. 2004. Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://www.zeeland.nl/digitaalarchief/zee0500428>.
- [6] E. ing. Zaaijer, “Evaluatie en optimalisatie LOP-stuwen,” Veldhoven, 2013. [Online]. Available: <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2014-1948/1/pdf/exb-2014-1948.pdf>.
- [7] Waterschap Vechstroom, “Wat doen wij bij droogte en wateroverlast.” <https://www.vechtstroom.nl/over/klimaat/droogte-watertekort/wij-droogte/> (accessed May 06, 2020).
- [8] LTO Nederland, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, and Unie van Waterschappen, “Stuw-tjes en andere maatregelen om water langer vast te houden in waterlopen,” *Deltaprogramma Agrarisch Waterbeheer (DAW)*. pp. 1–2, Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: https://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/boek/stuw-tjes_om_water_vast_te_houden.pdf.
- [9] M. P. Van Keulen and J. A. P. H. Vermulst, “Waterconservering in Nederland; Deel 1: verkenning van mogelijkheden,” Den Haag, Mar. 1997. Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/356297>.
- [10] K. E. Wit, H. . T. L. Massop, and J. G. te Beest, “Relatie tussen oppervlakte- en grondwater in de provincie Drenthe,” Wageningen, Dec. 1991. Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/333618>.
- [11] J. W. H. van der Straten and N. ter Linde, “Inrichtings- en beheersvisie stroomgebied Glanerbeek (Een laaglandbeek in Zuid-Oost Twente); Hoofdrapport,” Wageningen, Jan. 1995. Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/398398>.
- [12] “Waterconservering; Lop-stuw en andere maatregelen.” Waterschap De Dommel, p. 12, [Online]. Available: https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/31719431/Waterconservering_Dommel.pdf?version=1&modificationDate=1312300573000&api=v2.
- [13] J. Van Bakel, M. Van De Wouw, A. Poelman, and L. Stuyt, “platform platform Water vasthouden aan de bron: inzicht door modelberekeningen,” *H2O*, vol. 14/15, pp. 35–38, 2007, Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/343176>.
- [14] N. Kresic, *Quantitative solutions in hydrogeology and groundwater modeling*. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1997.
- [15] G. de Marsily, *Quantitative Hydrogeology: Groundwater Hydrology for Engineers*. Academic Press, 1986.

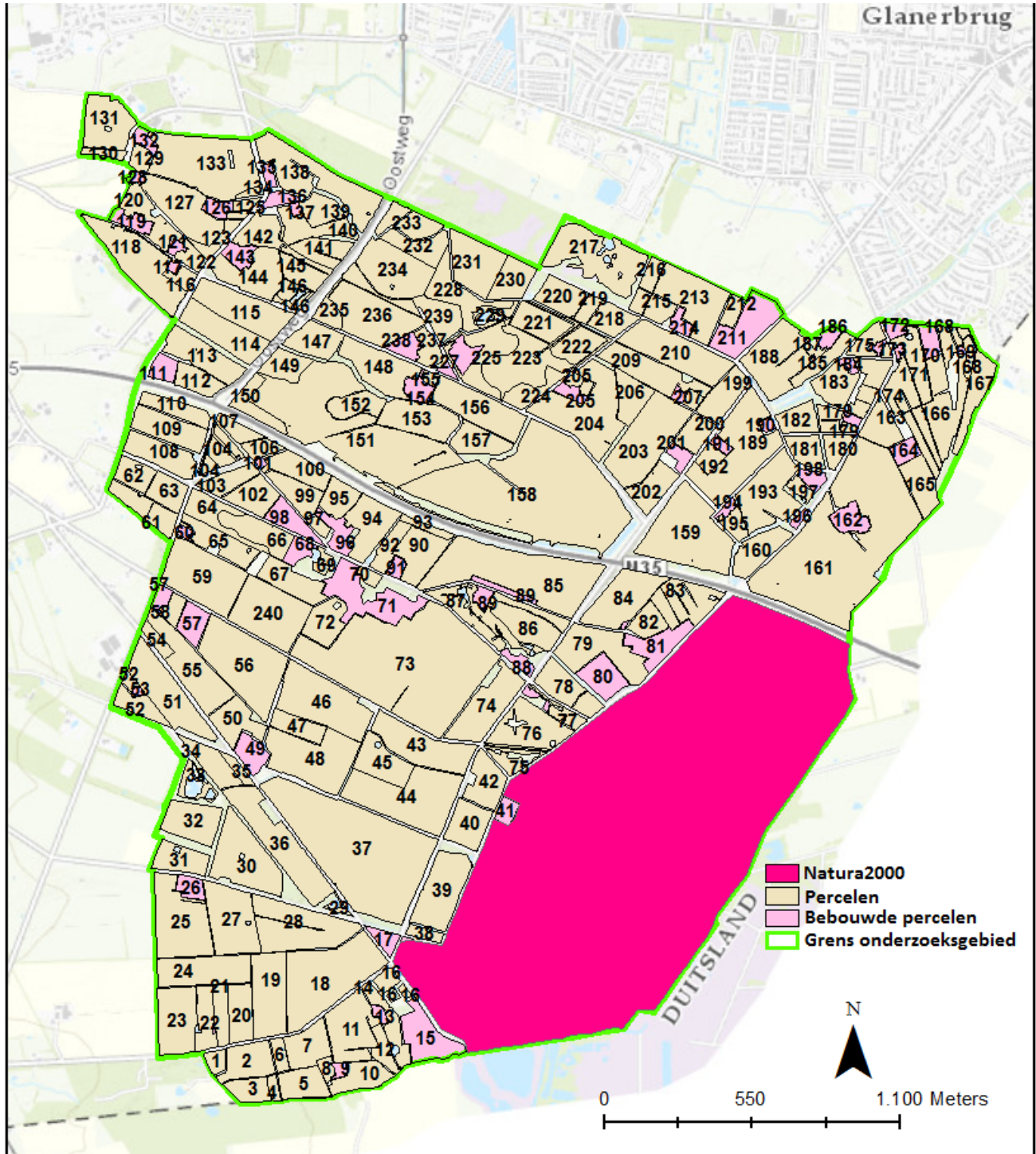
- [16] L. F. Ernst, "Verhoging van grondwaterstanden en vermindering van afvoer door opstuwning van beken," *Mededeling / Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding no. 8*, no. Versl. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O. No. 3 (1958)/Overdruk uit Verslagen Technische Bijeenkomsten 11-12. ICW, Bennekom, pp. 53–69, Sep. 07, 1959, Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/192349>.
- [17] M. J. Attema, "De invloed van klimaatverandering op de afvoerregimes binnen een hellend dekzandgebied in Twente," Enschede, 2020.
- [18] Lenntech, "Verdamping van water (lake en pan evaporation) berekenen." <https://www.lenntech.nl/calculators/verdamping.htm> (accessed Jul. 03, 2020).
- [19] M. P. van Keulen, "Waterconservering in Nederland; Deel II: Ervaringen met waterconservering," Den Haag, Mar. 1997. Accessed: May 06, 2020. [Online]. Available: <https://docplayer.nl/55248318-Waterconservering-in-nederland.html>.
- [20] Waterschap Brabantse Delta, "Projectplan conform Waterwet." pp. 1–27, [Online]. Available: <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2014-1943/1/pdf/exb-2014-1943.pdf>.
- [21] E. Oomen, "Evaluatie Lop-stuwen," 's-Hertogenbosch, 2010.
- [22] P. J. T. Van Bakel, A. Poelman, and L. C. P. M. Stuyt, "Water vasthouden in de provincie Noord-Brabant; Inzicht door modelberekeningen," Wageningen, 2007. [Online]. Available: <http://edepot.wur.nl/36423>.
- [23] J. S. Bell, J. W. van 't Hullenaar, and A. J. M. Jansen, "Ecohydrologische systeemanalyse dal van de Glanerbeek : verkenning van de mogelijkheden voor herstel en uitbreiding van heischrale graslanden in het natura200-gebied Aamsveen : definitief rapport," Zwolle, Apr. 2016. Accessed: May 29, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/380867>.
- [24] J. S. Bell, J. W. van 't Hullenaar, and A. J. M. Jansen, "Ecohydrologische systeemanalyse Aamsveen," Zwolle, 2018.
- [25] S. Witteveen, "Variantenanalyse Glanerbeek in het Aamsveen," Arnhem, 2019.
- [26] A. J. M. Koomen and G. J. Maas, "Geomorfologische Kaart Nederland (GKN); Achtergronddocument bij het landsdekkende digitale bestand," Wageningen, 2004. Accessed: May 13, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/40241>.
- [27] W. T. Wassink, "BEEKDALLANDSCHAPPEN; Een morfologisch onderzoek in de zandgebieden van Nederland," Wageningen, Mar. 1999. Accessed: May 13, 2020. [Online]. Available: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/193309>.
- [28] J. A. M. ten Cate, "GEOMORFOLOGISCHE KARTERING STREEKPLAN TWENTE," Wageningen, Aug. 1979. Accessed: May 13, 2020. [Online]. Available: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/501741>.
- [29] M. J. M. Kuijper, D. M. D. Hendriks, R. J. J. Van Dongen, S. Hommes, J. Waaijenberg, and B. Worm, "Sturen op Basisafvoer; Een analyse van zomerafvoeren in het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel en hoe daar in de toekomst mee om te gaan (kenmerk: 1202530-000)," 2012. Accessed: May 21, 2020. [Online]. Available: <https://soilpedia.nl/Bikiviki documenten/SKB Projecten/xx0009 Sturen op Basisafvoer/xx0009 Sturen op Basisafvoer.pdf>.
- [30] J. J. de Vries, *Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands: a groundwater-hydrological approach to the functional relationship between the drainage system and the geological and climatical conditions in a Quaternary accumulation area*. Amsterdam: Rodopi, 1974.
- [31] T. van der Hammen, "de Quartair-geologische geschiedenis van Oost-Twente," *Anderson al., 1961. Geol. van Twente gedenkboek, tevens Spec. Uitg. van "Grondboor en Hamer", Tijdschr. van Ned. Geol. Vereniging, ter gelegenheid van het gouden Jubil. van het natuurhistorisch museum "Natura Docet" te*, vol. 5, no. 8, p. 128, 1961.

- [32] J. J. de Vries, *Inleiding tot de hydrologie van Nederland*. Amsterdam: Rodopi NV, 1980.
- [33] H. P. Gorter, *Ruimte voor natuur; 80 jaar bezig voor de natuur van de toekomst*. 's-Gravenland: Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland, 1984.
- [34] H. Hagens, *Molens Mulders Meesters : negen eeuwen watermolens in de Gelderse Achterhoek, Salland en Twente*. Hengelo: Smit, 1978.
- [35] P. Ente, J. C. F. M. Haans, and M. Knibbe, "De bodem van Overijssel, de Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland : toelichting bij blad 3 van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 200.000," Wageningen, 1965. Accessed: May 14, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/379591>.
- [36] F. de Vries, W. J. M. de Groot, T. Hoogland, and J. Denneboom, "De Bodemkaart van Nederland digitaal; Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie," Wageningen, 2003. Accessed: May 29, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/21850>.
- [37] Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond, "Ondergrondgegevens | DINOLOket." <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens> (accessed May 29, 2020).
- [38] Gemeente Enschede, "Enschede Ondergronds." <https://enschede.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=93af73a10d1c43d3b911c546005ae3be> (accessed May 29, 2020).
- [39] C. H. Holthuis, *Bronbemaling*. Venlo: Van Spijk B.V., 1979.
- [40] N. A. de Ridder, "Bepaling van geohydrologische constanten volgens klassieke onderzoekingsmethoden," *H2O Tijdschr. voor Watervoorzien. en afvalwaterbehandeling*, vol. 10, no. 2, pp. 34–44, 1977, Accessed: May 29, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/401055>.
- [41] H. Wösten *et al.*, "BOFEK2012, de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland," Wageningen, Jan. 2013. Accessed: May 29, 2020. [Online]. Available: <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrapporten/AlterraRapport2387.pdf>.
- [42] B. de Doelder and V. Lubbers, "Doorlatendheidsmeting met sondeertechniek; Grip op doorlatendheid," *Presentatie*. KIVI-NIRIA, Den Haag, Sep. 20, 2014, Accessed: Jun. 02, 2020. [Online]. Available: [https://www.kivi.nl/uploads/media/564603cf3572c/Doorlatendheidsmeting met sondeertechniek - Bert de Doelder & Volkert Lubbers.pdf](https://www.kivi.nl/uploads/media/564603cf3572c/Doorlatendheidsmeting%20met%20sondeertechniek%20-%20Bert%20de%20Doelder%20&%20Volkert%20Lubbers.pdf).
- [43] G. J. Heij, "Schatting van de hydraulische weerstand van slechtdoorlatende lagen," *H2O Tijdschr. voor Watervoorzien. en afvalwaterbehandeling*, vol. 17, no. 14, pp. 286–291, 1984, Accessed: Jun. 02, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/384573>.
- [44] H. T. L. Massop and C. Schuiling, "Buisdrainagekaart 2015; Update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmeitellingen van 2012.," Wageningen, Feb. 2016. Accessed: Jun. 03, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/370378>.
- [45] J. W. J. van der Gaast and H. T. L. Massop, "Spreidingslengte voor het beheersgebied van Waterschap Veluwe; Een maat voor het bufferzonebeleid," Wageningen, 2003. Accessed: Jun. 04, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/43657>.
- [46] J. van der Gaast, H. Vroon, H. T. L. Massop, and J. Wesseling, "Landsdekkende schematisering en parameterisatie van het topsysteem ten behoeve van hydrologische modellering," Wageningen, 2014. Accessed: Jun. 04, 2020. [Online]. Available: <https://edepot.wur.nl/367623>.
- [47] J. W. J. Van der Gaast, H. T. L. Massop, H. R. J. Vroon, and I. G. Staritsky, "Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken.," Wageningen, 2006. Accessed: Jun. 04, 2020. [Online]. Available: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/28844>.
- [48] J. W. . . Massop and H. T. L. van der Gaast, "Intreeweerstand, nader beschouwd; procesmatig onderzoek naar de relatie tussen de drainageweerstand en de intreeweerstand," Wageningen, 2006. Accessed: Jun. 18, 2020. [Online]. Available: <http://www2.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrapporten/AlterraRapport1350.pdf>.

- [49] “Nationaal Hydrologisch Instrumentarium - NHI : modelrapportage,” [Nederland] : NHI, Dec. 2008. Accessed: Jun. 04, 2020. [Online]. Available: http://nhi.nu/documenten/DR8/NHI2008DR8_v1_Buisdrainage.pdf.
- [50] Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), “KNMI - Daggegevens van het weer in Nederland ,” 2020. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens> (accessed Jul. 08, 2020).
- [51] Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), “KNMI - Start droogteseizoen en neerslagtekort,” Mar. 21, 2020. <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/start-droogteseizoen-en-neerslagtekort> (accessed Jul. 08, 2020).
- [52] G. J. Maas, W. M. Van der Meij, S. P. J. Van Delft, and A. H. Heidema, “Toelichting bij de legenda Geomorfologische kaart van Nederland 1:50 000 (2019).,” Wageningen, 2019. Accessed: May 12, 2020. [Online]. Available: <https://legendageomorfologie.wur.nl/>.
- [53] J. Claus, “Gezamenlijke interpretatie van geofysische boorgatmetingen en pompproeven in quartaire afzettingen van de historische polders te Oostende.,” Gent, 2010.
- [54] W. Borren, W. Berendrecht, J. Heijkers, J. Snepvangers, and A. Veldhuizen, “Ontwikkeling HDSR hydrologisch modelinstrumentarium-HYDROMEDAH Deelrapport 1: Beschrijving MODFLOW-model 20080924,” 2009. Accessed: Jul. 12, 2020. [Online]. Available: http://hydromedah.nl/downloads/0912-0231_HYDROMEDAH_MODFLOW_20080924.pdf.
- [55] Cultuurtechnische vereniging, “Cultuur technisch vademecum; Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum ,” Utrecht, 1988.

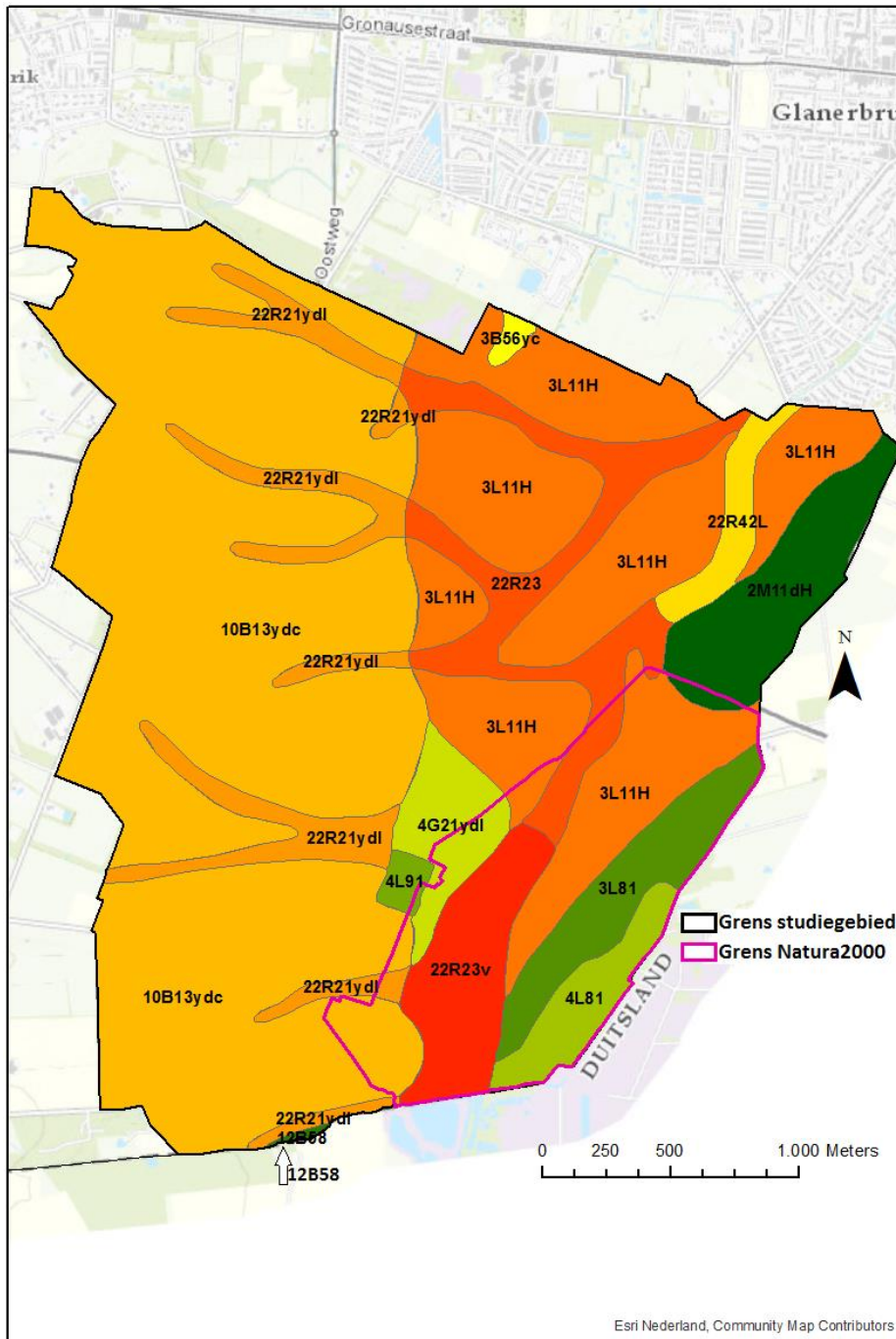
Bijlagen

Bijlage A – Gebiedsindeling



Figuur A.0.1: Gebiedsindeling (perceel nummering) studiegebied Glanerbeek

Bijlage B – Geomorfologische kaart van studiegebied Glanerbeek



Figuur B.0.2: Geomorfologische kaart van studiegebied Glanerbeek

In de geomorfologische kaart zijn codes gegeven die de verschillende landvormen duiden. Meer informatie over deze codes staan in Tabel 2, en de sub-hoofdstukjes over de verschillende landvormen. Voor alle achtergrondinformatie en de opzet van de codering wordt nadrukkelijk verwezen naar:

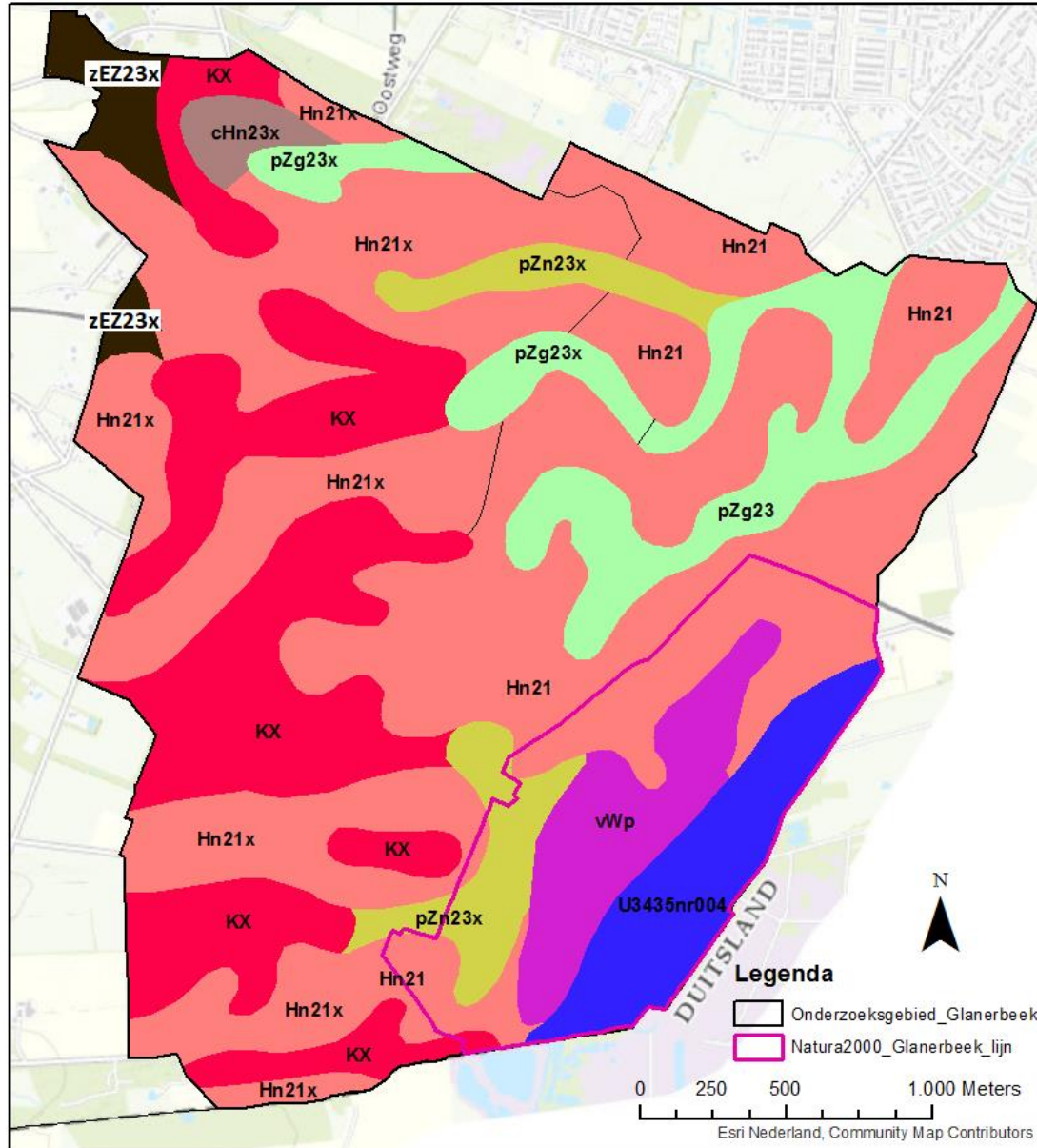
“G. J. Maas, W. M. Van der Meij, S. P. J. Van Delft, and A. H. Heidema, “Toelichting bij de legenda Geomorfologische kaart van Nederland 1:50 000 (2019),” Wageningen, 2019. Accessed: May 12, 2020. [Online]. Available: <https://legendageomorfologie.wur.nl/>.”

Tabel 2: Informatietabel landvormen [52]

Codering	Landvorm	Deklaag	Hoogteverschil landvorm (m)	Helling (°)
10B13ydc	Grondmoreenerug	Dekzandlaag (d) / oud-bouwlanddek (c)	0,5-1,5	1-8 / > 8
22R21ydl	Droogdal	Dekzandlaag (d) / löss (l)	0,25-0,5	< 1
22R23	Dalvormige laagte	-	0,25-0,5	< 1
22R23v	Dalvormige laagte	Opgevuld met veen (v)	0,25-0,5	< 1
22R42L	Beekdalbodem	Beekafzetting	0,25-0,5	< 1
3B56yc	Gordeldekzandrug	Oud-bouwlanddek (c)	0,5-1,5	0,25-1
12B58	Landduin	Zand	5-12,5	1-8
4G21ydl	Daluitspoelingswaaier	Bedekt met dekzand (d) en/of met (zandige) löss (l)	1,5-5	0,25-1
4L91	Storthopen	-	1,5-5	0,25-1
3L11H	Grondmorenewelvingen	-	0,5-1,5	0,25-1
3L81	Veenrestruggen	-	0,5-1,5	0,25-1
4L81	Veenrestruggen	-	1,5-5	0,25-1
2M11dH	Vlakte van grondmorene	Bedekt of opgevuld met dekzand (d)	0,25-0,5	< 0,25

Bijlage C – Bodemkaart van studiegebied Glanerbeek

In Figuur C.0.3 is de bodemkaart van het studiegebied Glanerbeek weergegeven. De verklaring van de bodemcodes is opgenomen in Tabel 3.



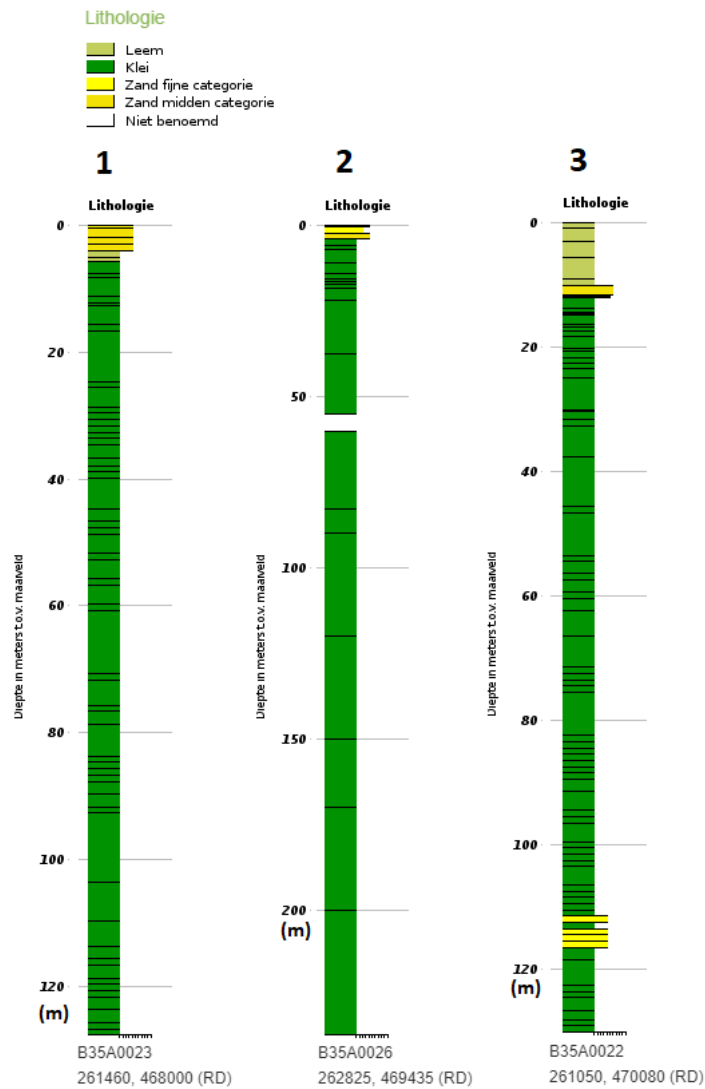
Figuur C.0.3: Bodemkaart (inclusief codes) van studiegebied Glanerbeek

Tabel 3: Bodemcodes uit het studiegebied Glanerbeek (Natura2000 niet opgenomen) [36]

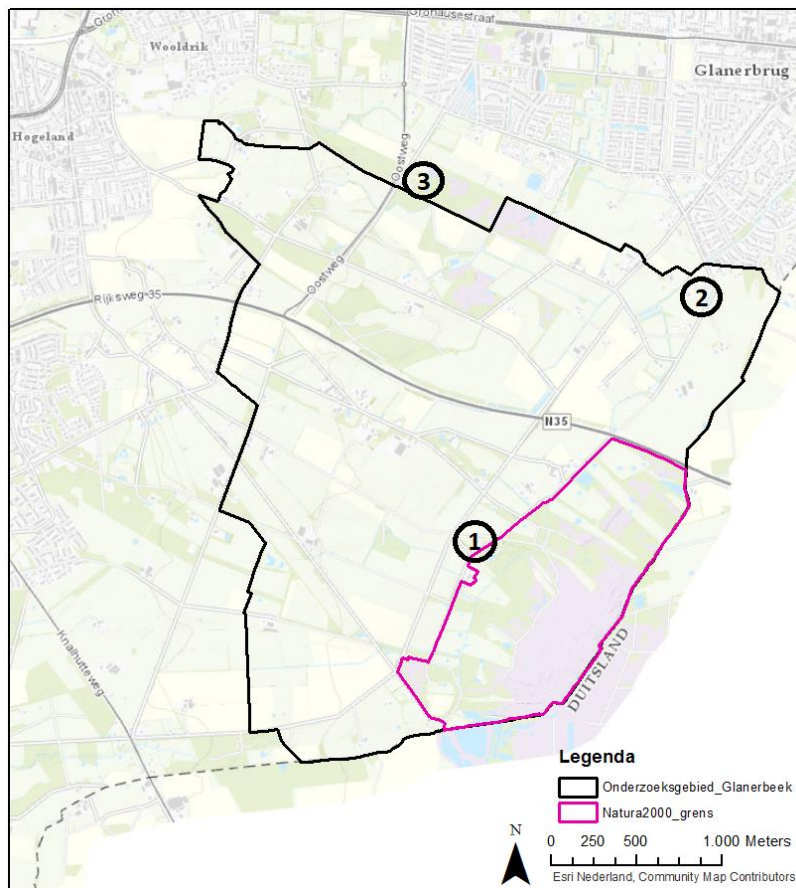
Bodemcode	Bodemprofiel	Bodem Beschrijving
KX	Keileem, potklei, enz.	Zeer ondiepe keileem, potklei, enz.
Hn21	Veldpodzolgronden	Leemarm en zwak lemig fijn zand

cHn23	Laarpodzolgronden	Lemig fijn zand
pZn23	Gooreerdgronden	Lemig fijn zand
pZg23	Beekeerdgronden	Lemig fijn zand
zEZ23	Hoge zwarte Enkeerdgronden	Lemig fijn zand
*Indien toevoeging x: Keileem of potklei, beginnend tussen 40 en 120 cm en ten minste 20 cm dik		

Bijlage D – Diepe boringen in studiegebied Glanerbeek

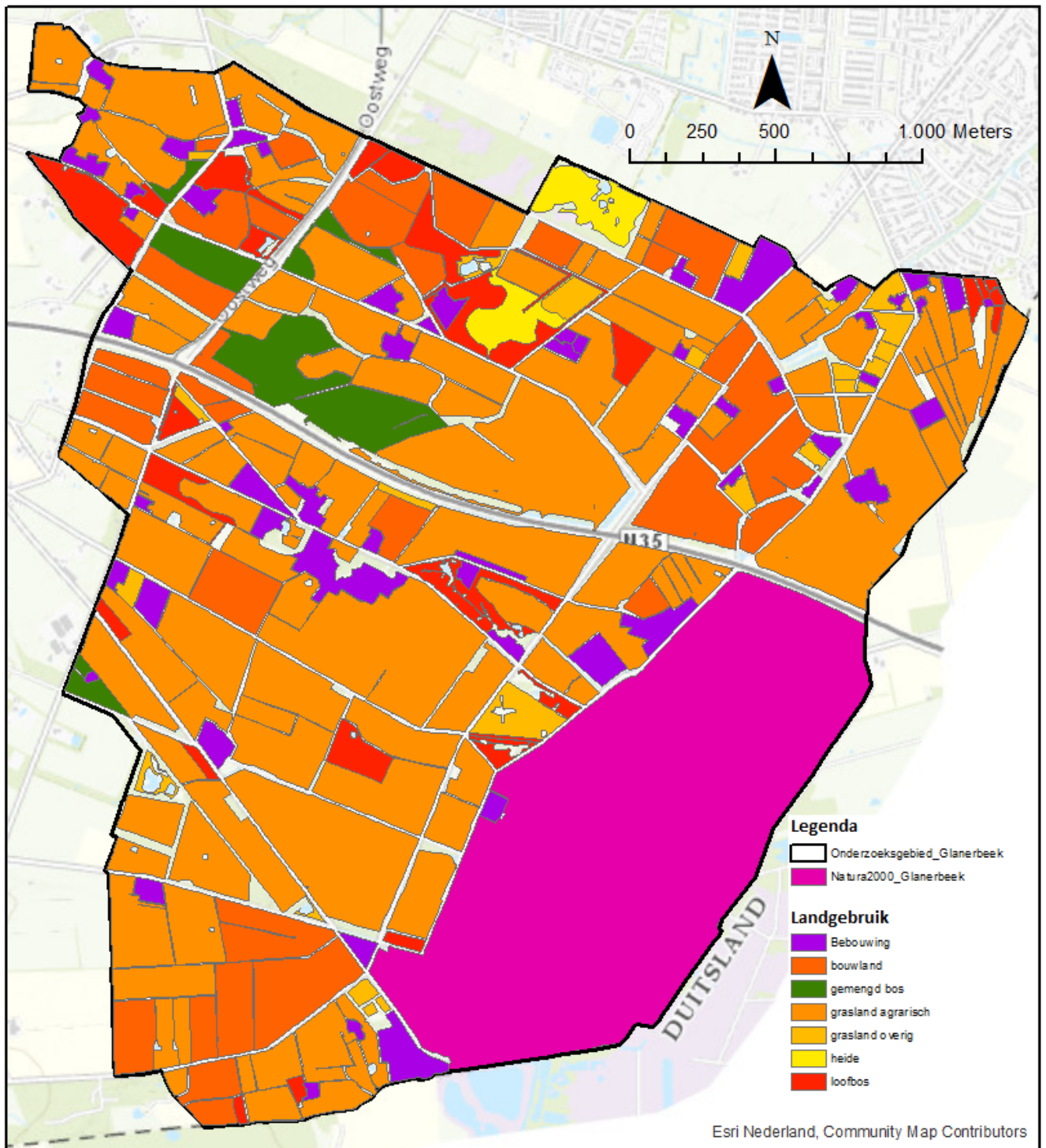


Figuur D.0.4: Diepe boringen met legenda [37]



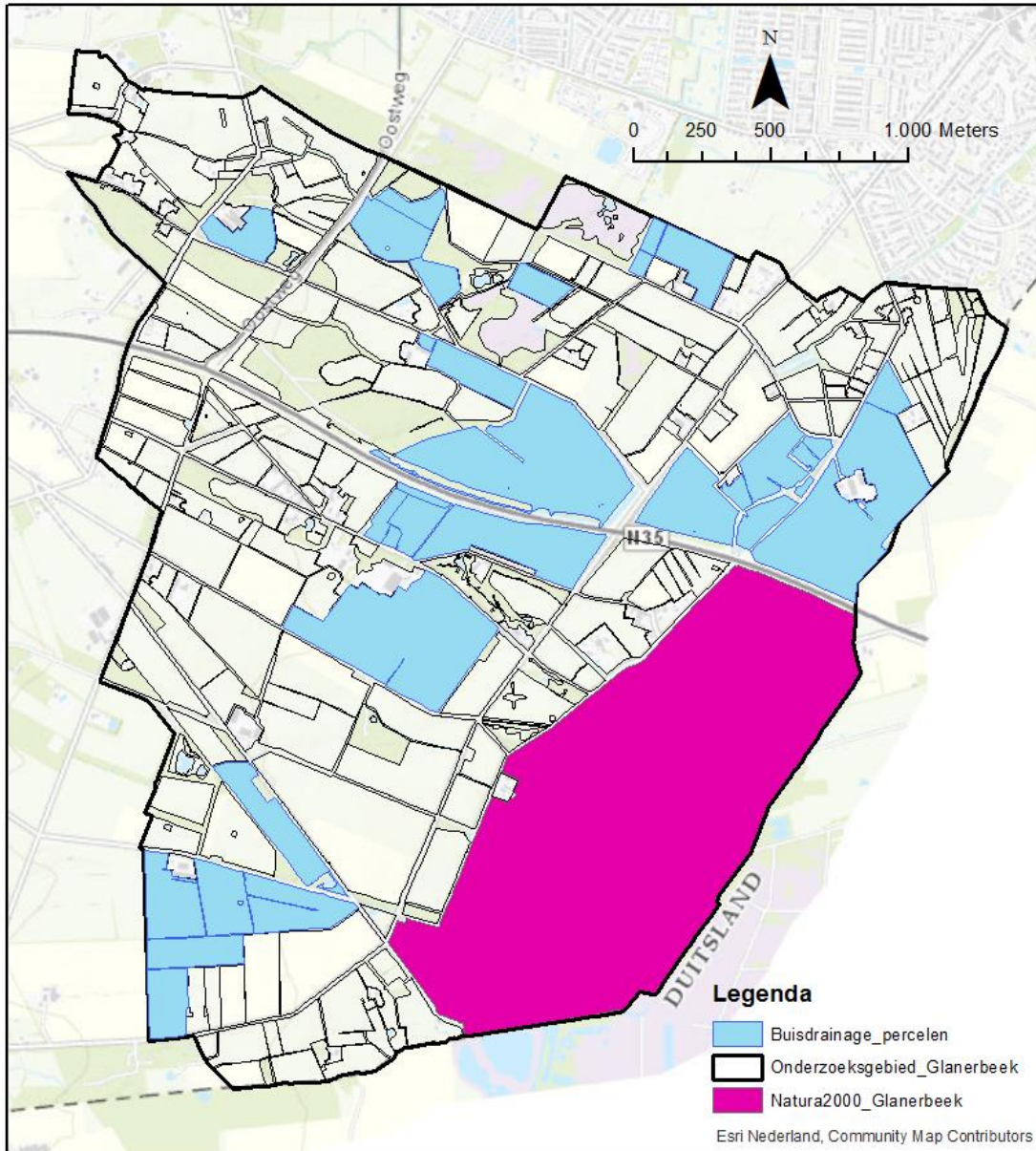
Figuur D.0.5: Plaats (en nummering) van de diepe boringen

Bijlage E – landgebruik in studiegebied Glanerbeek



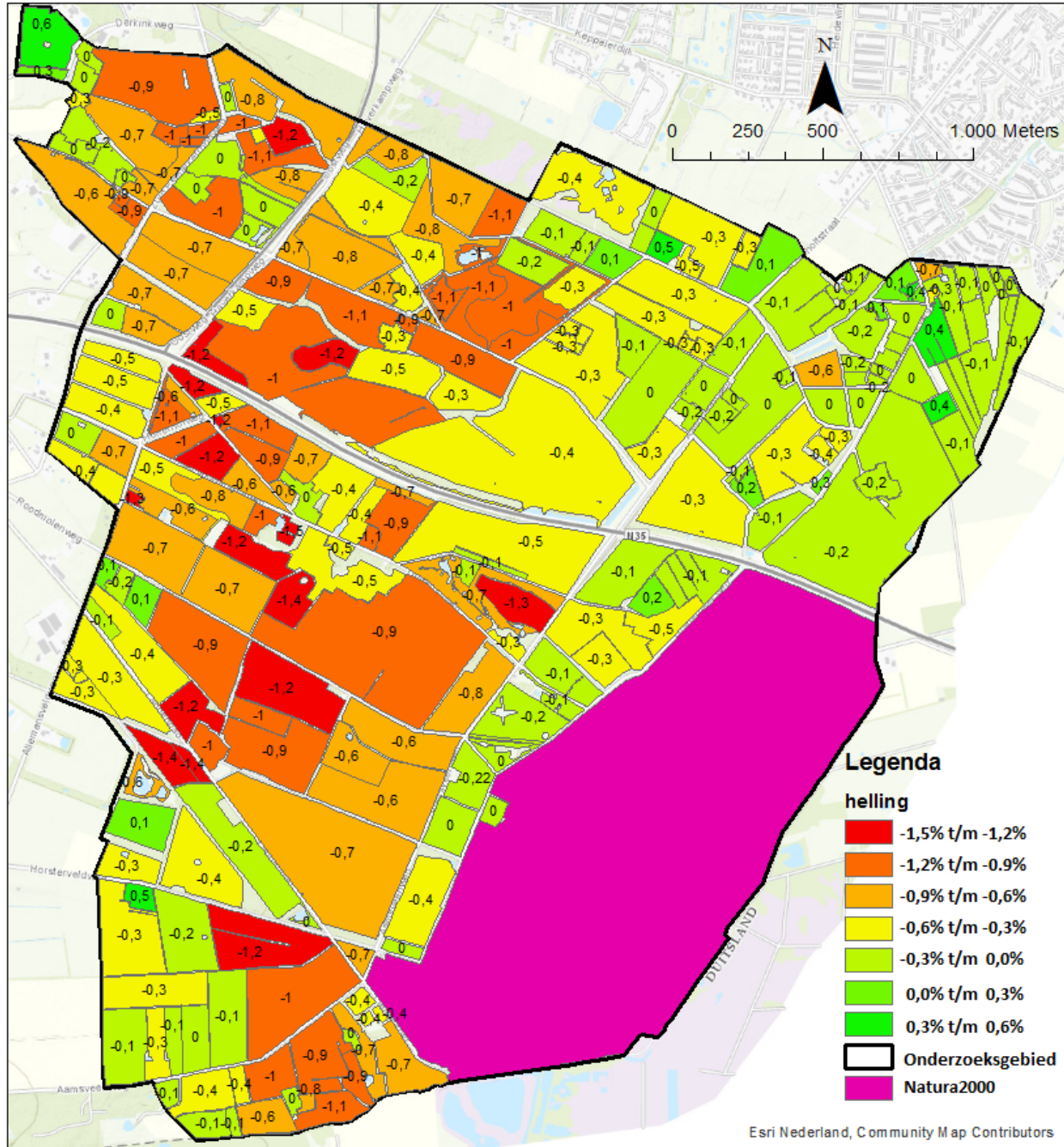
Figuur E.0.6: Landgebruik in studiegebied Glanerbeek

Bijlage F – Percelen met buisdrainage in studiegebied Glanerbeek



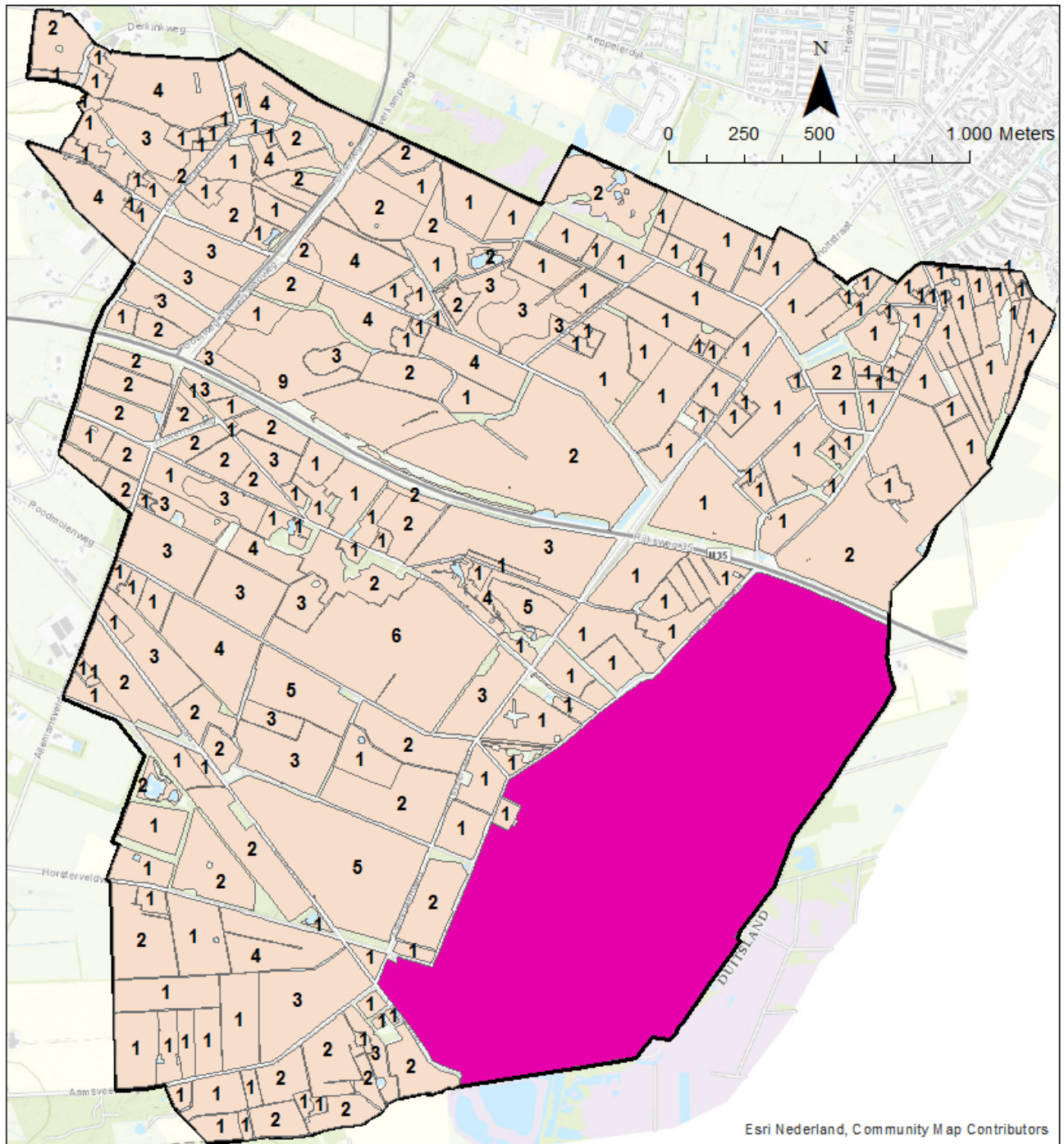
Figuur F.0.7: Percelen met buisdrainage in studiegebied Glanerbeek [44]

Bijlage G – Hellingspercentage



Figuur G.0.8: Hellingspercentage per perceel

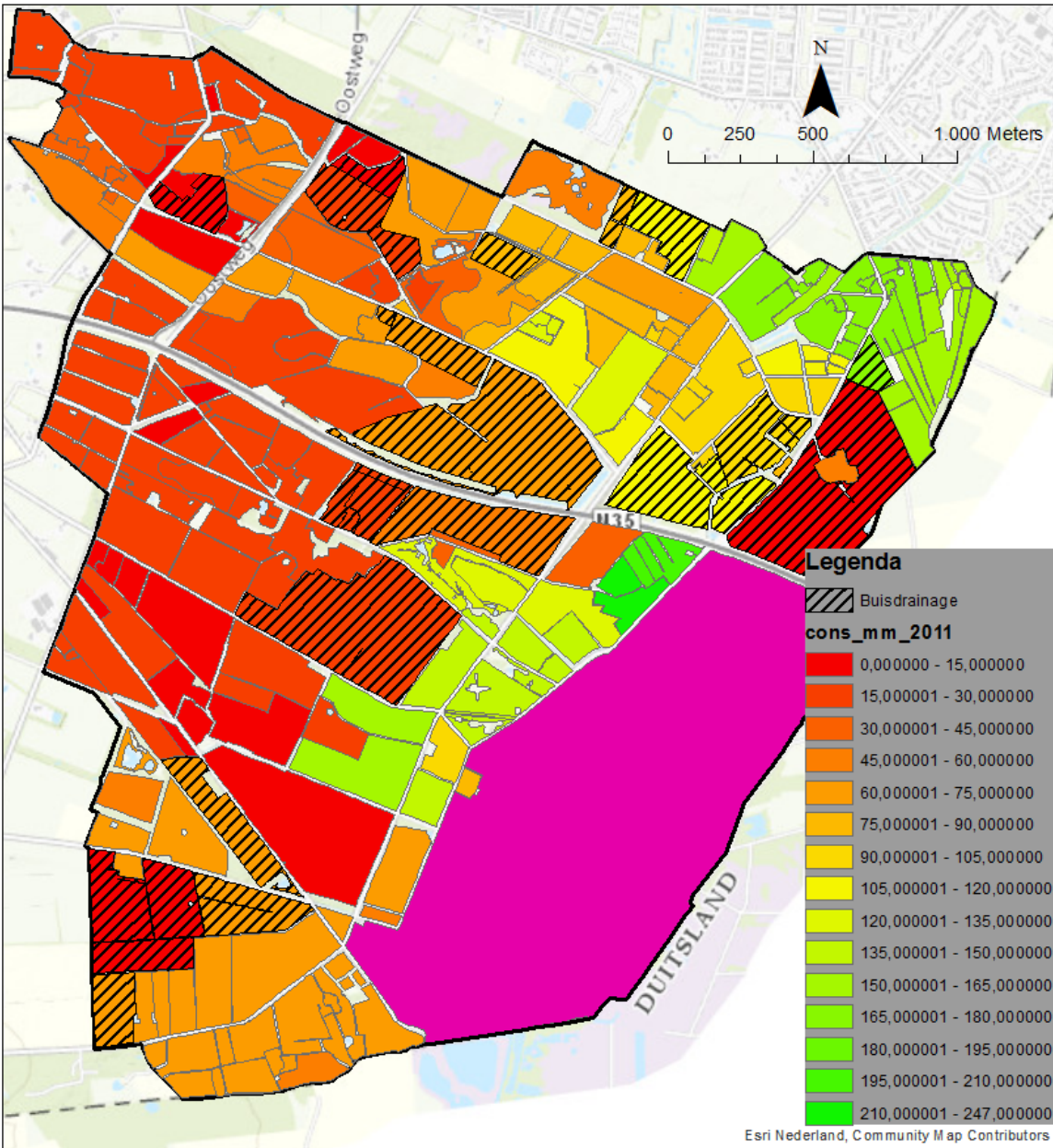
Bijlage H – Benodigde stuwen



Figuur H.0.9: Aantal stuwen dat nodig zijn om het perceel volledig beïnvloed te laten worden per watergang

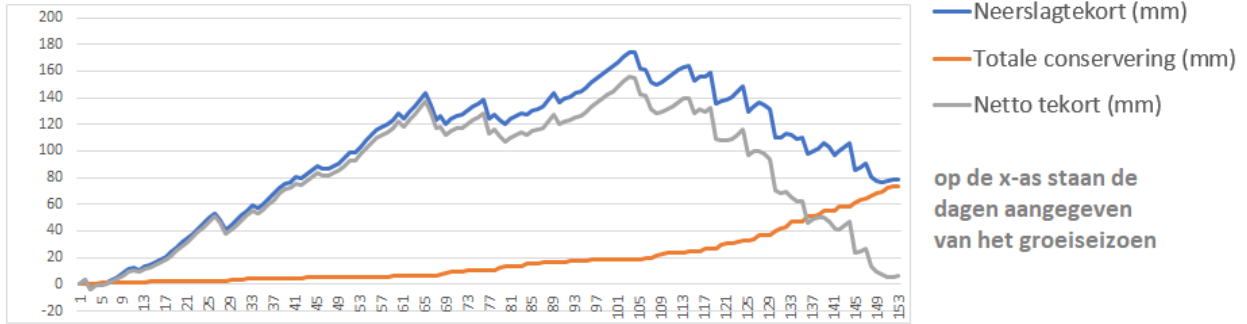
Bijlage I – Conserveringskaarten en-grafieken per jaar

Groei seizoen 2011

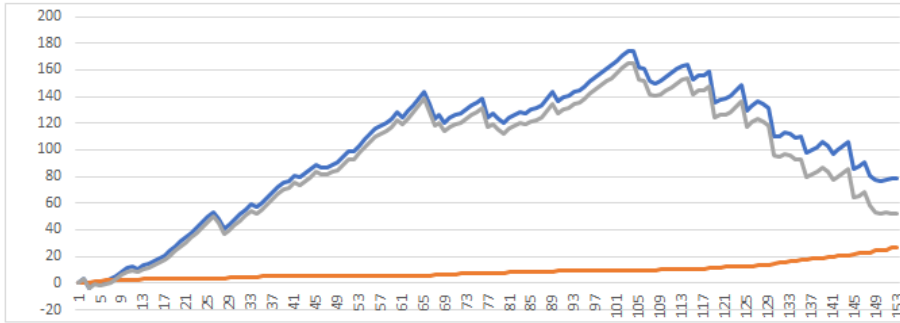


Figuur I.0.10: De conservering per perceel weergegeven door middel van intervallen (2011)

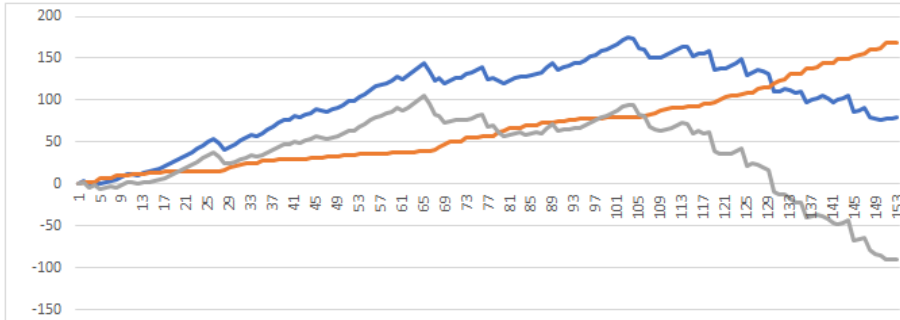
Perceel 19:



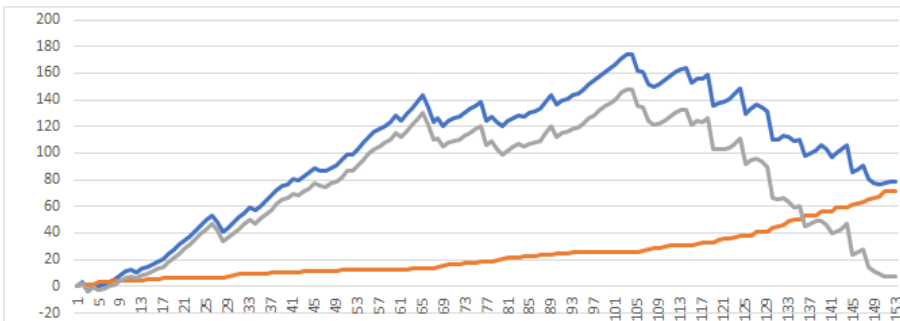
Perceel 109:



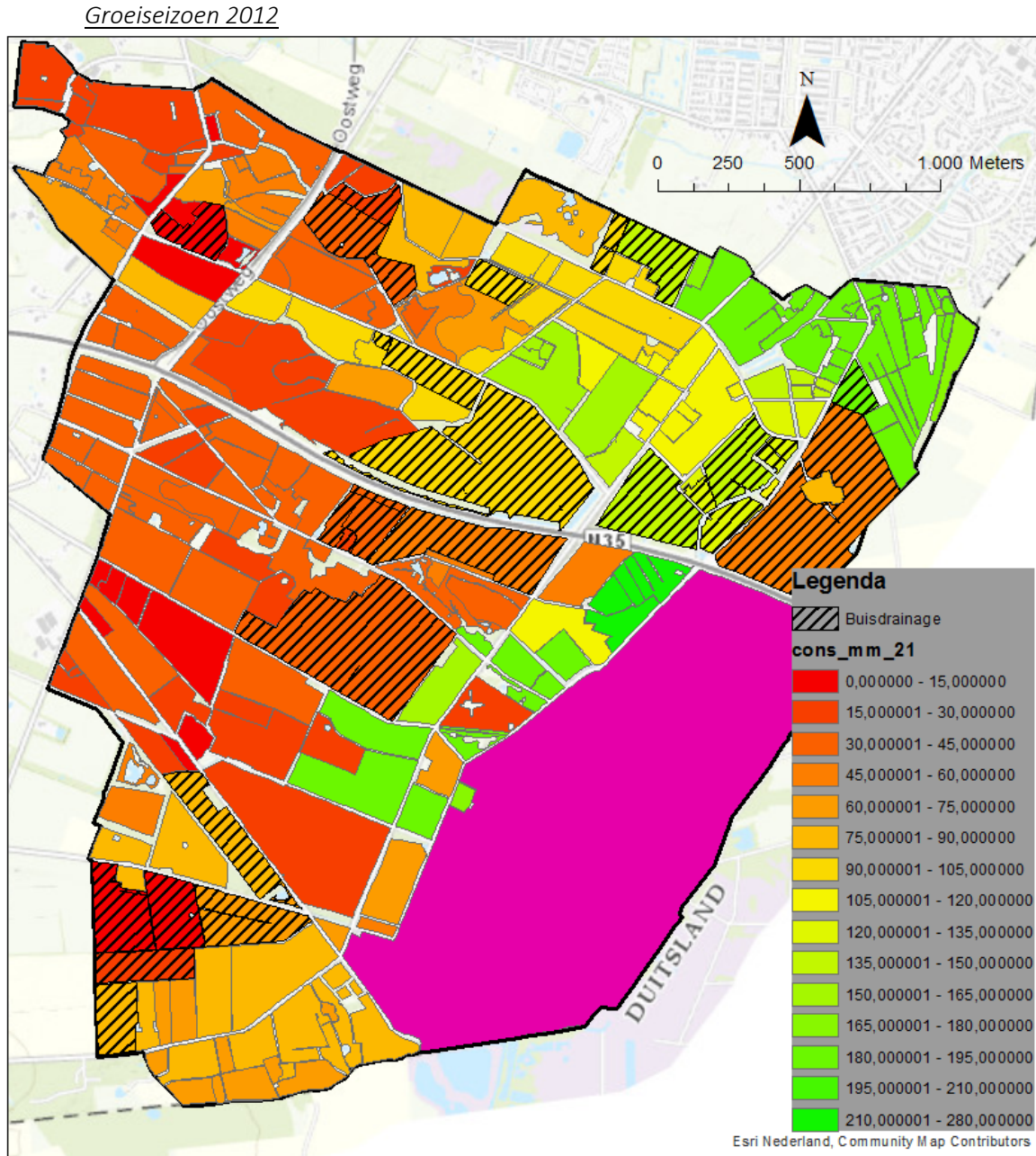
Perceel 183:



Perceel 231:

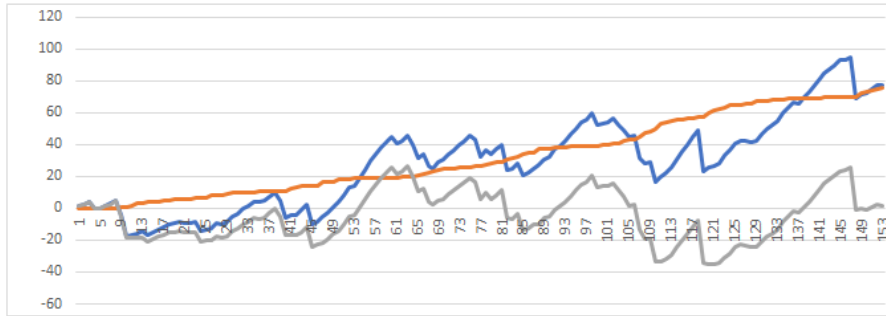


Figuur I.0.11: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2011)



Figuur I.0.12: De conservering per perceel weergeven door middel van intervallen (2012)

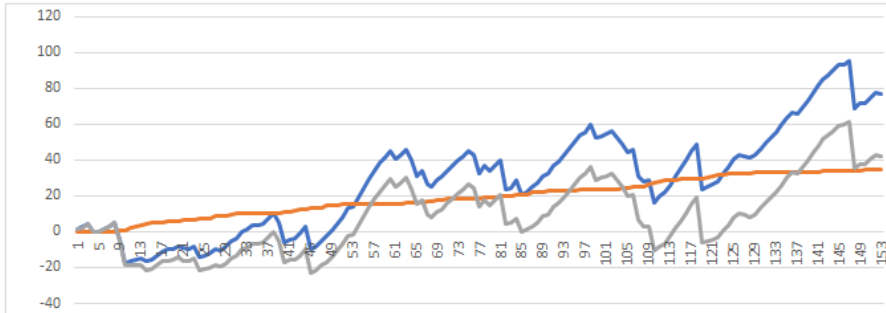
Perceel 19:



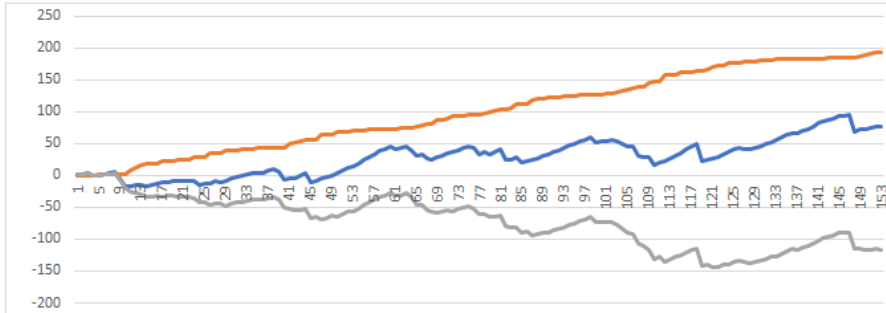
— Neerslagtekort (mm)
 — Totale conservering (mm)
 — Netto tekort (mm)

op de x-as staan de dagen aangegeven van het groeiseizoen

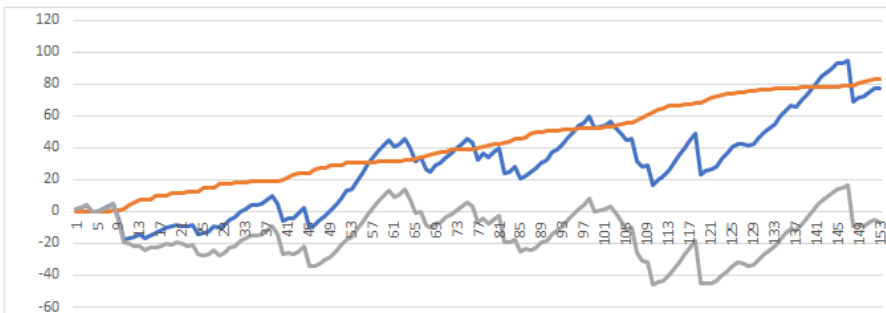
Perceel 109:



Perceel 183:

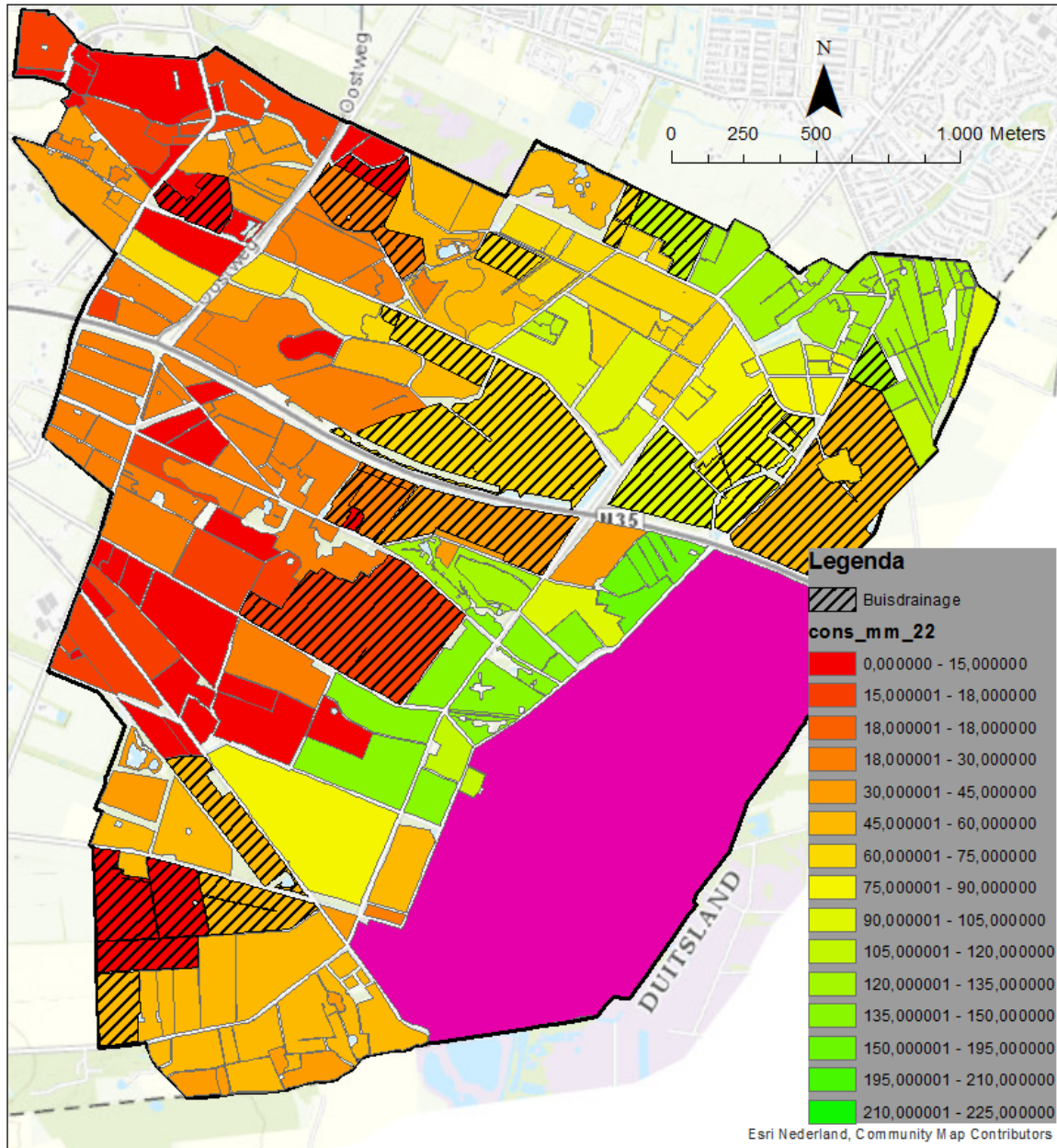


Perceel 231:

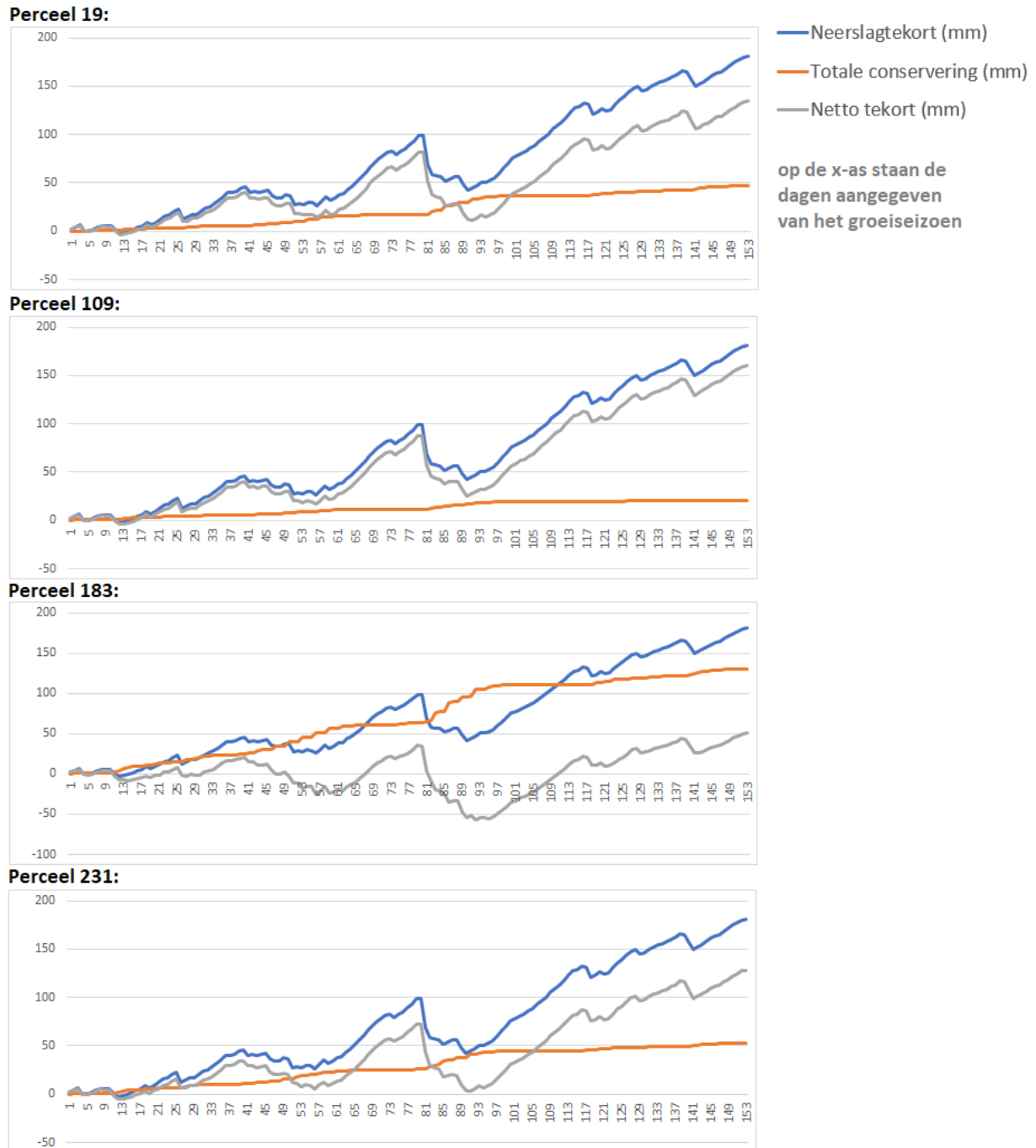


Figuur I.0.13: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2012)

Groei seizoen 2013

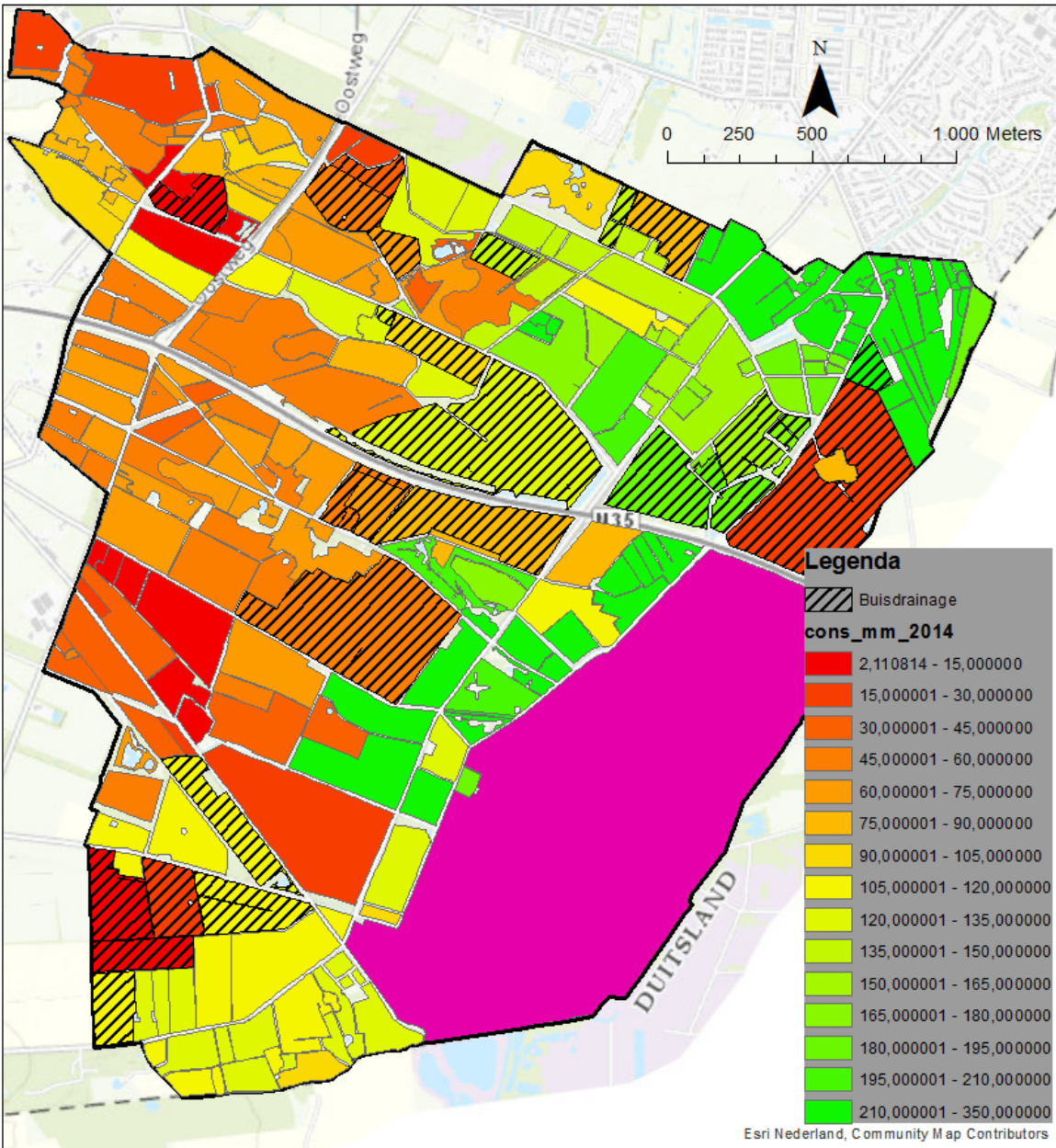


Figuur I.0.14: De conservering per perceel weergeven door middel van intervallen (2013)



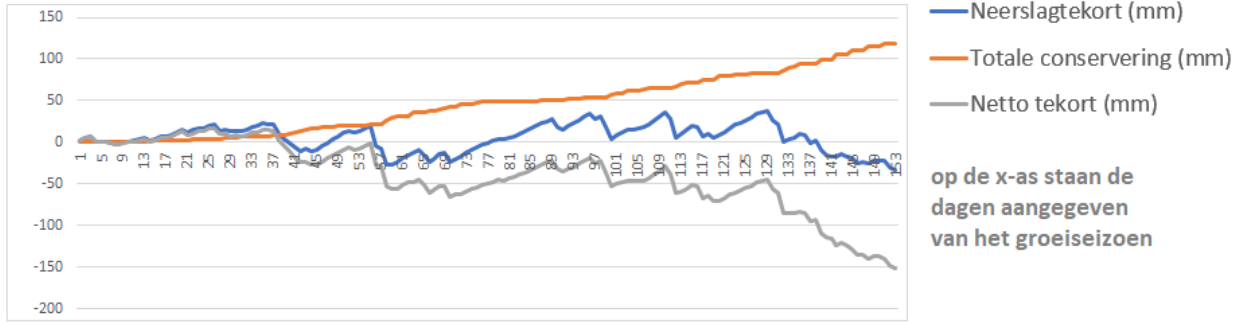
Figuur I.0.15: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2013)

Groeiseizoen 2014

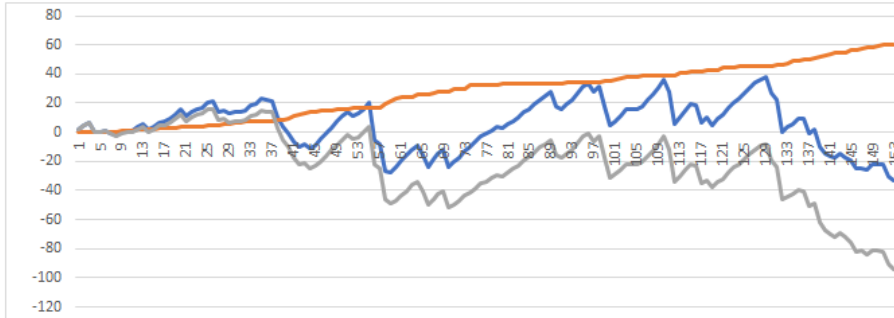


Figuur I.0.16: De conservering per perceel weergeven door middel van intervallen (2014)

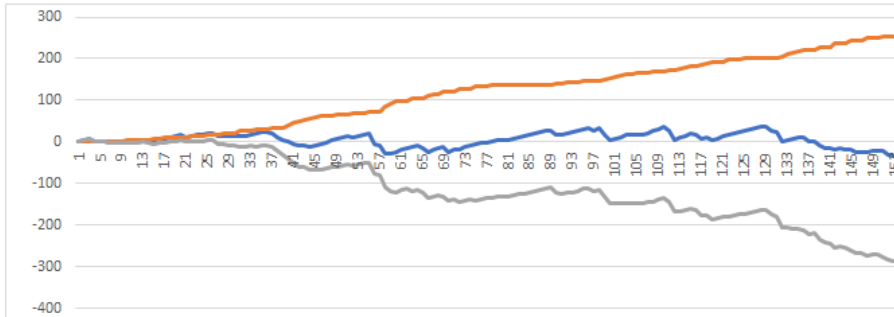
Perceel 19:



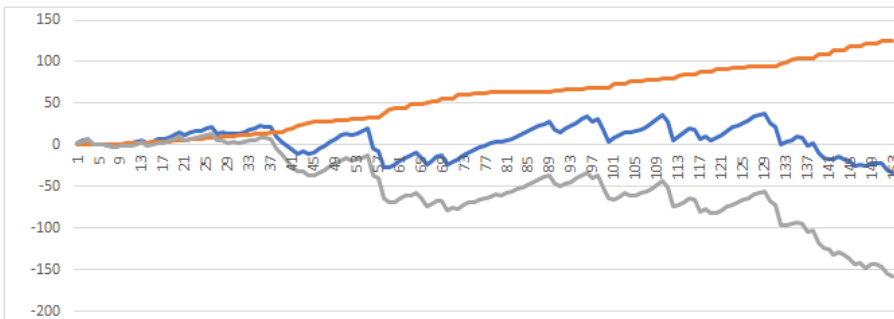
Perceel 109:



Perceel 183:



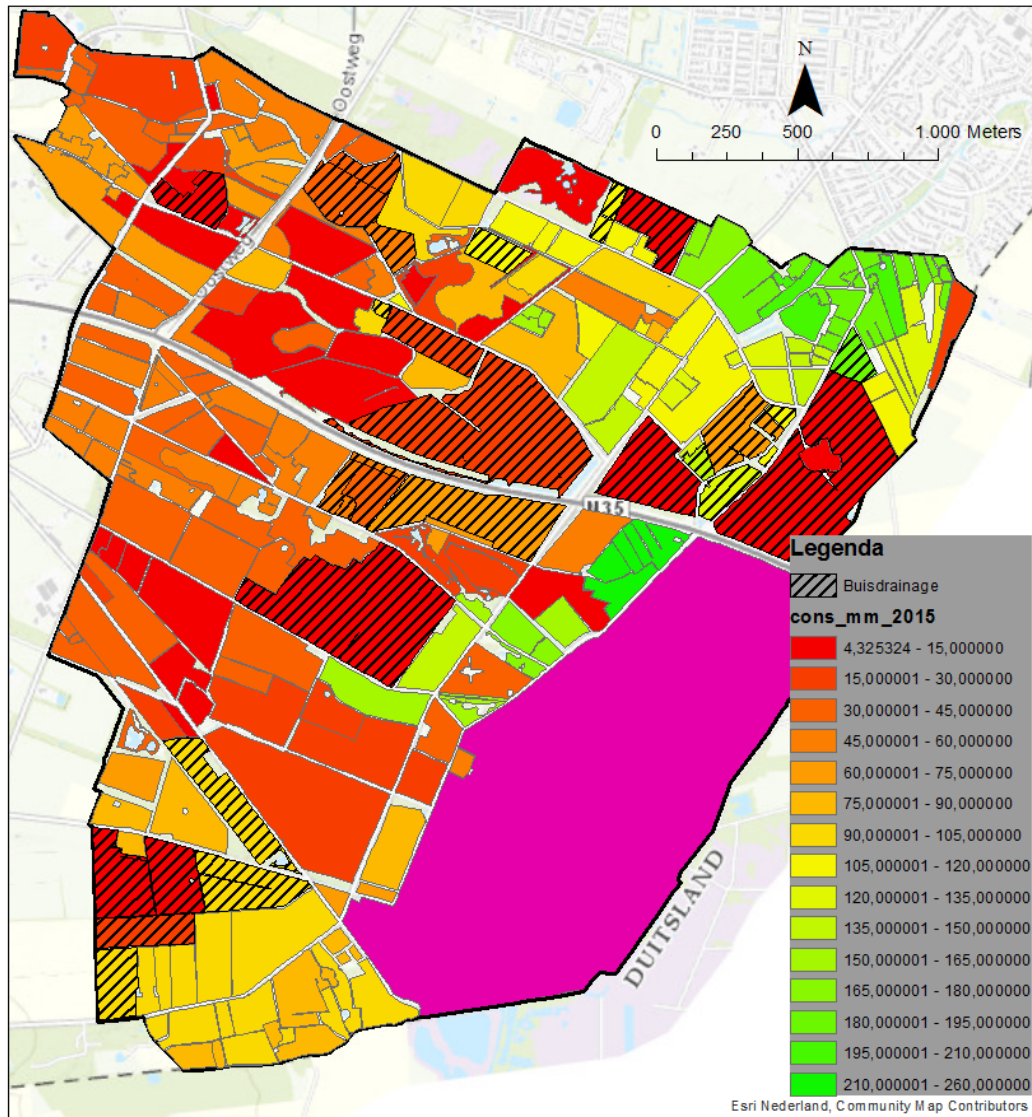
Perceel 231:



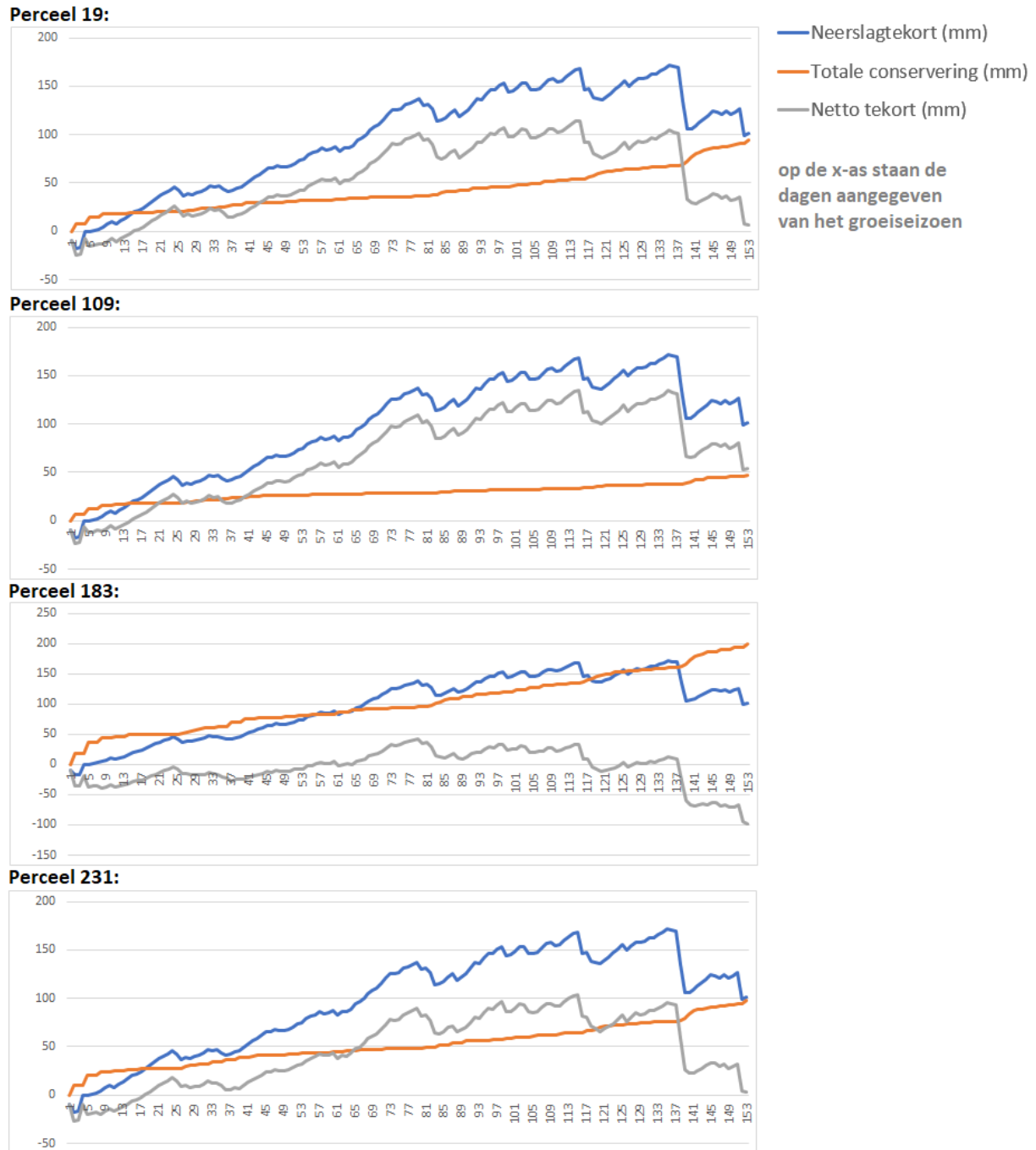
Figuur I.0.17: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2014)

Groeiseizoen 2015

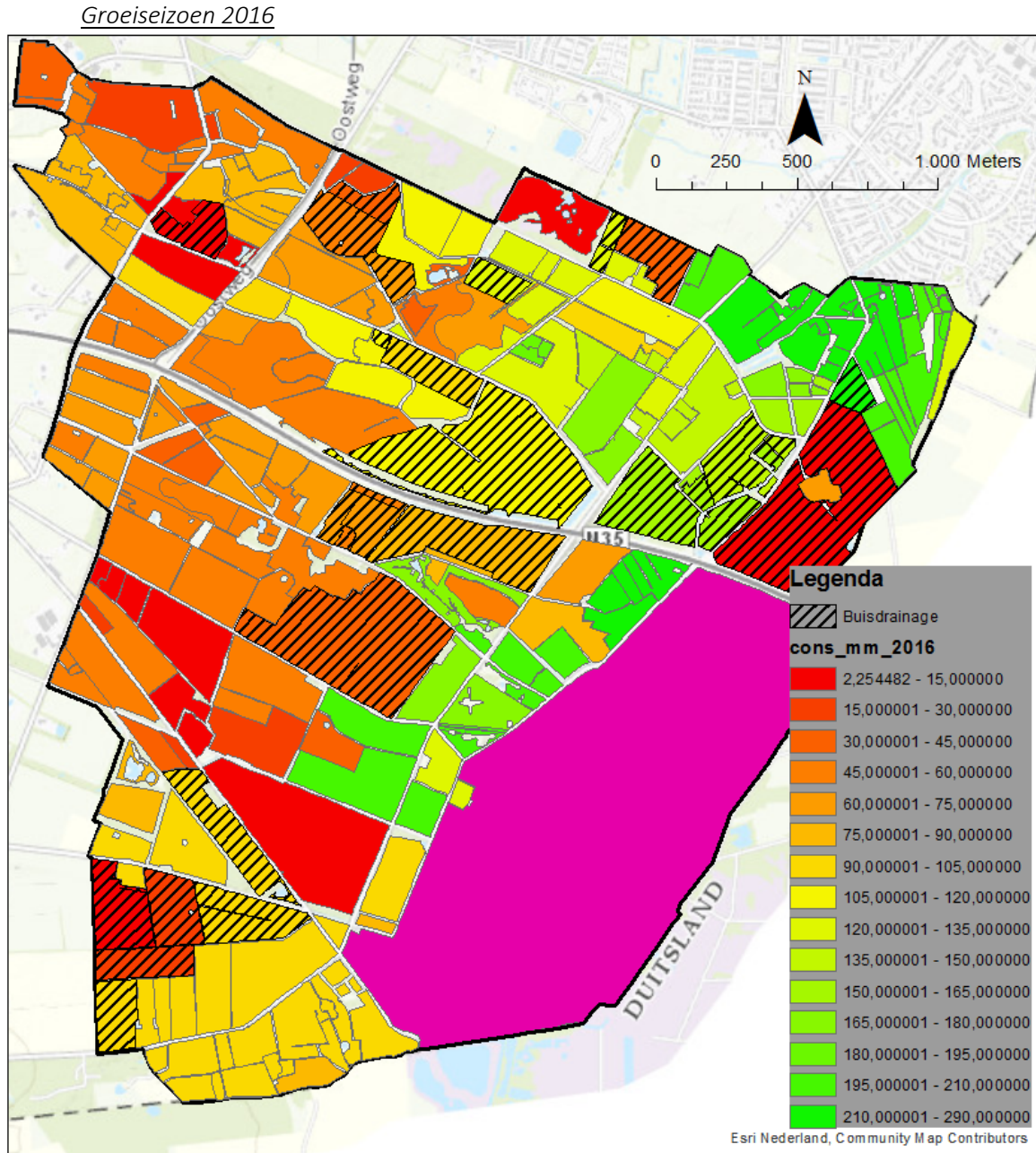
Notie: De instroomgegevens afkomstig uit het neerslagmodel zijn in 2015 een factor 10x zo hoog als in andere (ook nattere) jaren. Waarschijnlijk is de uitkomst uit het neerslag-afvoer model niet goed geweest, dat een deel van de invoergegevens van dit model is. Dit resulteert in buitensporig hoge instromen, die niet stroken met de KNMI-neerslaggegevens. Hierdoor stroomt de berging in één keer vol bij een derde van de percelen waardoor er maar een paar conserveringsberekeningen worden uitgevoerd. De uitkomsten over 2015 zijn dus hoogstwaarschijnlijk niet representatief en worden niet meegenomen in de analyse.



Figuur I.0.18: De conservering per perceel weergegeven door middel van intervallen (2015)

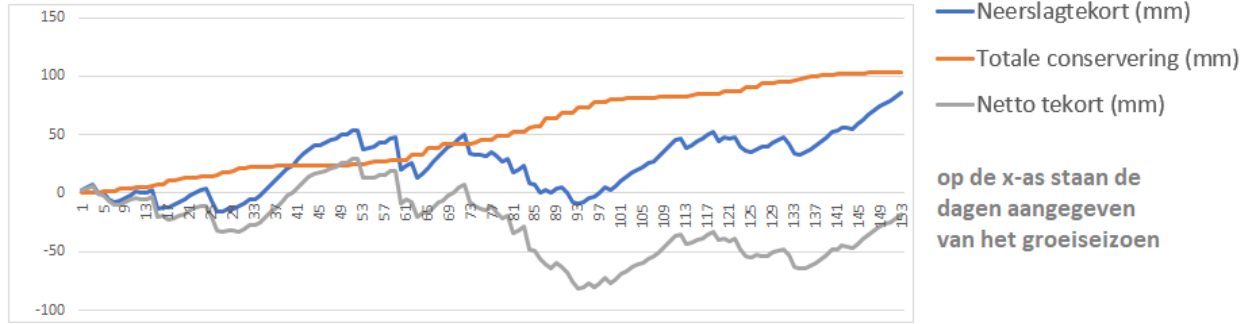


Figuur I.0.19: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2015)

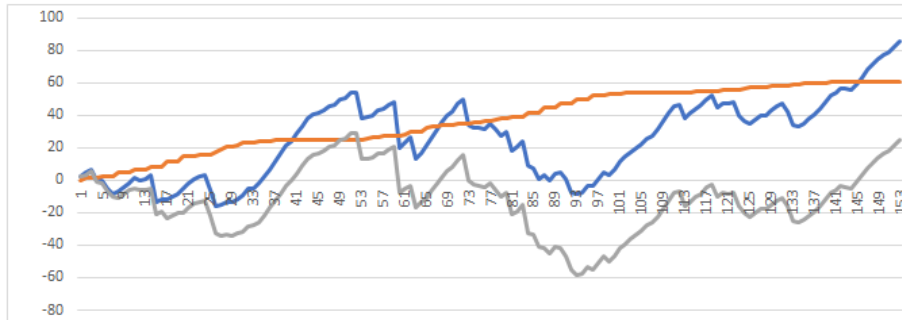


Figuur I.0.20: De conservering per perceel weergeven door middel van intervallen (2016)

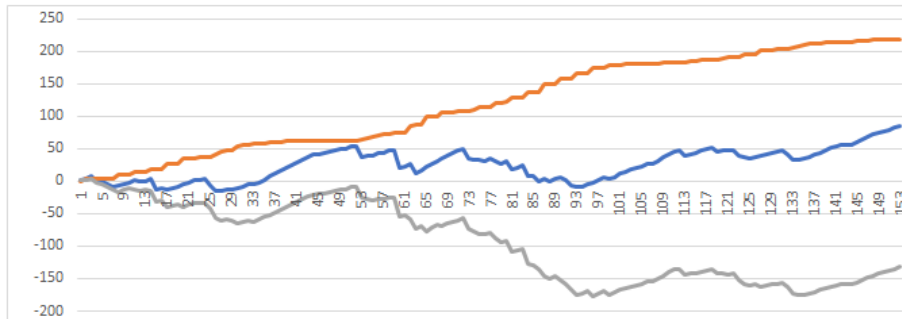
Perceel 19:



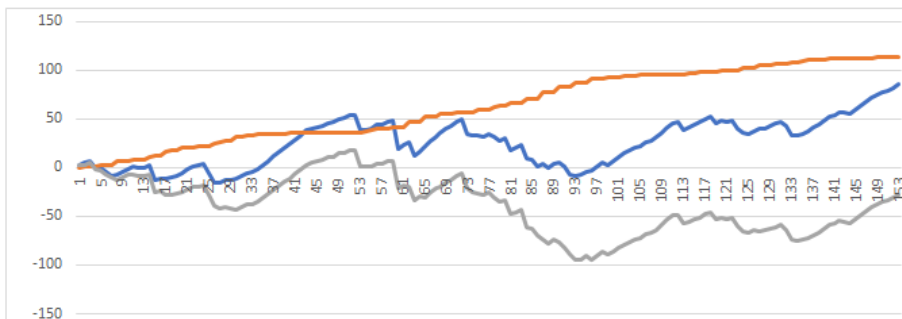
Perceel 109:



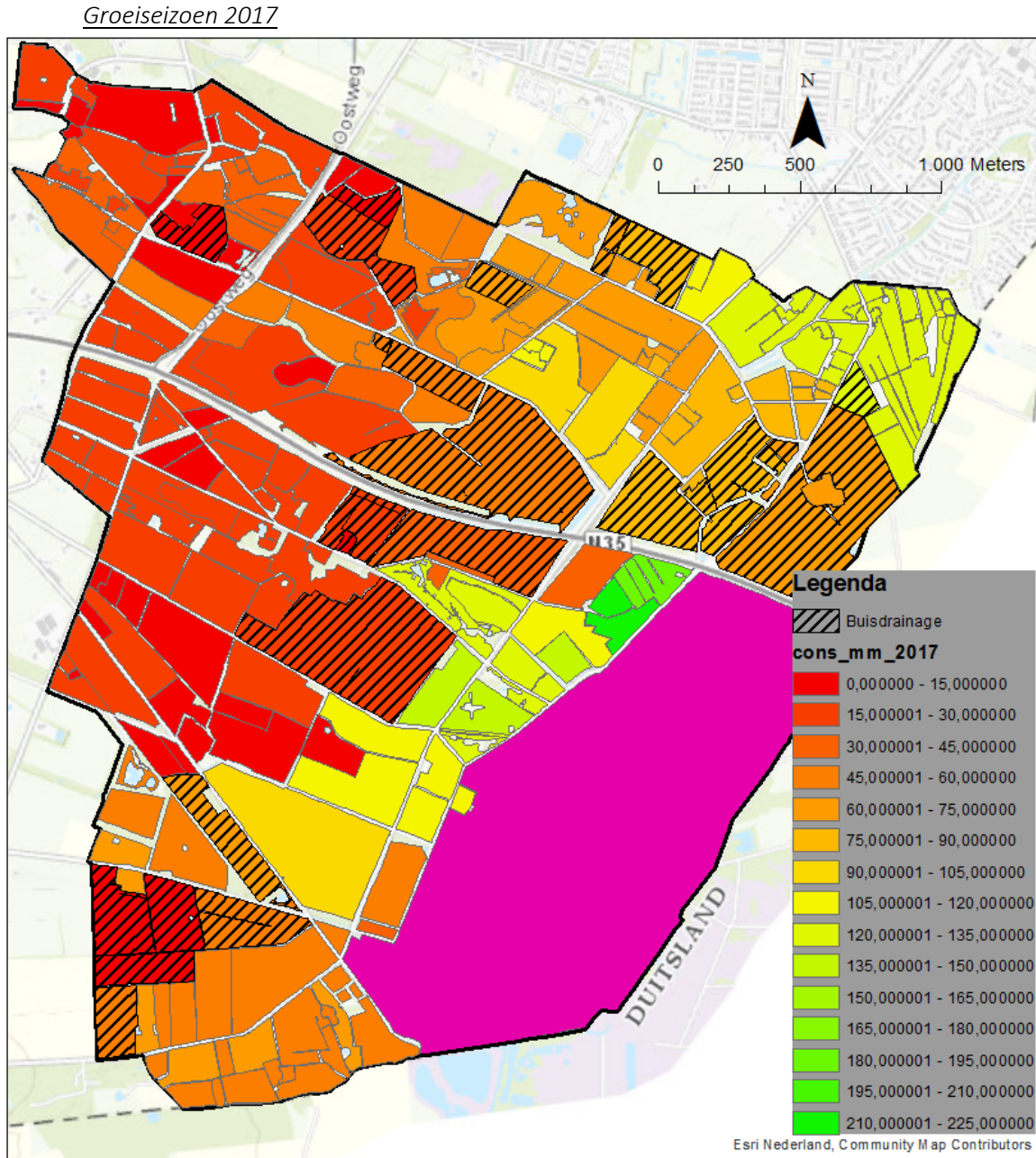
Perceel 183:



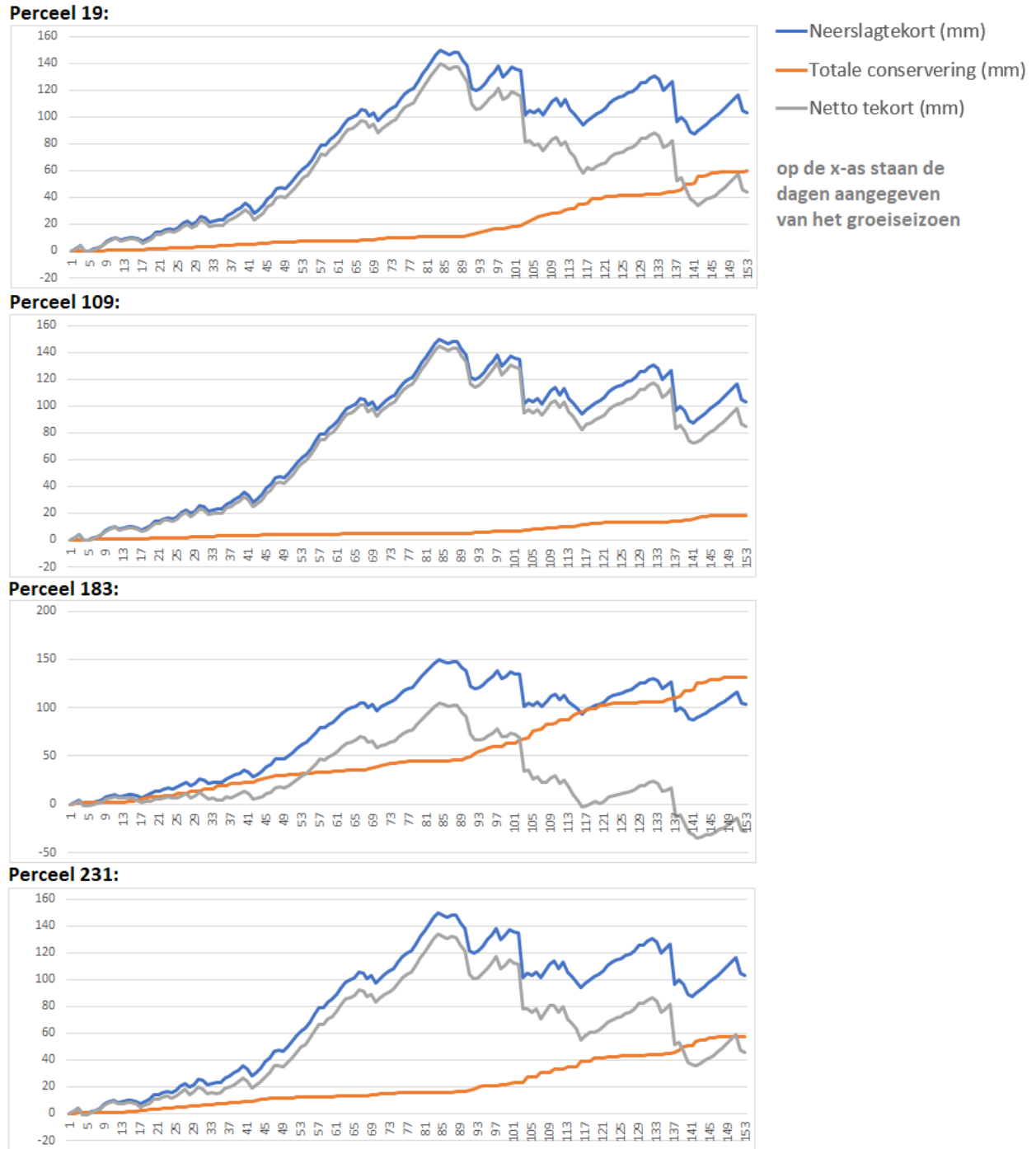
Perceel 231:



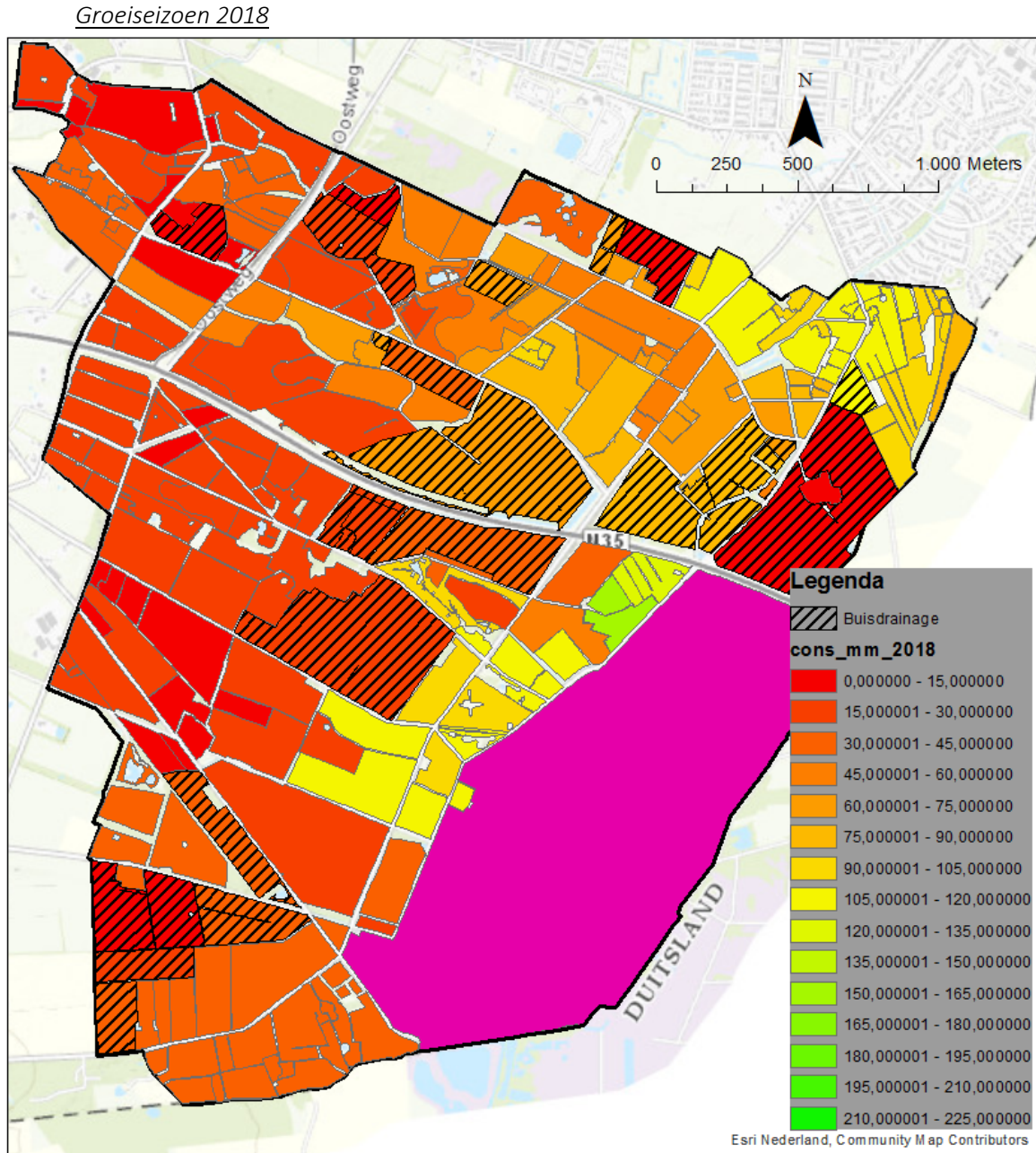
Figuur I.0.21: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2016)



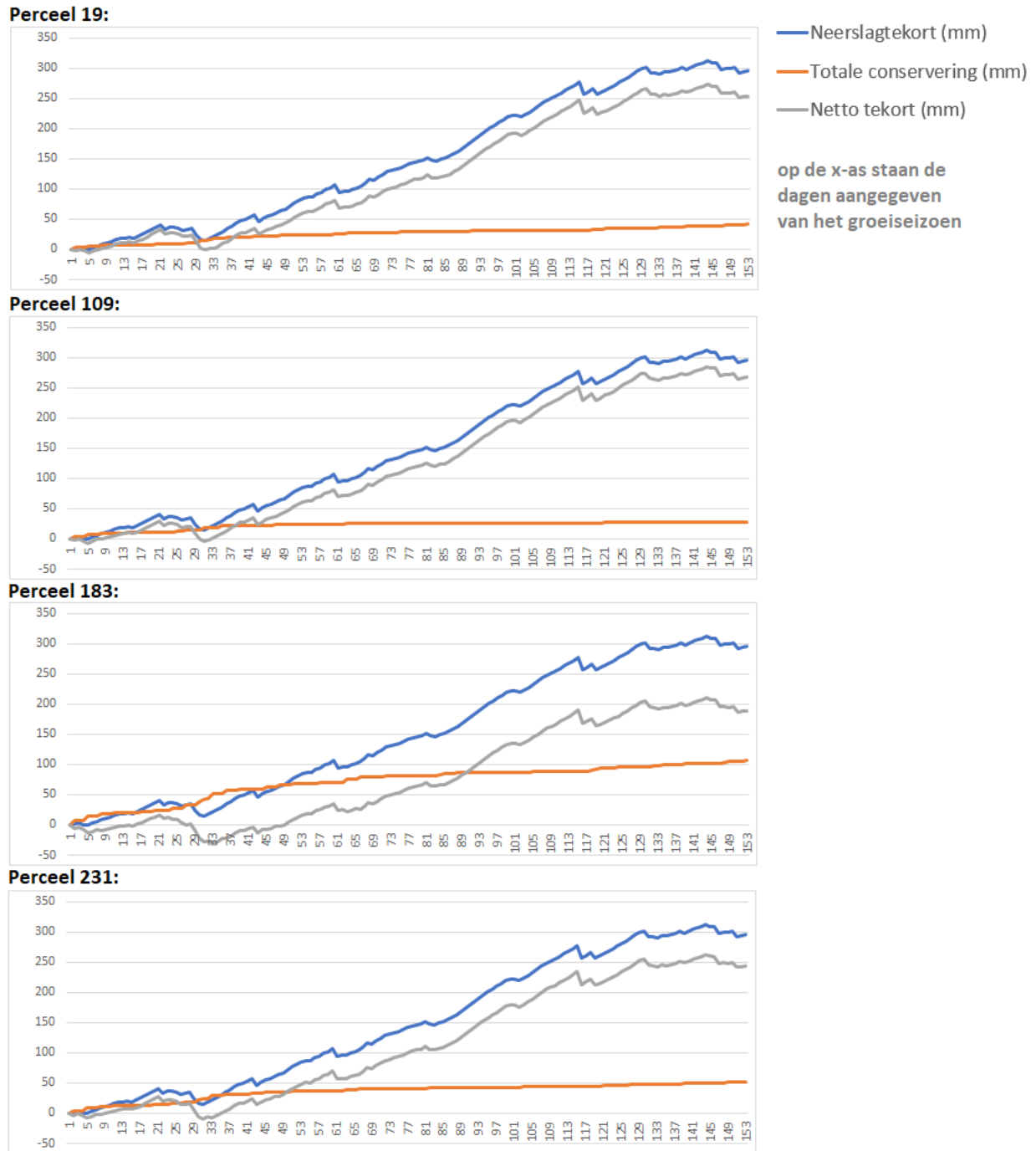
Figuur I.0.22: De conservering per perceel weergegeven door middel van intervallen (2017)



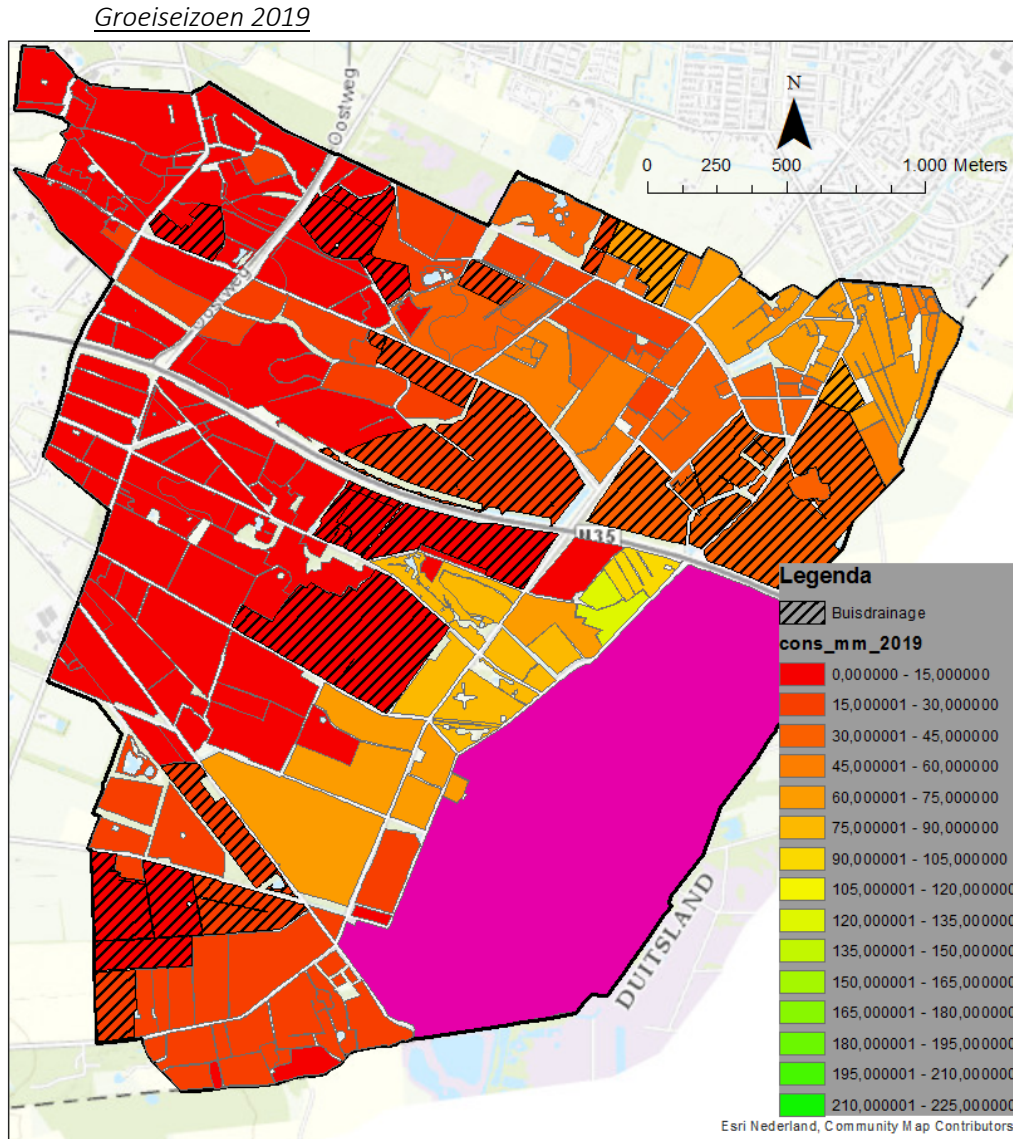
Figuur I.0.23: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2017)



Figuur I.0.24: De conservering per perceel weergeven door middel van intervallen (2018)

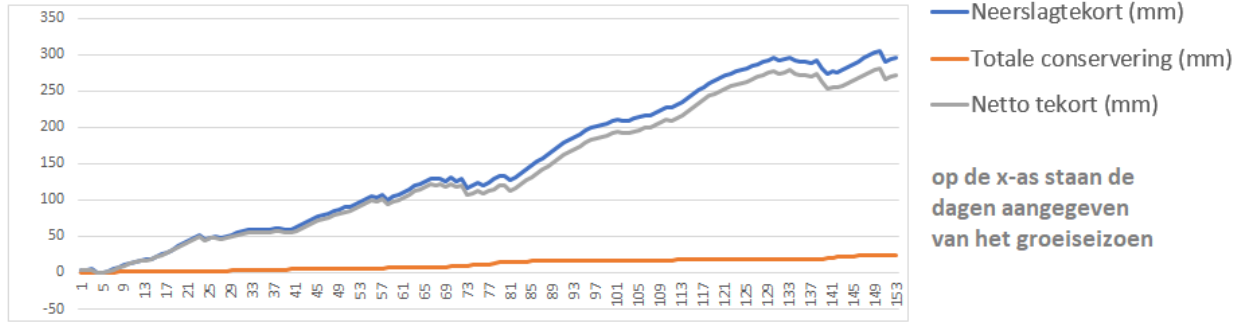


Figuur I.0.25: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2018)

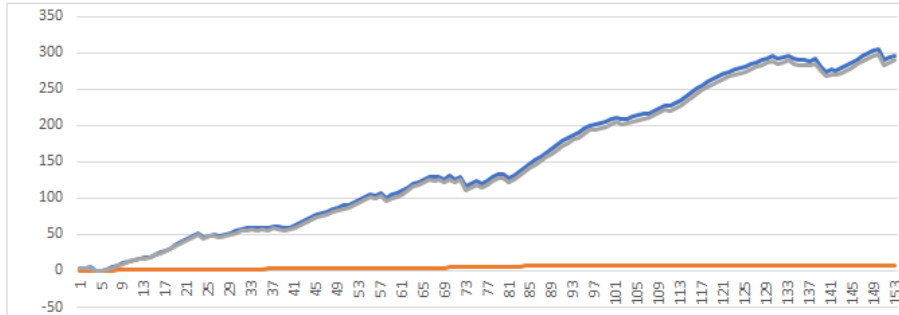


Figuur I.0.26: De conservering per perceel weergeven door middel van intervallen (2019)

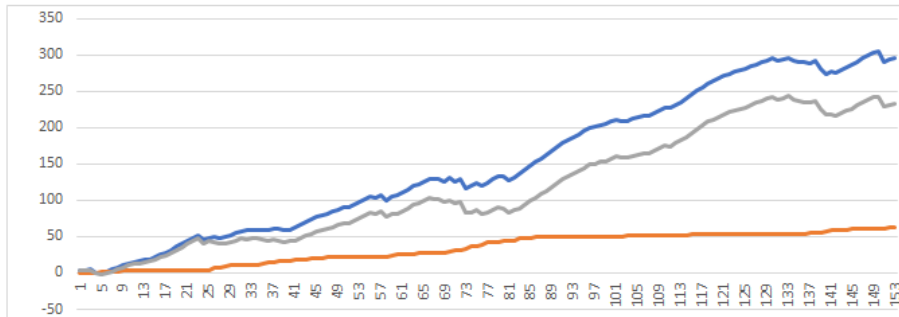
Perceel 19:



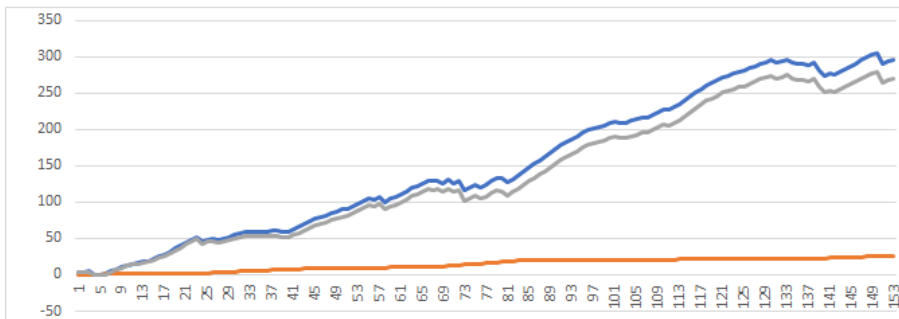
Perceel 109:



Perceel 183:



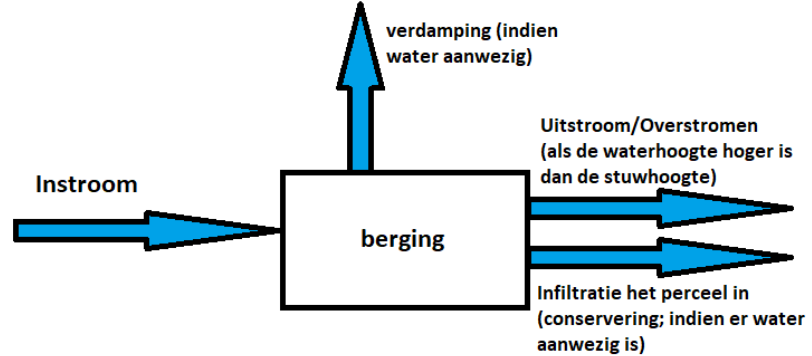
Perceel 231:



Figuur I.0.27: Conservering en (netto) neerslagtekort voor de percelen 19, 109, 183 en 231 (2019)

Bijlage J – Conceptueel model

Heel globaal kan gezegd worden dat het model bestaat uit een berging achter de stuw (afhankelijk van de eigenschappen van een perceel), waaruit water kan infiltreren het perceel in, elke dag een deel verdamp, en waar water in kan stromen als gevolg van de afstroomgegevens voor de percelen. De berging wordt elke dag opnieuw berekend. Dagelijks



Figuur J.0.28: Een grove schematisering van het model

infiltrert er een berekende hoeveelheid water (mits aanwezig) het perceel in, dit is de conservering en wordt vervolgens van de berging afgetrokken. Verder is er een oppervlaktewater verdamping van 2 millimeter per dag (gemiddelde zomerdag [18]), wat elke dag van de berging af gaat. Dit is de hoofdgedachte en is nog eens schematisch weergegeven in Figuur J.0.28.

De complexiteit zit in de veranderlijkheid van het gebied. De maximale berging en bijvoorbeeld de waterhoogte achter de stuw als gevolg van een berging zijn afhankelijk van de eigenschappen van een watergang (breedte blijft wél gelijk). Bij een watergang met een grote helling zal er bijvoorbeeld met één stuw een kleinere maximale berging te realiseren zijn dan een vlakkere watergang. Bij percelen met een helling van 0 is de berging, waterhoogte en invloedsafstand (l_w , lengte achter de stuw dat beïnvloed wordt door de stuw) makkelijk te bepalen, omdat de berging dan een 'rechthoek' betreft, en dus de invloedsafstand altijd hetzelfde is (namelijk de lengte van het perceel). Ook als de berging leeg is, is de invloedsafstand makkelijk te bepalen. Deze is dan logischerwijs 0 meter. Bij de meeste watergangen is er een hellingshoek aanwezig wat het berekenen van de invloedsafstand en de waterhoogte bemoeilijkt. Als de berging verandert zullen ze beide veranderen, wat twee onbekenden oplevert bij het berekenen van de berging. Hoe dit gedaan is (onder andere) uitgelegd in dit hoofdstuk.

Maximale invloedsafstand en maximale berging:

Per perceel wordt eerst de maximale invloedsafstand berekenen. Dit is gedaan door de tangent formule (tangent van de hellingshoek = overstaande zijde delen door de aanliggende zijde) om te schrijven naar (zie ook Figuur J.0.29):

$$l_{w_max} = \frac{h_{max}}{\tan(\text{hellingshoek})} \quad (7)$$

Hierbij is:

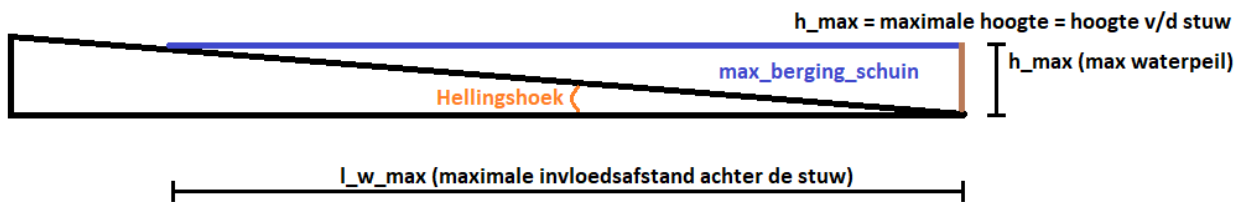
l_{w_max}	= maximale invloedsafstand (m)
h_{max}	= max. waterhoogte ((m) hoogte stuw, anders stroomt het over de stuw)
hellingshoek	= de hellingshoek van de watergang (radialen)

Daarna kan de maximale berging berekend worden met de maximale hoogte, maximale invloedsafstand en de breedte van de watergang (lengte * breedte * hoogte) en dit vervolgens te delen door 2 omdat het een driehoek betreft. In formule vorm wordt dat (zie ook Figuur J.0.29):

$$\text{max_berging_schuin} = \frac{l_w_max * h_max * breedte}{2} \quad (8)$$

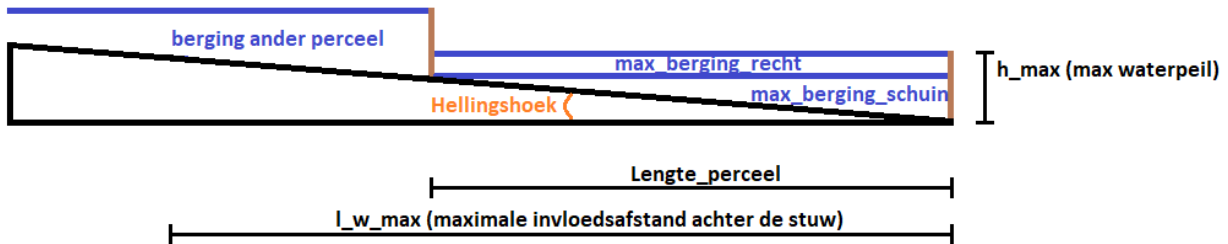
Hierbij is:

max_berging_schuin	= maximale berging (m ³)
l_w_max	= maximale invloedsafstand (m)
h_max	= max. waterhoogte (m) (afhankelijk van sloot dan wel greppel)
breedte	= breedte van de watergang (afhankelijk van sloot dan wel greppel)



Figuur J.0.29: schematisering van de berging (wanneer $l_w_max \leq lengte_perceel$)

Bovenstaande geldt echter alleen voor percelen waarbij de invloedsafstand van een stuw kleiner is dan de lengte van een perceel. Anders geldt de volgende situatie:



Figuur J.0.30: schematisering van de berging (wanneer $l_w_max > lengte_perceel$)

En wordt de formule (het tweede gedeelte achter het min-teken is de 'max_berging_schuin'):

$$\text{max_berging} = \frac{(L_{perceel} * h_{max} * breedte) - \frac{L_{perceel} * L_{perceel} * \tan(\text{hellingshoek}) * breedte}{2}}{2} \quad (9)$$

Hierbij is:

max_berging	= maximale berging (m ³)
L_perceel	= lengte van het perceel (m)
h_max	= max. waterhoogte (m) (afhankelijk van sloot dan wel greppel)
breedte	= breedte van de watergang (afhankelijk van sloot dan wel greppel)
hellingshoek	= hellingshoek van de watergang (radialen)

Invloedsafstand per dag:

De invloedsafstand bij een bepaalde berging is te bepalen aan de hand van de ‘maximale schuine berging’. Als de berging groter is dan de maximale schuine berging is de invloedsafstand gelijk aan de lengte van het perceel (Figuur J.0.30). Verder verhoudt de invloedsafstand zich middels een kwadratisch verband met de schuine berging. Als de invloedsafstand bijvoorbeeld twee keer zo groot wordt (en de waterhoogte ook doordat de helling constant is), wordt de berging vier keer zo groot (*dit geldt ook voor een*). Hierdoor kan de invloedsafstand bepaald worden uit de schuine berging voor respectievelijk de voorwaarden: $l_w_{max} < L_{perceel}$ en $l_w_{max} > L_{perceel}$ én $berging < max_berging_schuin$ (anders $l_w = L_{perceel}$) middels:

$$l_w = l_{w_max} * \sqrt{\frac{berging}{max_berging_schuin}} \quad (10)$$

$$l_w = L_{perceel} * \sqrt{\frac{berging}{max_berging_schuin}} \quad (11)$$

Hierbij is:

l_w	= invloedsafstand (m)
l_{w_max}	= maximale invloedsafstand (m)
$L_{perceel}$	= lengte van het perceel (m)
berging	= de berging op dag t (m^3)
$max_berging_schuin$	= de maximale schuine berging op dag t (m^3)

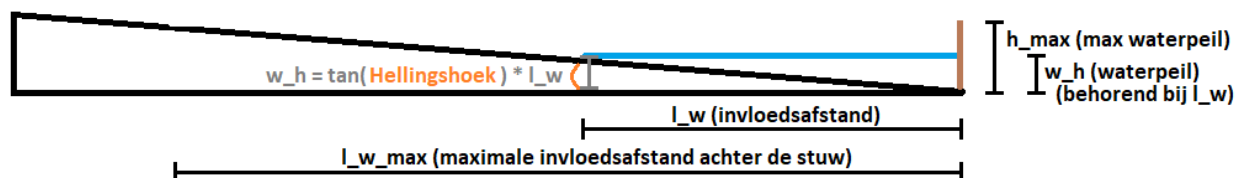
waterhoogte per dag:

Nu de berging met bijbehorende invloedsafstand bekend is kan de waterhoogte berekend worden op de desbetreffende dag. Als de invloedsafstand kleiner is dan het perceel (met helling) óf de berging op die dag is kleiner dan de maximale schuine berging dan is de waterhoogte te berekenen volgens de formule (zie ook Figuur J.0.31):

$$w_h = \tan(\text{hellingshoek}) * l_w \quad (12)$$

Hierbij is:

w_h	= waterhoogte (m)
hellingshoek	= hellingshoek van de watergang (radialen)
l_w	= invloedsafstand (m)



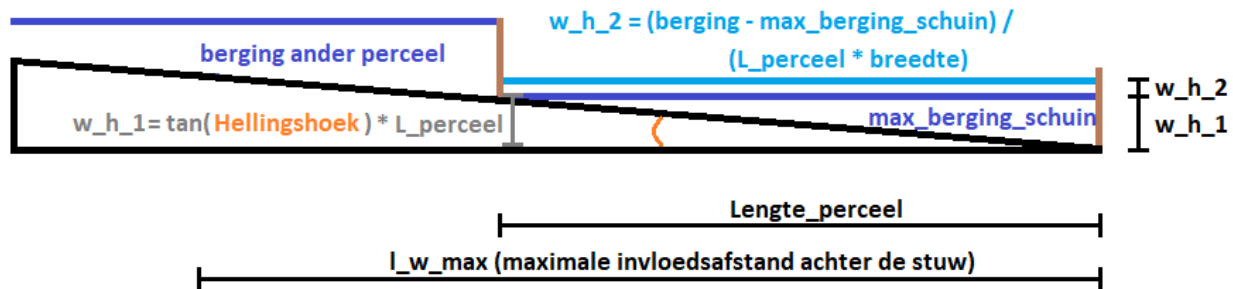
Figuur J.0.31: berekening van de waterhoogte wanneer $berging < max_berging_schuin$

Als de berging groter is dan de maximale schuine berging geldt de volgende formule voor het berekenen van de waterhoogte (zie ook Figuur J.0.32):

$$w_h = (\tan(\text{hellingshoek}) * L_{\text{perceel}}) + \left(\frac{\left(\text{berging} - \frac{L_{\text{perceel}}^2 * \tan(\text{hellingshoek}) * \text{breedte}}{2} \right)}{L_{\text{perceel}} * \text{breedte}} \right) \quad (13)$$

Hierbij is:

w_h	= waterhoogte (m)
hellingshoek	= hellingshoek van de watergang (radialen)
L_{perceel}	= lengte van het perceel (m)
berging	= berging op dag t (m ³)
breedte	= breedte van de watergang (m)



Figuur J.0.32: berekening van de waterhoogte wanneer berging > max_berging_schuin

Peilverschil en berekening conservering:

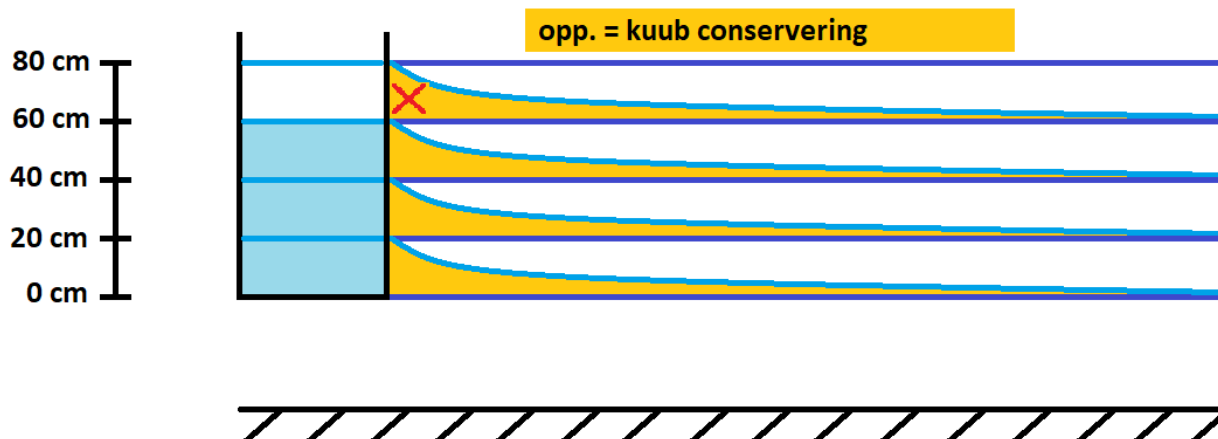
Na de berekening van de waterhoogte op een dag, wordt deze vergeleken met de waterhoogte van de vorige dag om zo het peilverschil te bepalen. Als dit peilverschil positief is (een stijging in het waterpeil) wordt de conservering berekend voor de resterende dagen middels de analytische formule, in het aantal kubieke meters water over de gehele resterende periode (in 'width.py' en 'formula.py' in het conceptueel model). Daarna worden de eerste zeven dagen apart berekend (door in de formule $t=1$ tot en met $t=7$ apart te berekenen). Dit is gedaan omdat in er in verhouding meer water infiltreert in de eerste dagen na de peilverandering dan op latere dagen. Na het aftrekken van de geconserveerde kubieke meters van de eerste zeven dagen wordt het resterend aantal kubieke meters verdeeld over de dan resterende dagen. Dit is een versimpeling van de werkelijkheid omwille van de doorrekening van het model. Het getal 7 is gekozen omdat dit een middenweg is, het grotere conserveringseffect van de eerste dagen wordt nagebootst en tegelijkertijd blijft de doorrekening van het model behapbaar.

Lijst met conservering per dag en wanneer er effecten verwijderd worden:

Zo wordt er voor elke positieve peilverandering op 'dag t' een conserveringseffect berekend voor de resterende dagen. Deze worden opgeslagen in een lijst binnen het model, tezamen met de

bijbehorende waterhoogte van die dag (die het conserveringseffect in werking heeft gezet). Dit is ook te zien in Figuur J.0.33. De gele oppervlakten staan voor het berekende conserveringseffect veroorzaakt door een peilverhoging (in Figuur J.0.33 steeds 20 centimeter) en een bijbehorende waterhoogte (20, 40, 60 en 80 centimeter in Figuur J.0.33). Als het waterpeil in de berging zakt (negatief peilverschil) wordt er logischerwijs geen extra water geconserveerd. Het model beoordeelt daarnaast ook nog of er conserveringseffecten zijn opgeslagen in de lijst die behoren tot een waterpeil wat hoger is dan het huidige waterpeil. Als dat zo is worden deze effecten ‘verwijderd’, omdat deze effecten niet langer door kunnen werken doordat ‘hun’ waterpeil niet langer gehandhaafd is. In Figuur J.0.33 is dit weergegeven als de stijging van 60 naar 80 centimeter. Er is een effect berekend voor de stijging van 60 naar 80 centimeter op een voorgaande dag (bovenste gele oppervlakte), maar op de huidige dag is het waterpeil gedaald van 80 naar 60 centimeter. Hierdoor kan het berekende effect behorende tot de peilverhoging van 60 naar 80 centimeter niet meer doorwerken omdat het bijbehorende waterpeil van 80 centimeter niet meer gehaald wordt. Dit effect wordt dan verwijderd, wat gesymboliseerd is met het rode kruisje.

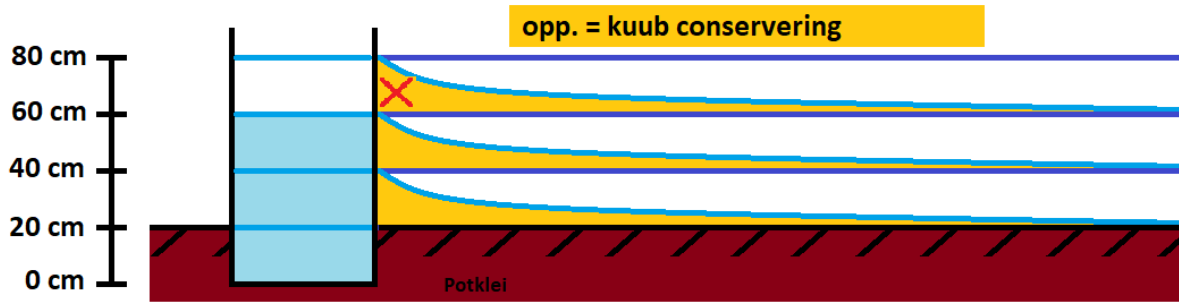
De conservering voor de huidige dag kan berekend worden door alle nog steeds doorwerkende conserveringseffecten te accumuleren (mits de huidige berging groter is, en er dus voldoende water in de berging aanwezig is om te infiltreren).



Figuur J.0.33: Berekenen van de afzonderlijke conserveringseffecten (oppervlakten) door verschillende peilverhogingen; behorende tot een bepaalde waterhoogte

Aanwezigheid van een weerstandslaag:

Als laatste kan het voorkomen dat de sloot dieper is dan de doorlatende zandlaag en er dus een weerstandslaag (een niet-doorlatende laag) grenst aan de sloot. Dit is geschematiseerd in Figuur J.0.34. Er worden dan geen conserveringseffecten door peilverhogingen berekend als het waterpeil lager is dan de hoogte van de weerstandslaag.



Figuur J.0.34: Watergang die insnijdt in een weerstandslaag (bijvoorbeeld potklei)

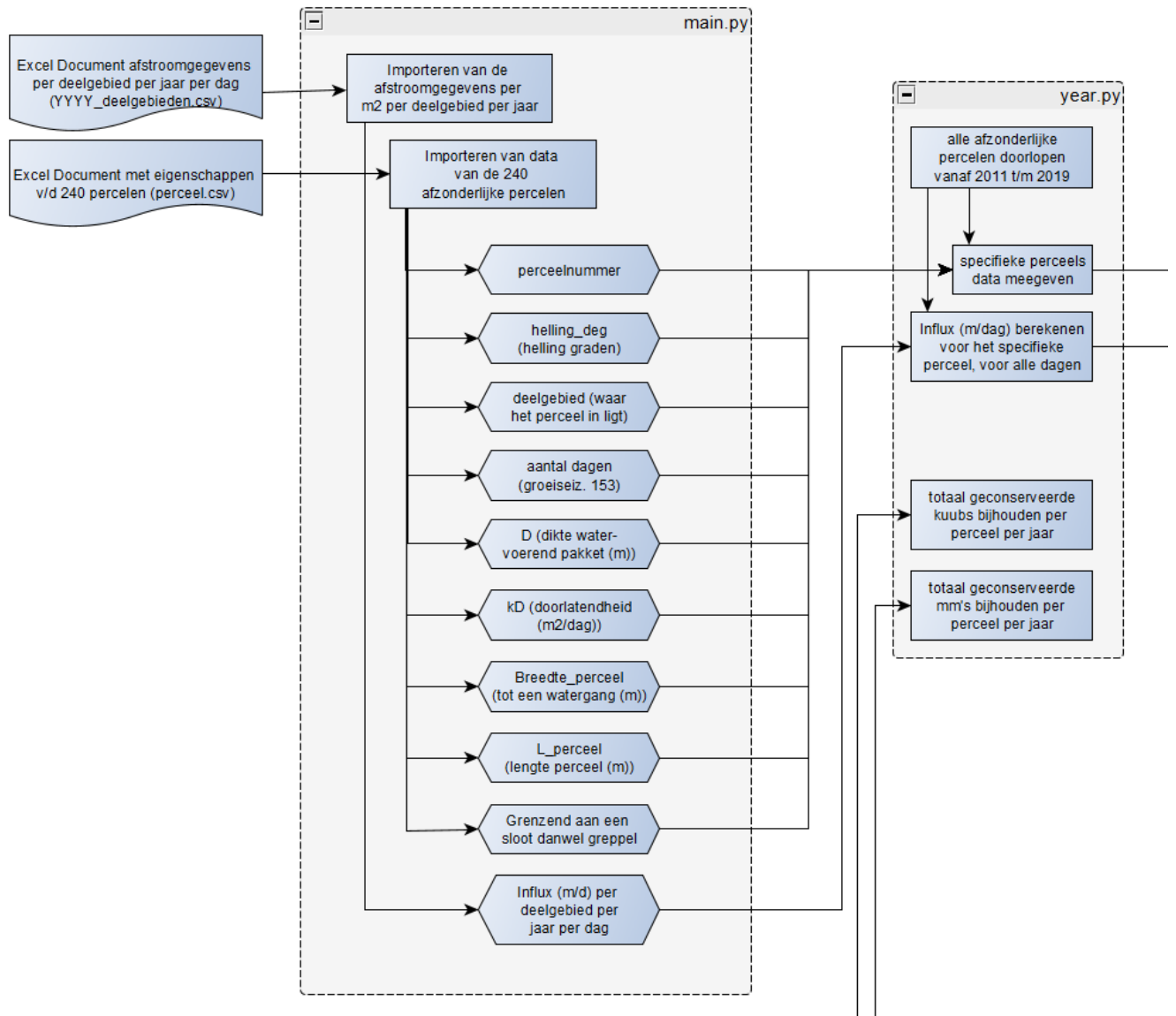
Conceptueel model in de vorm van een stroomdiagram

Overzicht:

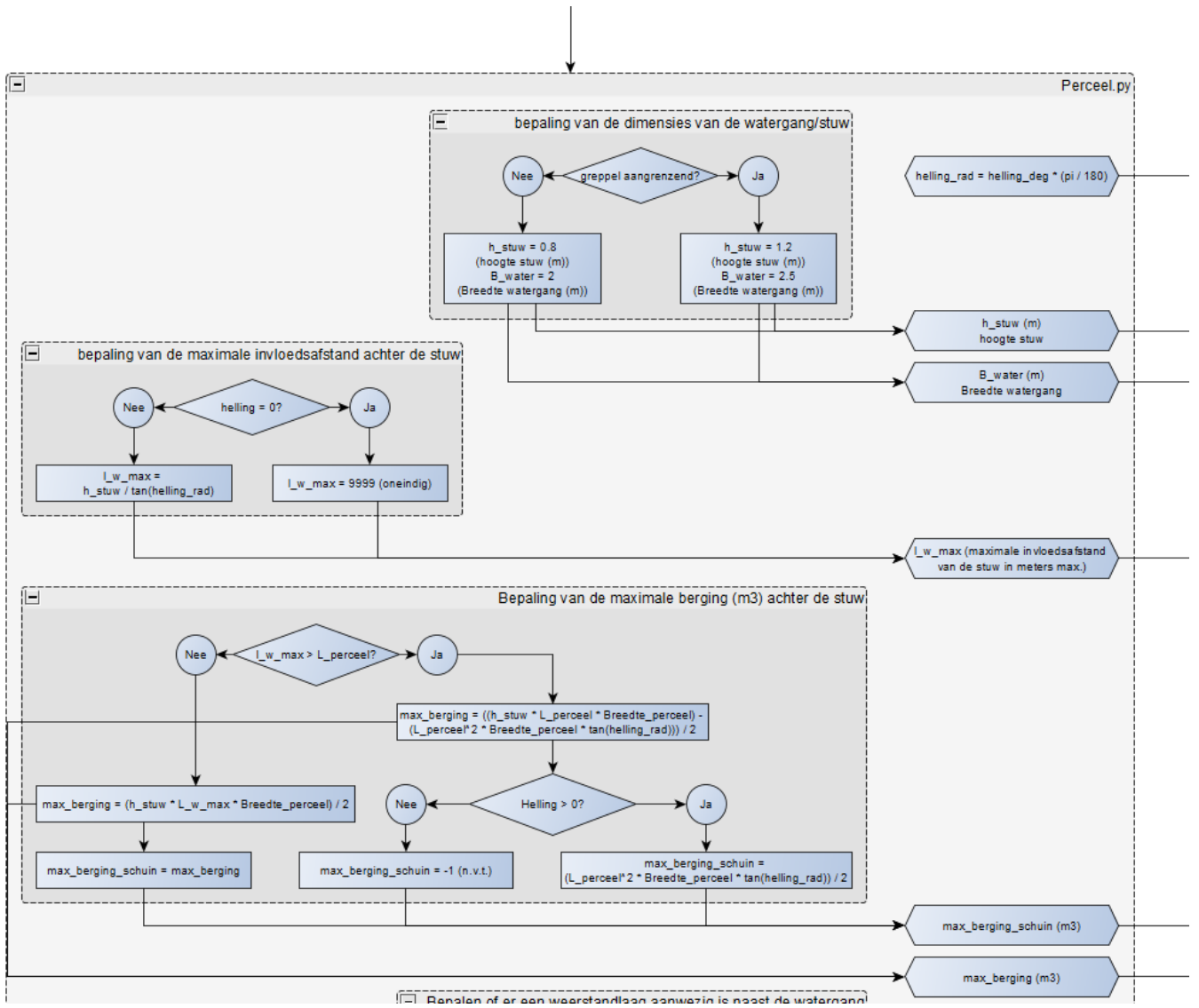


Figuur J.0.35: Overzicht van het conceptueel model

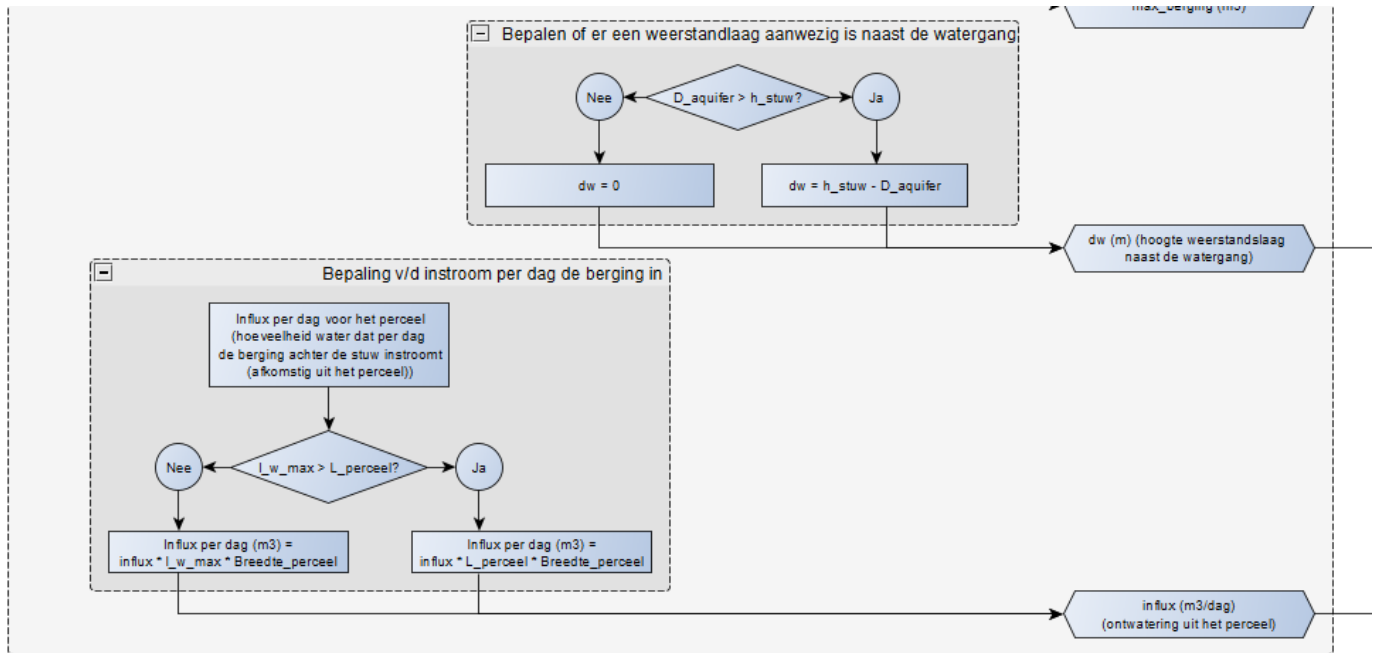
Afzonderlijke delen (met tekst):



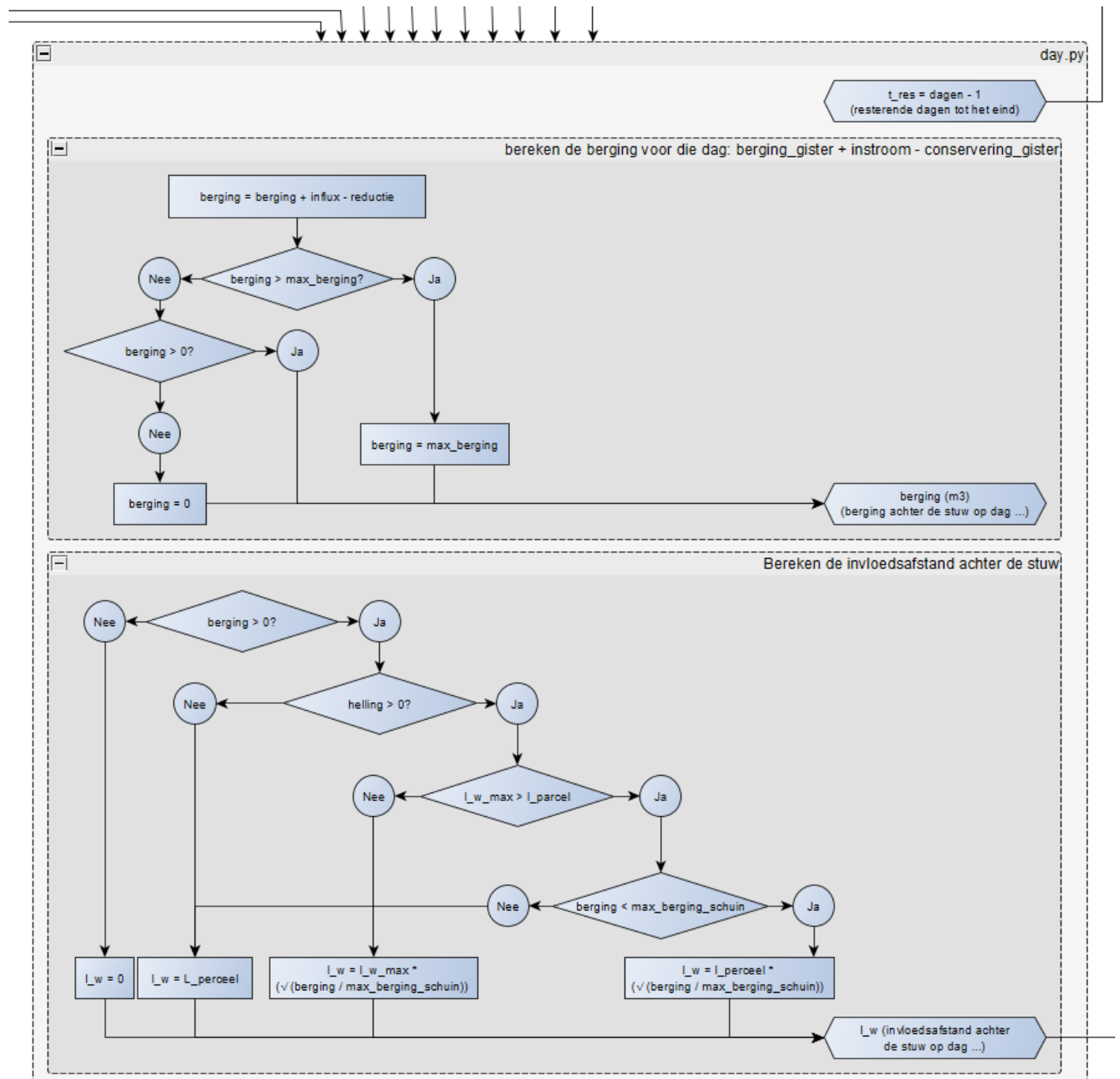
Figuur J.0.36: main.py en year.py



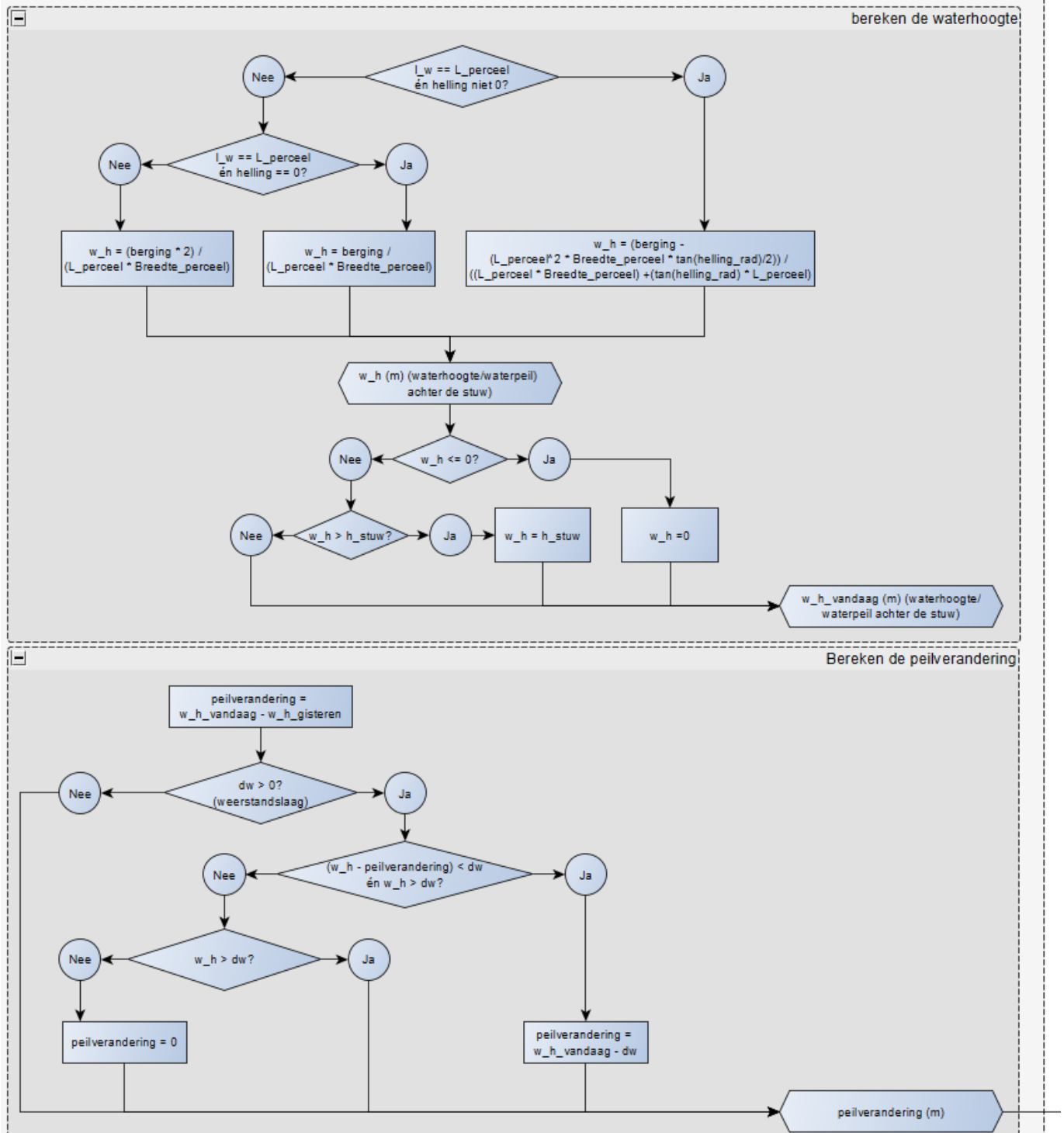
Figuur J.0.37: parcel.py 1/2



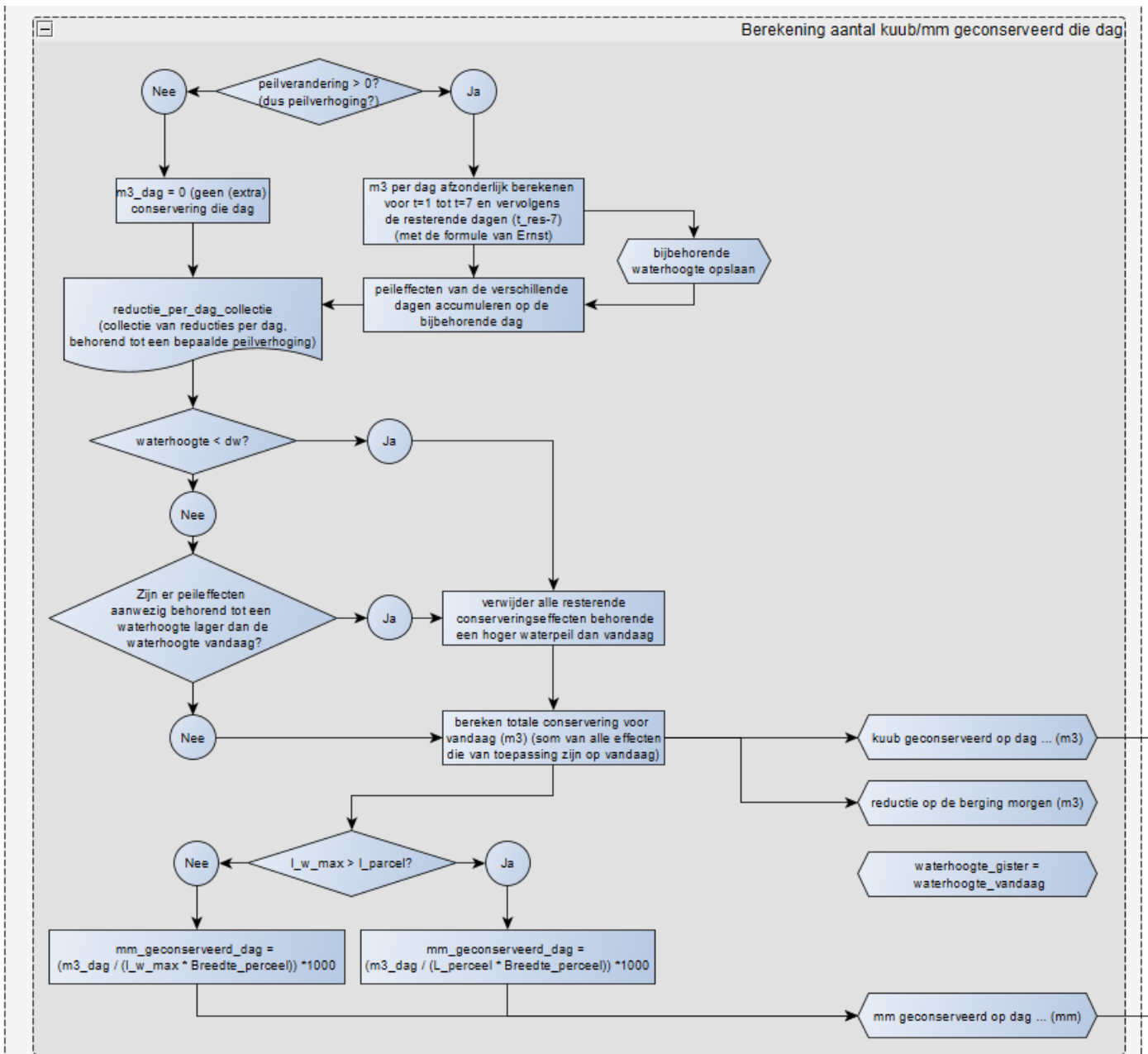
Figuur J.0.38: parcel.py 2/2



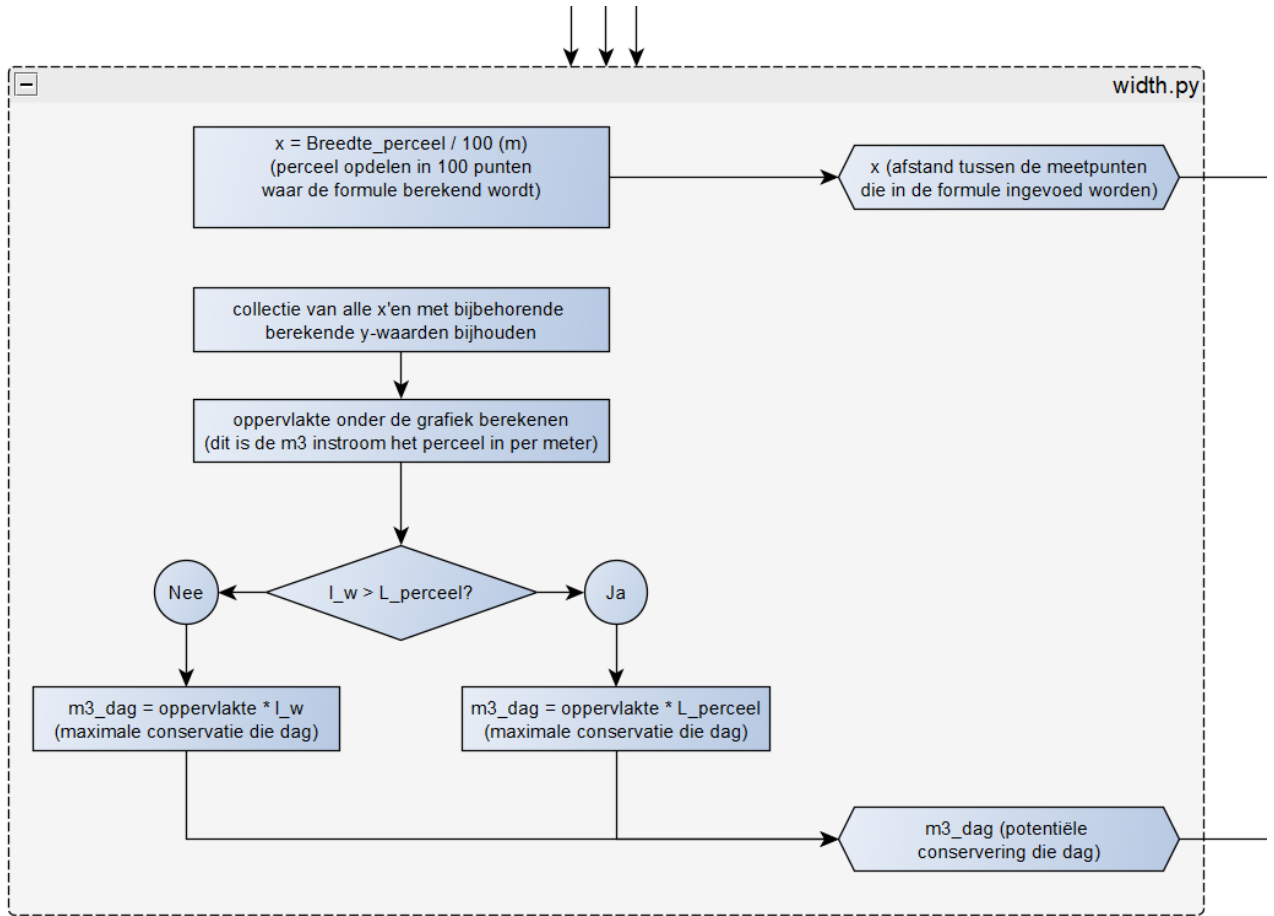
Figuur J.0.39: day.py 1/3



Figuur J.0.40: day.py 2/3



Figuur J.0.41: day.py 3/3

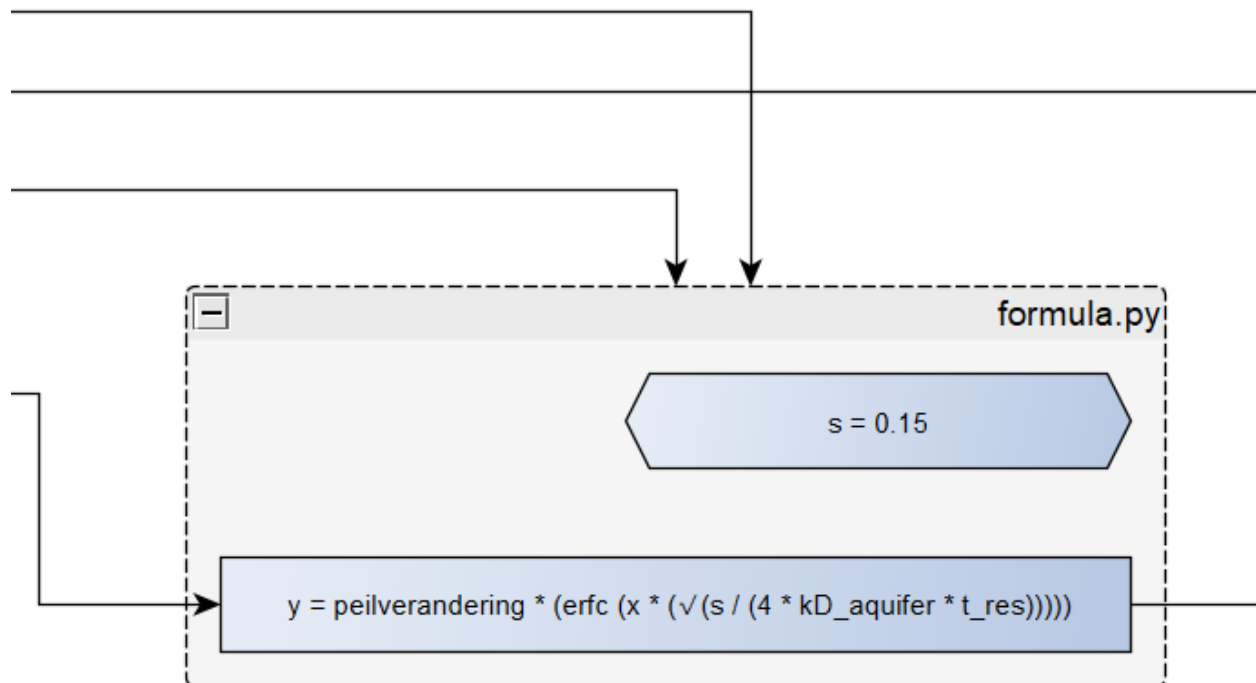


Figuur J.0.42: width.py

Voor de formule van Ernst is ook de zogenoemde bergingscoëfficiënt benodigd. Voor zand is deze gemiddeld 0,15 [53, 54]. De bergingscoëfficiënt varieert echter met de waterstand, stijghoogte en type ondergrond en is daarmee een zeer variërende parameter die vaak niet bekend en erg onzeker is [54, 55]. In dit onderzoek is de gemiddelde waarde genomen. Na de resultaten is er een kleine test uitgevoerd door de bergingscoëfficiënt te verdubbelen tot 0,3 en te halveren tot 0,07 en het model dan door te rekenen voor perceel 19 (gemiddeld perceel). Hier komt uit dat dat geen significant effect heeft, en dus wordt de bergingscoëfficiënt op een constante waarde van 0,15 gehouden.

Tabel 4: Variatie in de bergingscoëfficiënt

Bergings- coëfficiënt:	0.15	0.3	% afwijking	0.07	% afwijking
2011	73	72.8	0.273972603	75.2	-3.0136986
2012	75.1	75.6	-0.665778961	75.3	-0.2663116
2013	46.6	46.6	0	46.7	-0.2145923
2014	118.3	119.3	-0.845308538	120.9	-2.1978022
2015	94.9	95.1	-0.210748156	95.2	-0.3161222
2016	103.3	103.2	0.096805421	103.3	0
2017	59.6	59.4	0.33557047	59.7	-0.1677852
2018	42.8	42.8	0	42.8	0
2019	24.8	24.2	2.419354839	24.8	0



Figuur J.0.43: formula.py