



Pilot Achterste diep

Proef met regelbare drainage op een akker met veenbodem in het beekdal van de Hunze

Joachim Rozemeijer (Deltares)
Henk van Norel (WS Hunze en Aa's)
Hermen Klomp (WS Hunze en Aa's)
Sheila Ball (Deltares)

Titel

Pilot Achterste diep

Opdrachtgever

Waterschap Hunze en Aa's

Project

1210317-000

Kenmerk

1210317-000-BGS-0005

Pagina's

66

Trefwoorden

Regelbare drainage, akkerbouw, grondwaterstanden, waterkwaliteit, veen.

Samenvatting

In het stroomgebied van de Hunze vindt akkerbouw plaats in de relatief laaggelegen beekdalen met veenbodems en kwel. Door de ontwatering die nodig is om deze percelen geschikt te maken voor akkerbouw oxideert het veen in de bodem. De veenafbraak zorgt voor bodemdaling en voor het uitspoelen van nutriënten naar het oppervlaktewater. De lage gewenste grondwaterstanden ten behoeve van akkerbouw zijn waterhuishoudkundig ook moeilijk te combineren met de hoge gewenste grondwaterstanden in de natuurlijke graslanden langs de beek.

Regelbare drainage is door Waterschap Hunze en Aa's aangemerkt als een mogelijke oplossing om de grondwaterstanden op akkerbouwpercelen te verhogen en veenafbraak tegen te gaan zonder natschade aan het gewas te veroorzaken. Regelbare drainage biedt door het introduceren van een instelbaar overloopeil aan het eind van drains of in de sloot de mogelijkheid om de waterafvoer tijdelijk te verminderen en de grondwaterstanden te verhogen.

Om de effecten van regelbare drainage te onderzoeken is in 2013-2015 een pilot uitgevoerd bij Exloo op een akker (afwisselend bieten, aardappelen, graan) in het beekdal van het Achterste diep, één van de bovenlopen van de Hunze. In 2013 is in het voorheen niet gedraineerde proefperceel drainage aangelegd op 90 cm diep en met een drainafstand van 7 meter. Voor een optimale ontwatering zijn de drainagesleuven opgevuld met zand. In de sloot waarop het proefperceel afwatert zijn 3 handmatig verstelbare stuwen geplaatst. 2013 was het referentiejaar waarin de stuwen nog niet zijn gebruikt. In 2014 is het overlooptniveau van de stuwen alleen in de zomerperiode verhoogd. In 2015 is het overlooptniveau zowel in een deel van de zomer als in een deel van de winter verhoogd. Van 2013 tot 2015 zijn de grondwaterstanden en de waterkwaliteit gemeten.

Uit de metingen blijkt dat de hoge grondwaterstanden door de aanleg van drainage gemiddeld met ongeveer 20 centimeter zijn gedaald. In natte periodes stonden de grondwaterstanden in het proefperceel regelmatig binnen de 50 cm onder maaiveld, ondanks de kleine drainafstand. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door een hoge intree-weerstand van de drains en de bodem eromheen. Om gewasschade te voorkomen kon het overlooptniveau van de stuwen maar zeer beperkt (tot 15 maximaal cm) worden opgezet. Door de voortdurende aanvoer van kwel was er in de zomer voldoende water om de sloot tot boven het stuwniveau op te vullen. Het verhoogde oppervlaktewaterpeil heeft ook voor hogere grondwaterstanden gezorgd in een deel van het perceel. Vooral in extreem droge periodes kan regelbare drainage op deze manier veenafbraak verminderen. Het opzetten van het overlooptniveau kon echter niet voorkomen dat de grondwaterstanden in de hogere delen van het perceel tot onder het drainniveau zijn gezakt.

De waterkwaliteitsmetingen lieten al in het referentiejaar 2013 een groot verschil zien tussen het proefperceel en het referentieperceel. Vooral de fosforconcentraties waren opvallend hoog (tot 40x boven de norm). De hogere nutriëntenconcentraties in het proefperceel worden


Titel
Pilot Achterste diep

Opdrachtgever Waterschap Hunze en Aa's **Project** 1210317-000 **Kenmerk** 1210317-000-BGS-0005 **Pagina's** 1

waarschijnlijk veroorzaakt door de afbraak van veen. Mogelijk is dit gerelateerd aan het mengwoelen van het proefperceel in 2009 waarbij de structuur van het veen verloren is gegaan. Daarnaast kan de aanleg van drainage de veenafbraak versnellen. De mogelijke vermindering van de nutriëntenuitspoeling door regelbare drainage (met zeer beperkte peilopzet) valt in het niet bij de door veenafbraak verhoogde nutriëntconcentraties.

Uit de pilot in het Achterste diep concluderen we dat regelbare drainage geen uitkomst biedt voor de lage grondwaterstanden en de veenafbraak door de akkerbouw in het beekdal. Door een hoge intree-weerstand kunnen de drains (ondanks de voor veen diepe ligging en de kleine drainafstand) niet voorkomen dat de grondwaterstand regelmatig boven de 50 cm onder maaiveld komt. Door een flinke bui kan de grondwaterstand ook in het groeiseizoen flink stijgen en het duurt circa 1 week voor de grondwaterstand weer gezakt is. Om gewasschade te voorkomen moet in het grondwaterstandsbeheer rekening worden gehouden met een veiligheidsmarge om ook gedurende droge perioden een bui te kunnen opvangen. Er is daarom gestuurd op een grondwaterstand van 70 – 80 cm onder maaiveld. Het overloopepeil van de stuwen is dan ook maar zeer beperkt opgezet (maximaal 15 cm boven drainniveau in 2014 en maximaal 30 cm in 2015). Het effect op de grondwaterstanden, de veenafbraak en de waterkwaliteit is daardoor ook beperkt.

Het verdient de aanbeveling om het landgebruik op veenbodems in de beekdalen aan te passen aan de gewenste hogere grondwaterstanden.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Sept 2016	Joachim Rozemeijer		Bas van der Grift		Hilde Passier	
		Sheila Ball					

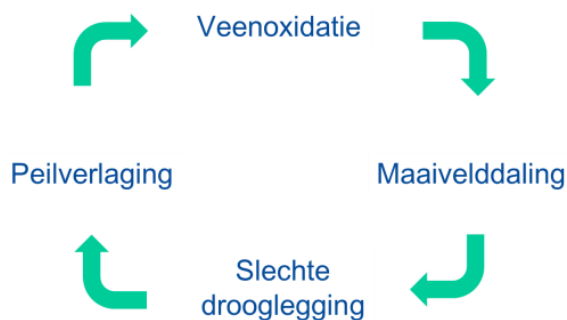
Status
definitief

Inhoud

1	Introductie	1
2	Pilotgebied	5
2.1	Hunze stroomgebied	5
2.2	Beschrijving proefperceel	6
3	Opzet proef	11
3.1	Algemene opzet	11
3.2	Installatie regelbare drainage	11
3.3	Monitoring	14
3.3.1	Waterkwantiteit	14
3.3.2	Waterkwaliteit	15
3.4	Beheer overloop niveau stuwen en proef peilopzet winter 2014-2015	16
4	Resultaten	17
4.1	Grondwaterstanden	17
4.2	Waterkwaliteit	20
4.2.1	Oppervlaktewaterkwaliteit	21
4.2.2	Drainwaterkwaliteit	24
4.2.3	Vergelijking grondwater drainwater, oppervlaktewater, grondwater	26
5	Discussie	27
5.1	Grondwaterstanden en hydrologie	27
5.2	Waterkwaliteit	29
6	Conclusie	31
7	Referenties	33
	Bijlage(n)	
A	Tijdreeksen grondwaterstanden	A-1
B	Tijdreeksen waterkwaliteit oppervlaktewater	B-1
C	Tijdreeksen waterkwaliteit drainwater	C-1
D	Boxplots oppervlaktewaterkwaliteit	D-1
E	Boxplots drainwaterkwaliteit	E-1
F	Boxplots proefperceel vergelijking grondwater, drainwater, oppervlaktewater	F-1
G	Correlatiematrices waterkwaliteit	G-1

1 Introductie

Waterschap Hunze & Aa's is in het voorjaar van 2013 gestart met een proef met regelbare drainage in het beekdal van het Achterste Diep (bovenstroom van de Hunze). Het hoofddoel van de proef is te onderzoeken of regelbare drainage een effectieve maatregel is om veenafbraak en bodemdaling te verminderen of te voorkomen. Door bodemdaling worden de percelen steeds natter en wordt het peil verlaagd, wat weer extra veenoxidatie en maaiveldddaling veroorzaakt (zie Figuur 1.1). In het betreffende veengebied treedt een jaarlijkse bodemdaling op van 1-2 centimeter. Dit betekent dat het watersysteem en de aanwezige kunstwerken in het hele gebied na verloop van tijd weer opnieuw moet worden ingericht. Dit brengt grote maatschappelijke kosten met zich mee.



Figuur 1.1 De viciuze cirkel van peilverlaging en maaiveldddaling door veenoxidatie

Hogere oppervlaktewaterpeilen en grondwaterstanden in het beekdal van de Hunze zijn tevens gewenst in verband met aangrenzende natte natuur langs de beek. Waterschap Hunze en Aa's wil voorkomen dat de natuurstrook rond de beek (met hogere peilen) veel water verliest naar de naastgelegen landbouwpercelen (Figuur 1.2A). Een groot peilverschil zorgt voor veel wegzijging en voor een grote watervraag om het peil in de natuurstrook te handhaven. Voor de natte natuur langs de beek is het daarnaast belangrijk dat kwel de wortelzone kan bereiken. Bij lage oppervlaktewaterpeilen en grondwaterstanden trekken de drains en sloten in het landbouwperceel de kwelstroom aan. In het natuurgebied treedt dan infiltratie op in de plaats van kwel (Figuur 1.2A), met verzuring als gevolg.

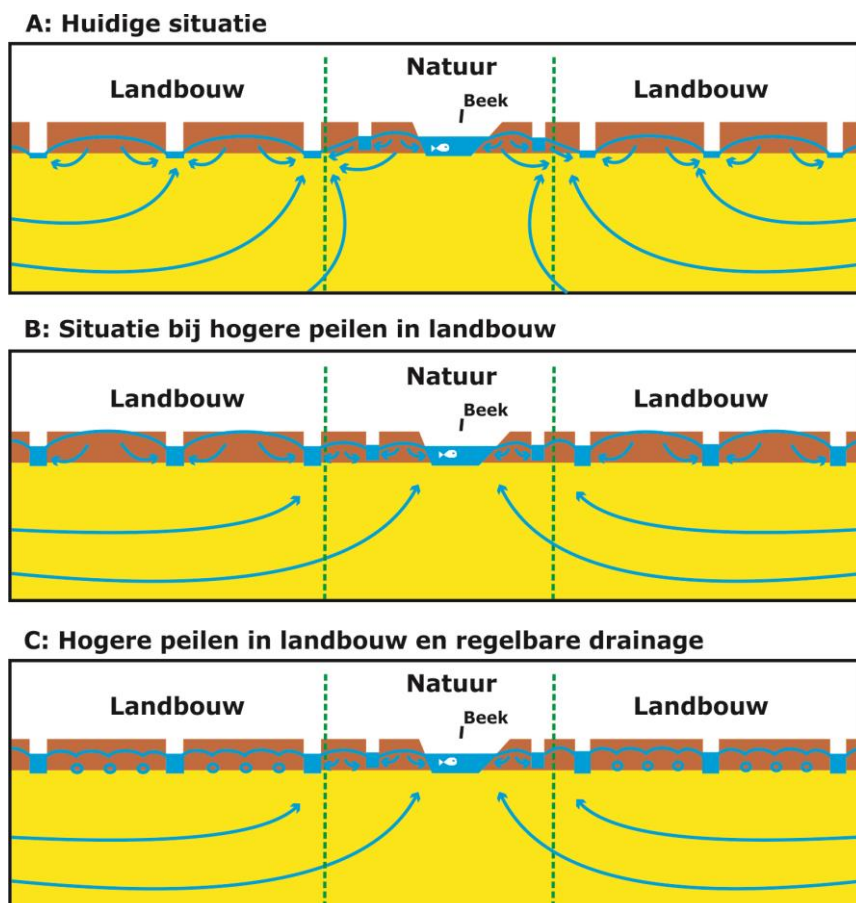
Door peilopzet in het oppervlaktewater in het landbouwgebied wordt de lekkage uit het natuurgebied verminderd en kan de regionale kwel de wortelzone in het natuurgebied weer bereiken (Figuur 1.2B). De grondwaterstanden in het landbouwgebied worden echter te hoog voor het landgebruik. Door naast de verhoging van het oppervlaktewaterpeil ook drainage aan te leggen worden te hoge grondwaterstanden in het landbouwgebied voorkomen (Figuur 1.2C).

Bij de pilot met regelbare drainage wordt de afvoer van de drains verminderd door de waterstand in de sloot te verhogen middels regelbare stuwen. In perioden van droogte houden de stuwen water vast, voeren de drains minder water af en blijven de grondwaterstanden hoger. Dat voorkomt dat zuurstof in contact komt met het niet geoxideerde veen, wat verdere veenafbraak voorkomt. Door de lage ligging van de percelen direct naast de Hondsrug is er sprake van relatief veel kwel, vooral naar de sloten. Met

regelbare drainage wil Waterschap Hunze en Aa's het kwelwater in droge perioden vasthouden. Zo ontstaat een win-win situatie voor landbouw én natuur.

De verwachting van Waterschap Hunze & Aa's is dat regelbare drainage ook positieve effecten heeft voor de waterkwaliteit. Het Achterste Diep gaat stroomafwaarts over in de Hunze en komt uit in het eutrofiëringgevoelige Zuidlaardermeer. Vermindering van de nutriëntenverliezen vanuit landbouwpercelen is daarom zowel belangrijk voor de lokale ecologie als voor ecologische doelen en recreatieve functies benedenstrooms.

Als er middels regelbare drainage hogere grondwaterstanden gerealiseerd kunnen worden, zal veenafbraak door oxidatie verminderen. Er komen dan minder nutriënten beschikbaar voor transport naar het oppervlaktewater. Er is echter ook een mogelijkheid dat de hogere grondwaterstanden juist voor meer uitspoeling van nutriënten zorgen. Door het landbouwkundig gebruik en de bemesting is de bouwvoor waarschijnlijk verrijkt met nutriënten en andere landbouw gerelateerde stoffen (zware metalen, gewasbeschermingsmiddelen). Hogere grondwaterstanden kunnen zorgen dat oppervlakkige afstroming en afstroming via de bouwvoor belangrijker worden en meer nutriënten afvoeren.



Figuur 1.2: Conceptuele voorstelling van de maatregel. A: Huidige situatie; lage grondwaterstanden in het landbouwgebied en daardoor geen kwel in natuur en lekkage naar het landbouwgebied. B: Herstel kwel en verminderen lekkage in natuur door peilopzet in landbouwgebied. C: Voorkomen van te hoge grondwaterstanden in landbouwgebied door peilopzet te combineren met drainage.

Waterschap Hunze en Aa's wil met deze pilot onderzoeken of er mogelijkheden zijn voor een duurzame combinatie van landbouw en natuur in het venige dal van de Hunze. Samengevat worden de volgende effecten voorzien:

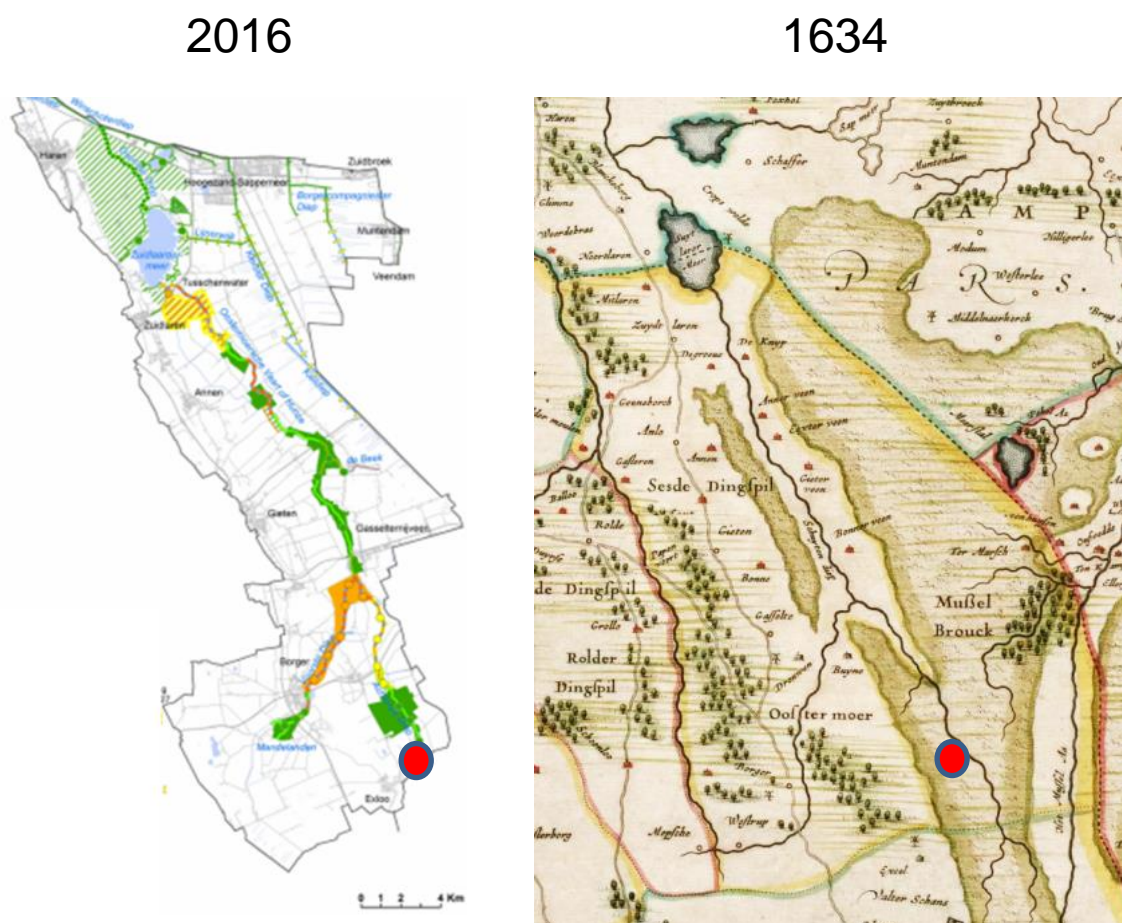
- Hogere grondwaterstanden, minder droogte
- Minder veenafbraak en bodemdaling
- Minder kwel naar de landbouwsloten, meer naar de beekbegeleidende natuurgraslanden
- Minder waterbehoefte om het peil in de beekbegeleidende natuurgraslanden hoog te houden
- Minder uitspoeling van nutriënten

Om ervaring op te doen met regelbare drainage in de beschreven setting is in 2013 een proef gestart op een akker vlakbij het Achterste Diep, ten noordoosten van Exloo. Om de effecten van regelbare drainage te kunnen kwantificeren zijn metingen gedaan (grondwaterstanden en waterkwaliteit) op het proefperceel en op een referentieperceel. Dit rapport beschrijft het studiegebied (hst 2), de opzet van de proef en de monitoring (hst 3) en de meetresultaten (hst 4). De resultaten worden vervolgens in verband gebracht met de hiervoor beschreven verwachte effecten in de discussie (hst. 5), Tenslotte volgen de conclusies en aanbevelingen.

2 Pilotgebied

2.1 Hunze stroomgebied

De Hunze is een vrij afwaterende beek, die in noordwestelijke richting van het Drentsch Plateau afstroomt naar het Zuidlaardermeer in een door gletsjers uitgeslepen dal (zie Figuur 2.1). Bij Gasselternijveen komen de twee bovenlopen (het Voorste- en Achterste diep) bij elkaar om samen als De Hunze verder te stromen (Waterschap Hunze en Aa's, 2008). Het dal is asymmetrisch met aan de westzijde de Hondsrug (relatief steile hellingen met een hoogteverschil tot 15 meter) en aan de oostzijde de vlakke en relatief laaggelegen veenkoloniën. In de veenkoloniën bevond zich tot voor enkele eeuwen een uitgestrekt hoogveengebied. Op de Hondsrug infiltreert regenwater dat in het Hunze-dal opkwelt. Vanwege de natte omstandigheden hebben zich op veel plaatsen in het beekdal veenpakketten gevormd. Ontwatering zorgde ervoor dat veel van dit veen door mineralisatie is verdwenen, waardoor ook het maaiveld op veel plaatsen is gedaald. Het Hunze-gebied ligt in de provincies Drenthe en Groningen. Voor meer informatie over het Hunze stroomgebied verwijzen we naar het Watersysteemplan Hunze (Waterschap Hunze en Aa's, 2008).



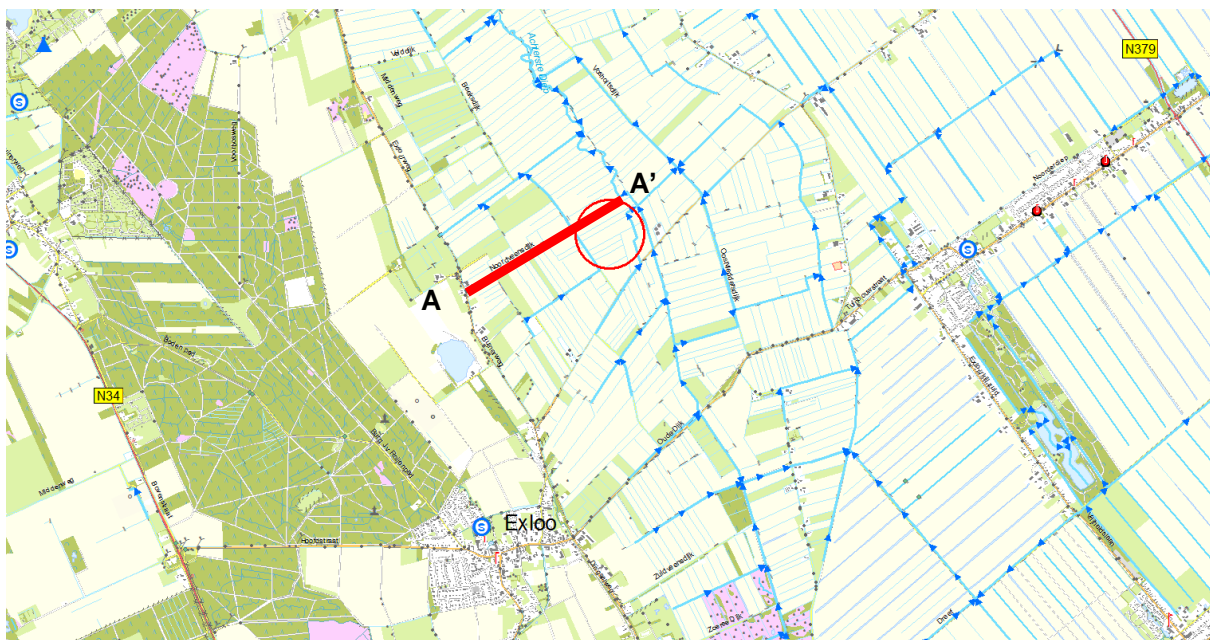
Figuur 2.1 Hunze stroomgebied in 2016 en in 1634. De locatie van de proef in Exloo is weergegeven met een rode stip.

2.2 Beschrijving proefperceel

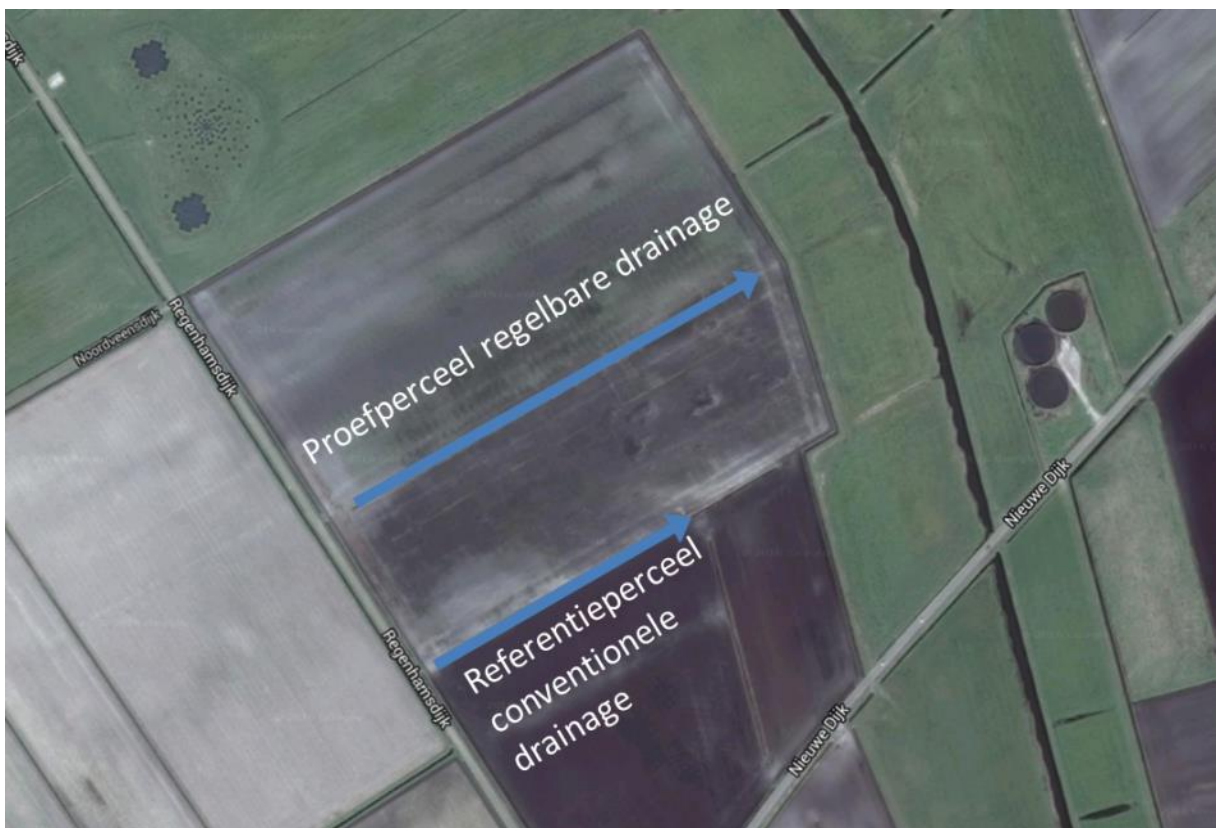
Het proefperceel ligt langs het Achterste Diep, ten noordoosten van het dorp Exloo (zie Figuur 2.1) (RDS-coord.: x255500, y547500). In dit gebied komen zand- en veenbodems voor (zie Figuur 2.4 en Figuur 2.5). De veendikte neemt toe richting het Achterste Diep en op het proefperceel varieert de veendikte van enkele decimeters in het westelijke deel tot maximaal twee meter dikte bij de beek. Onder dit veen bevindt zich zand.

In het beekdal kwelt grondwater op dat afkomstig is van de nabijgelegen Hondsrug (zie Figuur 2.6). De kwelflux bedraagt gemiddeld circa 2 mm per dag (bron: NHI/MIPWA). Door de kwel is vooral het laagste, meest oostelijke deel van het perceel relatief nat. De GHG is ca. 30cm onder maaiveld, de GVG ca. 40 cm –mv en de GLG ca. 80 cm –mv (NHI/MIPWA). Aan de kwel-infiltratiekaart (Figuur 2.6) is te zien dat de kwel voornamelijk naar de sloten toe getrokken wordt. De sloten die het perceel ontwateren liggen tot in het zand (zie ook Figuur 1.2). Dat deze sloten veel kwel ontvangen is in het veld zichtbaar aan de kwelvliesjes op het wateroppervlak en aan de ijzeroxide op de slootbodem (zie Figuur 2.7). In het Hunzedal bevat het grondwater in de formatie van Bostel (BX in Figuur 2.4) opvallend hoge concentraties ammonium, fosfaat en ijzer (mediaan van 4,90 mg/l NH₄-N; 0,58 mg/l PO₄; 14 mg/l Fe) (Klein et al., 2007).

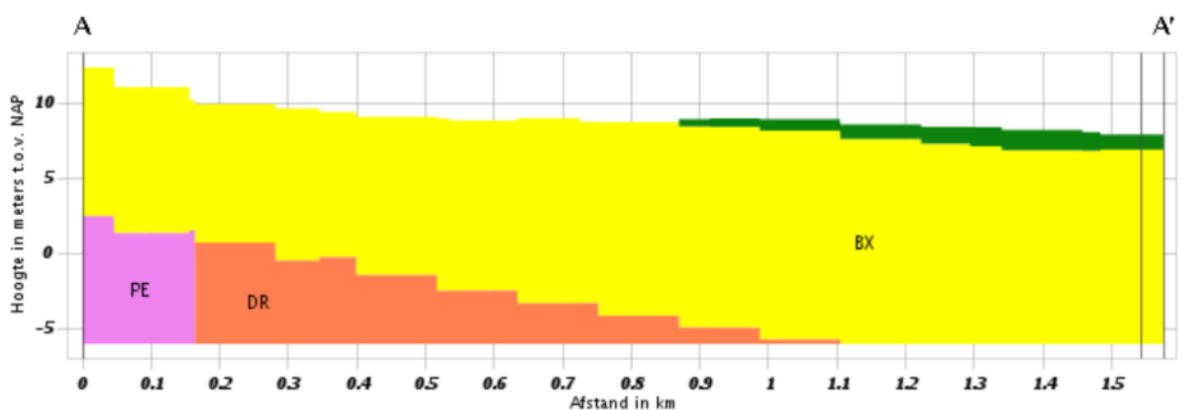
Op het proefperceel wordt akkerbouw bedreven, waarbij afwisselend aardappels (2009, 2011, 2013, 2015) tarwe (2010, 2012) en suikerbieten (2014) is geteeld. Het grootste deel van de percelen van de drainageproef zijn rond 2009 gespit. Er is met een kraan zand door het veen gemengd om de draagkracht en doorlatendheid van de percelen te verbeteren (mengwoelen).



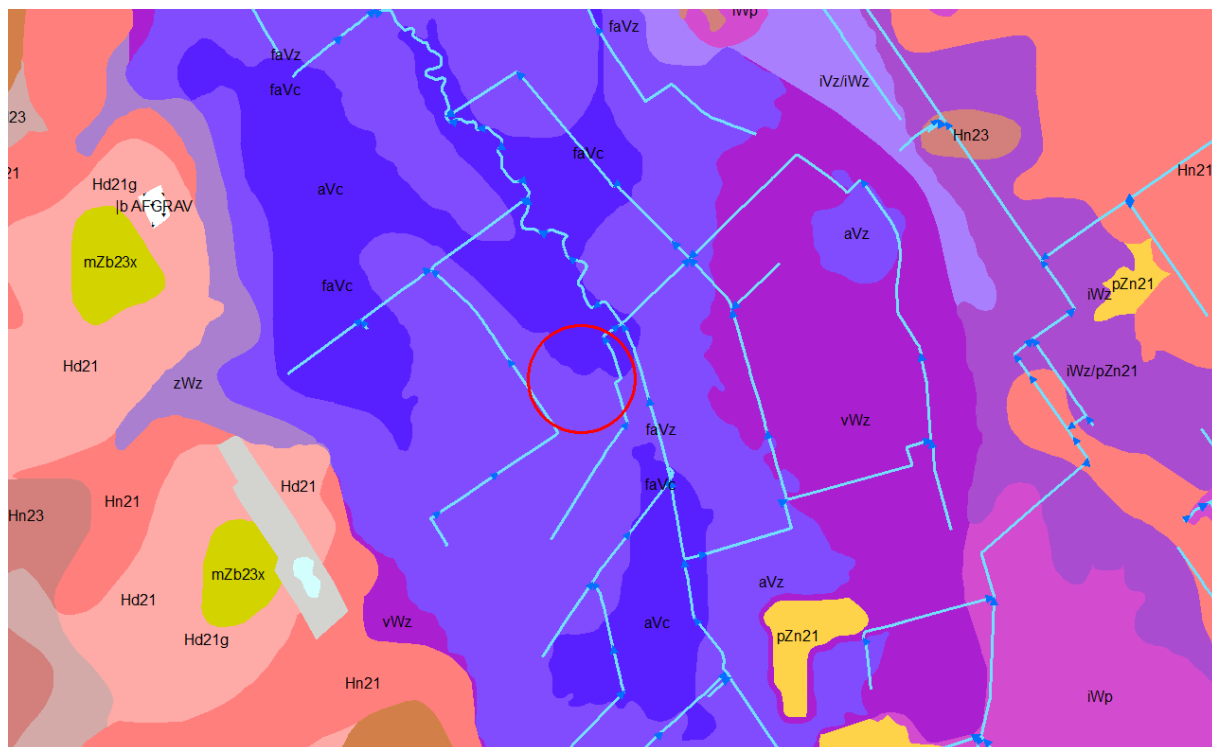
Figuur 2.2 Topografische kaart met locatie praktijkproef regelbare drainage (rode cirkel). De rode streep geeft de ligging van het geologische profiel in Figuur 2.4.



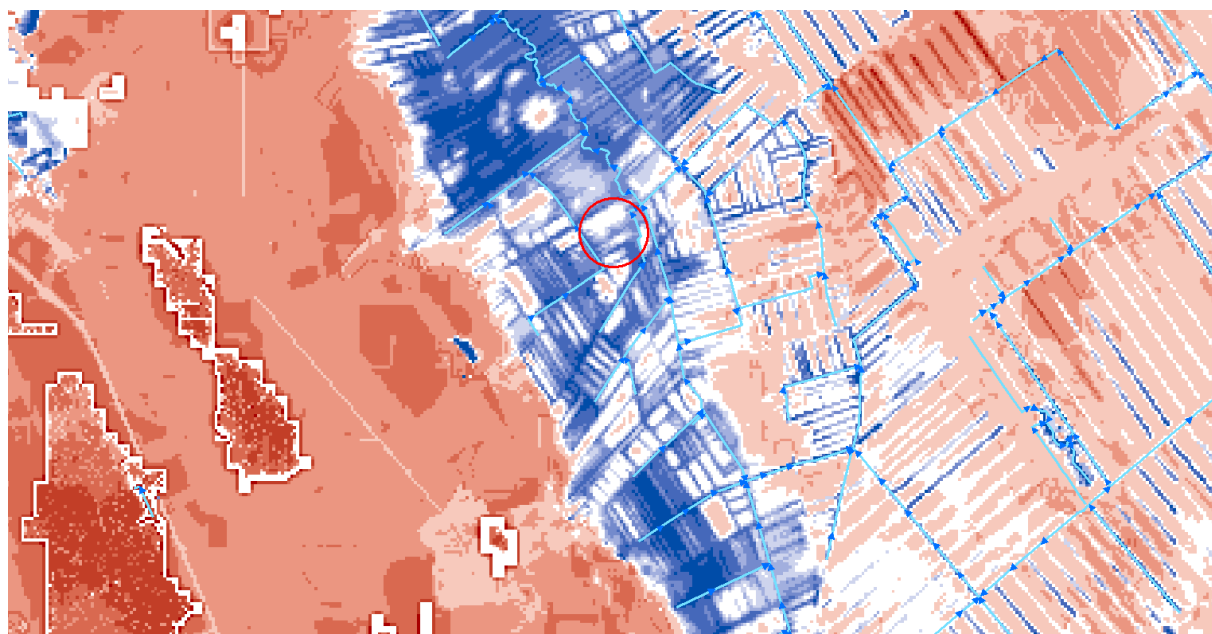
Figuur 2.3 Satellietbeeld van het proefperceel met in blauw de sloten die de percelen afwateren



Figuur 2.4 Geologisch profiel (ligging zie Figuur 2.2) vanaf de Buinerweg (A), langs de Noordveersdijk tot aan de Hunze (A'). De Boxtel-formatie (BX) bestaat uit dekzand en ligt in het hogere deel van het dal aan het oppervlak. De groene laag aan het oppervlak (HL) is Holoceen veen die naar de Hunze toe in dikte toeneemt tot een dikte van maximaal 2 meter. De diepere formaties van Peelo (PE) en Drenthe (DR) zijn voornamelijk zandige glaciale afzettingen.



Figuur 2.5 Bodemkaart 2014 met locatie proefperceel (rode cirkel). Het perceel en het substroomgebied ligt op Madeveengrond (aV), deels bestaand uit zeggenveen, rietzeggeveen of mesotroof broekveen (achtervoegsel c), deels op een zandige ondergrond (achtervoegsel z) en plaatselijk ijzerrijk (voorvoegsel f).



Figuur 2.6 Kwel infiltratie patroon berekend met MIPWA 2.0



Figuur 2.7 Sloot die het proefperceel ontwaterd met ijzeroxide en bacterievliesjes die kenmerkend zijn voor kwel (gefotografeerd in stroomopwaarde richting in november 2014)

3 Opzet proef

3.1 Algemene opzet

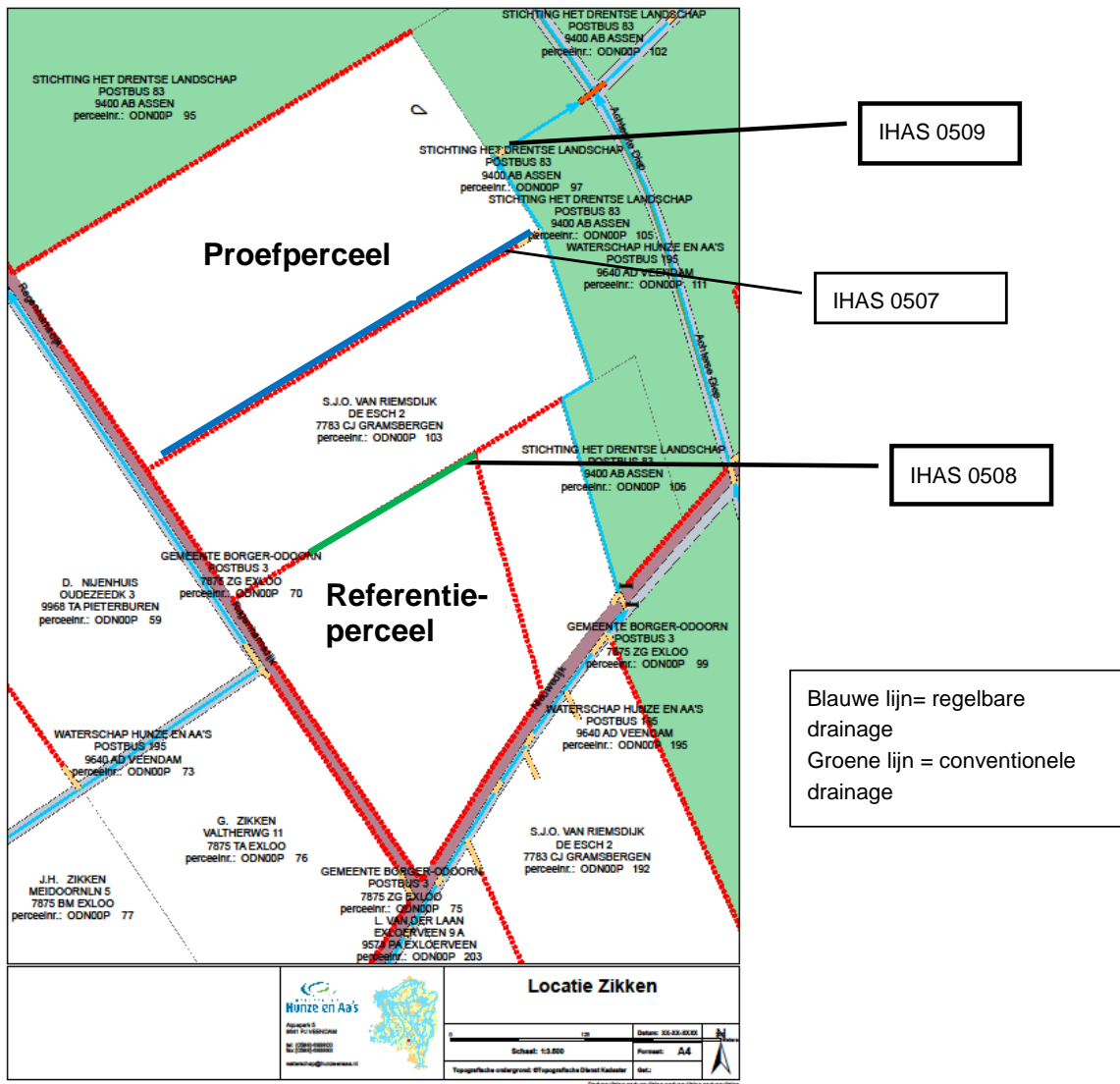
De proef is opgezet met een proefperceel en een referentieperceel (zie ook Figuur 2.3) die qua eigenaar, gewas, bodemtype en hydrologie vergelijkbaar zijn. Beide percelen zijn gedraineerd en in de centrale sloot van het proefperceel zijn drie stuwen geplaatst om het peil te regelen. In het referentiejaar 2013 is het peil van de stuwen nog niet opgezet. In 2014 en 2015 is het peil wel verhoogd. Gedurende de gehele proefperiode (2013 t/m 2015) zijn de grondwaterstanden en waterkwaliteit gemeten.

3.2 Installatie regelbare drainage

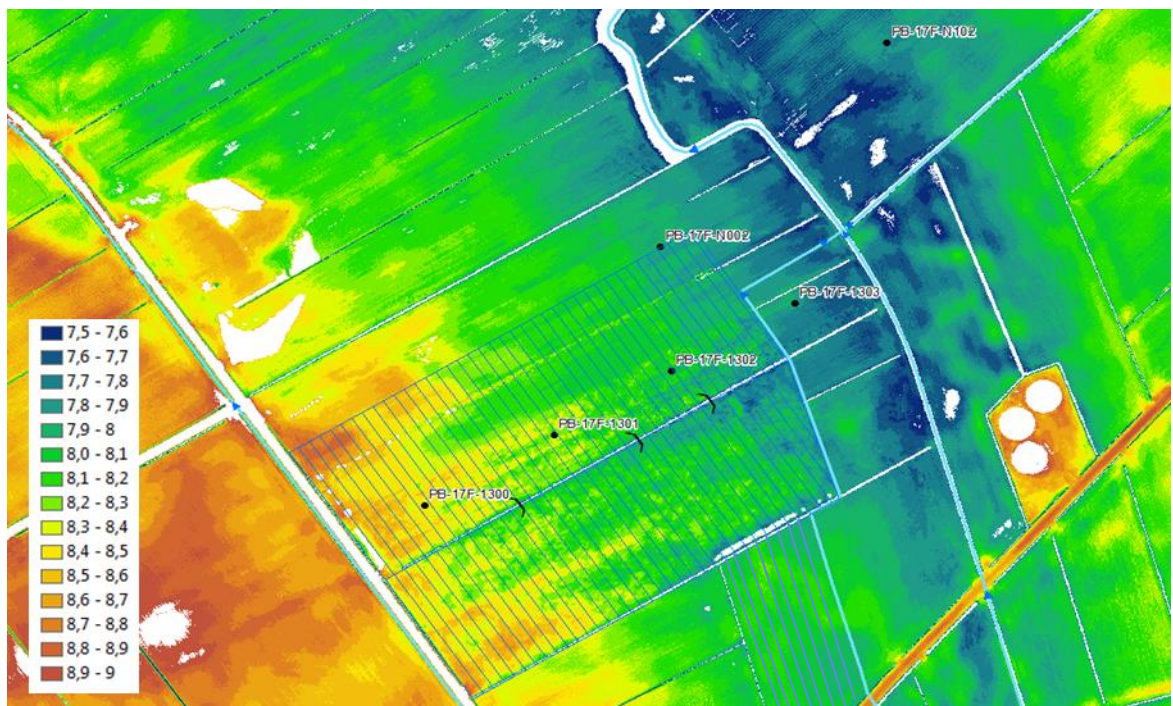
Voor de proef met regelbare drainage zijn in 2013 reguliere drains aangelegd op ca. 90 cm onder maaiveld. In Figuur 3.2 staan de drains op het proefveld afgebeeld. Die drains wateren af op de centrale sloot. Het referentieperceel aan de zuidkant van het proefperceel is in dezelfde periode gedraineerd. Die drains wateren af op de sloot tussen het proefperceel en het referentieperceel (zie ook Figuur 2.3). De afstand tussen de onderlinge drains is 8 meter op het hogere, westelijke deel van het perceel en 7 meter op het lagere deel aan de oostkant. Aan de overkant van de Hunze ligt nog een vergelijkbaar perceel (met peilbuis, zie Figuur 3.2) waar in 2012 drainage is aangelegd. Alle drains zijn ongeveer parallel aan de hoogtelijnen gelegd. De drains zijn aangelegd met een draineermachine die de 90 cm diepe sleuf graaft en de drainbuis erin legt (zie Figuur 3.3 links). Vervolgens is de sleuf tot aan de bouwvoor volgestort met goed doorlatend zand (zie Figuur 3.3 rechts). Een uitstroomopening van één van de drains is weergegeven in Figuur 3.4.

In de sloot zijn ook drie stuwijtjes aangebracht waarmee het peil in de sloot en daarmee ook het peil in de drains geregeld kan worden (zie Figuur 3.4). Een getrappt systeem met drie stuwijtjes is nodig in verband met de helling in de sloot (ca. 1 meter over de lengte van het perceel). In het referentieperceel zijn geen stuwen geplaatst.

Een profiel met de maaiveldhoogte, de hoogte van de drains en het oppervlaktewaterpeil bij het basishoogte van de stuwen is weergegeven in Figuur 3.5.



Figuur 3.1: Kaart met het proefperceel, het referentieperceel, de ligging van de sloten en de locaties en codes van de oppervlaktewaterkwaliteitsmeetpunten



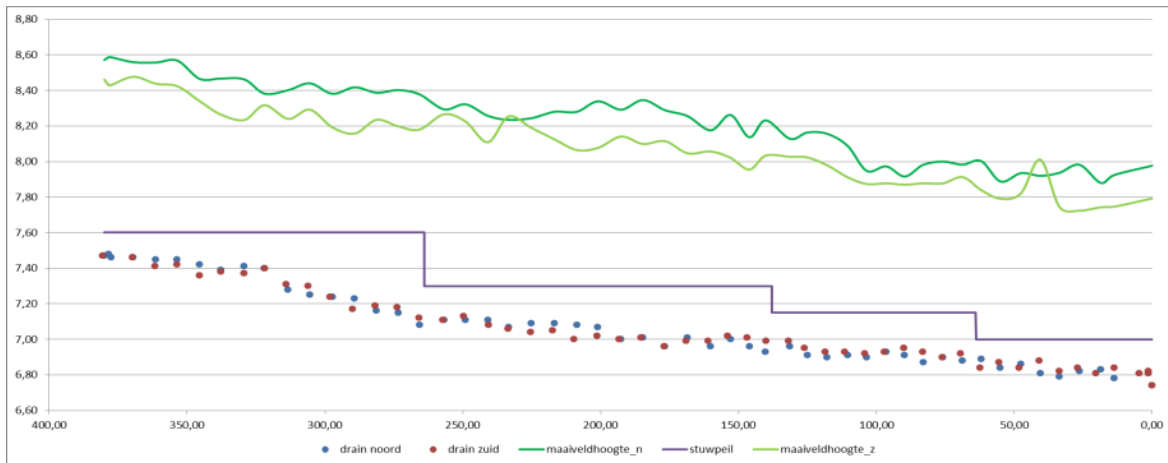
Figuur 3.2 Maaiveldhoogte, ligging drainage, peilbuizen en stuwen op het proefperceel.



Figuur 3.3 Aanleg van de drainage. Links: de draineermachine graaft de sleuf en legt de drain erin. Rechts: de sleuf wordt gevuld met goed doorlatend zand.



Figuur 3.4 Drain uistroompunt (links) en regelbare stuw (rechts). Beiden met neerslag van ijzeroxide-vlokken. Bij de stuw ook een bacterievliesje rechts in de sloot, kenmerkend voor kwel.



Figuur 3.5 Hoogteligging drainbuizen ten opzichte van maaiveld en de hoogte van een opgezet stuwpeil.

3.3 Monitoring

3.3.1 Waterkwantiteit

In het proefperceel zelf is op 3 locaties de grondwaterstand continue gemeten van 2013 tot en met 2015 met automatische waterdruksensoren. De peilbuizen zijn steeds bovenstrooms van de stuwen geplaatst, op 50 meter afstand van de sloot, midden tussen de drains (zie Figuur 3.2, locaties 1300-1302). Ook is er een peilbuis geïnstalleerd in de strook natuur langs de beek (1303). Langere meetreeksen van grondwaterstanden zijn beschikbaar voor al

bestaande peilbuizen op het proefperceel (N002) en op een vergelijkbaar perceel aan de andere kant van het Achterste Diep (N102).

De hierboven beschreven peilbuizen liggen allemaal midden tussen twee drains in. In het voorjaar van 2015 zijn de grondwaterstanden ook gemeten in een raai van 5 tijdelijke peilbuizen midden op het proefperceel. De buitenste peilbuizen in de raai staan 7 meter uit elkaar en beiden ter hoogte van een drain. Deze raai is geplaatst om te onderzoeken hoe hoog de grondwaterstanden ter hoogte van de drains zijn, en hoe groot de opbolling van de grondwaterstanden tussen de drains is.



Figuur 3.6 Installatie en inmeten van vijf tijdelijke peilbuizen voor de bepaling van de opbolling tussen de drain op 22 januari 2015

3.3.2 Waterkwaliteit

De belangrijkste onderzoeksvraag die aan de basis stond voor het meetplan waterkwaliteit (Van Dongen en Rozemeijer, 2013) was:

Wat zijn de effecten van het regelbare drainagesysteem voor de waterkwaliteit ten opzichte van conventionele drainage?

De focus ligt hierbij op nutriënten (N en P). In de proefopzet wordt naast het proefperceel met regelbare drainage een referentieperceel met conventionele drainage aangelegd. De effecten voor de waterkwaliteit kunnen vastgesteld worden door metingen van het proefperceel en het referentieperceel met elkaar te vergelijken.

In Figuur 3.1 zijn de locaties aangegeven waar het oppervlaktewater bemonsterd is. Locatie 0507 ligt aan de benedenstroomse kant van de sloot die het proefperceel ontwaterd. Locatie 0508 is het einde van de sloot die het referentieperceel ontwaterd. Locatie 0509 ligt vlak voor het uitstroompunt naar het Achterste Diep en is representatief voor de afvoer vanuit het deelstroomgebied waar zowel het proefperceel als het referentieperceel in liggen. De locaties

zijn aanvankelijk tweewekelijks bemonsterd (19 april-26 juni) en vervolgens maandelijks tot 21 november. De watermonsters zijn geanalyseerd op het basis-chemisch pakket (T, BZV, Nkj, NH₄, NH₃, NO₂, NO₃, N-totaal, Portho, P-totaal, pH, egv, Cl, O₂ en zwevend stof).

De grondwaterkwaliteit is eenmalig (30 september 2013) op 7 locaties (PB-IHAS-0507-1 t/m 4 en PB-IHAS-0508-5 en -6) bemonsterd uit tijdelijke boorgaten tot in de zandlaag onder het veen/klei-pakket. De grondwatermonsters zijn geanalyseerd op het basis-chemisch pakket (BZV, Nkj, NH₄, NH₃, NO₂, NO₃, N-totaal, P-ortho, P-totaal, pH, egv, Cl, O₂) en op macro-ionen (SO₄, HCO₃, Na, Ca, K, Mg.)

De nieuw aangelegde drains op het proefperceel zijn op 7 juni eenmalig allemaal bemonsterd en geanalyseerd op het basis-chemisch pakket. Daarnaast zijn 3 mengmonsters samengesteld uit deelmonsters van individuele drains. De 3 monsters zijn representatief voor de drie delen van het proefperceel bovenstrooms van elk van de drie stuwen in de sloot waarmee het oppervlaktewaterpeil (en dus de drainafvoer) geregeld kan worden. Op 7 juni zijn de deelmonsters samengesteld uit alle individuele drains (1-18, 19-34, 35-49). Bij de latere bemonsteringen zijn de mengmonsters samengesteld uit 3 deelmonsters. De mengmonsters zijn geanalyseerd op het basis-chemisch pakket en macro-ionen.

3.4 Beheer overloop niveau stuwen en proef peilopzet winter 2014-2015

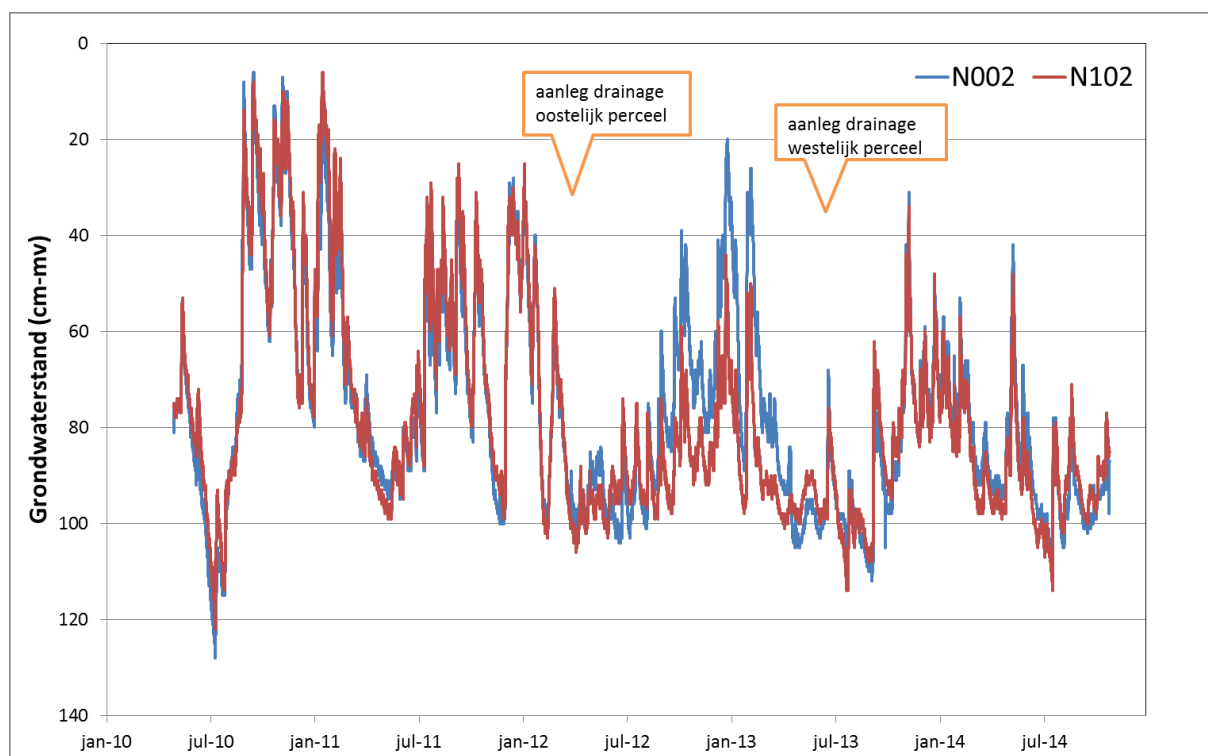
In overleg met de eigenaar zijn de overlooppeilen van de twee westelijke (hoger gelegen) stuwen in 2014 en 2015 in de zomerperiode verhoogd tot 10-20 cm boven drainniveau. Het overloopniveau van de stuw in het lage deel is niet verhoogd, vanwege de nattere opstandigheden. De overloopniveaus van de stuw zijn maar beperkt verhoogd, omdat de eigenaar in het groeiseizoen de grondwaterstanden onder de 50 cm –mv wil houden. Bij te natte condities in de wortelzone kan gewasschade optreden.

Tijdens de winter van 2014/2015 is het peil in alle drie de stuwen ingesteld op 45 cm boven het drainniveau. Deze extra peilopzet buiten het groeiseizoen was bedoeld om het effect van een grotere peilopzet te onderzoeken.

4 Resultaten

4.1 Grondwaterstanden

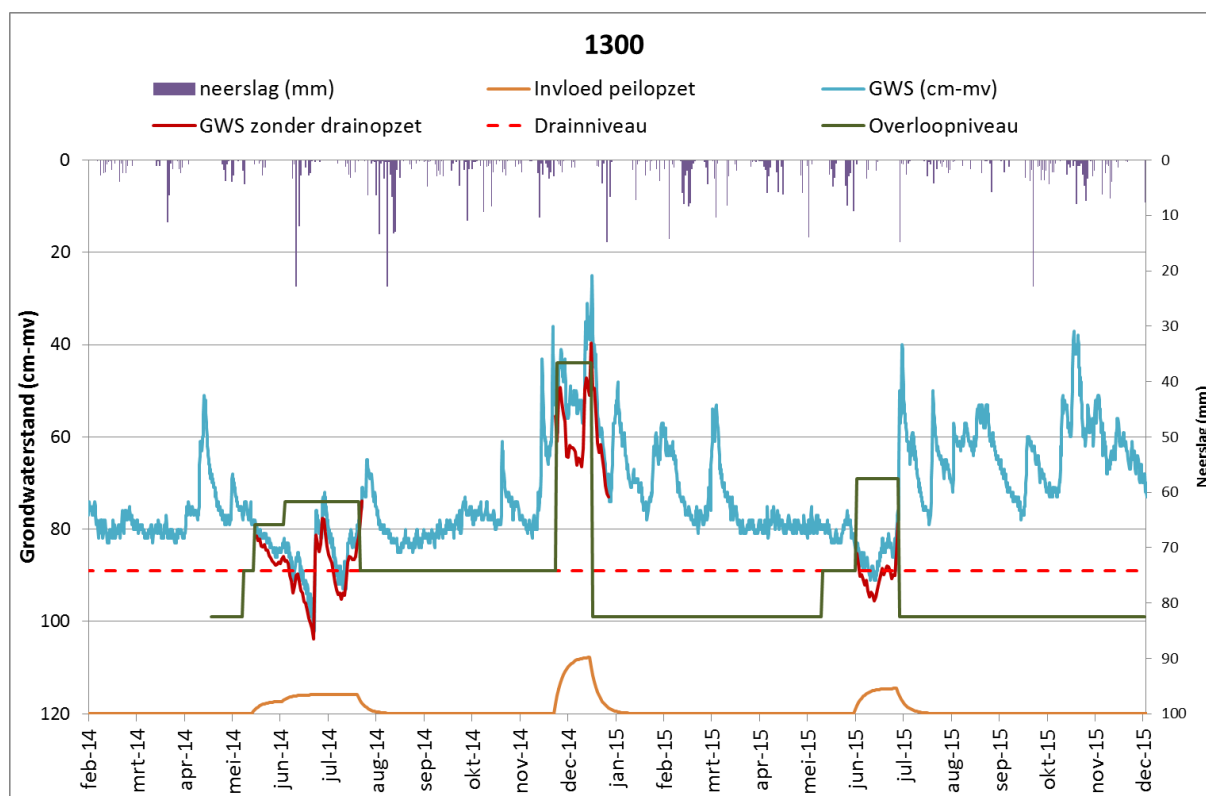
In Figuur 4.1 zijn de grondwaterstanden afgebeeld van de twee bestaande peilbuizen op het proefperceel (N002) en op een vergelijkbaar perceel aan de andere kant van de beek (N102, zie ook Figuur 3.2). Op het perceel van peilbuis N102 is al in 2012 drainage aangelegd, 1 jaar eerder dan op het proefperceel. Aan de meetreeksen is het effect van de drainage af te leiden uit het verschil in grondwaterstand in het jaar dat er op het oostelijke perceel wel drainage lag, maar op het proefperceel nog niet. Voor en na die periode gaan de grondwaterstanden gelijk op, maar in de betreffende periode is er een verschil van ca. 20 cm tussen de meetreeksen. Kennelijk heeft de aanleg van drainage voor beide percelen gezorgd voor een grondwaterstandsverlaging van 20 cm ter hoogte van de betreffende peilbuizen.



Figuur 4.1 Gemeten grondwaterstanden van 2010-2014 op de reeds bestaande meetlocaties N002 (op proefperceel) en N102 (op eerder gedraineerd perceel ten oosten van het Achterste Diep).

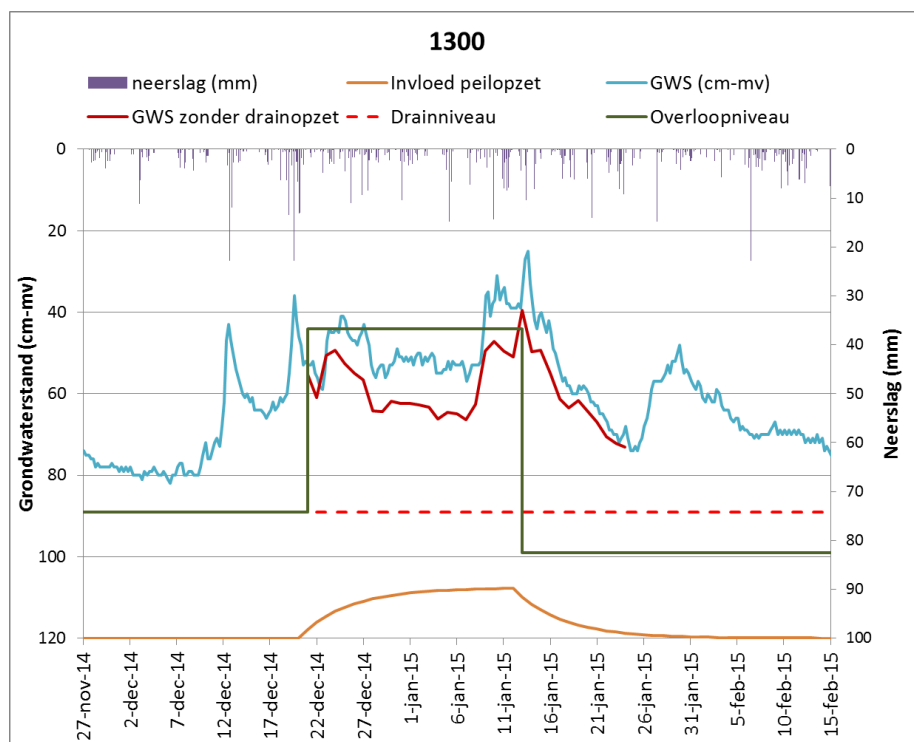
Het effect van het verhogen van het overlooppniveau van de stuwen vanaf 2014 is niet zichtbaar in Figuur 4.1. Deze meetlocatie ligt ook op het lage deel van het perceel, waar het stuwpeil niet opgezet is. De gemeten grondwaterstanden in peilbuizen 1300-1302 (zie Figuur 3.2) zijn opgenomen in Bijlage A. In Figuur 4.2 is voor de meest westelijke en hoogstgelegen locatie (peilbuis 1300) ingezoomd op de periode waarin het overlooppniveau van de stuw is opgezet. In de figuur is ook de invloed van deze peilopzet op de grondwaterstand weergegeven. Die invloed is bepaald met behulp van het programma Metran (MEervoudige TijdReeksANalyse) (Berendrecht, 2004). Met een tijdreeksmodel is onderscheid gemaakt tussen de reactie van de gemeten grondwaterstanden op veranderingen in het neerslagoverschot enerzijds en veranderingen in het stuwniveau anderzijds. In Figuur 4.2 is zowel het effect van de stuwpeilverhoging op de grondwaterstand afgebeeld (oranje lijn) als

het verloop van de grondwaterstand als deze peilverhoging er niet was geweest (rode lijn). Aan de figuur is te zien dat het effect op de grondwaterstanden in de zomer van 2014 (15 cm peilopzet) ter hoogte van peilbuis 1300 maximaal 4 cm is en in de zomer van 2015 (20 cm peilopzet) maximaal 5 cm. Het effect van de extra peilopzet (45 cm) in de winter van 2014/2015 is een maximaal 12 centimeter hogere grondwaterstand op locatie 1300. Bij deze resultaten moet vermeld worden dat peilbuis 1300 zich circa 50 meter bovenstrooms van de stuw bevindt. Door de helling in het perceel en in de sloot is het effect van het verhoogde stuwpeil ter hoogte van de peilbuis al deels uitgewerkt. Ter hoogte van de drains dichterbij de stuw verwachten we een groter effect op de grondwaterstand.



Figuur 4.2 Gemeten grondwaterstanden op locatie 1300 (meest westelijk, hoogst gelegen), berekende invloed van de peilopzet (referentie 120 cm = geen invloed) en berekende grondwaterstand zonder peilopzet.

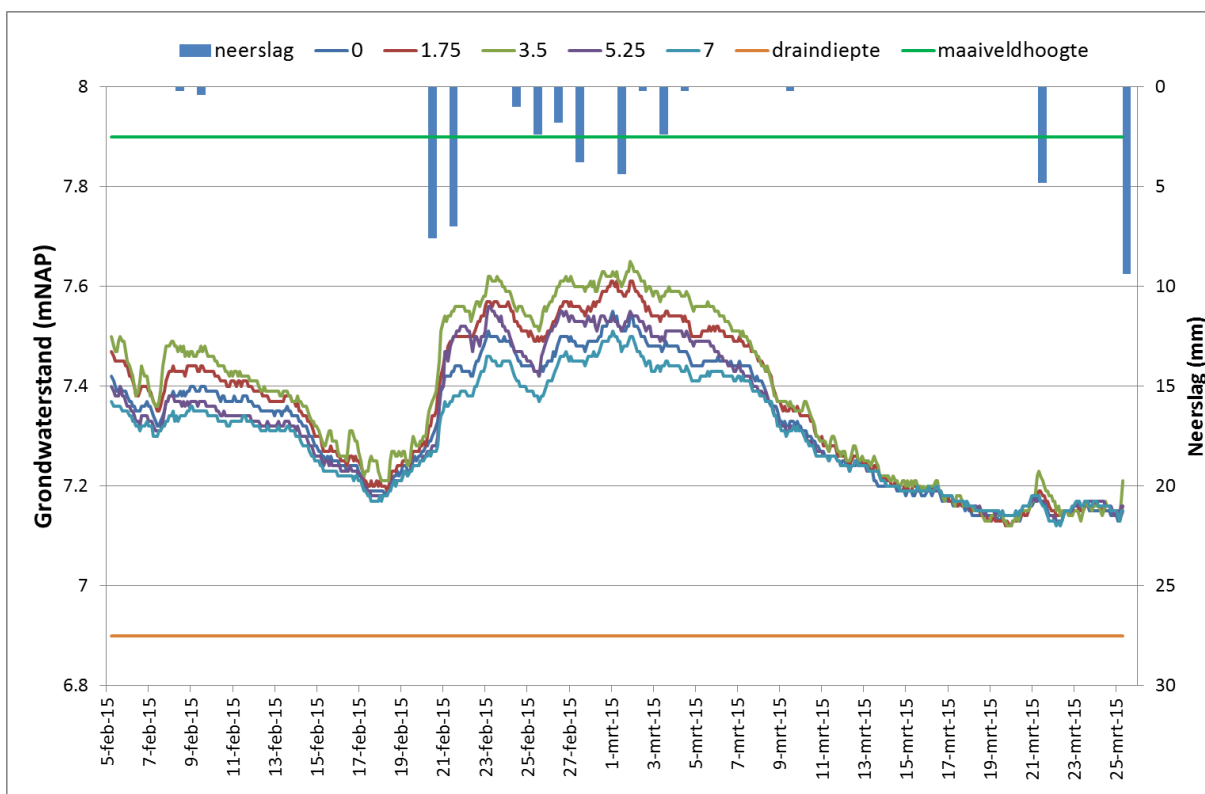
Om het effect van de proef met de extra peilopzet in de winter 2014/2015 duidelijker te maken is in Figuur 4.3 ingezoomd op de betreffende periode. In deze figuur is beter te zien hoe lang het effect van de stuwpeilverhoging blijft doorwerken. 3 dagen na het neerhalen van de stuw is het effect op de grondwaterstand voor 50% uitgewerkt en na 10 dagen is het effect bijna helemaal weg.



Figuur 4.3 Effect van extra peilopzet tijdens een proef in de winter van 2014/2015. Gemeten grondwaterstanden op locatie 1300, berekende invloed van de peilopzet (referentie 120 cm = geen invloed) en berekende grondwaterstand zonder peilopzet.

De gemeten grondwaterstanden in de raai tussen 2 drains zijn weergegeven in Figuur 4.4. De grondwaterstanden staan in de gehele raai, dus ook bij de peilbuizen ter hoogte van de drains, 25-70 cm boven het drainniveau. Dat betekent dat de drains ondanks de omstorting van zand niet optimaal water afvoeren en dat er zich een intreeweerstand heeft opgebouwd. Dit kan te maken hebben met verstopping van de drainfilters en het omliggende zand met deeltjes (silt, organisch) en met ijzeroxide. Ijzeroxidevlokken zijn ook waargenomen bij de uitstroompunten van de drains en op de slootbodembodem (zie Figuur 2.7). De oorzaak van deze ijzeroxidevorming is de aanvoer van ijzerrijk kwelwater in het beekdal.

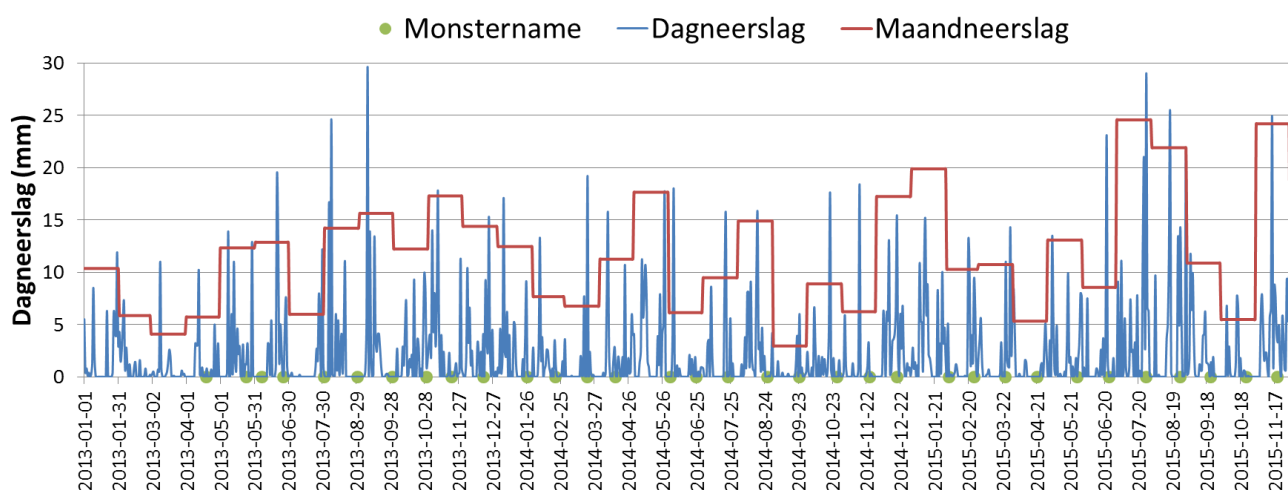
Aan de grondwaterstanden in Figuur 4.4 is ook te zien dat de opbolling tussen de drains over de gemeten periode varieert tussen 0 cm in de drogere periodes en 15 cm in natte periodes. Deze opbolling tussen de drains is het gevolg van de hydrologische weerstand van de ondergrond.



Figuur 4.4 Gemeten grondwaterstanden voor het bepalen van de opbolling tussen de drains; grondwaterstanden bij de drains (op 0 en 7m) en op 1.75, 3.5 en 5.25 m tussen de drains in.

4.2 Waterkwaliteit

Voor de interpretatie van de waterkwaliteitsresultaten is het belangrijk rekening te houden met de weerscondities in de periode voor elke bemonstering. In Figuur 4.5 zijn de bemonsteringstijdstippen samen met de dag- en maand-neerslagtotalen op KNMI meetstation Eelde afgebeeld. Tabel 4.1 geeft de jaartotalen voor de neerslag, de verdamping en het neerslagoverschot. De drie meetjaren waren qua weersomstandigheden niet extreem. 2013 en vooral 2014 waren droger dan het langjarige gemiddelde neerslagoverschot voor Eelde van 267mm (812 mm neerslag en 545 mm verdamping). 2015 was wat natter dan het langjarig gemiddelde.



Figuur 4.5 Neerslag en bemonsteringsmomenten

Tabel 4.1 Jaarneerslag, verdamping en neerslagoverschot op KNMI meetstation Eelde voor 2013-2015

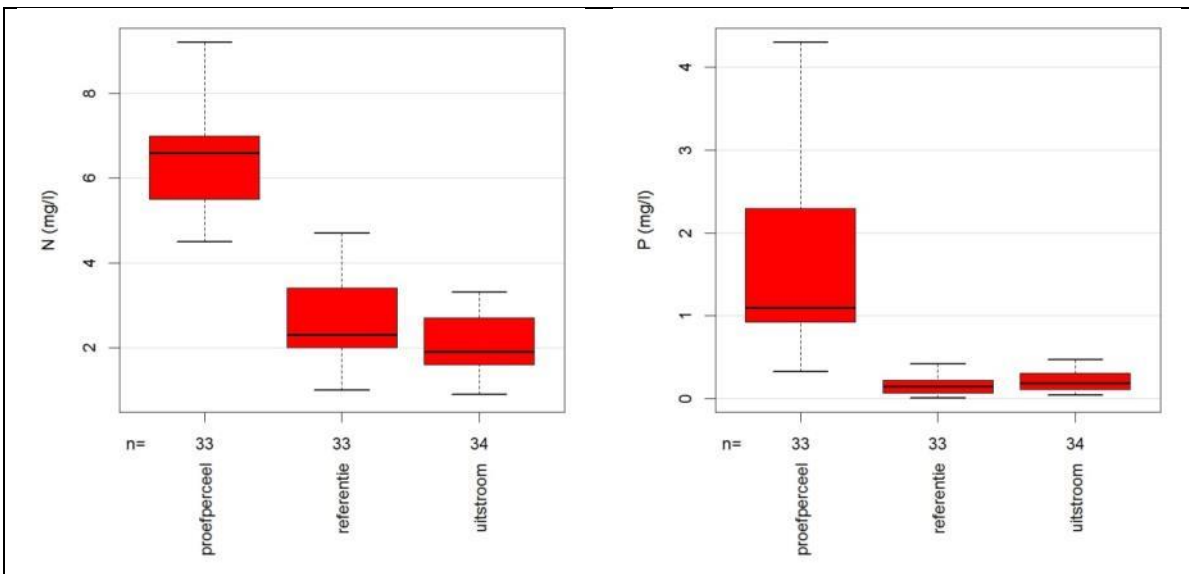
Jaar	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)	Neerslagoverschot (mm)
2013	698	557	141
2014	648	596	52
2015	871	567	304

4.2.1 Oppervlaktewaterkwaliteit

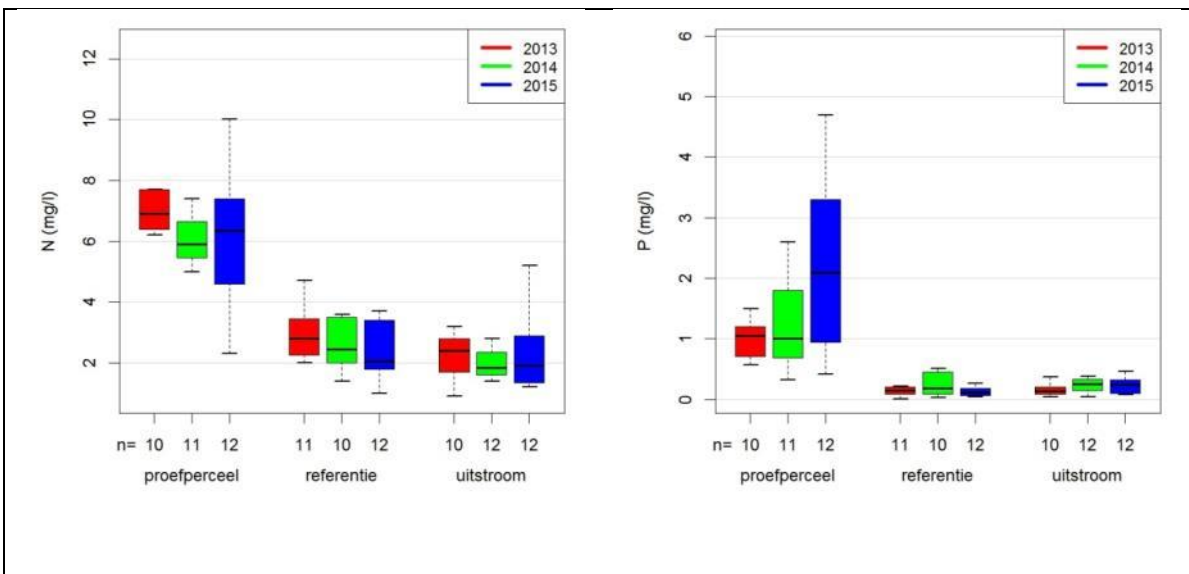
De oppervlaktewaterkwaliteit is maandelijks gemeten bij het proefperceel, het referentieperceel en bij het uitstroompunt naar het Achterste Diep (Figuur 3.1). De meetreeksen voor N-tot, NO₃, NH₄, P_{tot}, PO₄ en Cl zijn weergegeven in bijlage B. In Bijlage D staan boxplots van alle gemeten parameters. In Figuur 4.6 en Figuur 4.7 zijn de boxplots voor N-tot en P-tot afgebeeld. Boxplots geven de statistieken van de data visueel weer. De dikke zwarte lijn geeft de mediaan, de onder- en bovenkant van de rode box zijn de 25- en 75 percentiel en de buitenste lijnen geven de range. Extreme waarden zijn niet afgebeeld.

Uit de boxplots in Figuur 4.6 blijkt dat er een groot verschil is in de N-tot en P-tot concentraties tussen het proefperceel en het referentieperceel en het uitstroompunt. De concentraties N-tot liggen ca. 3x hoger op het proefperceel en de concentraties P-tot ca. 10x hoger. Aan de boxplots per jaar in Figuur 4.7 is te zien dat het verschil tussen het slootwater van proefperceel enerzijds en het referentieperceel en het substroomgebied anderszijds voor N-tot al bestond in 2013, nog voordat het overloopeil van de stuwen is verhoogd. Voor P-tot bestond het verschil ook al in 2013, maar lopen de concentraties op het proefperceel verder toe van 2013 tot 2015. In Figuur 4.8 staan meetreeksen van de N en P fracties, waarin te zien is dat de toename vooral zit in de zomerpieken in particulier P. De zomerpieken in P_{tot} nemen toe van 2 mg/l in 2013 tot 7 mg/l in 2015.

De hogere N-tot concentraties op het proefperceel worden voornamelijk veroorzaakt door hogere concentraties NH₄ en gebonden N op het proefperceel (zie bijlage B en D en Figuur 4.8). De nitraatconcentraties op de drie locaties zijn vergelijkbaar en zijn vooral verhoogd in de winter. Hoewel de NH₄ concentraties op het proefperceel iets dalen van 2013-2015 (Bijlage D), is er geen duidelijk verschil tussen de jaren in het N-tot concentratieniveau.



Figuur 4.6 Boxplots van de concentraties N-totaal (links) en P-totaal (rechts) in de sloot bij het proefperceel, bij het referentieperceel en bij het uitstroompunt (2013-2015)



Figuur 4.7 Boxplots per meetjaar van de concentraties N-totaal (links) en P-totaal (rechts) in de sloot bij het proefperceel, bij het referentieperceel en bij het uitstroompunt (2013-2015)



Figuur 4.8 Verloop van de fracties P en N in het oppervlaktewater van het proefperceel, het referentieperceel en het verzamelpunt.

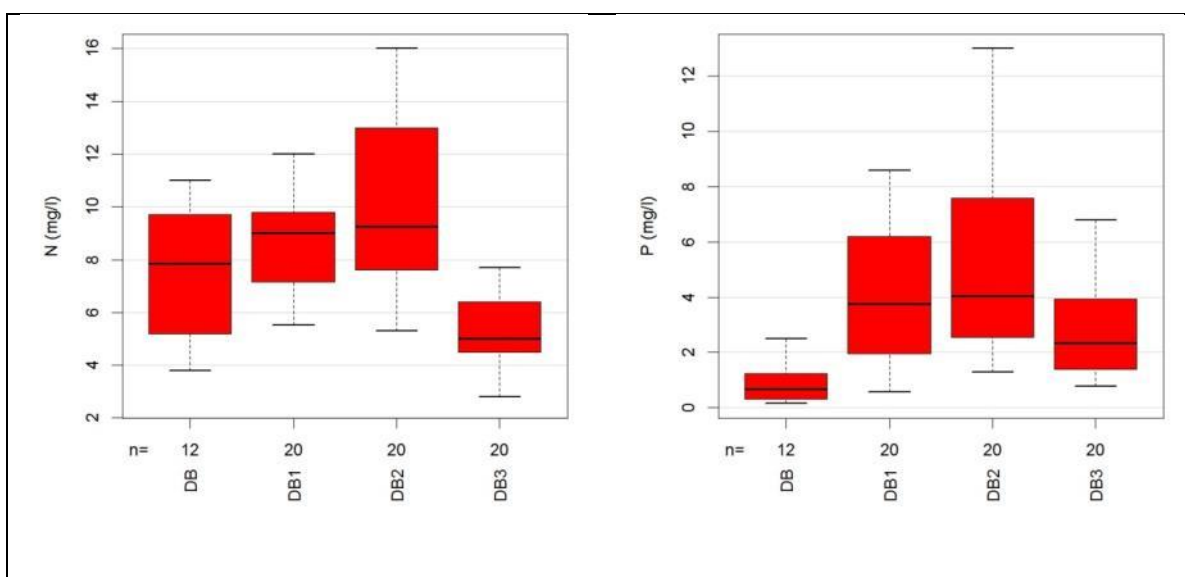
4.2.2 Drainwaterkwaliteit

De drainwaterkwaliteit is maandelijks gemeten bij het proefperceel en het referentieperceel. Op het proefperceel zijn 3 mengmonsters gemaakt van groepen drains die door de stuw van elkaar gescheiden waren. De mengmonsters DB1 komen van het oostelijke, laagstgelegen deel van het perceel en DB3 van het hoogste deel. De drains zijn alleen bemonsterd als de drainmonding niet onder het wateroppervlak lag. Daarbij zijn niet bij elke meetronde dezelfde drains bemonsterd. De meetreeksen voor N-tot, NO₃, NH₄, P_{tot}, PO₄ en Cl zijn weergegeven in bijlage C. In Bijlage E staan boxplots van alle gemeten parameters. In Figuur 4.9 en Figuur 4.10 zijn de boxplots voor N-tot en P-tot afgebeeld.

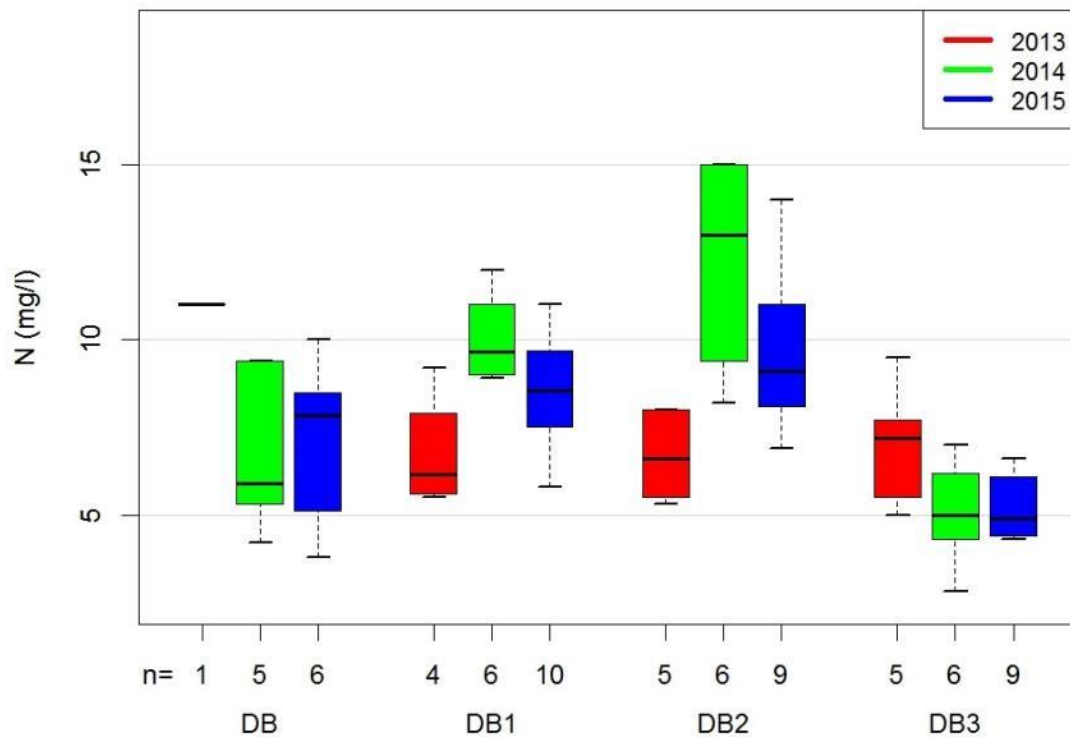
Uit de boxplots voor N-tot blijkt dat de concentraties in het drainwater op het proefperceel niet duidelijk afwijken van de concentraties op het referentieperceel. Ook is er geen eenduidig verschil tussen 2013 (zonder verhoging overlooppniveau) en 2014/2015 (2 x toename, 1 x afname). De verschillen binnen het proefperceel zijn wel groot, de N-tot concentraties in het hoge deel (DB3) zijn ongeveer de helft lager dan in het lagere deel van het perceel (DB1 en DB2). Dit verschil zit vooral in de lagere concentraties NH₄ en gebonden N op het hoge deel (Bijlage E).

Voor P-tot zijn de concentraties in het proefperceel duidelijk hoger dan in het referentieperceel. Ook voor P-tot zijn de concentraties het laagst in het hoogste deel van het perceel (DB3). De spreiding in de concentraties is groot, doordat de P-tot concentraties net als in het oppervlaktewater vooral in het najaar pieken vertonen (bijlage C). Overigens is het aandeel PO₄ in de drains hoger dan in het oppervlaktewater. P komt derhalve nog ongeveer voor de helft in opgeloste vorm (PO₄) uit de drains en wordt vervolgens in de sloot vastgelegd, waarschijnlijk aan ijzer en ijzeroxiden (zie ook Figuur 3.4).

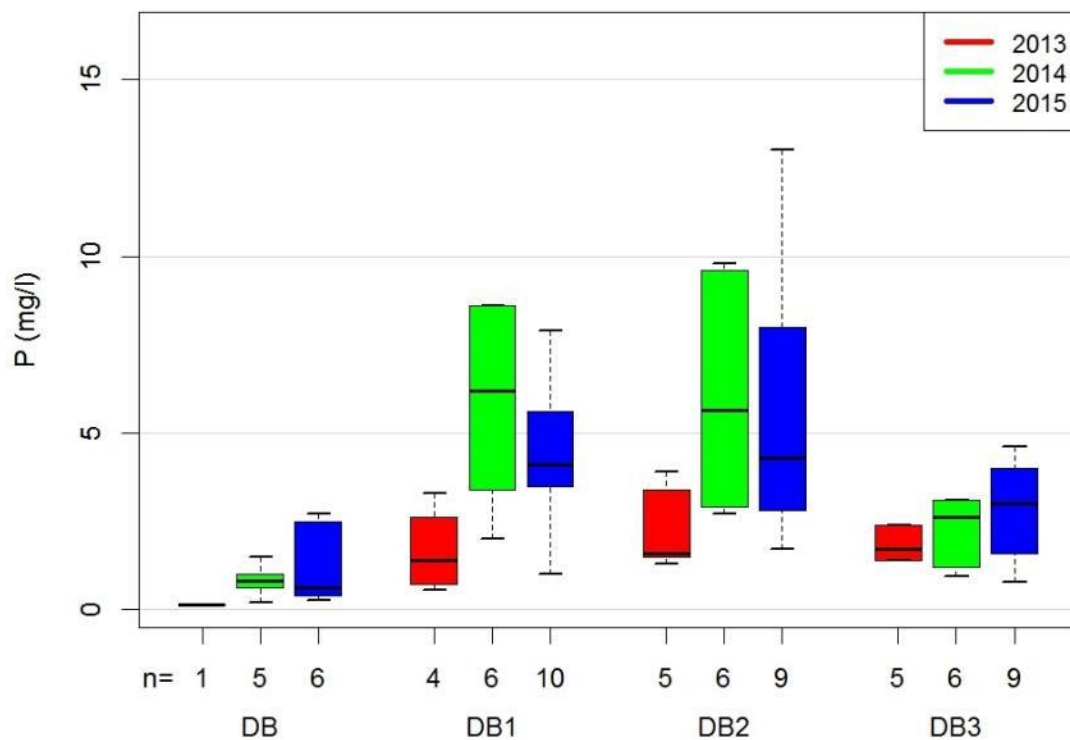
In Bijlage E valt nog het patroon van oplopende EC op van het hoge (DB 3, EC rond 50 mS/m) naar het lage deel van het perceel (DB1, EC rond 70mS/m).



Figuur 4.9 Boxplots van de concentraties N-totaal (links) en P-totaal (rechts) in de drains bij het referentieperceel (DB) en bij het proefperceel (DB1 t/m DB3 van laag naar hoog) (2013-2015)



Figuur 4.10 Boxplots per jaar van de concentraties N-totaal (links) in de drains bij het referentieperceel (DB) en bij het proefperceel (DB1 t/m DB3 van laag naar hoog) (2013-2015)



Figuur 4.11 Boxplots per jaar van de concentraties N-totaal (links) in de drains bij het referentieperceel (DB) en bij het proefperceel (DB1 t/m DB3 van laag naar hoog) (2013-2015)

4.2.3 Vergelijking grondwater drainwater, oppervlaktewater, grondwater

In bijlage G zijn boxplots weergegeven waarin voor de zomer van 2013 de metingen van grondwater, drainwater en oppervlaktewater met elkaar worden vergeleken. Voor het grondwater valt de grote spreiding in de meetresultaten op. Voor het diepe kwelwater onder de klei/veen laag is een vrij uniforme samenstelling te verwachten. Mogelijk bestaan de grondwatermonsters toch niet uit zuiver kwelwater en is tevens water afkomstig uit de klei/veen laag bemonsterd.

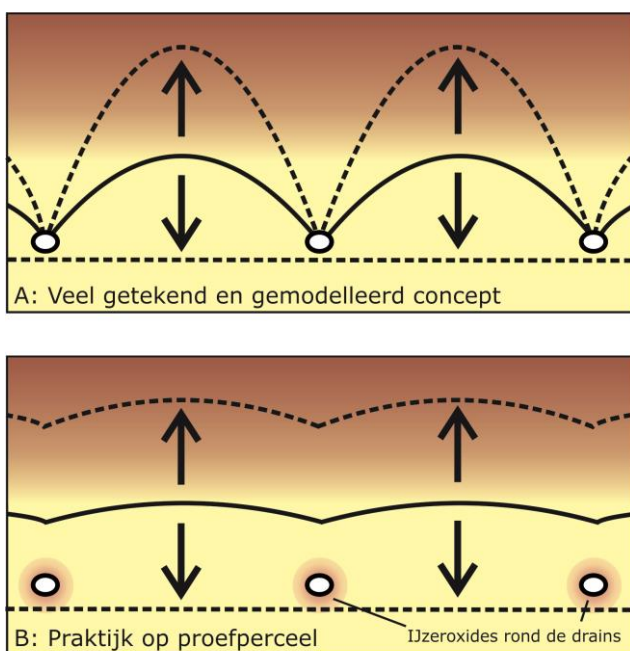
Het grondwater heeft een wat hogere EC en hogere concentraties macro-ionen dan het drainwater (bijlage G). Nitraat is niet in het grondwater aangetroffen, maar wel in de drains vooral in natte perioden. Ammonium is de belangrijkste N-vorm in het grondwater, wat ook doorwerkt naar het drainwater en oppervlaktewater. Het in het grondwater aangetroffen ammonium is waarschijnlijk afkomstig van de afbraak van veen in de ondergrond. Klein et al. (2007) rapporteerden voor het grondwater in de zandige formatie van Boxtel (BX in Figuur 2.4) in het Hunzedal opvallend hoge concentraties ammonium, fosfaat en ijzer (mediaan van 4,90 mg/l NH₄-N; 0,58 mg/l PO₄; 14 mg/l Fe) (Klein et al., 2007). De opgeloste fosfaatconcentraties zijn in het oppervlaktewater lager dan in het grondwater en het drainwater, waarschijnlijk door de vastlegging aan ijzer en ijzeroxides. De pH in het grondwater en drainwater komen redelijk overeen. De pH in het oppervlaktewater is hoger, waarschijnlijk door ontgassing van CO₂.

5 Discussie

5.1 Grondwaterstanden en hydrologie

De grondwaterstanden op het perceel zijn 20 cm verlaagd door de aanleg van drainage. Toch kwamen de grondwaterstanden ook na de aanleg van de drains nog regelmatig in de bovenste 50 cm van de ondergrond. Het overloophniveau van de drains is daardoor in de zomer maar beperkt verhoogd (maximaal 20 cm). De invloed daarvan op de grondwaterstanden was beperkt (maximaal 5 cm verhoging op 50 meter bovenstrooms van de stuw). De grondwaterstandsverhoging was waarschijnlijk groter rond de drains en langs de sloot dichtbij de stuwtjes met verhoogd overloophniveau. Door de continue toevoer van kwelwater vulde de sloot op tot net boven het overloophniveau van de stuwen. Het maximale effect op de grondwaterstand dichtbij de stuw is daardoor even groot als de peilopzet (20 cm).

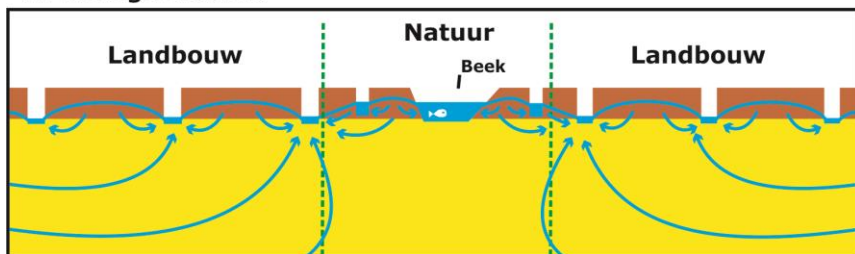
De grondwaterstanden waren in natte perioden hoger dan vooraf verwacht. Gezien de geringe drainafstand (7-8m) en de omstorting met zand was de verwachting dat de grondwaterstand beter te reguleren zou zijn. Uit de raaimetingen is echter gebleken dat de grondwaterstanden ter plekke van de drains enkele decimeters boven het drainniveau staan (situatie B in Figuur 5.1). Dat betekent dat de drains al snel na de aanleg niet optimaal water afvoeren. De verminderde werking van de drains wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verstopping met silt, organische deeltjes en ijzeroxide. De gemeten opbolling in het proefperceel was maximaal 15 cm. Het is derhalve niet de bodemweerstand of de te grote drainafstand die voor de hoge grondwaterstanden zorgt, maar de entreeweerstand van de drains. Hetzelfde is eerder waargenomen in het Oost-Nederlandse zandplateau (Rozemeijer et al., 2012). De aanvoer van ijzerrijk kwelwater in het beekdal kan voor snelle verstopping van de drains zorgen door de vorming van ijzeroxides.



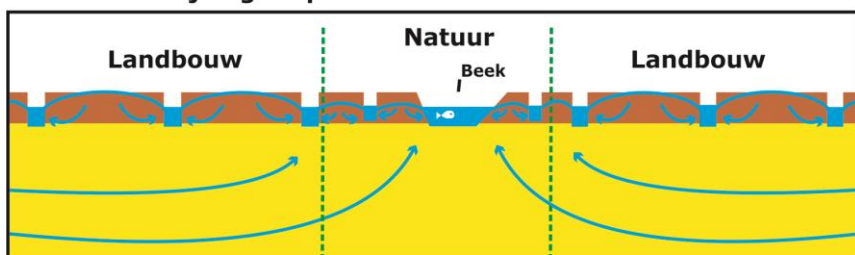
Figuur 5.1 Conceptuele weergave van het klassieke drainageconcept (A) en de praktijksituatie op het proefperceel met grondwaterstanden boven het drainniveau (uit Rozemeijer et al., 2012)

Door de geringe opzet van het overlooppniveau van de stuwen is de invloed op de hydrologische routes waarschijnlijk ook beperkt geweest. Er zijn echter geen afvoermetingen gedaan om dit te bevestigen. Ook de invloed van de peilsturing op de regionale hydrologie is naar verwachting verwaarloosbaar (zie ook Figuur 5.2). Daarmee is met regelbare drainage geen herstel opgetreden van de kwel naar de natuurgraslanden rond de beek. Ook het waterverlies vanuit deze graslanden naar het landbouwgebied is niet verminderd. De belangrijkste oorzaak van het niet bereiken van deze doelen was de verminderde drainagewerking. Hierdoor konden voor akkerbouw te hoge grondwaterstanden niet voorkomen worden en kon het stuwoverlooppniveau maar beperkt opgezet worden. Regelbare drainage blijkt derhalve geen oplossing te bieden voor de combinatie van akkerbouw en natuur in het Achterste Diep.

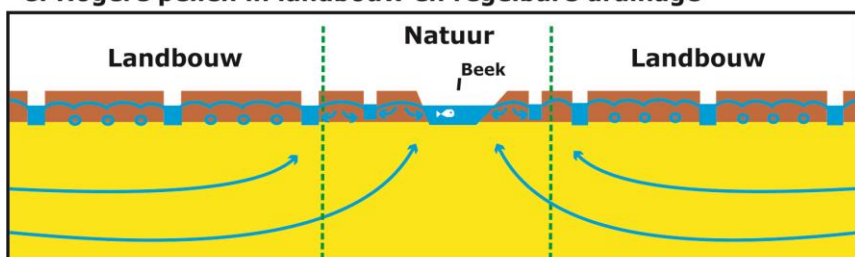
A: Huidige situatie



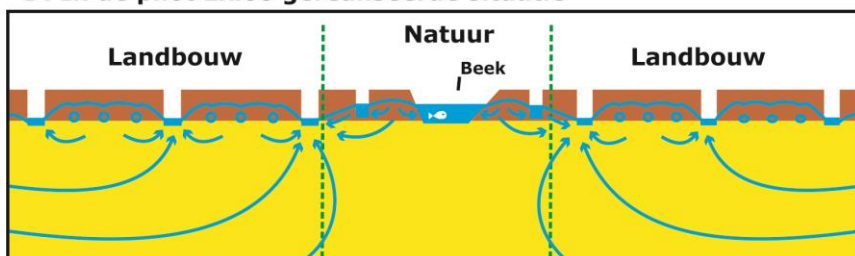
B: Situatie bij hogere peilen in landbouw



C: Hogere peilen in landbouw en regelbare drainage



D: In de pilot Exloo gerealiseerde situatie



Figuur 5.2: Conceptuele voorstelling van de maatregel (zie ook hoofdstuk 1) met toegevoegd situatie D: De in de pilot Exloo gerealiseerde situatie. Door de geringe peilopzet verschilt die nauwelijks van de uitgangssituatie (A).

Overigens is er in de huidige situatie in het laag gelegen deel van het proefperceel en in veel andere peilgebieden in zekere zin al sprake van regelbare drainage. Dit komt doordat bij het opzetten van het stuwpeil naar zomerpeil de buisdrainage onder water gezet wordt. In grote delen van de Veenkoloniën is het verschil tussen winter- en zomerpeil een halve meter. Een groot verschil met de kleinschaligere regelbare drainage is dat niet de boer, maar het waterschap het overloophniveau bepaalt. Het waterschap voert een grondwaterafhankelijk peilbeheer waarbij het peil van het oppervlaktewater wordt ingesteld op basis van gemeten grondwaterstanden.

5.2 Waterkwaliteit

De waterkwaliteit is waarschijnlijk nauwelijks beïnvloed door de geringe verhogingen van het overloophniveau van de stuwen op het proefperceel. Als deze beïnvloeding er is geweest, dan viel die in het niet bij de grote verschillen in de waterkwaliteit tussen het proefperceel en het referentieperceel. De nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater waren op het proefperceel hoger dan op het referentieperceel, zowel voor N (ca. 3x hoger) als voor P (ca. 10x hoger). Vooral de P concentraties op het proefperceel laten in het najaar extreem hoge concentraties zien, die in de periode 2013-2015 ook steeds hoger opliepen tot 7 mg/l. Die concentratie ligt 40x boven de norm voor P-totaal van 0.15 mg/l.

De hoge concentraties N en P op het proefperceel duiden op een sterke veenafbraak. Die veenafbraak kan het gevolg zijn van de aanleg van de drains. Die aanleg heeft gezorgd voor 20 cm lagere grondwaterstanden en via de drains kan mogelijk zuurstof verder in het veen doordringen. Aangezien het referentieperceel in dezelfde periode is gedraineerd als het proefperceel geeft de draineraanleg nog geen verklaring voor het grote verschil tussen beide percelen.

De verklaring voor de veel hogere nutriënten uitspoeling vanuit het proefperceel is waarschijnlijk een belangrijk verschil in landbewerking. In 2009 is het proefperceel grotendeels gemengwoeld. Bij het mengwoelen is de veenbodem gemengd met zand en is diepgeploegd. Bij mengwoelen gaat de structuur van het veen verloren, verliest het vochtvasthoudend vermogen en breekt het sneller af. De aanleg van drainage kan dit proces hebben versneld.

6 Conclusie

Het doel de pilot met regelbare drainage was te onderzoeken of er mogelijkheden zijn voor een duurzame combinatie van landbouw en natuur in het venige dal van de Hunze. Waterschap Hunze en Aa's zag regelbare drainage als een mogelijke oplossing en wilde de volgende effecten onderzoeken:

1. Hogere grondwaterstanden, minder droogte;
2. Minder veenaafbraak en bodemdaling;
3. Minder kwel naar de landbouwsloten, meer naar de beekbegeleidende natuurgraslanden;
4. Minder waterbehoefte om het peil in de beekbegeleidende natuurgraslanden hoog te houden;
5. Minder uitspoeling van nutriënten.

De verwachte positieve effecten van regelbare drainage zijn tijdens de pilot niet gerealiseerd. De belangrijkste oorzaak van het beperkte effect op de hydrologie (verwacht effect 1 t/m 4) was de beperkte verhoging van het overloopeil met maximaal 15 cm en alleen op het hogere deel van het perceel. De voorzichtigheid met de peilopzet werd ingegeven door grondwaterstanden die ondanks de korte drainafstand hoog opliepen. De hoge grondwaterstanden zijn veroorzaakt door een suboptimale drainafvoer door verstopping van de drains met deeltjes en ijzeroxide.

Door de beperkte verhoging van het overloopeil is de invloed van de regelbare drainage op de nutriëntenuitspoeling (verwacht effect 5) waarschijnlijk ook beperkt geweest. De waterkwaliteitsmetingen lieten echter al in het referentiejaar 2013 veel hogere nutriëntconcentraties zien op het proefperceel. Deze verhoogde nutriëntenuitspoeling is waarschijnlijk veroorzaakt door de combinatie van mengwoelen op het proefperceel en de aanleg van drainage.

Al met al biedt regelbare drainage in deze specifieke situatie in het beekdal van het Achterste Diep geen uitkomst voor een duurzame combinatie van landbouw en natuur. Voor het duurzaam in stand houden van het veenpakket in het beekdal is een landgebruiksverandering van akkerbouw naar permanent, extensief gebruikt grasland gewenst.

7 Referenties

Berendrecht, W.L. (2004) State space modeling of groundwater fluctuations. Proefschrift TU Delft.

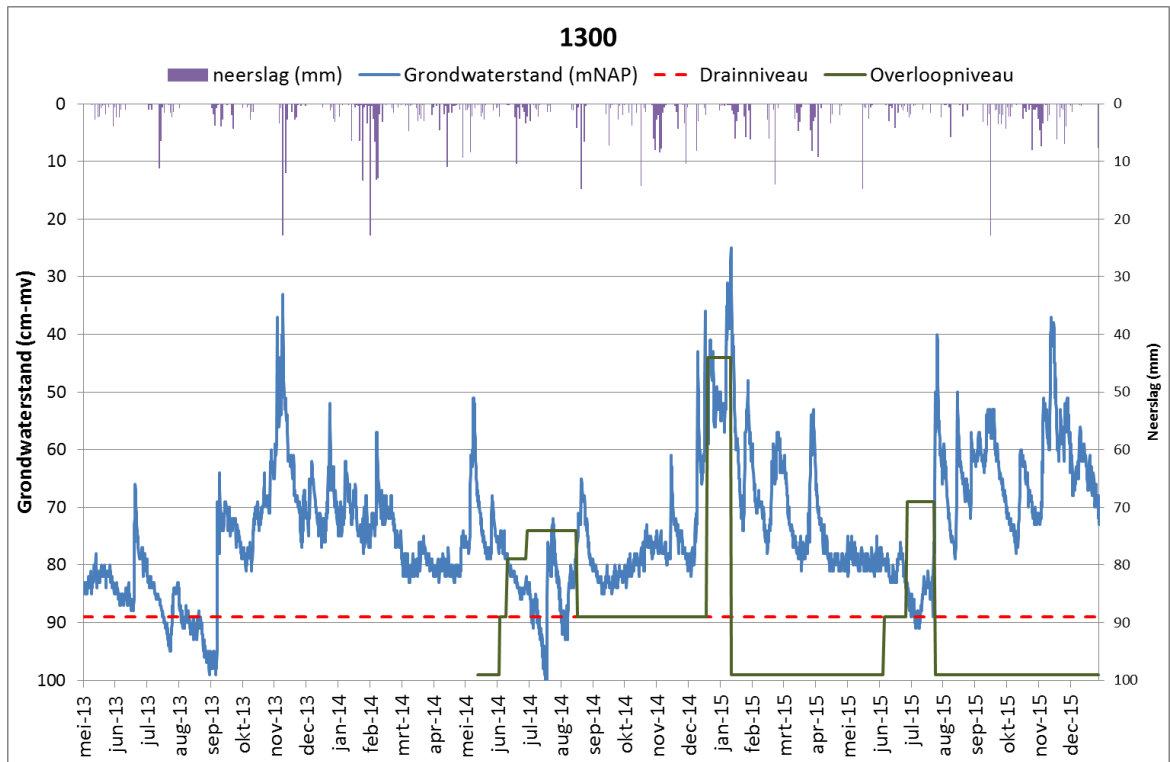
Klein J., J. Griffioen en S. Vermooten (2007). Karakterisering van de regionale grondwatersamenstelling voor 1945 in geotopgebieden in Nederland. TNO-rapport 2007-U-R0335/A.

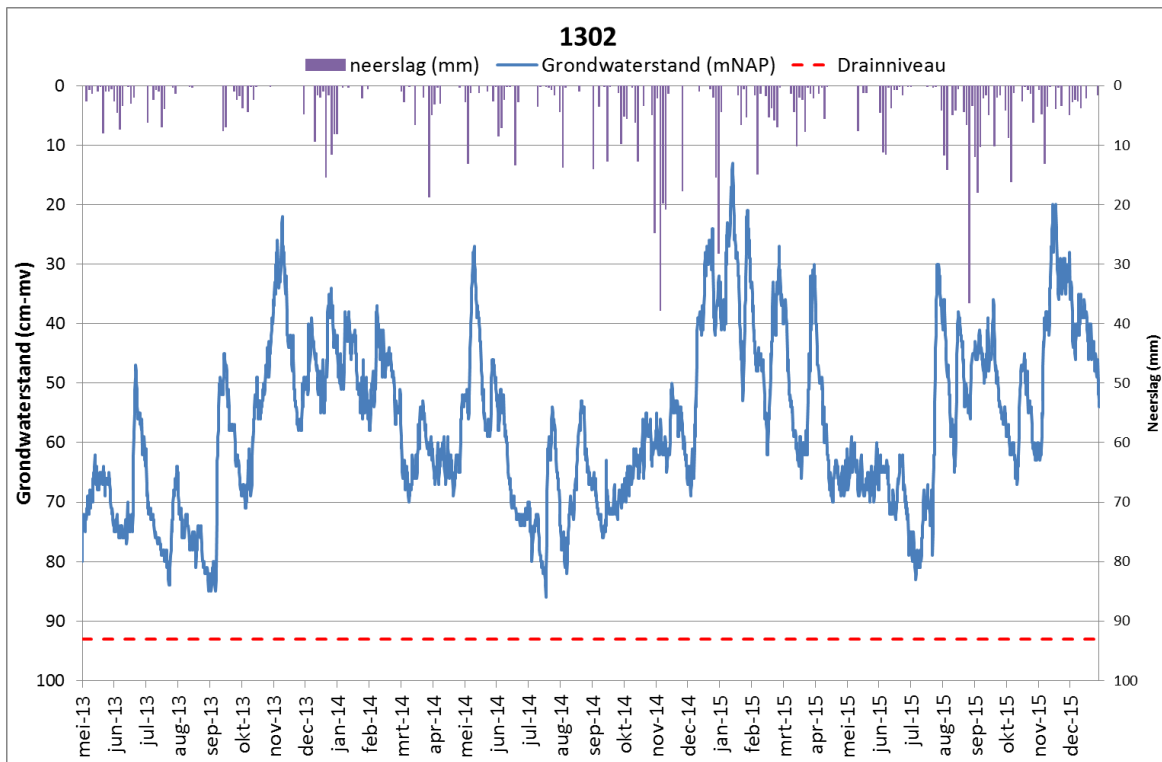
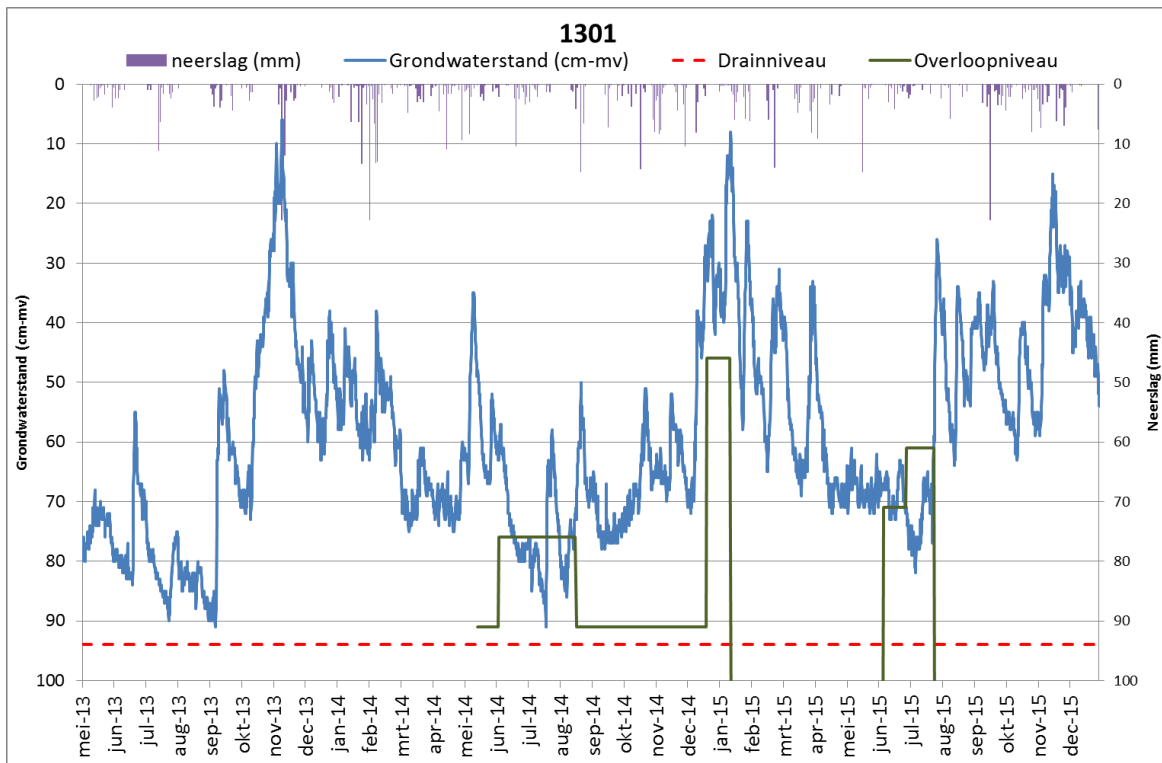
Rozemeijer, J., H.P. Broers, A. Visser, M. Winegram, W. Borren, L. Gerner, B. IJzendoorn en A. Kramer (2012) Veldonderzoek naar de effecten van peilgestuurde drainage op grondwaterstanden, drainafvoeren en waterkwaliteit op het Oost-Nederlands Plateau. Deltares-rapport 1201979-000-BGS-0001, Utrecht.

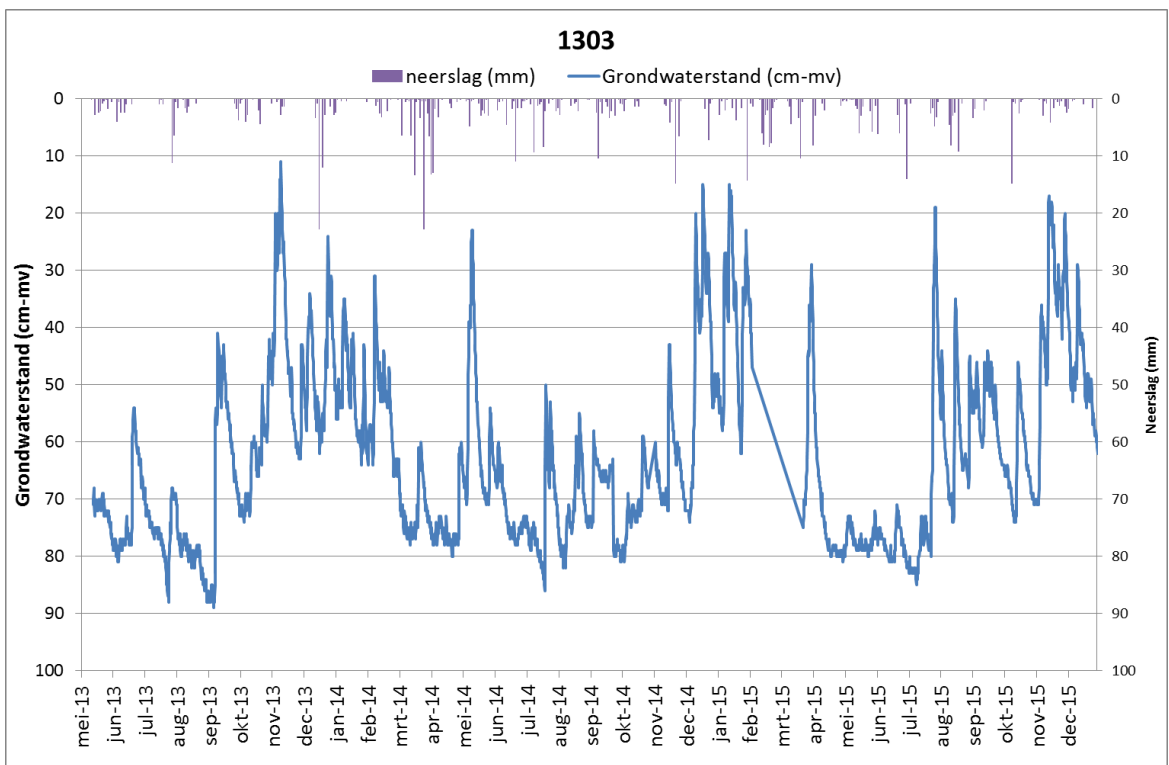
Van Dongen, M. en Rozemeijer, J.C., 2013. Meetplan Waterkwaliteit Pilot regelbare drainage 2013-2014.

Waterschap Hunze en Aa's, 2008. Watersysteemplan Hunze.
<http://www.hunzeenaas.nl/about/voldoendewater/Documents/Hunze.pdf>

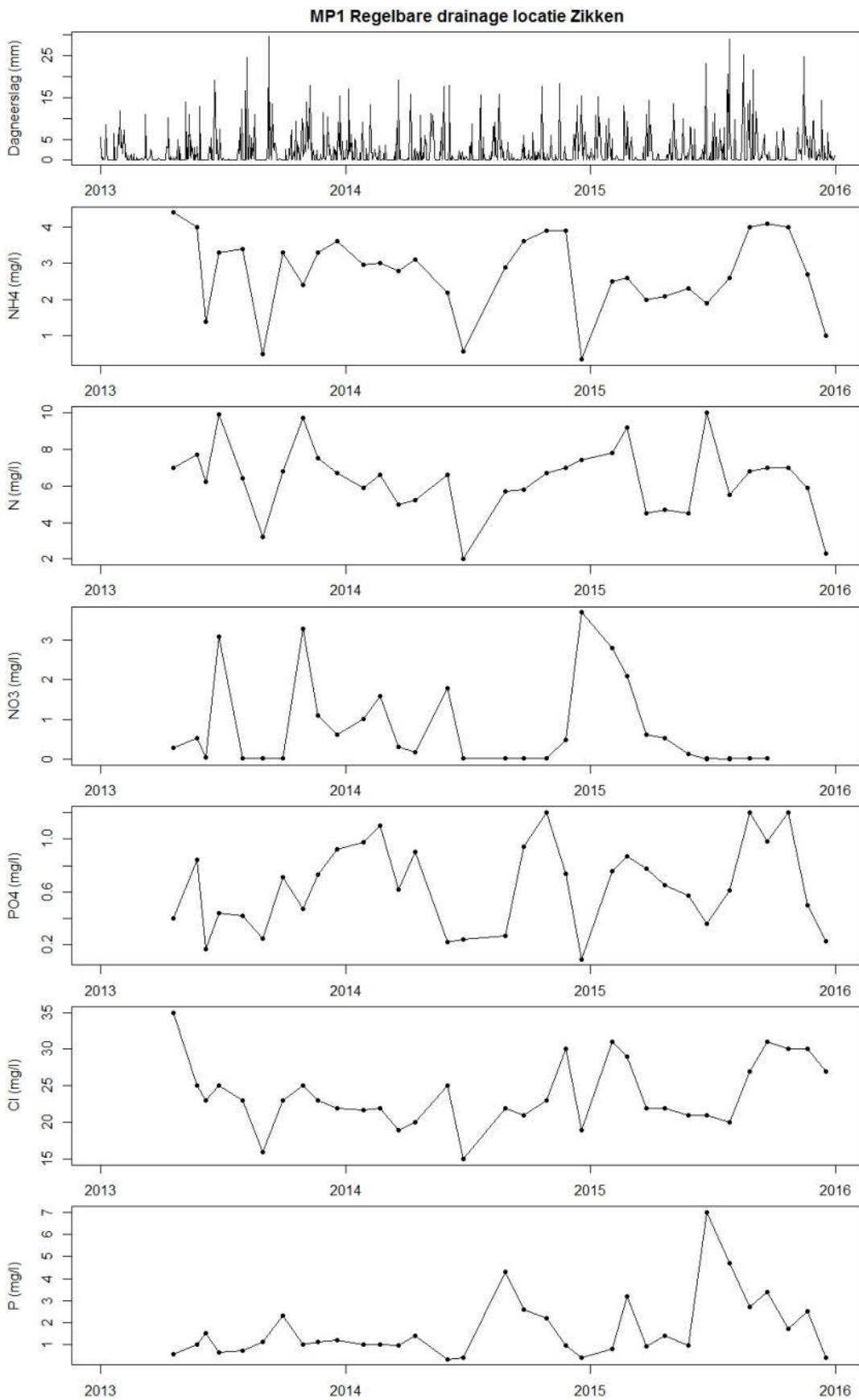
A Tijdreeksen grondwaterstanden

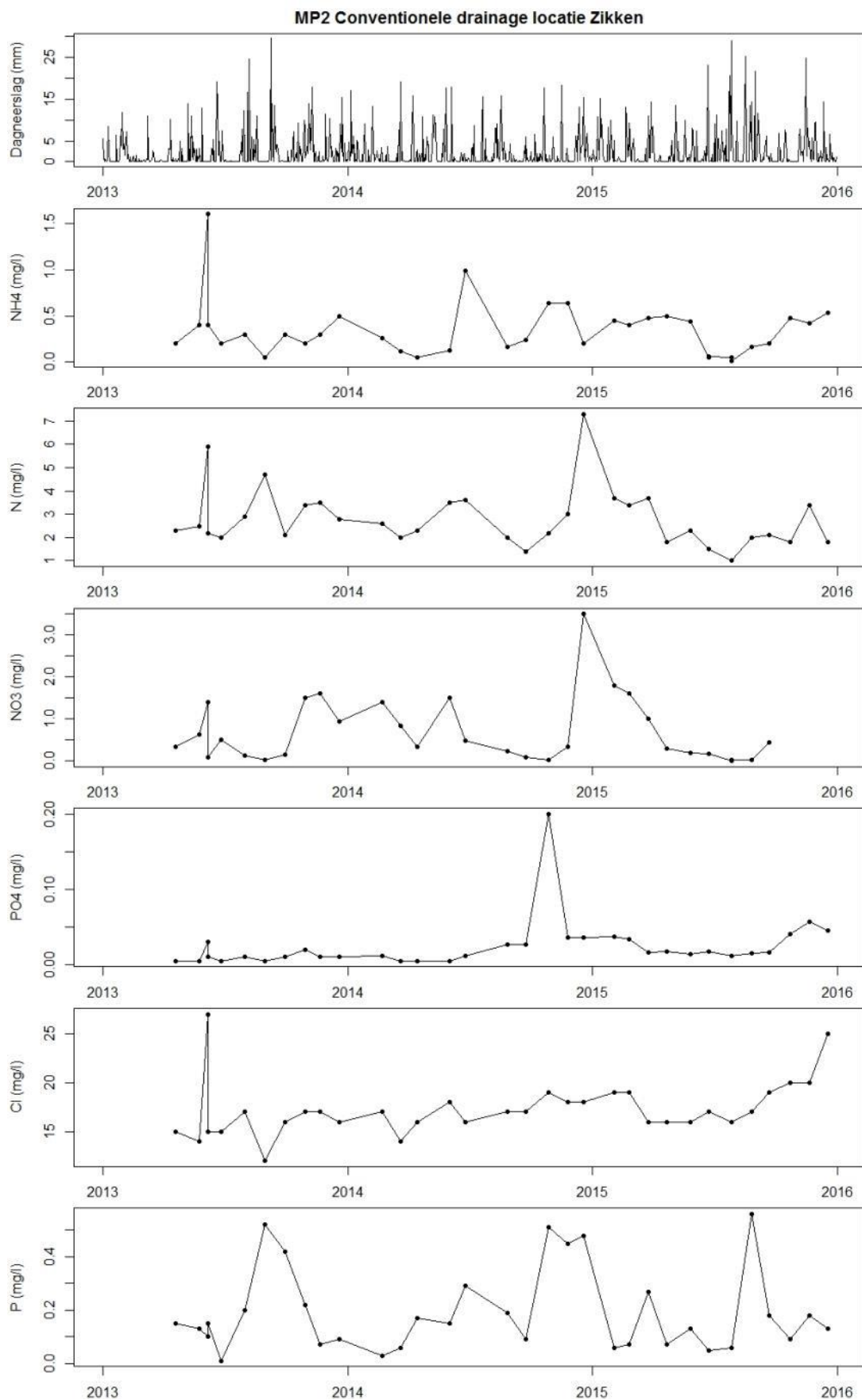


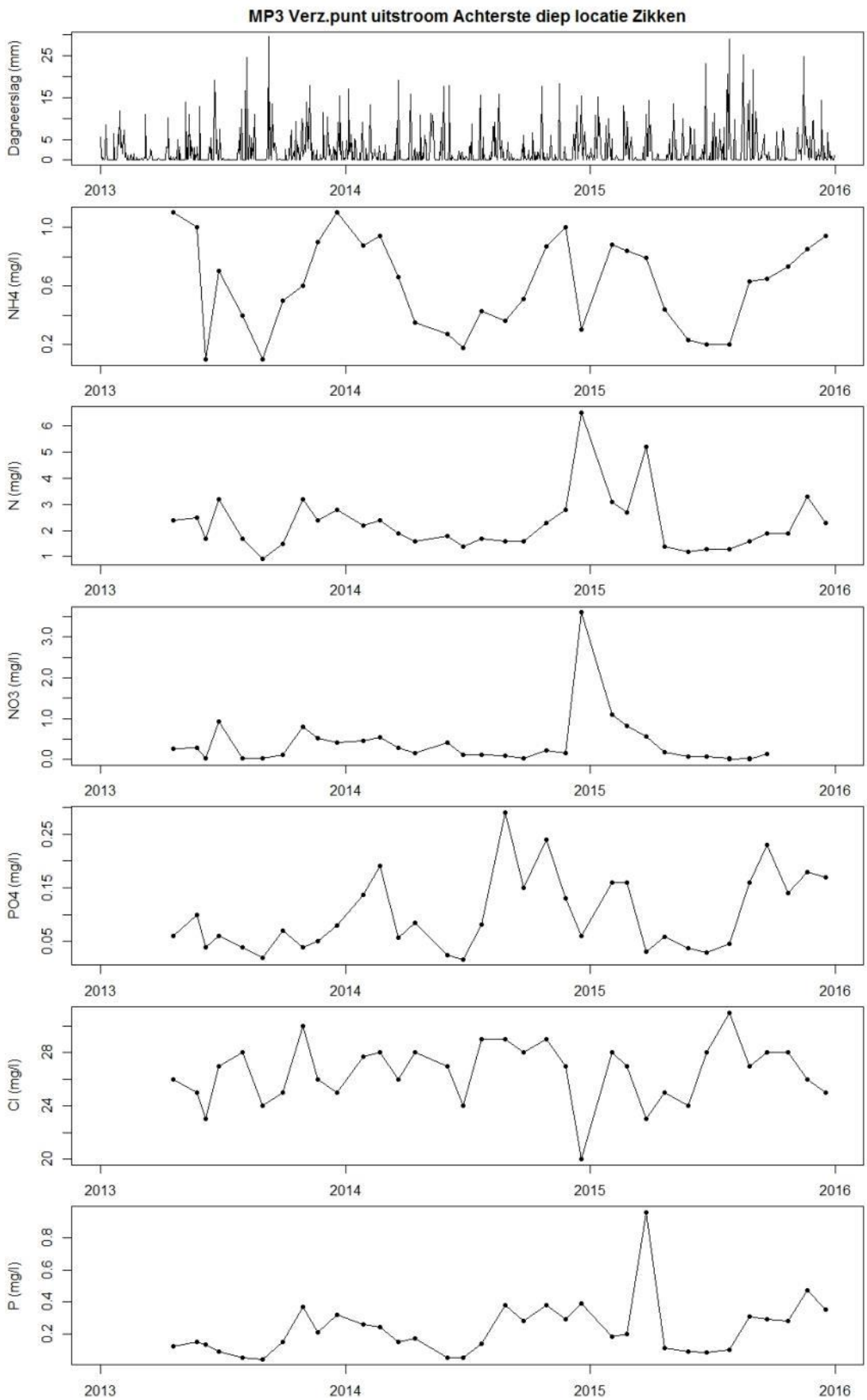




B Tijdreeksen waterkwaliteit oppervlaktewater

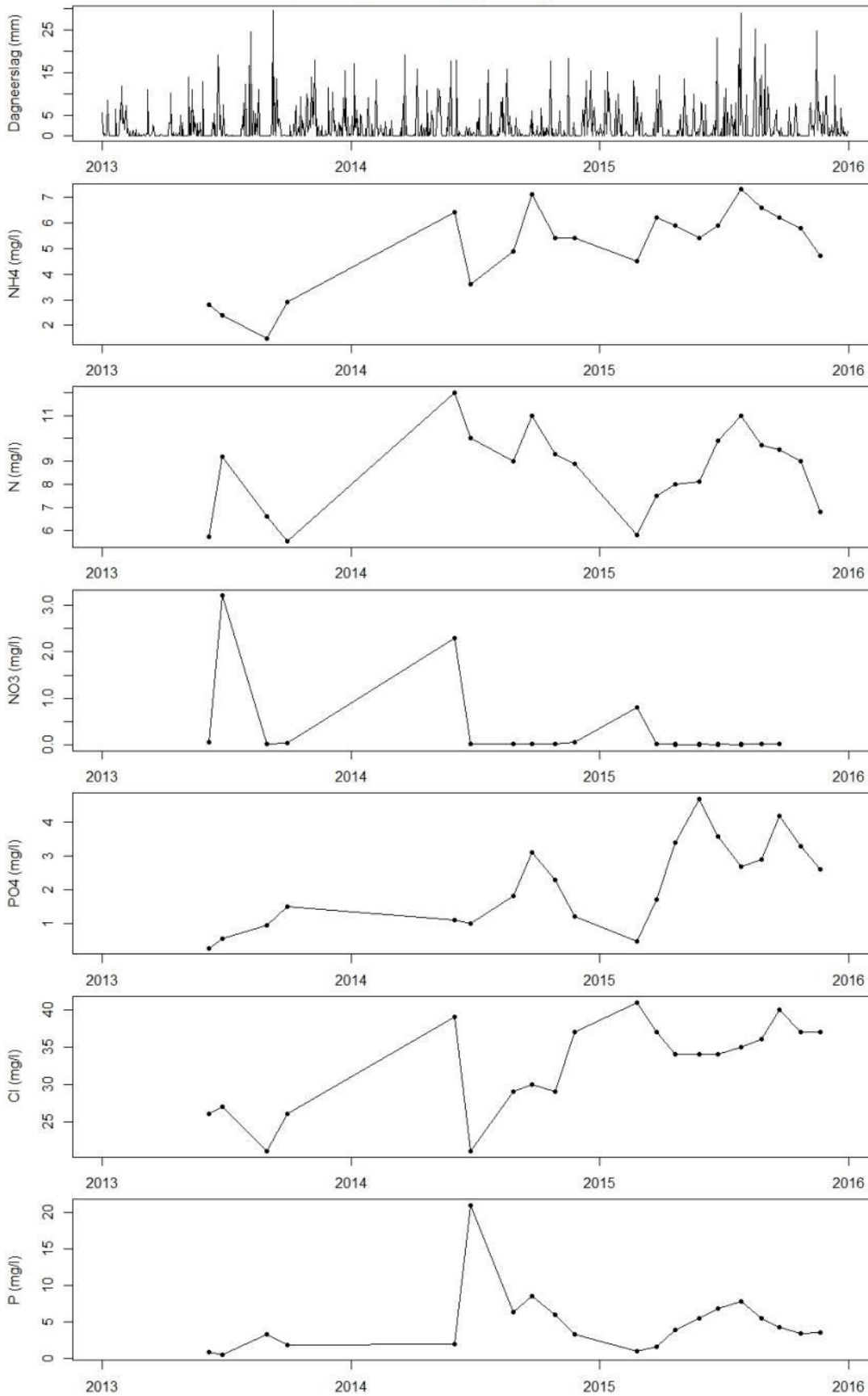


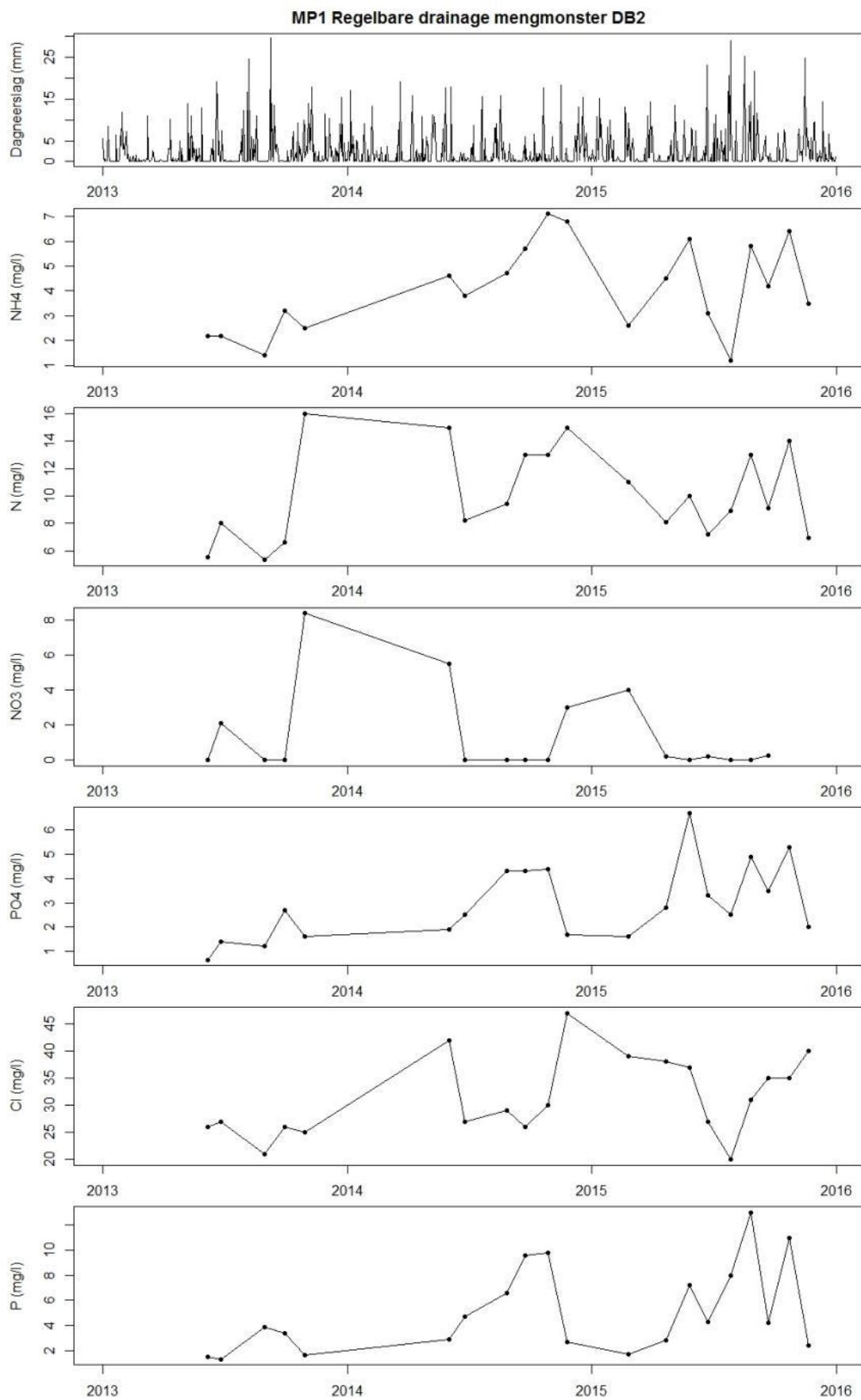




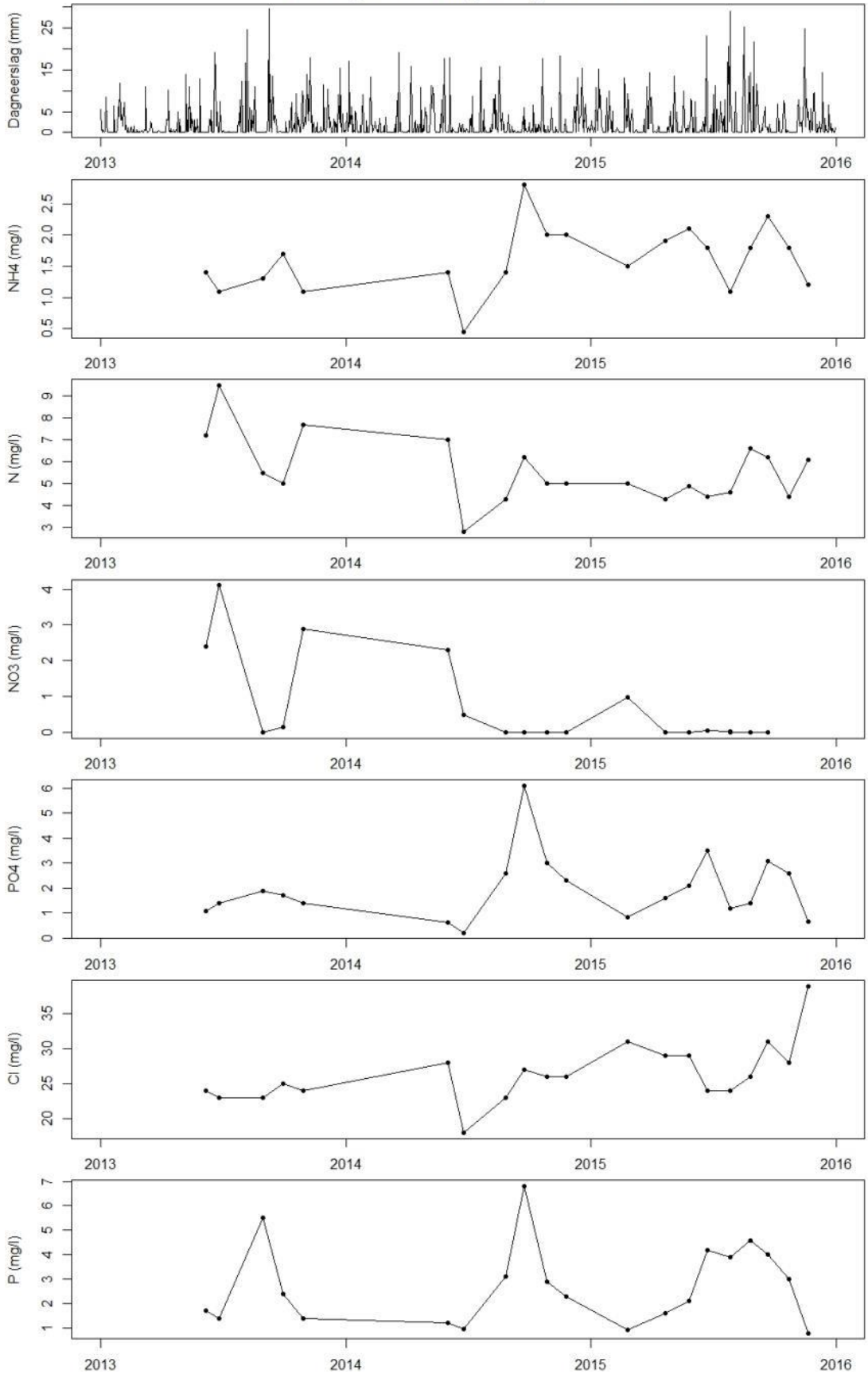
C Tijdreeksen waterkwaliteit drainwater

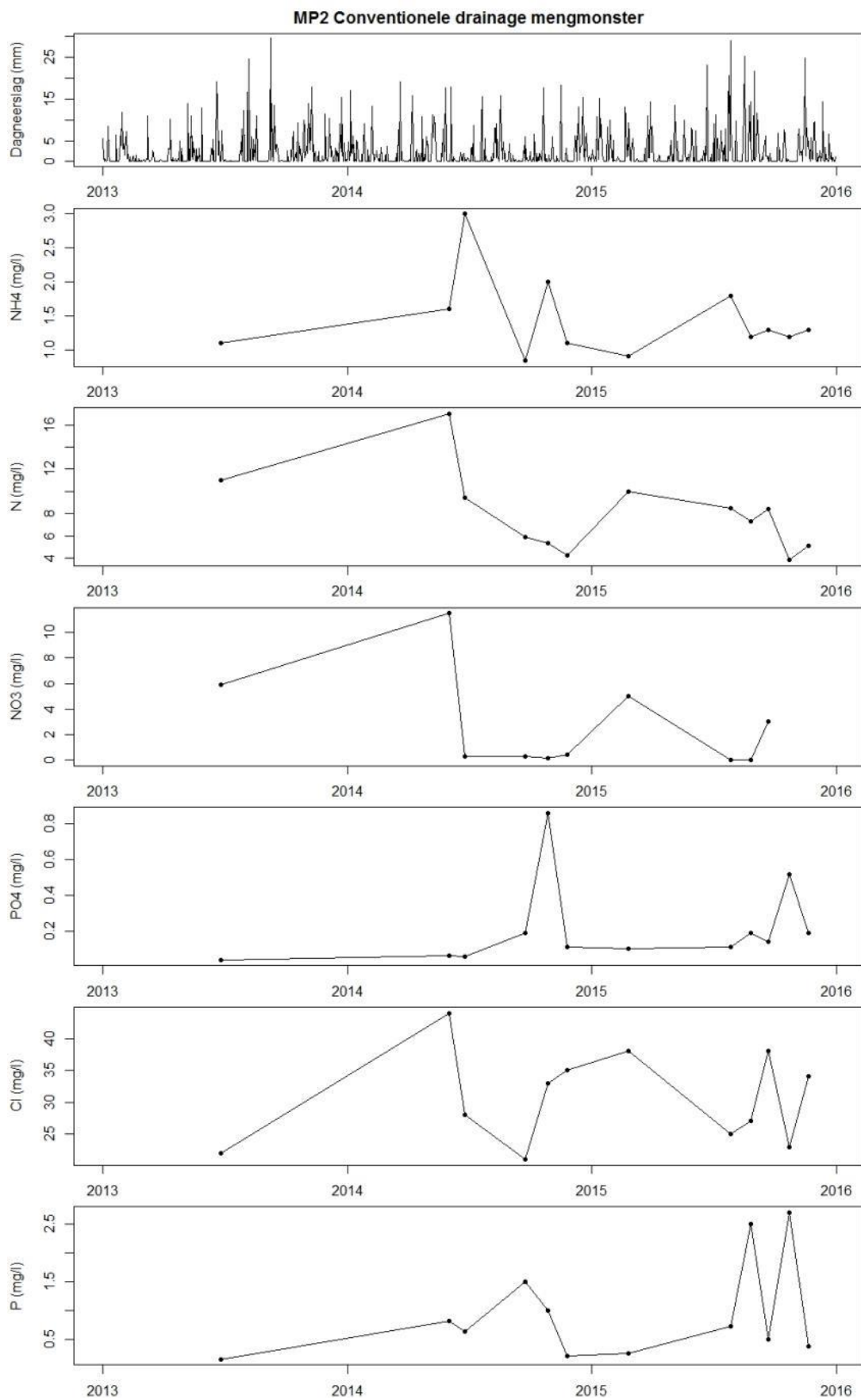
MP1 Regelbare drainage mengmonster DB1





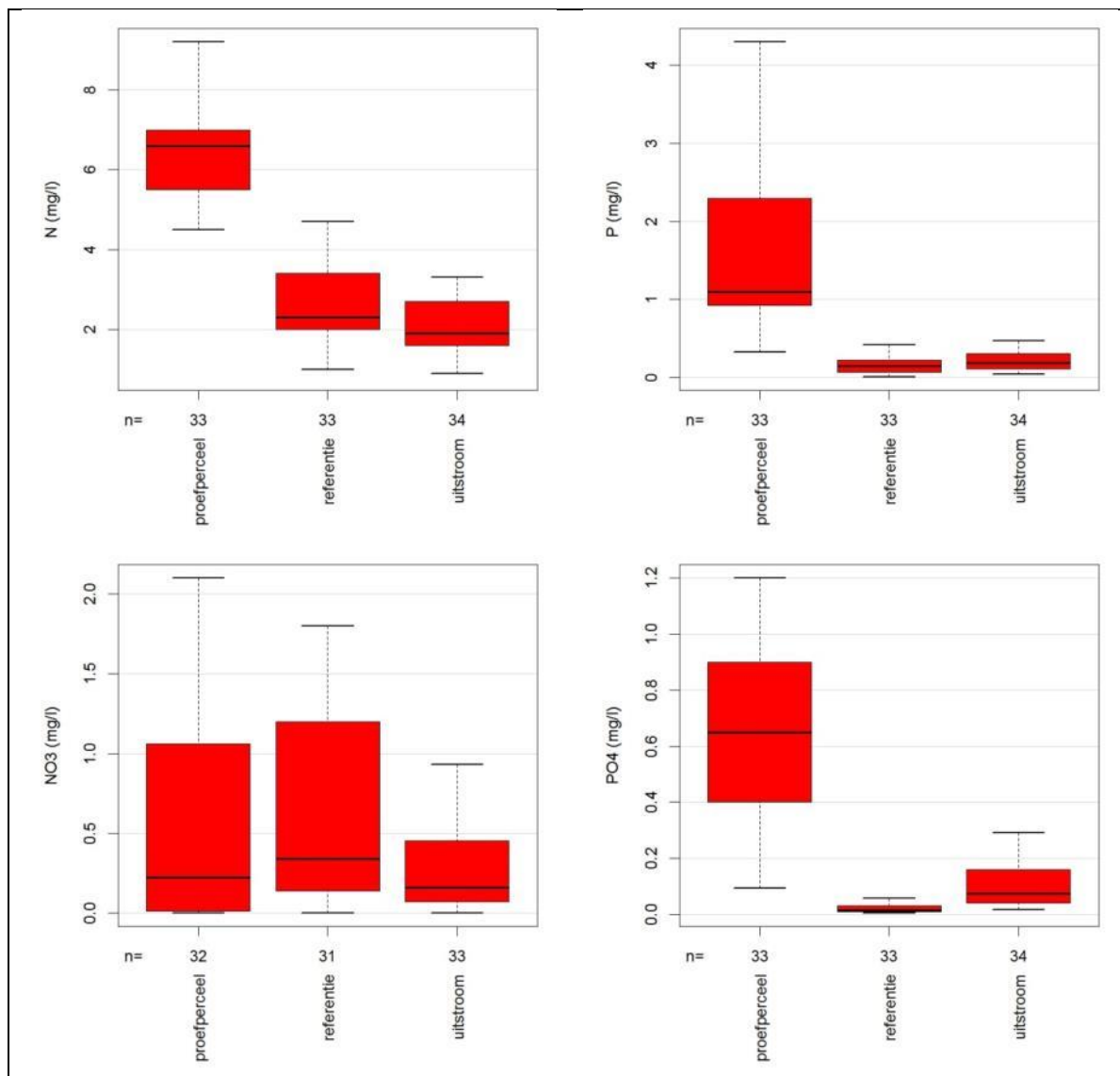
MP1 Regelbare drainage mengmonster DB3

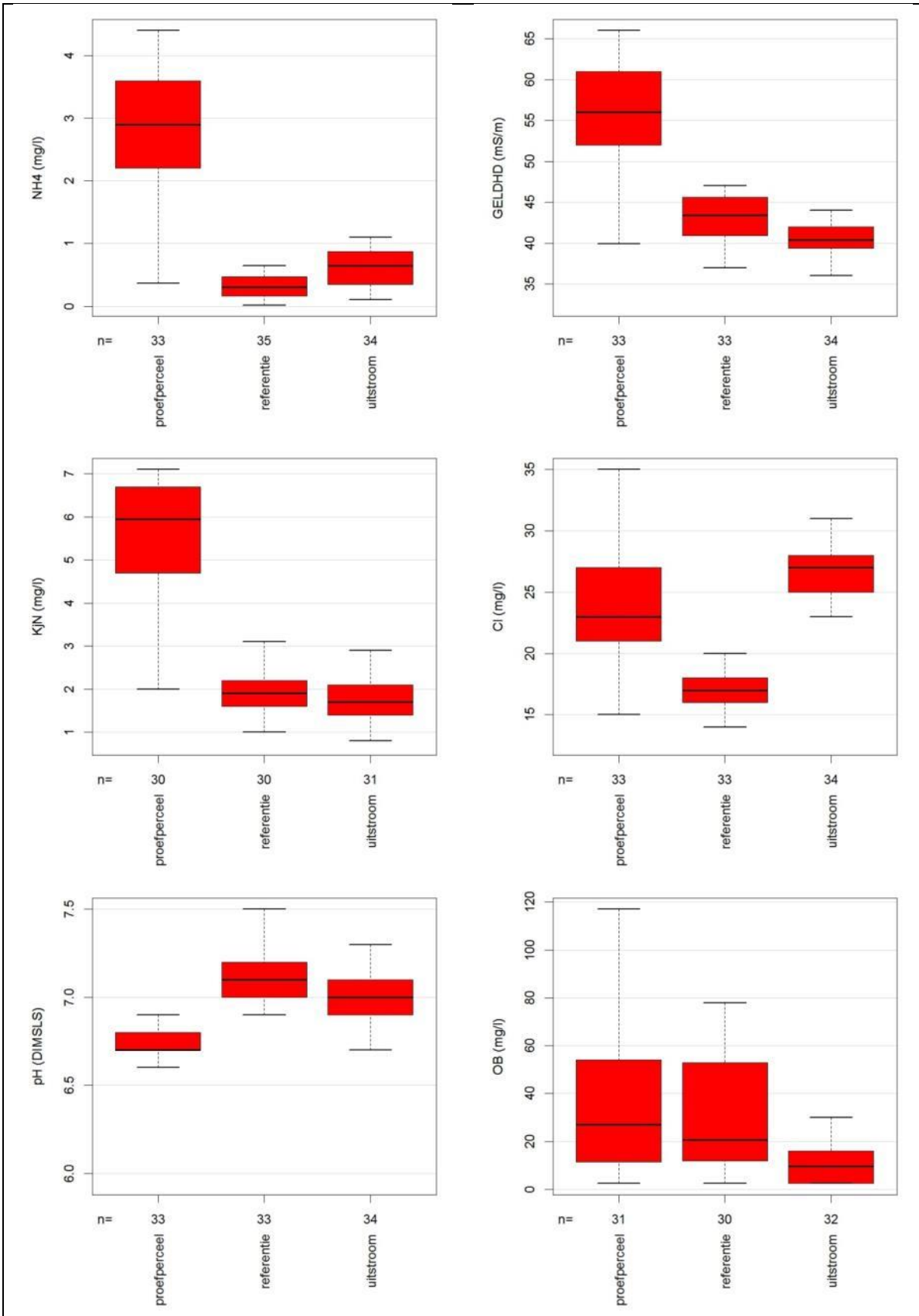




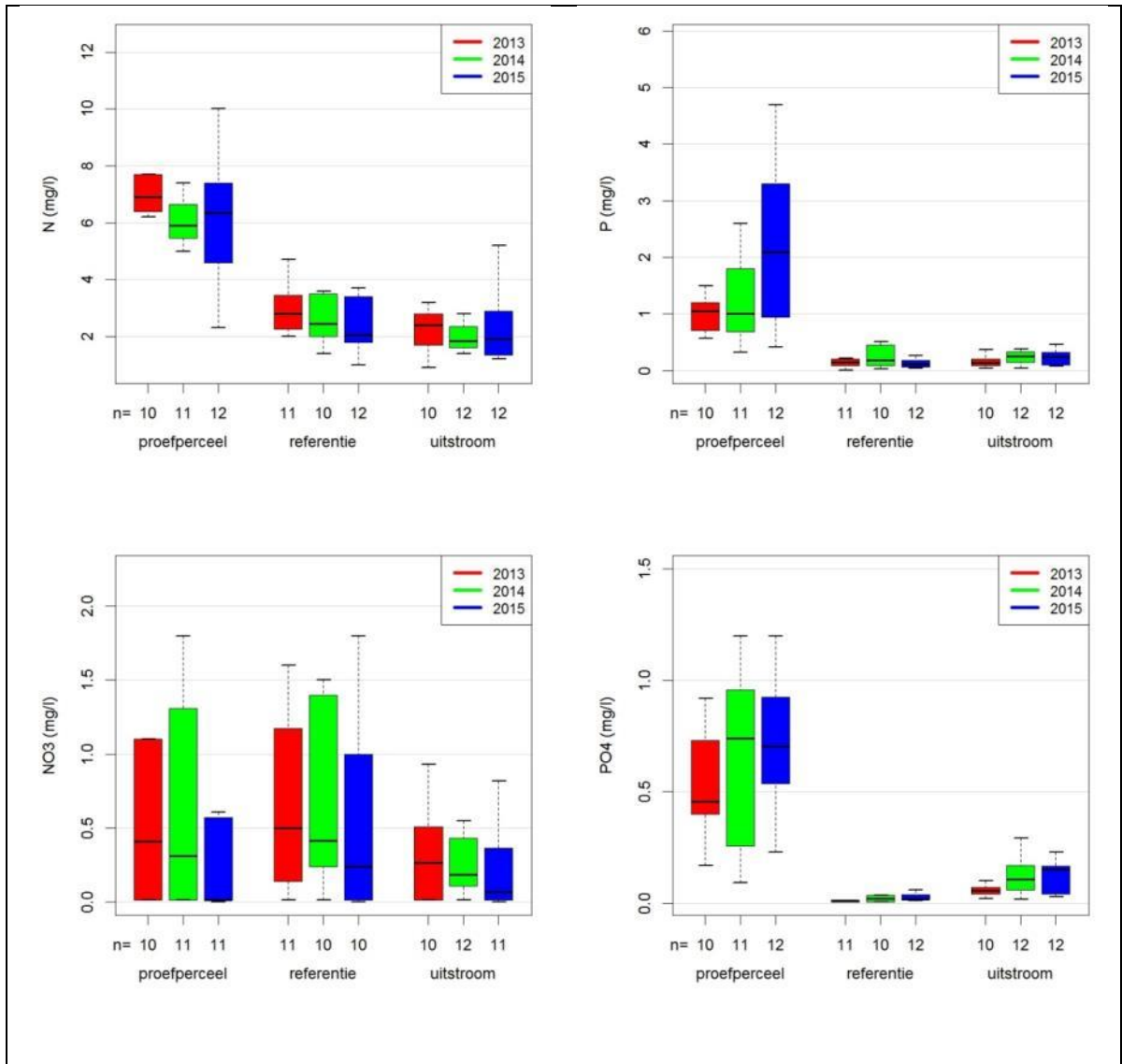
D Boxplots oppervlaktewaterkwaliteit

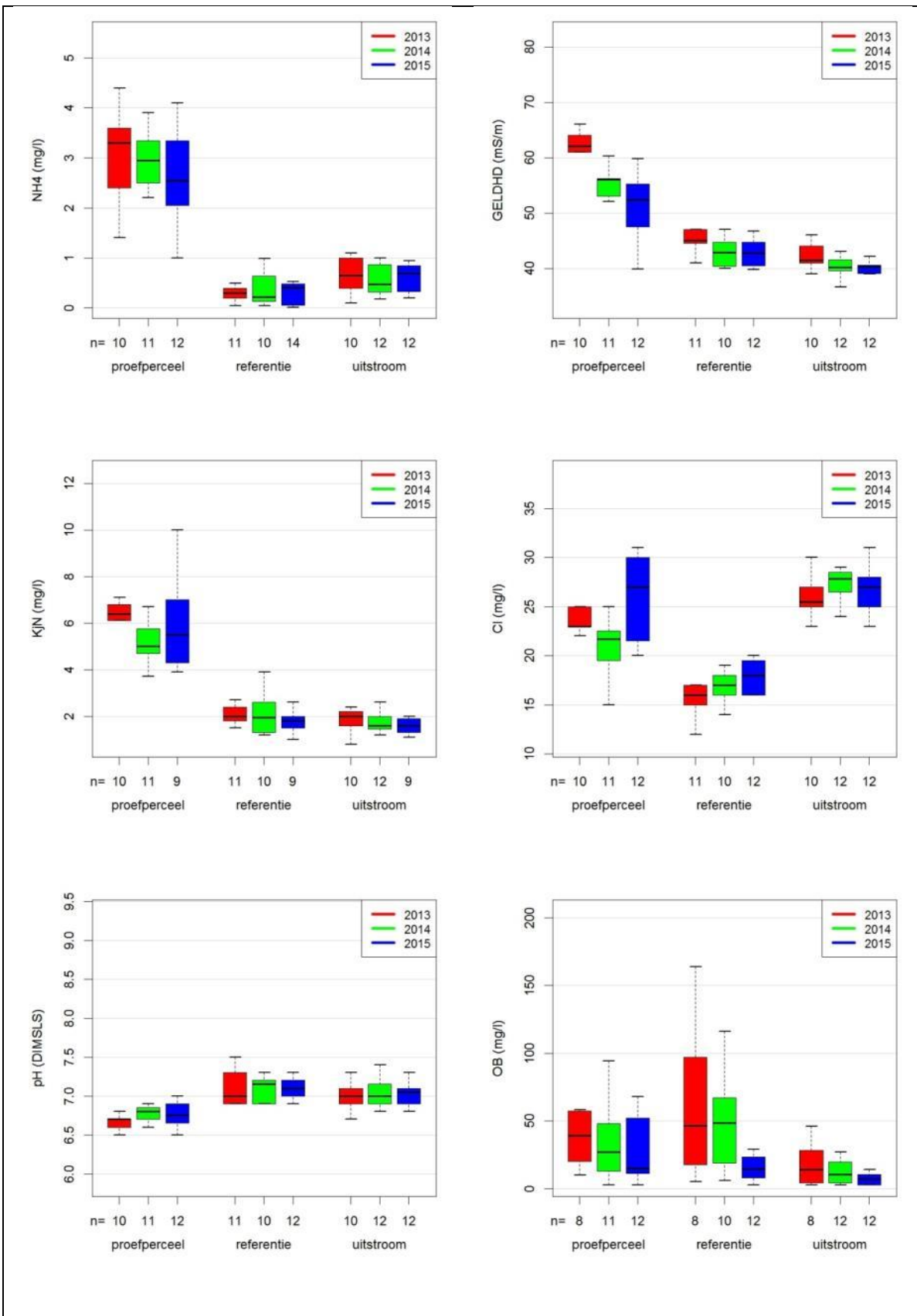
Boxplots van de concentraties N-totaal (links) en P-totaal (rechts) in de sloot bij het proefperceel, bij het referentieperceel en bij het uitstroompunt (2013-2015)





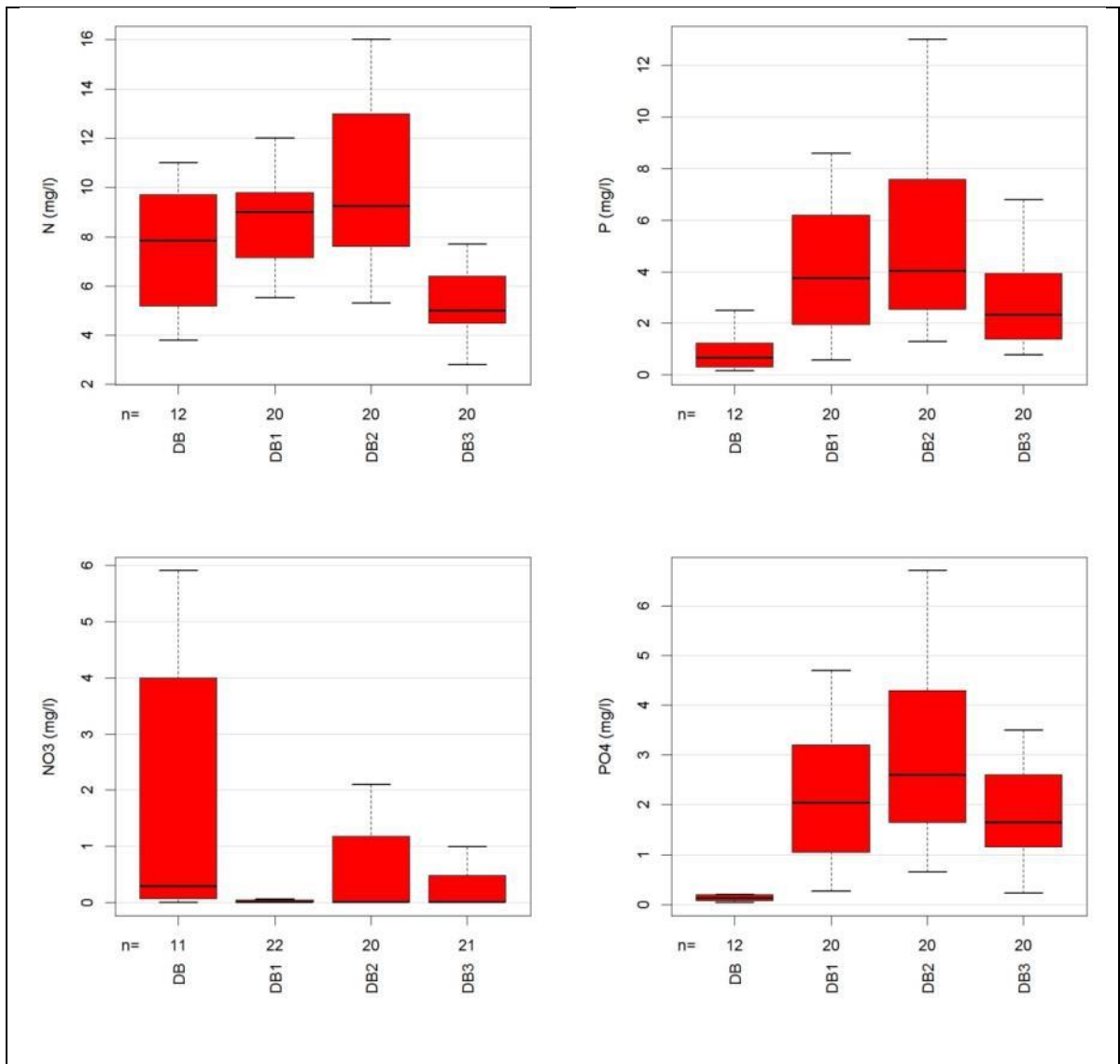
Boxplots per meetjaar van de concentraties N-totaal (links) en P-totaal (rechts) in de sloot bij het proefperceel, bij het referentieperceel en bij het uitstroompunt (2013-2015).

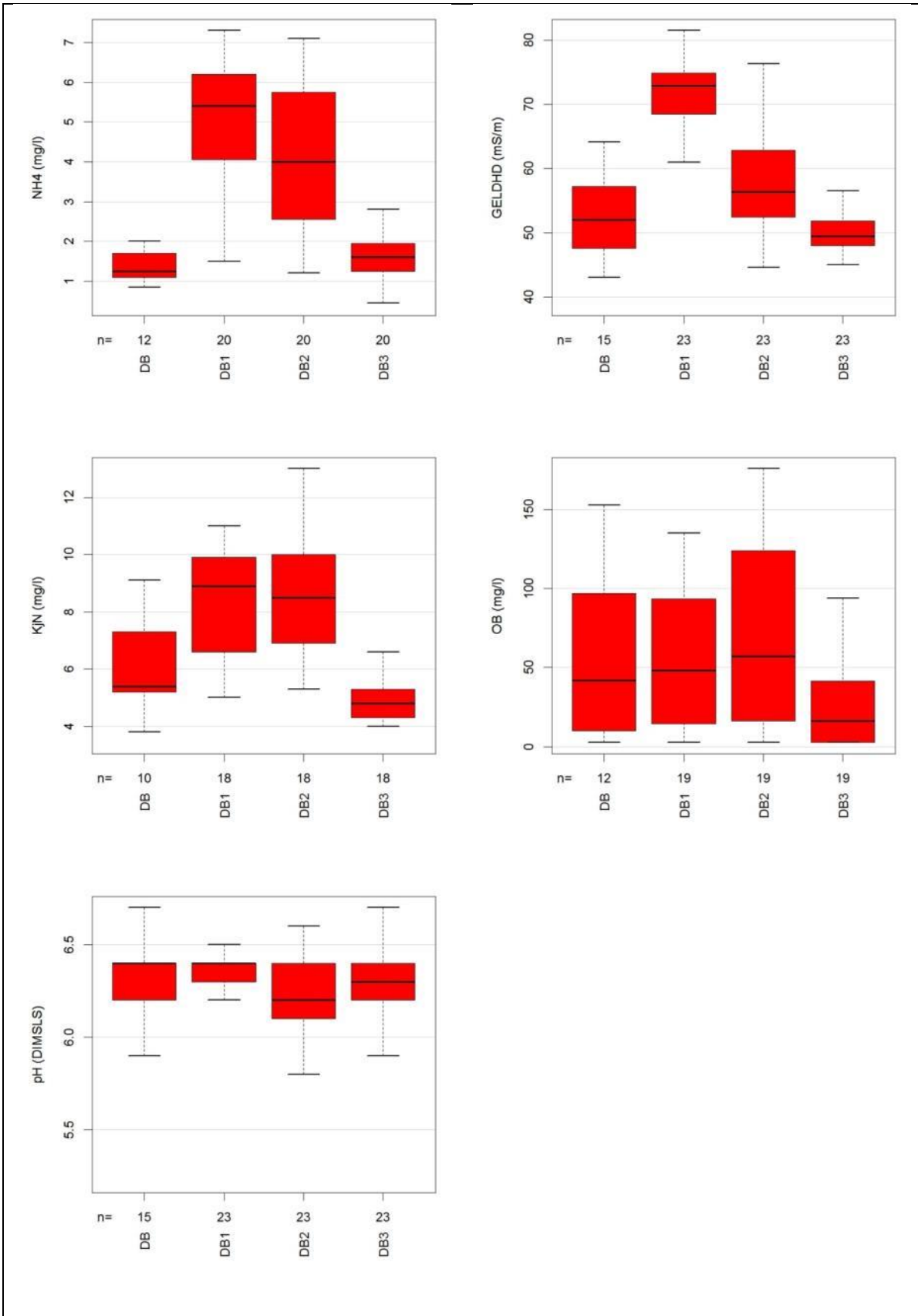




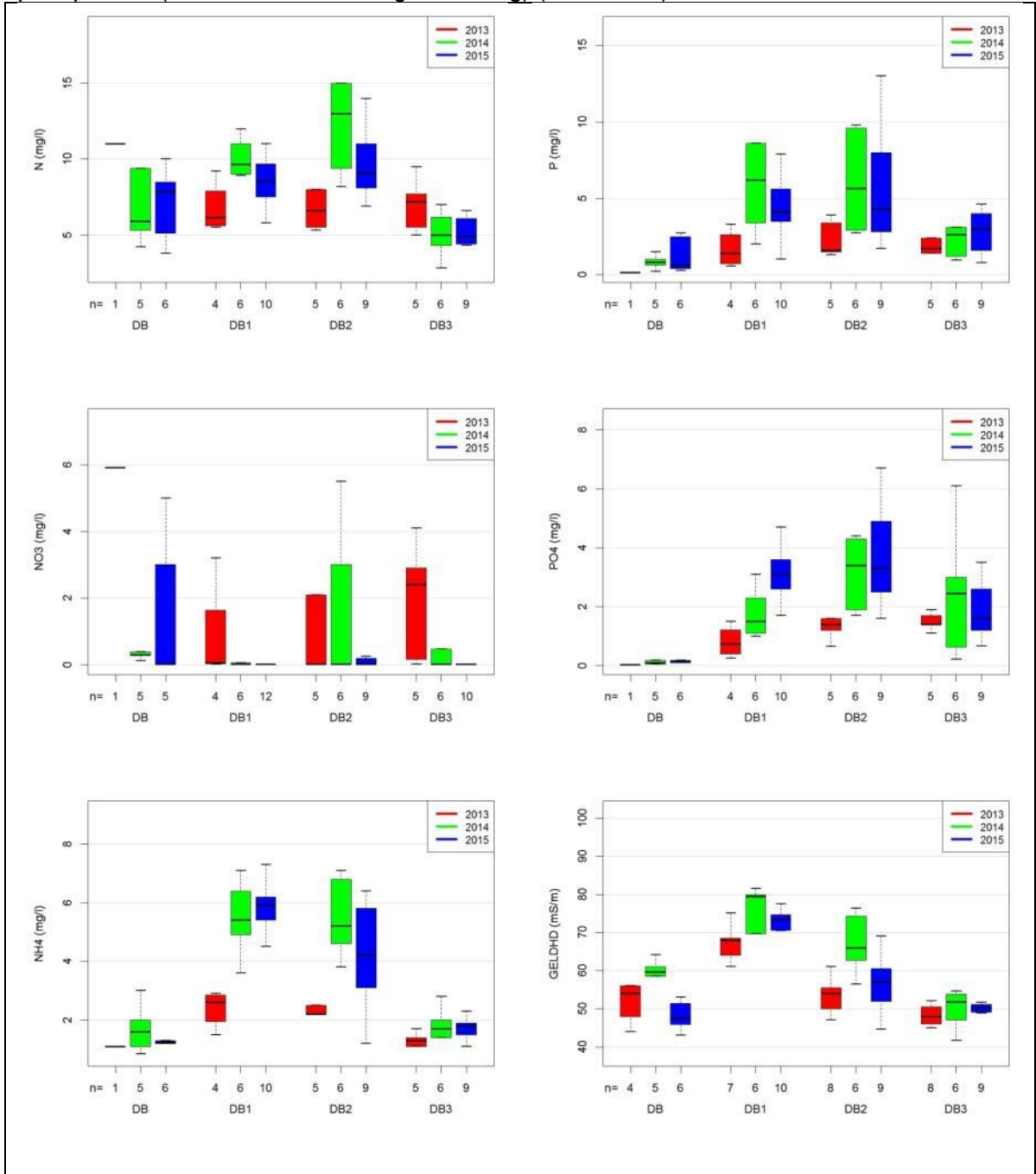
E Boxplots drainwaterkwaliteit

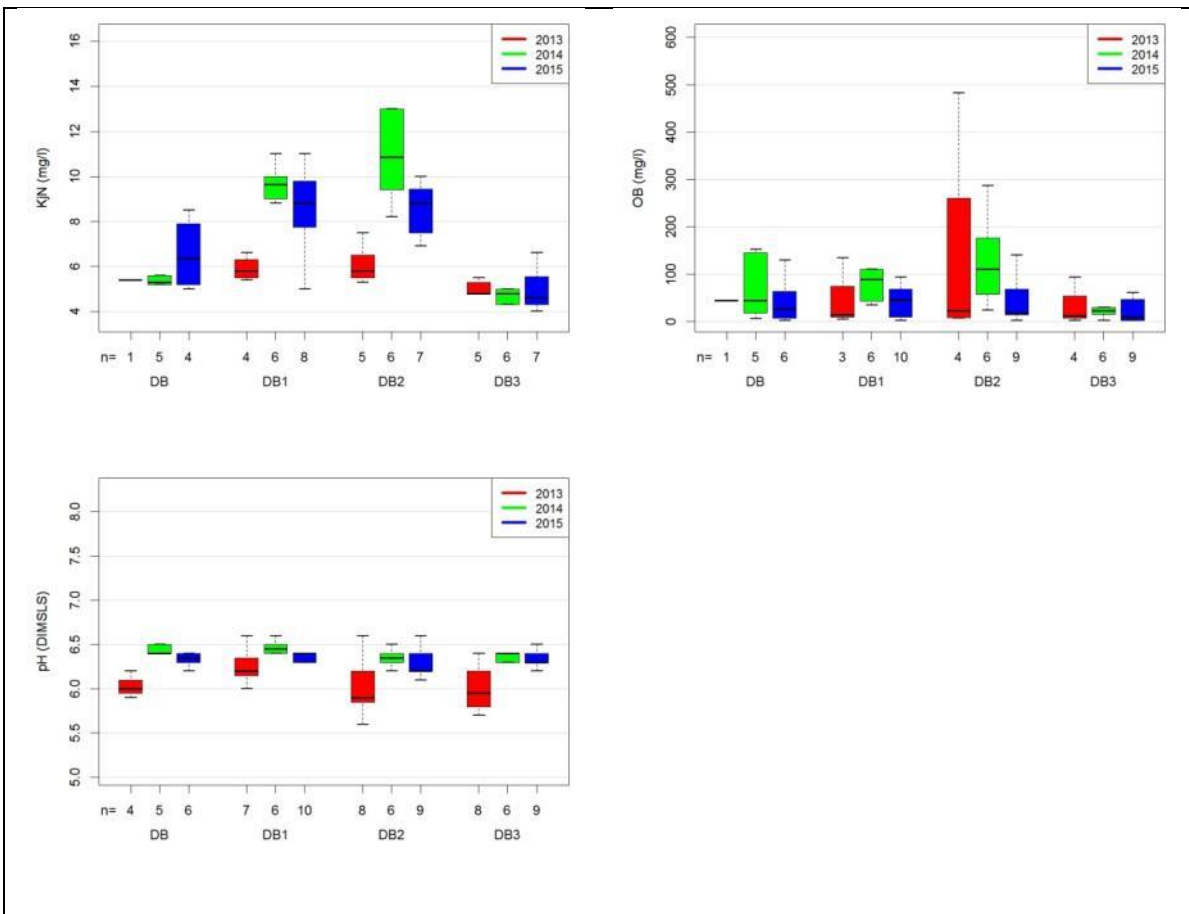
Boxplots van de concentraties in de drains bij het referentieperceel (DB) en bij het proefperceel (DB1 t/m DB3 van laag naar hoog) (2013-2015)



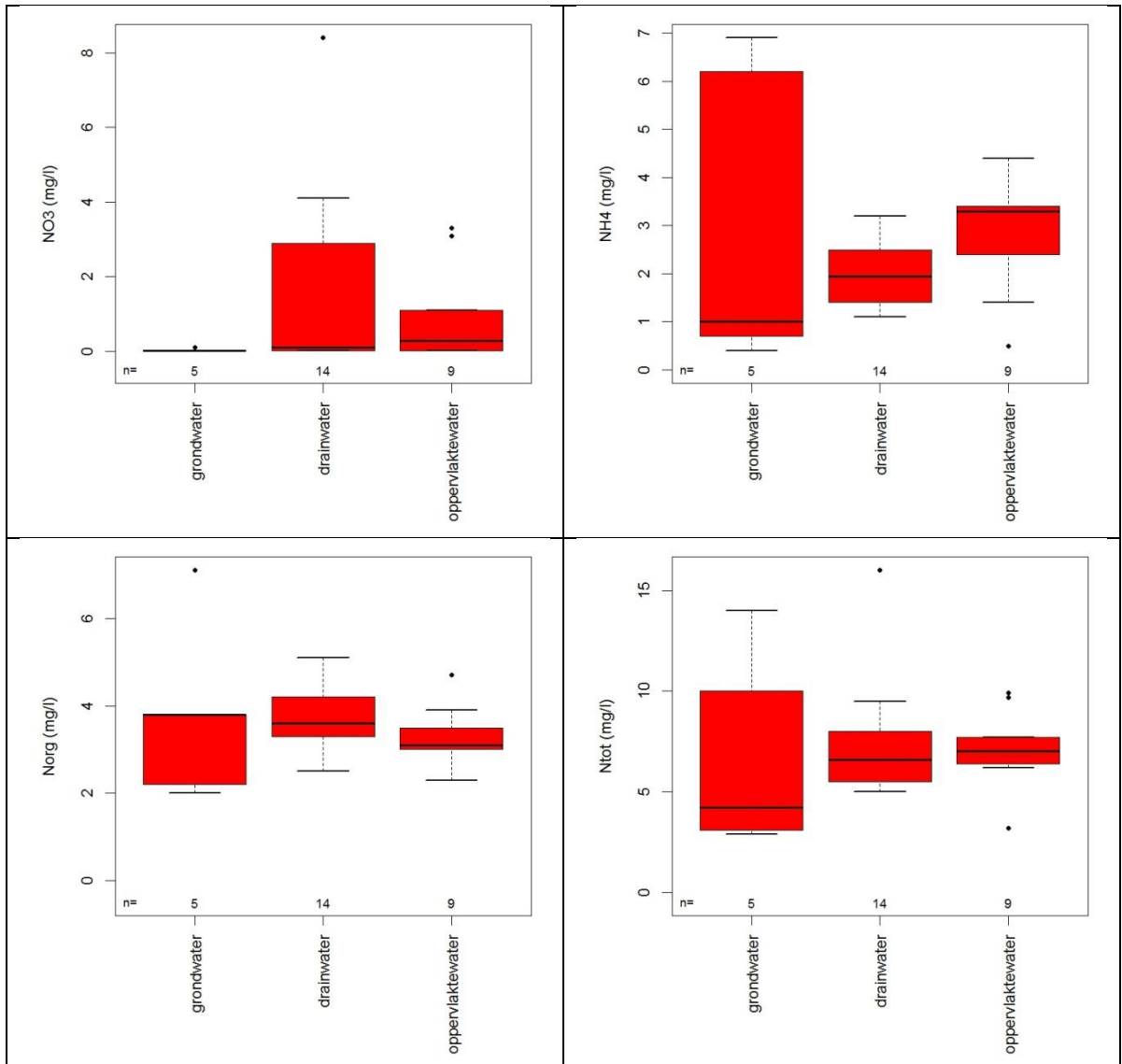


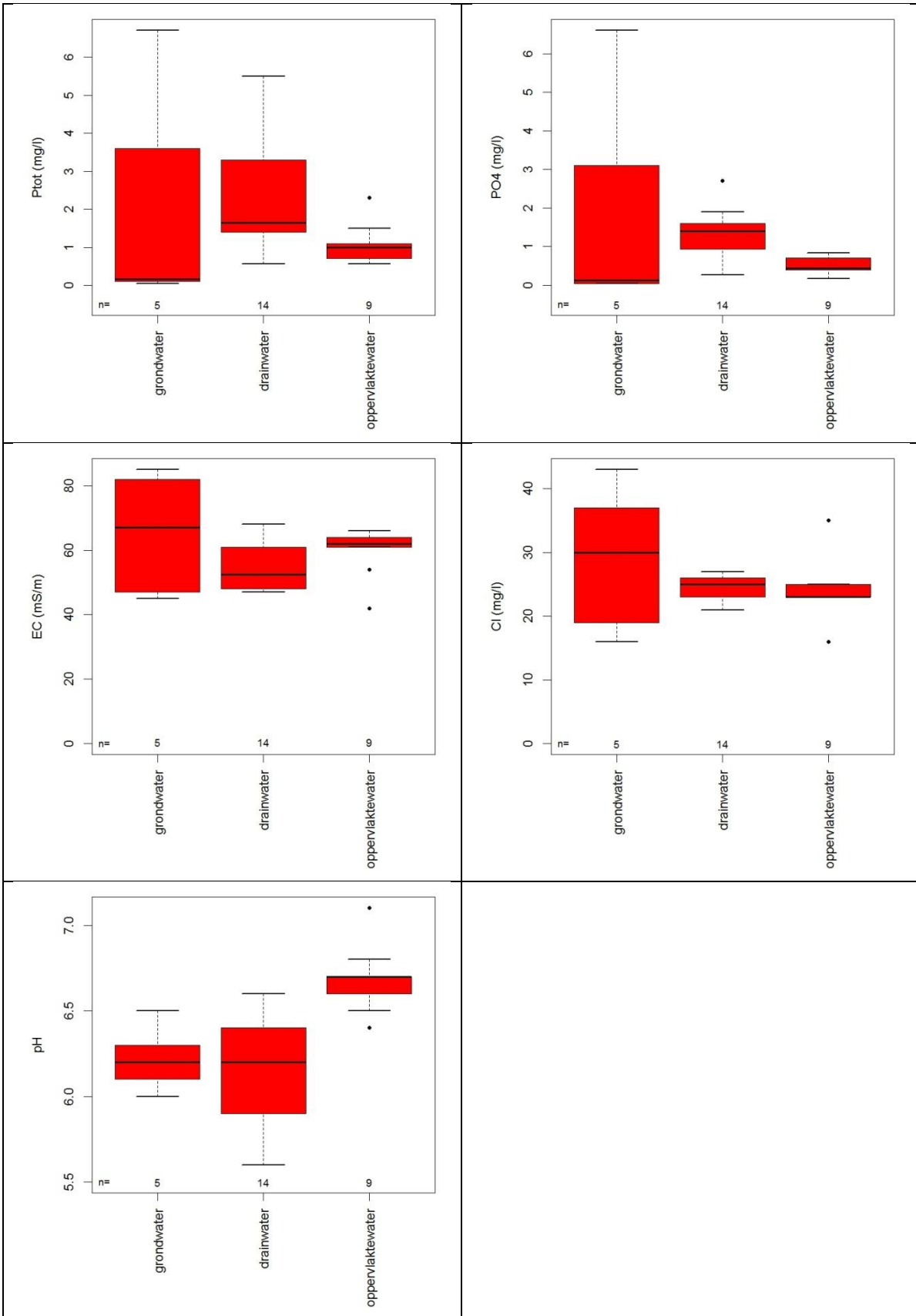
Boxplots per jaar van de concentraties in de drains bij het referentieperceel (DB) en bij het proefperceel (DB1 t/m DB3 van laag naar hoog) (2013-2015)





F Boxplots proefperceel vergelijking grondwater, drainwater, oppervlaktewater





G Correlatiematrixes waterkwaliteit

Correlatiematrix oppervlaktewater en drainwater

	EC	pH	Cl	NH4	Kj.N	NO3	Ntot	Norg	PO4	Ptot	Ppart
EC		-0.64	0.23	0.85	0.74	-0.04	0.65	0.26	0.70	0.47	0.30
pH	-0.64		-0.42	-0.68	-0.66	-0.34	-0.69	-0.20	-0.53	-0.40	-0.28
Cl	0.23	-0.42		0.37	0.19	-0.02	0.16	-0.19	0.30	0.11	0.02
NH4	0.85	-0.68	0.37		0.87	0.04	0.78	0.25	0.90	0.60	0.38
Kj.N	0.74	-0.66	0.19	0.87		0.17	0.93	0.83	0.76	0.75	0.61
NO3	-0.04	-0.34	-0.02	0.04	0.17		0.52	0.26	0.03	-0.10	-0.13
Ntot	0.65	-0.69	0.16	0.78	0.93	0.52		0.58	0.68	0.63	0.49
Norg	0.26	-0.20	-0.19	0.25	0.83	0.26	0.58		0.17	0.47	0.49
PO4	0.70	-0.53	0.30	0.90	0.76	0.03	0.68	0.17		0.58	0.32
Ptot	0.47	-0.40	0.11	0.60	0.75	-0.10	0.63	0.47	0.58		0.96
Ppart	0.30	-0.28	0.02	0.38	0.61	-0.13	0.49	0.49	0.32	0.96	

Correlatiematrix oppervlaktewater

	EC	pH	Cl	NH4	Kj.N	NO3	Ntot	Norg	PO4	Ptot	Ppart
EC		-0.64	0.23	0.85	0.74	-0.04	0.65	0.26	0.70	0.47	0.30
pH	-0.64		-0.42	-0.68	-0.66	-0.34	-0.69	-0.20	-0.53	-0.40	-0.28
Cl	0.23	-0.42		0.37	0.19	-0.02	0.16	-0.19	0.30	0.11	0.02
NH4	0.85	-0.68	0.37		0.87	0.04	0.78	0.25	0.90	0.60	0.38
Kj.N	0.74	-0.66	0.19	0.87		0.17	0.93	0.83	0.76	0.75	0.61
NO3	-0.04	-0.34	-0.02	0.04	0.17		0.52	0.26	0.03	-0.10	-0.13
Ntot	0.65	-0.69	0.16	0.78	0.93	0.52		0.58	0.68	0.63	0.49
Norg	0.26	-0.20	-0.19	0.25	0.83	0.26	0.58		0.17	0.47	0.49
PO4	0.70	-0.53	0.30	0.90	0.76	0.03	0.68	0.17		0.58	0.32
Ptot	0.47	-0.40	0.11	0.60	0.75	-0.10	0.63	0.47	0.58		0.96
Ppart	0.30	-0.28	0.02	0.38	0.61	-0.13	0.49	0.49	0.32	0.96	

Correlatiematrix drainwater

	EC	pH	Cl	NH4	Kj.N	NO3	Ntot	Norg	PO4	Ptot	Ppart
EC		0.22	0.53	0.87	0.63	-0.06	0.49	-0.10	0.33	0.25	0.12
pH	0.22		-0.13	0.10	0.16	-0.33	-0.11	0.07	0.05	0.30	0.34
Cl	0.53	-0.13		0.53	0.35	0.28	0.43	-0.29	0.14	-0.11	-0.21
NH4	0.87	0.10	0.53		0.84	-0.22	0.55	-0.06	0.60	0.51	0.29
Kj.N	0.63	0.16	0.35	0.84		-0.14	0.71	0.59	0.51	0.65	0.50
NO3	-0.06	-0.33	0.28	-0.22	-0.14		0.60	0.07	-0.35	-0.35	-0.23
Ntot	0.49	-0.11	0.43	0.55	0.71	0.60		0.27	0.23	0.33	0.28
Norg	-0.10	0.07	-0.29	-0.06	0.59	0.07	0.27		-0.06	0.18	0.26
PO4	0.33	0.05	0.14	0.60	0.51	-0.35	0.23	-0.06		0.59	0.17
Ptot	0.25	0.30	-0.11	0.51	0.65	-0.35	0.33	0.18	0.59		0.90
Ppart	0.12	0.34	-0.21	0.29	0.50	-0.23	0.28	0.26	0.17	0.90	