



W+B, FWE, KWR | Juli 2021

Effecten van droogte 2018 op natuurlijke vegetatie

Analyse van vegetatieopnamen en
grondwaterstanden op de Hogere
Zandgronden van Nederland

Deelrapportage behorend bij project Droogte
Zandgronden Nederland

Colofon

Titel

Effecten van droogte 2018 op natuurlijke vegetatie: analyse van vegetatieopnamen en grondwaterstanden op de Hogere Zandgronden van Nederland

Opdrachtgevers / financiers

Provincies Noord-Brabant (trekker), Gelderland, Limburg, Utrecht, Overijssel, Drenthe; Waterschappen WL, WAM, WDD, WBD, WVV, WRIJ, WVS, WDOD; TBO NM, SBB; MinLNV; bijdragen uit DHZ en Deltafonds

Projectteam Droogte Zandgronden Nederland

Gé van den Eertwegh (trekker), Ruud Bartholomeus, Perry de Louw, Flip Witte, Jos van Dam, Dion van Deijl, Peter Hoefsloot, Marjolein van Huijgevoort, Joachim Hunink, Niels Mulder, Janneke Pouwels en Janine de Wit

Kader

Dit rapport maakt deel uit van het project 'Droogte Zandgronden Nederland', mede in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater

Auteurs

Remco van Ek, Stijn Klop, Janine de Wit, Ruud Bartholomeus & Jan-Philip M. (Flip) Witte



FWE

KWR

Voorwoord

In dit rapport zijn de gevolgen van het droge jaar 2018 voor de vegetatie op de Hogere Zandgronden van Nederland in relatie tot de hydrologie geanalyseerd. Die analyse was mogelijk dankzij de vele vegetatieopnamen die door vegetatiekundigen zijn gemaakt en vervolgens aangeleverd door Thomas de Meij van provincie Overijssel. Aanvullende vegetatieopnamen zijn gemaakt door bureau Dactylis (Martin Droog), Rudi Zielman en Klaas van Dort. Hen willen wij hierbij danken voor hun inspanningen. Daarnaast danken wij de begeleidingscommissie van dit project. De begeleidingscommissie bestond uit:

- Janet Hof (Provincie Drenthe)
- Rob van Dongen (Staatsbosbeheer)
- Daniel Coenen (Staatsbosbeheer)
- Corine Geujen (Natuurmonumenten)
- Teun Spek (Provincie Gelderland)
- Leo Spoormakers (Provincie Limburg)
- Thomas de Meij (Provincie Overijssel, thans SBB)

De auteurs, 29 juli 2021

Inhoud

Colofon	1
Voorwoord	3
Inhoud	5
Samenvatting	8
1 Inleiding	10
1.1 Achtergrond	10
1.2 Probleemstelling	11
1.3 Doelstelling	11
1.4 Leeswijzer	11
2 Inzameling en structurering gegevens	12
2.1 Aanlevering ruwe gegevens	12
2.2 Opzet metabestand	12
2.3 Verbeteringen metabestand	14
2.4 Aanvullende vegetatieopnamen	15
2.5 Oplevering data voor analyse	17
3 Analyse hydrologische gegevens	20
3.1 Tijdreeksanalyse	20
3.1.1 Opzet tijdreeksmodellen	20
3.1.2 Beoordeling tijdreeksmodellen	21
3.1.3 Resultaten tijdreeksanalyse	22
3.1.4 Simuleren 30 jaar grondwaterstanden	23
3.1.5 Mogelijk vervolg tijdreeksanalyse	23
3.2 SWAP berekeningen	24
3.2.1 Theorie hydrologisch model	24
3.2.2 Opzet hydrologisch model	25
3.2.3 Resultaten hydrologische model	26
3.3 Afleiden hydrologische karakteristieken	27
3.4 Droogte-indices	28
4 Effect van hydrologische droogte op de vegetatie	31
4.1 Inleiding	31
4.2 Vegetatierespons	31
4.3 Grondwaterstand en vegetatie	33
4.4 Droogtestress, zuurstofstress en vegetatie	35
5 Discussie	38
5.1 Kwaliteit van de data	38
5.2 Robuustheid van de uitkomsten	39
5.3 Beantwoording van de onderzoeksvragen	41
5.3 Aanbevelingen ten aanzien van de monitoring	43
6 Referenties	44

Samenvatting

In het kader van fase 2 van de droogteanalyse is een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van de droogte van 2018 op de vegetatie binnen de Hogere Zandgronden aan de hand van vegetatieopnamen (pq's) en peilbuiswaarnemingen. Om de effecten van veranderingen in de grondwaterstand als gevolg van droogte op de vegetatie te kunnen bepalen zijn systematische en parallelle waarnemingen nodig van grondwaterstanden en de vegetatie. Deze dienen over een voldoende lange periode en op een betrouwbare wijze te zijn geregistreerd, zowel vóór als ná de droogte van 2018.

Alvorens de effecten van de veranderingen konden worden bepaald zijn eerst alle gegevens geïventariseerd en gecontroleerd. Probleem was dat de vegetatieopnamen gedeeltelijk onvoldoende gelokaliseerd waren, dat niet voor alle locaties een gelokaliseerde peilbuis beschikbaar was en wanneer dit wel zo was er vaak tekortkomingen waren met de grondwaterstandsmetingen en/of de vegetatieopname. Hierdoor was er een noodzaak voor nadere selectie.

Met behulp van tijdreeksanalyse zijn gemeten grondwaterstandsreeksen verlengd naar 30 jaar. Vervolgens zijn alleen de reeksen geselecteerd met een betrouwbaar tijdreeksmodel. Voor die selectie zijn hydrologische karakteristieken (GXG's) afgeleid en droogte-indices afgeleid om de droogte hydrologisch te kunnen karakteriseren zijn. Dit zijn:

- LG3(2018)-GLG ofwel de grondwaterstand in het droogtejaar 2018 op basis van de 3 laagste dagelijkse grondwaterstanden vergeleken met de GLG afgeleid uit de 30 jarige (tijd)reeks.
- TS(2018)-TSm ofwel droogtestress berekend met SWAP over 2018 en gemiddeld over de 30 jarige tijdreeks.
- RS(2018)-RSm ofwel zuurstofstress berekend met SWAP over 2018 en gemiddeld en de 30 jarige tijdreeks.

Deze waarden zijn gerelateerd aan veranderingen in de gemiddelde indicatiewaarden voor vochttoestand (Fm), voedselrijkdom (Nm) en zuurgraad (Rm) afgeleid uit de vegetatieopnamen en met de natuurwaarde die op verschillende manieren is uitgedrukt (conform het rapport 'Gevolgen van de droogte van 2018 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland, afgeleid van het Landelijk Meetnet Flora' of kortweg 'de LMF studie' [27]).

Ondanks de gemelde problemen met de peilbuizen komt de droogte van 2018, 2019 en 2020 sterk tot uiting in de hydrologische gegevens. De LG3(2018) - GLG waarde als schatter van de grondwaterstands daling blijkt duidelijk groter te zijn in de droge jaren dan in de jaren daarvoor. Ook zien we een sterke toename in de droogtestress (TS(2018)-TSm). Net als in de LMF-studie zien we geen sterke verschuiving in indicatiewaarden in de pq's (Fm, Nm, Rm), maar wel in de verschillende parameters voor natuurwaarde (NZ, WZ, NW¹), die beduidend zijn afgenomen. Er zijn enkele statistisch significante relaties gevonden. De uitkomsten zijn in lijn met wat eerder gevonden is op basis van de LMF gegevens [26]. Ook in deze studie zien we een schijnbare afname van de bodemvruchtbaarheid, een mogelijk schijnbare verzuring en een werkelijke achteruitgang in natuurwaarde als gevolg van de droogte.

We vonden echter geen verband, dan wel een zwak verband, tussen de hydrologische droogte-indices en de verandering van vegetatieparameters, zoals tussen LG3(2018)-GLG en de verschuiving in Fm. Onze verklarende hypothese hiervoor is dat de pq's die in 2018 de grootste

¹ NZ = aantal zeldzame soorten, WZ zeldzaamheidswaarde van de opname, NW = natuurwaarde volgens methode Gelderland

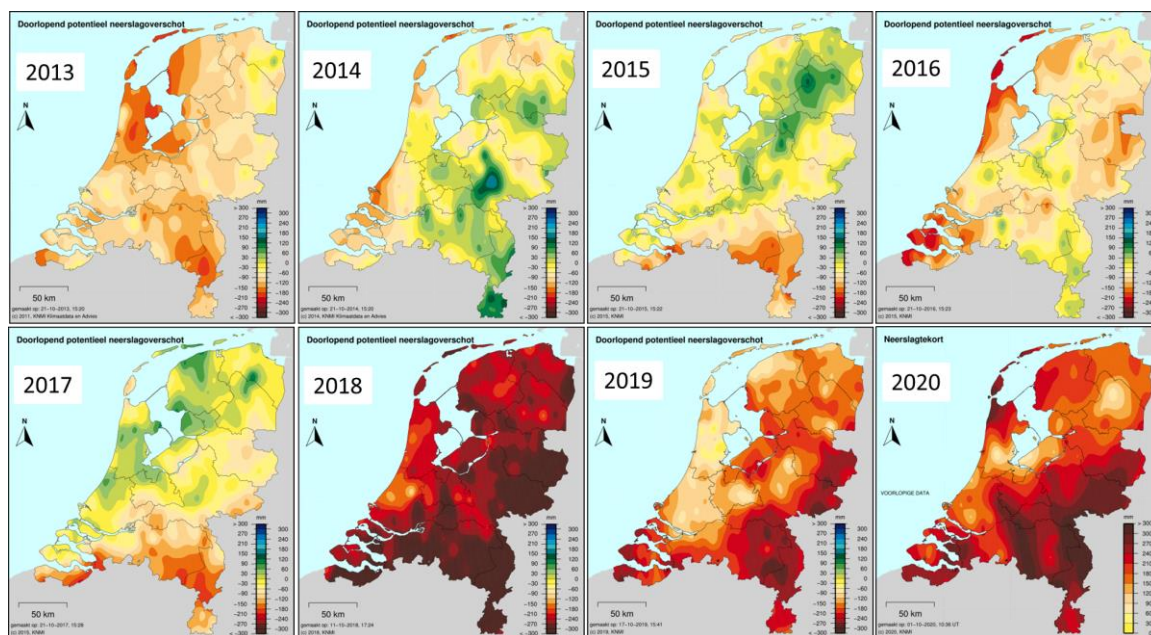
droogte ervaarden van alle onderzochte pq's, dat in de jaren voorafgaand aan 2018 dat ook al deden, zodat de meest gevoelige soorten al uit die pq's waren gefilterd. En omgekeerd, dat de vegetatie van pq's met een zeer stabiele waterhuishouding in 2018 het meest in tact bleef, net als die vegetatie in voorgaande jaren een droogte het beste doorstond.

De analyse sluit af met aanbevelingen ten aanzien van een meetnet waarin vegetatie en hydrologie parallel worden bemeten. De aanbevelingen sluiten aan op een andere recente analyse [38]. De dataset die in het kader van deze analyse is opgebouwd vormt een goed vertrekpunt voor verdere uitbouw en verbetering van een meetnet. Hoe verbetering en verdere uitbouw dient te worden opgepakt hangt sterk samen met de doelstelling van het meetnet. Men dient nadrukkelijk stil te staan bij de doelstelling: *Welke vraag of vragen dienen te worden beantwoord met het meetnet?* Nu hebben we gewerkt met een ongeorganiseerde set aan data die onvoldoende was toegerust op het beantwoorden van de (deel)vragen aangegeven in de startfase van het project.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Nederland werd in 2018 geconfronteerd met een zeer droog jaar. Ook 2019 en 2020 bleken bijzonder droog. Het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen lag landelijk in 2018, 2019 en 2020 gemiddeld op 296, 160 en 207 mm waarbij met name het oostelijk deel van Nederland en het voorjaar van 2020 extreem droog waren (Figuur 1).



Figuur 1. Het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen in de afgelopen 8 jaar. Vooral de laatste 3 jaar worden gekenmerkt door een groot neerslagtekort.

Dit had gevolgen voor de watervoorziening op de hogere zandgronden. Al snel werd duidelijk dat grondwaterpeilen en oppervlaktewaterpeilen sterk daalden met problemen voor de natuur.

De problemen met de watervoorziening zijn in 2018 door de landelijke politiek opgepakt onder de naam 'Beleidsstafel droogte'². In dit kader zijn adviezen opgesteld en onderzoeken gestart naar de gevolgen van droogte. Zo is voor de hogere zandgronden van Nederland een onderzoek gestart naar de gevolgen van droogte voor de waterhuishouding, de landbouw en de natuur. Dit onderzoek bestaat uit drie fasen. In Fase 1 is een uniforme werkwijze voor de analyse van droogte ontwikkeld [1]. Er is onderzocht hoe de droogte zich in 2018 op de zandgronden heeft gemanifesteerd. Tevens is een verkenning uitgevoerd naar de mogelijkheden om droogte te monitoren, en zijn kort handelingsperspectieven beschreven, waarmee schade aan o.a. de natuur kan worden beperkt. In Fase 2 is aan het onderzoek een verdiepend en uitbreidend vervolg gegeven. Fase 3 richt zich met de resultaten van Fase 1 en 2 op onderbouwing en informatievoorziening van een volgende versie van het handelingsperspectief (2021).

² <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/12/18/eindrapportage-beleidsstafel-droogte-nederland-beter-weerbaar-tegen-droogte>

1.2 Probleemstelling

Dit rapport is onderdeel van Fase 2 en richt zich op de analyse van de effecten op de vegetatie als gevolg van de droogte. In Fase 1 zijn er interviews gehouden onder medewerkers bij provincies, waterschappen en terreinbeherende organisaties [2]. In Fase 2 is een analyse uitgevoerd op de LMF gegevens (Landelijk Meetnet Flora), aangeleverd door het CBS [27]. Uit beide studies komt het beeld naar voren dat er grote schade is opgetreden aan vegetatie en fauna van natuurtypen die kenmerkend zijn voor natte en vochtige voedselarme standplaatsen en vooral natuurtypen die voor hun watervoorziening vrijwel of geheel afhankelijk zijn van neerslagwater. Het gaat hierbij naast N03.01 Beek en bron om N06.03 Hoogveen, N06.04 Vochtige heide, N06.05 Zwakgebufferd ven, N06.06 Zuur ven of hoogveenven en N14.02 Hoog- en laagveenbos.

Voor genoemde studies zijn alleen gebaseerd op waarnemingen aan de vegetatie en, ten dele, de fauna, dus aan respons van de vegetatie op de droogte. In deze studie zullen we onderzoeken of veranderingen in de vegetatie samenhangen met waargenomen veranderingen in de hydrologie tijdens het droge jaar 2018 (met een uitloop naar 2019). De provincies hebben namelijk behoefte aan meer inzicht in niet alleen de effecten op de natuur van extreme droogte, maar ook in de precieze oorzaken. Bovendien willen de provincies inzicht krijgen in de bruikbaarheid van bestaande monitoring om effecten op zowel de hydrologie als de vegetatie te volgen. Door Thomas de Meij van provincie Overijssel is een notitie opgesteld met vragen waar het onderzoek zich op dient te richten. Deze vragen vormen de leidraad voor het onderzoek. Centraal in de analyse staat de hypothese dat de verandering in samenstelling van de vegetatie groter is, naarmate de hydrologie van de plots in 2018 meer afwijkt (droger) van het gemiddelde.

1.3 Doelstelling

De hoofddoelstelling van het onderzoek richt zich op de vraag:

Hoe hangen de in 2018 en 2019 opgetreden veranderingen in de vegetatie van grondwaterafhankelijke natuurgebieden samen met hydrologisch extreme waarden van die jaren? Welke effecten als gevolg van de droogte in 2018 en 2019 zijn af te leiden uit de gegevens en wat betekent dit voor behoud van specifieke vegetatietypen en plantensoorten?

In aanvulling op de hoofdvraag zijn ook deelvragen meegegeven:

1. Hoe hebben vegetatietypen en plantensoorten gereageerd op de droogte van 2018 en 2019?
2. Zijn er verschillen in de reactie tussen standplaatsen? Zo ja, hoe uit dat zich?
3. Zijn goed ontwikkelde vegetaties minder door de droge jaren aangetast dan slecht ontwikkelde vegetaties? De hypothese hierbij is dat de waterhuishouding van goed ontwikkelde vegetaties op orde was (anders was de vegetatie niet goed ontwikkeld), en dat zulke vegetaties minder last hadden van 2018 en 2019. Ofwel: kan het effect van droogte versus verdroging (structurele aantasting waterhuishouding) worden geïdentificeerd?
4. In welke mate voldoet de huidige monitoring voor het op landelijke schaal bepalen van effecten van extreme droogte en verdroging? Zijn er werkbare aanpassingen mogelijk in de huidige opzet zodat beter inzicht ontstaat in het langjarig effect van terugkerende droge periodes? In hoeverre past de huidige opzet van bestaande meetnetten op de hier genoemde doelen?

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 gaan we in op de dataverzameling en voorbereiding voor analyse. In hoofdstuk 3 bespreken we bewerkingen die zijn uitgevoerd met de hydrologische gegevens om hieruit hydrologische karakteristieken en indicatoren voor droogte af te leiden die we kunnen relateren aan de vegetatieontwikkeling. Hoofdstuk 4 geeft een synthese van de ecologische effecten in relatie tot de droogte indicatoren. Hoofdstuk 5 geeft een discussie weer ten aanzien van de behaalde resultaten en aanbevelingen voor verbetering in de monitoring.

2 Inzameling en structurering gegevens

2.1 Aanlevering ruwe gegevens

Door Thomas de Meij van provincie Overijssel zijn de volgende gegevens aangeleverd.

- Vegetatieopnamen van de SBB referentiepunten 1999-2009
- Vegetatieopnamen van de SBB referentiepunten 2016
- Lijst van peilbuizen van het SBB referentiemeetnet
- Rapporten over het SBB referentiemeetnet
- Vegetatieopnamen (PQ's) met peilbuizen van de provincies 1997-2020

De data van de vegetatieopnamen is overwegend aangeleverd in xml formaat en kan direct worden geïmporteerd in Turboveg. Ten aanzien van de vegetatieopnamen van de provincies zijn verschillende versies aangeleverd. De laatste actuele versie (24-3-2020) is gebruikt voor het opbouwen van het bestand waarop de analyse is uitgevoerd.

De rapporten geven nadere informatie over het SBB referentiemeetnet [3] t/m [11]. Doel van het project Referentiemeetnet Terreincondities van 1999-2007 was "Het opsporen en beschrijven van vegetatie, bodem en waterhuishouding voor combinaties van goed ontwikkelde, stabiele voorbeelden van de in de SBB-catalogus onderscheiden vegetatietypen". Na 2007 liep de systematische monitoring van deze 'referentiepunten' af. Het grondwatermeetnet is in de loop der tijd gesaneerd. Sommige buizen zijn verdwenen, afgesloten of hernummerd. Oorzaak is de decentralisatie van het natuurbeleid van het Rijk naar de provincies, waardoor de financiële middelen voor centraal beheer van het grondwatermeetnet van Staatsbosbeheer zijn vervallen.

In 2016 zijn de referentiepunten opnieuw bezocht om na te gaan welke meetlocaties nog bruikbaar zijn. Er zijn opnieuw vegetatieopnamen gemaakt (data opgeslagen in turboveg bestanden). In 2017 is een evaluatie van het referentiemeetnet uitgevoerd [12]. Zowel voor het beheer van natuurgebieden als vanuit het beleid bestaat er namelijk behoefte aan voortzetting van het Referentiemeetnet Terreincondities. Ook in de toekomst hebben referenties een belangrijke functie, bijvoorbeeld bij het beoordelen van de gevolgen van klimaatverandering voor het realiseren van natuurdoelen. In 2019 is een rapport opgemaakt [13] met als doel een kader te ontwikkelen voor het uitbreiden en actualiseren van het referentiemeetnet. Nagegaan is welk deel van de oorspronkelijke SBB peilbuizen (OLGA-SUN meetnet) konden worden teruggevonden in het dinoloket, voor welk deel wel een peilbuis kon worden aangetroffen maar niet kon worden gerelateerd aan de vegetatie van het referentiepunt, en voor welk deel er later nieuwe peilbuizen zijn die wellicht kunnen gaan dienen als referentiepunt [14].

2.2 Opzet metabestand

Om een analyse uit te kunnen voeren van de vegetatieontwikkeling in relatie tot het verloop van de grondwaterstand zijn betrouwbare reeksen nodig van vegetatieopnamen en gemeten grondwaterstanden. De gemeten grondwaterstanden moeten betrouwbaar zijn en informatie leveren over de groeiplaats van de vegetatie ter plekke.

Het opbouwen van een gekoppeld vegetatie-peilbuis-meetnet zou eenvoudig zijn als de coördinaten van alle meetpunten nauwkeurig en betrouwbaar zouden zijn vastgelegd. Op basis van bestaande beschrijvingen en een eventuele GIS overlay zouden de meetpunten dan aan elkaar kunnen worden gerelateerd (vegetatieopnamen en peilbuis, dan wel verschillende vegetatieopnamen in de tijd). Dit blijkt helaas niet mogelijk. De belangrijkste beperking hierin is dat de coördinaten voor de

vegetatieopnamen van het SBB referentiemeetnet niet nauwkeurig zijn. Deze zijn vaak maar in hectometers bekend.

Om meetpunten op een correcte wijze aan elkaar te relateren is een bestand nodig waarin de relatie is gelegd tussen metagegevens van de vegetatieopnamen en de achterliggende floristische samenstelling van de vegetatieopname. Met metagegevens gaat het hier om de beschrijving van de locatie, de vegetatie, de bijbehorende peilbuis, de periode van opname, etc. Dit metabestand vormt de basis voor verdere correcties ten aanzien van bijvoorbeeld de plaats-coördinaten, de peilbuis en om vast te kunnen stellen welke vegetatieopnamen tot een locatie behoren en dus als een vegetatiereeks kunnen worden beschouwd.

De opbouw van het metabestand is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Opbouw metabestand.

Variabele	Omschrijving
nr	uniek volgnummer wat gebruikt wordt bij het sorteren (1-1949)
bestand	De verschillende bronbestanden. Er is onderscheid gemaakt in SBB 1999-2009, SBB2016, Prov2020 en Prov2020x. Prov2020x heeft betrekking op vegetatieopnamen die in de zomer 2020 zijn uitgevoerd ten behoeve van dit project.
relevé	Het nummer van de vegetatieopname binnen dat bronbestand. Er kunnen gelijke nummers binnen deze kolom voorkomen!! (bijv relevé 1 komt voor binnen verschillende bronbestanden. Het nummer is gelijk, maar de vegetatieopname niet).
covercode	Bedekkingsschaal opname (02 Braun-Blanquet, 03 Londo, 05 vermoedelijk Tansley numeriek, maar Van der Maarel hanteert een zelfde codering, 11 Tansley)
code	Unieke code gekoppeld aan de pq en het jaar van opname.
jaar	Jaar van de waarneming.
serie	Serie van vegetatieopnamen (vegetatiereeks).
nserie	Aantal opnamen in de serie (vegetatiereeks)
date	Datum van opname
X_COORD	X-coördinaat van de opname (voor SBB refmeetnet onbetrouwbaar)
Y_COORD	Y-coördinaat van de opname (voor SBB refmeetnet onbetrouwbaar)
xy	Bovenstaande xy aan elkaar geschreven om te kunnen sorteren op locatie. Soms kunnen namelijk coördinaten vlak bij elkaar liggen, bij eenzelfde opname horen, maar door ruis in de GPS waarnemingen wat verschillen.
SBB buis	Code SBB buis (oude code)
dino	Code dino buis (actueel). In enkele gevallen gaat het niet om een peilbuis, maar om waterpeildata (vennen).
xpb	X-coördinaat van de dino buis
ypb	Y-coördinaat van de dino buis
Klaas2016	Betrouwbaarheid SBB referentiemeetnet obv van Klaas van Dort (xlsx en docx 170329_SBB Referentiemeetpunten 2016 BEOORDELING)
Kieskamp2019	Digitale bijlage bij rapport Kieskamp met info bruikbaarheid SBB peilbuizen
geschikt	Eigen inschatting (mede op basis van Klaas en Kieskamp) op basis van visuele inspectie meetdata of peilbuis geschikt is voor de analyse.
opm_dino	Aanvullende opmerkingen over kenmerken van de dino meetreeks (aanwezigheid outliers, compleetheid meetreeks, meetdichtheid)
assoc_EKR	Accociatie afgeleid door R. van Ek uit vegetatieopname met ASSOCIA (Turboveg).
assoc_bron	associaties voor zover aangegeven in de bronbestanden.

Variabele	Omschrijving
pq	pq = permanent quadraat. J = JA op basis van info uit de ruwe gegevens
vegsel	Selectie of de vegetatie geschikt is voor analyse op basis van vegetatietype en of het wel of niet aangemerkt is als permanent quadraat (pq). Focus is gelegd op grondwaterafhankelijke vegetatietypen aangezien die kunnen verdrogen agv daling grondwaterstand.
wie	Toedeling van herhalingsopnamen aan 3 veldmedewerkers in verband met herhalingsopnamen in de zomer van 2020.
sel	Selectie voor opnamen (als peilbuis OK en vegetatie OK).
tel	hulpvariabele voor telling aantal regels
loc	Op basis van de remarks (locatie opname tov peilbuis) lijkt het mogelijk om locatie (x,y) van de opname te achterhalen.
prov	Provincie waarbinnen pq ligt
gebied	Natuurgebied waarbinnen pq ligt
remarks	Opmerkingen bij pq's
remarks_SBBref	Opmerkingen bij pq's referentiemeetnet
remarks_Klaas2016	Opmerkingen in bestand Klaas 2016

Zoals vermeld zijn de coördinaten van vegetatieopnamen van het SBB referentiemeetnet onvoldoende betrouwbaar. Om die reden zijn de opmerkingen (remarks) uit de verschillende bronbestanden naast elkaar gezet in het metabestand. In een groot aantal gevallen is wel bekend aan welke peilbuis de opname is gekoppeld en wat de relatieve ligging van de vegetatieopname is (in afstand en oriëntatie ten opzichte van het noorden) ten opzichte van de peilbuis. Doordat de coördinaten van de peilbuizen wel betrouwbaar zijn kan zo ook de locatie van de vegetatieopname worden bepaald.

Het opstellen van vegetatiereeksen was voor de provinciale vegetatieopnamen eenvoudig. Dit bestand bevat een unieke code zodat vegetatieopnamen genomen op een locatie maar in verschillende jaren gemakkelijk aan elkaar kunnen worden gekoppeld. Voor het SBB referentiemeetnet bleek dit niet mogelijk. Naast het jaar van de waarneming wordt ook een nummer aangegeven maar dit blijkt niet uniek te zijn per locatie. Daarom zijn vegetatiereeksen bepaald op basis van de dino peilbuizen onder de aanname dat verschillende opnamen gekoppeld aan dezelfde peilbuis ook tot een locatie behoren. Een extra controle is uitgevoerd door te controleren op plantengemeenschap (assoc_EKR). Zo is het niet aannemelijk dat een grasland snel tot een broekbos zal overgaan en andersom. In een aantal gevallen konden opnamen van het SBB referentiemeetnet worden samengevoegd met vegetatieopnamen uit het provinciale meetnet.

2.3 Verbeteringen metabestand

Informatie uit het metabestand is gebruikt om binnen GIS de data verder te controleren. Door de locaties op kaart weer te geven kan worden nagegaan of de informatie uit het metabestand ook overeenkomt met de xy-coördinaten. Zo zal een vegetatieopname die, volgens de beschrijving, in een bepaalde provincie is opgenomen, ook binnen die provincie moeten liggen. Dat bleek niet altijd het geval als gevolg van invoerfouten. Indien duidelijk is uit de beschrijving van een pq dat we te maken hebben met een en dezelfde locatie, dan worden de xy-coördinaten van meer recente vegetatieopnamen (uitgedrukt in meters) overgenomen voor oudere vegetatieopnamen (in hectometers) voor die locatie. Vervolgens kon via GIS voor elke vegetatieopname de nabijheid van de peilbuis worden gecontroleerd die bij de vegetatieopname was vermeld. Soms was niet duidelijk wat de coördinaten van een peilbuis waren omdat er een invoerfout was gemaakt met de code. Doordat alle dinopeilbuizen aanwezig in het projectgebied zijn opgehaald uit dinoloket kon vrij eenvoudig de correcte code, en daarmee ook het de plaatscoördinaten, worden opgezocht. Ook in de informatie uit het dinoloket blijken fouten te zitten. Zo is duidelijk uit het verloop van de

meetreeks dat de hoogte van het maaiveld (in m tov NAP) niet altijd klopt. Dit is voor een selectie van 30 buizen (met betrouwbare grondwatermetingen en complete vegetatiereeks) handmatig gecontroleerd en gecorrigeerd, maar niet voor alle peilbuizen. Dit bleek binnen dit project te omvangrijk aangezien dit vereist dat een overlay wordt gemaakt met het gehele AHN3 (op 0,5x0,5 m grid). In een latere fase is deze actie wellicht wel uitvoerbaar.

Nadat de meest voor de hand liggende correcties in codering en locatie was doorgevoerd is een selectie uitgevoerd. Alleen vegetatieopnamen en peilbuizen binnen het projectgebied voor deze studie zijn geselecteerd voor verdere analyse.

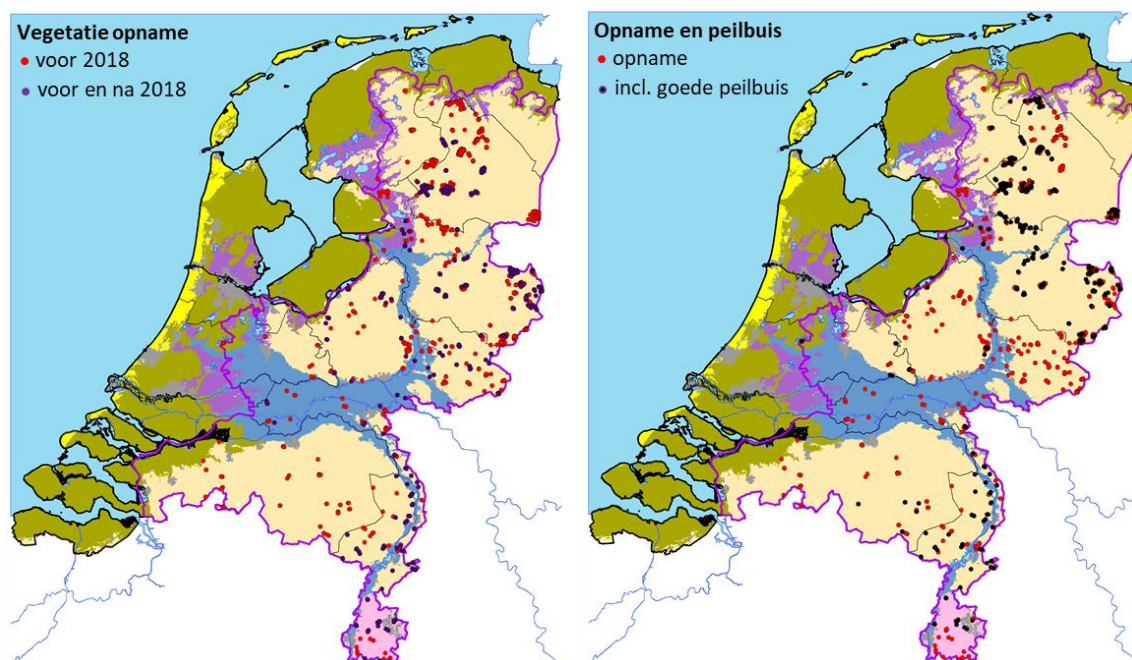
Bij nader inzien bleken ook sommige vegetatieopnamen dubbel voor te komen. Bij een en dezelfde peilbuis kwamen meerdere vegetatieopnamen voor die, op het relevé nummer na, volledig met elkaar overeen kwamen. Dit kwam 18 keer voor. Deze dubbele vegetatieopnamen zijn uit de dataset verwijderd.

2.4 Aanvullende vegetatieopnamen

Van de basisgegevens zijn kaarten gemaakt. Voor de analyse is het relevant te weten waar vegetatieopnamen bekend zijn van vóór de droogte en waar vegetatieopnamen beschikbaar zijn van zowel vóór als na de droogte. Het laatste is nodig om een ecologisch effect vast te kunnen stellen. Vervolgens is het relevant vast te stellen of bij die locaties ook een peilbuis aanwezig is, om daarna vast te kunnen stellen of die peilbuis ook bruikbaar is voor analyse. De bruikbaarheid van alle peilbuizen met een vegetatieopname is getoetst door na te gaan of de metingen aan het grondwaterpeil voldoende betrouwbaar en voldoende compleet zijn. De meetdata van elke peilbuis is gevisualiseerd met behulp van een pythonscript en vervolgens geïnspecteerd. Er is specifiek gekeken naar de aanwezigheid van datasprongen, uitbijters, en de compleetheid van de meetreeks. Indien er geen grondwaterstandsmetingen beschikbaar zijn van het grondwaterstandsverloop tijdens de droogte dan kan een ecologisch effect niet worden vergeleken met de hydrologische veranderingen op die locatie. Dergelijke locaties vallen af voor analyse. De bruikbaarheid van elke peilbuis voor analyse van de droogte is genoteerd. Ondanks de omvang van de data (830 peilbuizen, bijna 2000 vegetatieopname) blijkt het aantal voor de analyse geschikte locaties beperkt (Figuur 2).

Om dit aantal te vergroten zijn in de zomer aanvullende vegetatieopnamen uitgevoerd. Daartoe is een selectie gemaakt waarbij is gelet op de volgende kenmerken:

- Is er een geschikte grondwaterstandmeetreeks aanwezig?
- Is de vegetatieopname ook aangemerkt als een pq?
- Zijn er wel vegetatieopnamen voor de droogte bekend, maar niet erna?
- Gaat het om een kruidachtige, natte tot vochtige (grondwaterafhankelijke) vegetatie?
- Is de vegetatieopname ook in het veld terug te vinden?

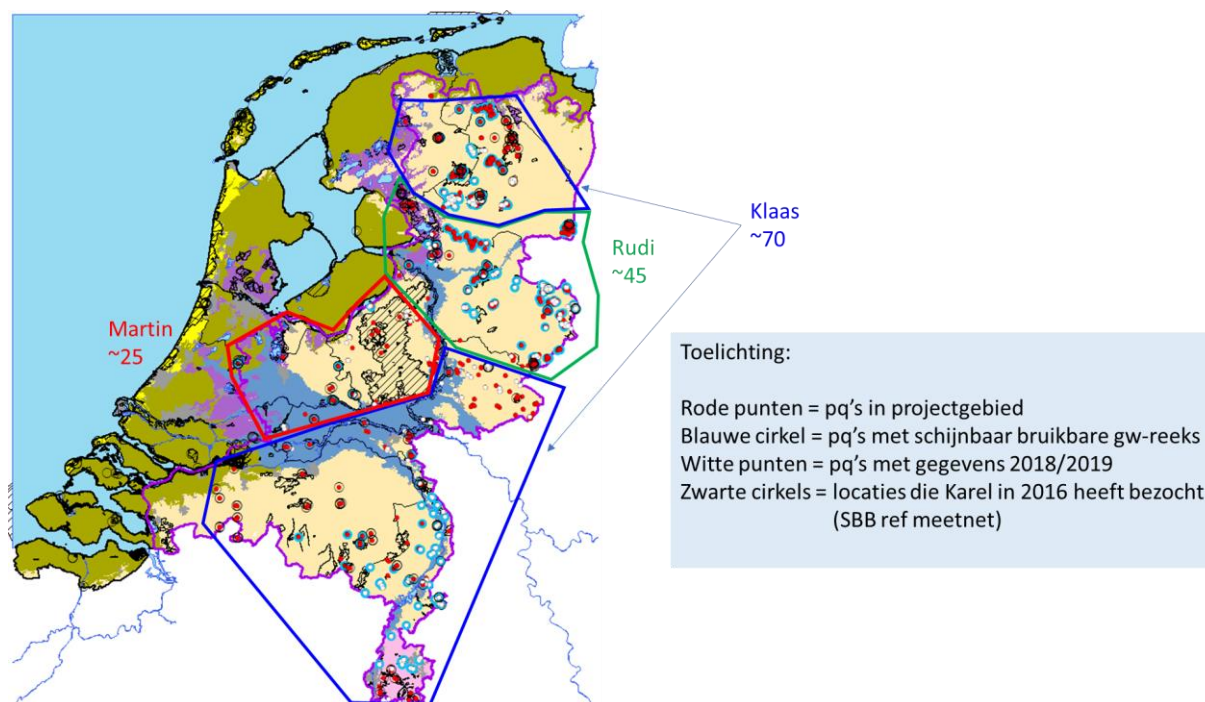


Figuur 2. Locaties met vegetatieopnamen voor en voor en na 2018 (links) en vegetatieopnamen met en zonder een bruikbare grondwaterstandmeetreeks (rechts).

Om een grondwaterafhankelijke vegetatie te selecteren is een selectie uitgevoerd op basis van assoc_bron en in tweede instantie (bij ontbreken van assoc_bron) op assoc_EKR. Vreemd genoeg lieten een aantal vegetatieopnamen (assoc_bron) zich anders klassificeren (bepaling assoc_EKR met ASSOCIA). Er zijn alleen associaties geselecteerd uit de Kranswieren-klasse (DVN code 04), Fonteinkruiden-klasse (05), (Oeverkruid-klasse (06), Klasse der bronbeekgemeenschappen (07), Riet-klasse (08), Klasse der kleine zeggen (09), Klasse van de hoogveenslenken (10), Klasse der hoogveenbulten en natte heiden (11), Weegbree-klasse (12), Klasse der matig voedselrijke graslanden (16), Marjolein-klasse (17), Klasse van Gladde witbol en Havikskruiden (18) en de Klasse der heischrale graslanden (19).

Daarnaast dienen de vegetatieopnamen voor een herhalingsopname ook door de veldmedewerkers te zijn terug te vinden. Voor de provinciale vegetatieopnamen is dat geen probleem, maar voor veel vegetatieopnamen uit het SBB referentiemeetnet wel. Daarom is gekeken naar de beschrijvingen bij de vegetatieopnamen. Alleen als er ook informatie is over de peilbuis en de relatieve ligging van de vegetatieopname ten opzichte van die peilbuis, is de vegetatieopname gemarkeerd als kandidaat voor herhalingsopname.

Op basis van de kennis en voorkeuren van de drie veldmedewerkers is een verdeling gemaakt van de selectie vegetatieopnamen voor herhalingsopname. De verdeling van de gebieden is aangegeven in Figuur 3



Figuur 3. Verdeling van de gebieden met geselecteerd vegetatieopnamen geschikt voor herhalingsopname.

Bij de selectie is ook gelet op een goede spreiding van de opnamen over het onderzoeksgebied. Het veldwerk is uitgevoerd door:

- Rudi Zielman
- Klaas van Dort
- Bureau Dactylis (contact Martin Droog)

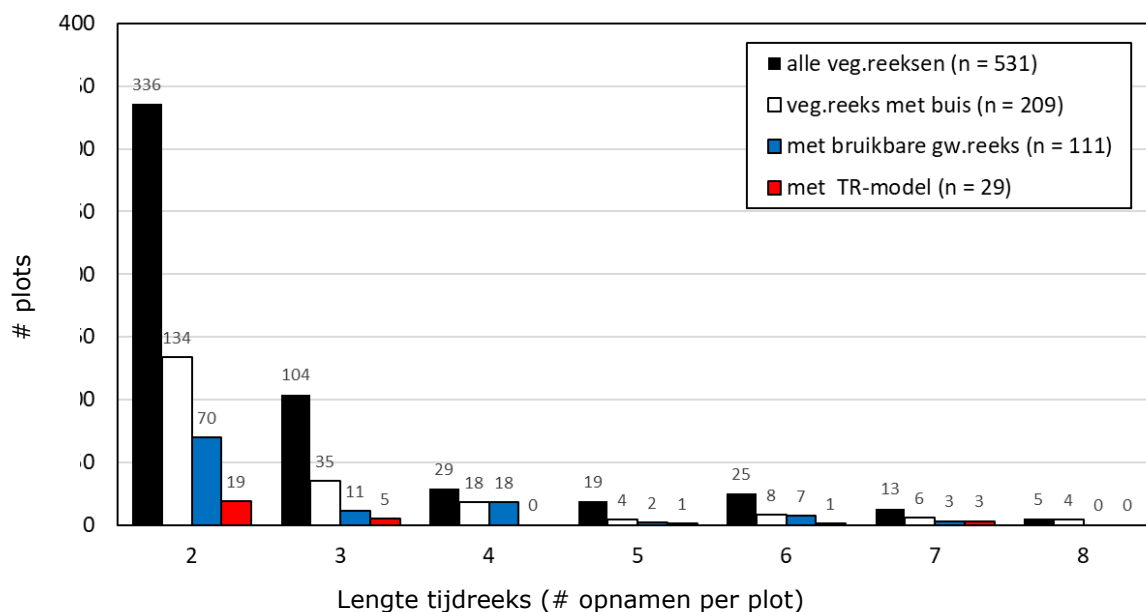
In aanloop op de veldbezoeken is contact gelegd met de terreinbeheerders voor toestemming. De herhalingsopnamen (134 in totaal) zijn uitgevoerd in de periode juni-juli-augustus 2020. Vervolgens zijn de gegevens eind augustus opgeleverd en toegevoegd aan de database. De bedoeling was om alleen locaties te bezoeken waarvoor er nog geen data waren van na de droogte. Dit is door de veldmensen niet altijd begrepen waardoor er voor 26 vegetatieopnamen in 2020 een herhalingsopname is gemaakt terwijl er al een opname in 2019 beschikbaar was.

2.5 Oplevering data voor analyse

Uit het metabestand (bijlage I) is een selectie aan peilbuizen geselecteerd. Voor alle filters ($n=1046$) van de geselecteerde dino peilbuizen ($n=830$) binnen het projectgebied is een tijdreeksmodel opgesteld (Hoofdstuk 3). De resultaten zijn ook opgenomen in bijlage II.

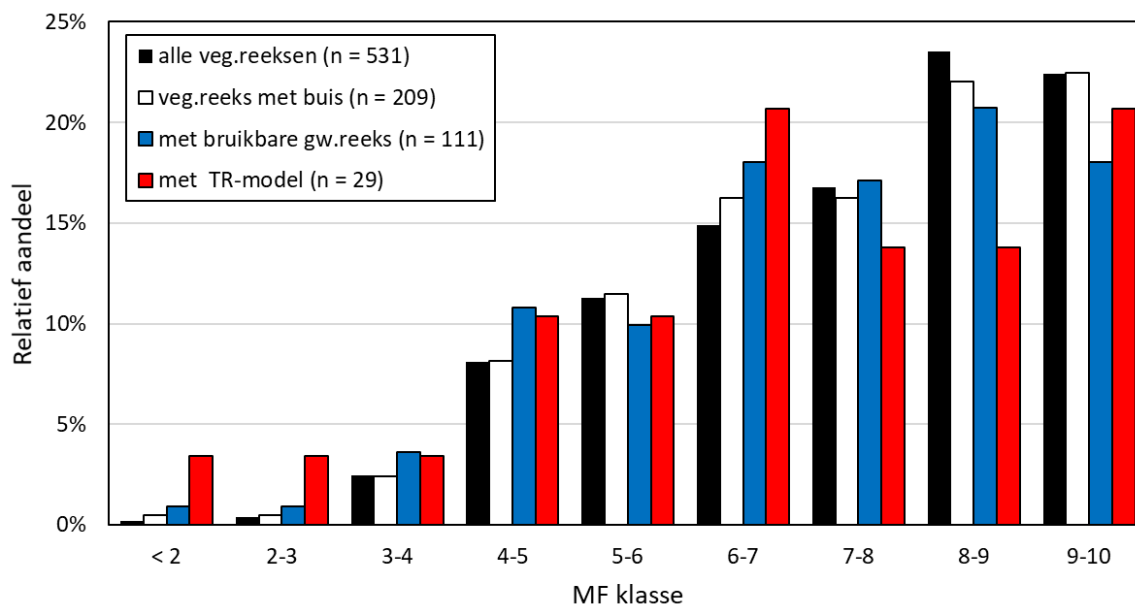
In totaal zijn er 531 vegetatieplots met opnamen voor en na de droogte. De grens voor droogte is gezet op 2019 vanuit de gedachte dat de ecologische effecten van 2018 nog niet zichtbaar zijn in de vegetatieopnamen van 2018.

Het aantal locaties waar zowel meerdere malen de vegetatie is opgenomen als waarvan een bruikbare grondwaterstandsreeks bestaat, is helaas beperkt (Figuur 4): van de 531 vegetatieplots hebben er 209 een peilbuis, waarvan er 111 met bruikbare metingen en waarvan er voor 29 plots een betrouwbaar TR-model (Hoofdstuk 3) kon worden gebouwd. Uit Figuur 4 blijkt dat het aantal opnamen per plot vaak beperkt is tot 2 á 3.



Figuur 4. Verdeling van het aantal plots (pq's) over het aantal opnamen per plot, met een onderscheid naar: (a) plots met een peilbuis, (b) plots met een bruikbare grondwaterstandsreeks, (c) plots met een bruikbaar TR-model.

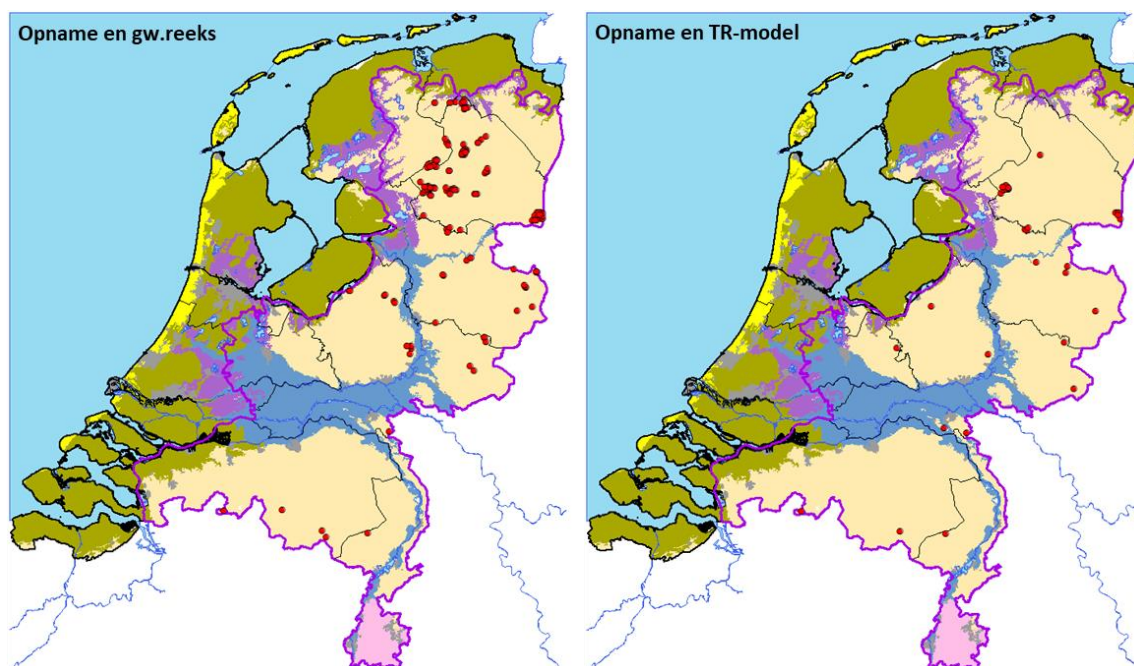
In Figuur 5 zijn dezelfde gegevens weergegeven, maar dan als functie van de vegetatie-indicatie voor vochttoestand (mF). Een hoge mF geeft een natte standplaats aan en een lage mF-waarde een droge standplaats. Hieruit blijkt dat de meeste opnamen liggen op vochtige tot natte standplaatsen en dat verschillende selecties vergelijkbaar verdeeld zijn over de vochtgradiënt droog-nat (mF 1-10).



Figuur 5. Relatieve verdeling van het aantal locaties met een vegetatiereeks als functie van de indicatiewaarde voor vochttoestand (mF).

De ruimtelijke verdeling van bruikbare locaties voor droogteanalyse zijn weergegeven in Figuur 6. Hieruit blijkt dat vooral de provincie Drenthe oververtegenwoordigd is in de gegevens. Daarnaast zijn er relatief veel waarnemingen beschikbaar voor provincie Overijssel. Voor de provincies Limburg en Noord-Brabant is het aantal bruikbare meetlocaties ondervertegenwoordigd. Als we

kijken naar het aantal locaties waar ook een betrouwbaar tijdreeksmodel kon worden opgesteld (zie hoofdstuk 3) dan is het nog slechter gesteld met de ruimtelijke spreiding van de gegevens. De waarnemingen in Drenthe liggen bijvoorbeeld geclusterd rond enkele natuurgebieden.



Figuur 6. Locaties met bruikbare vegetatieopnamen en bruikbare grondwaterstandmetingen (links) en vegetatieopnamen met een voldoende betrouwbaar tijdreeksmodel (rechts).

3 Analyse hydrologische gegevens

3.1 Tijdreeksanalyse

Voor de verschillende pq's zijn de bijbehorende grondwaterreeksen geanalyseerd met behulp van tijdreeksanalyse. Het doel van de tijdreeksanalyse is om langjarige grondwaterreeksen te simuleren om zo verschillende hydrologische karakteristieke waarden af te kunnen leiden zoals de GHG, GVG en GLG. De tijdreeksanalyse is uitgevoerd met behulp van de software Pastas (<https://pastas.readthedocs.io/en/latest/>). Als periode voor de tijdreeksmodellen is gekozen voor de afgelopen 30 jaar (1990 - 2019). Een dergelijke periode wordt in Nederland als voldoende beschouwd om de variantie binnen een klimaatperiode te beschrijven. Bij kortere reeksen kunnen varianties worden onderschat, terwijl correlaties in de tijdreeksen juist overschat kunnen worden [17].

3.1.1 Opzet tijdreeksmodellen

Met behulp van de tijdreeksanalyse worden de gemeten grondwaterstanden gerelateerd aan een aantal variabelen, zoals neerslag en verdamping. Op basis van dit tijdreeksmodel kan een continue grondwaterstandsreeks opgesteld worden voor een langere periode dan daadwerkelijk gemeten en met invulling van eventuele datagaten in de oorspronkelijke meetreeks.

Voor alle peilbuizen behorende bij een pq is een tijdreeksmodel opgesteld. In totaal zijn er voor 1046 peilbuisfilters, verdeeld over 830 peilbuizen, tijdreeksmodellen opgesteld. De gemeten grondwaterreeksen ondergingen echter eerst voorbewerking om te controleren op de volgende aspecten:

- Droogvallen van de sensor. Wanneer de meetreeks voor een langere periode een ondergrens laat zien is dit een indicatie voor het droogvallen van de sensor. De metingen op deze momenten zijn uit de meetreeks verwijderd voor de tijdreeksanalyse.
- Grondwaterstand aan maaiveld. Wanneer de grondwaterstand voor langere tijd een bovengrens laat zien, zijn deze metingen uit de meetreeks weggelaten voor het tijdreeksmodel. Op het moment dat de grondwaterstand zich rond het maaiveld bevindt is de aangenomen relatie tussen de grondwaterstandverandering en de neerslag en verdamping niet meer geldig.
- Reeks met te grote gaten. Op basis van een visuele inspectie van de meetreeks zijn lange periode zonder metingen weggelaten uit de tijdreeksanalyse. Een veel voorkomend voorbeeld hiervan is 5 metingen in de periode 1990-2000 en vanaf 2010 eens in de 2 maanden een meting; in dit geval is de reeks van voor 2010 niet meegenomen in de tijdreeksanalyse. Deze afweging is gemaakt op basis van expert judgement.

Voor de opzet van de tijdreeksmodellen is gebruikt gemaakt van de neerslag en referentiegewasverdamping als verklarende reeksen. Deze meteorologische variabelen werden ontleend aan het KNMI, waarbij per peilbuis het dichtstbijzijnde KNMI station werd gebruikt.

Met de verklarende reeksen en de gemeten grondwaterstand is het tijdreeksmodel opgesteld. Voor alle grondwaterreeksen is een lineair tijdreeksmodel opgezet. Hierbij is de reactie van het grondwater op de neerslag en verdamping gemodelleerd met behulp van de Gamma response functie.

3.1.2 Beoordeling tijdreeksmodellen

De tijdreeksmodellen zijn beoordeeld aan de hand van enkele toetsen. Deze toetsen zijn kort beschreven in de onderstaande paragrafen. De uitkomst van de verschillende toetsen wordt meegenomen in het oordeel over de tijdreeksmodellen.

EVP > 70 %

Voor de tijdreeksmodellen wordt gekeken of de verklaarde variantie (EVP) groter is dan 70%. Dit geeft een indicatie voor de goodness of fit van het tijdreeksmodel. De verklaarde variantie is een van de meeste gebruikte toetsen voor de beoordeling van een tijdreeksmodel.

0,5 < verdampingsfactor < 2,0

Voor de parameters verdampingsfactor wordt getoetst of deze tussen de 0,5 en 2,0 ligt. Als dit niet het geval is, is dit een indicatie dat de neerslag en verdamping niet de enige verklarende reeksen zijn voor de grondwatermeetreeks.

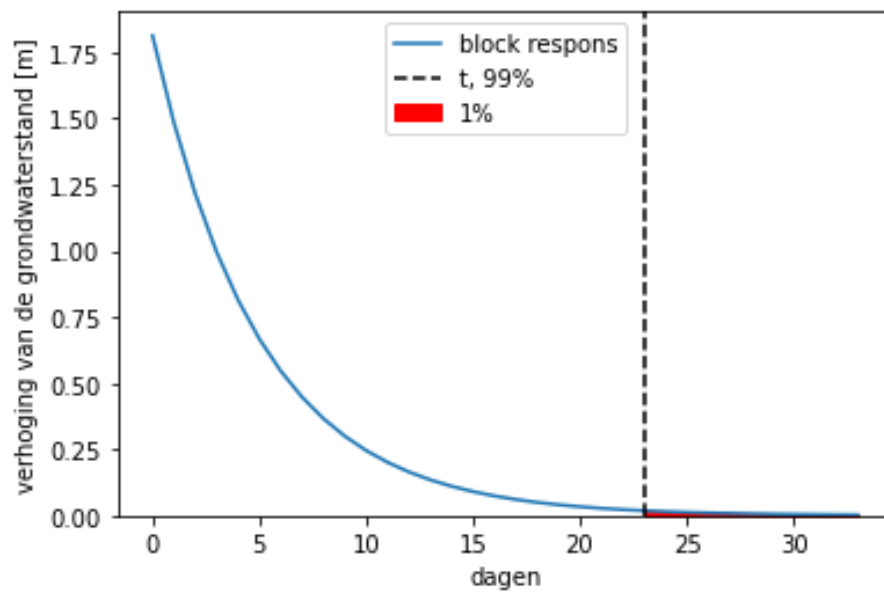
parameters > 2x standaarddeviatie

Voor de verschillende parameters van het model is getoetst of de waarde van de parameter groter is dan 2x de standaarddeviatie van die parameter. Hierbij wordt tevens getoetst of de waarde < 0 buiten het 95% betrouwbaarheidsinterval van de parameter ligt. Dit zou betekenen dat negatieve waarden binnen het betrouwbaarheidsinterval van de parameter liggen, deze negatieve waarden zijn hydrologisch niet mogelijk. Als dit het geval is wordt de parameter als onbetrouwbaar geacht en voldoet het tijdreeksmodel niet.

lengte reeks > 2 x geheugen reeks

De lengte van de meetreeks moet langer zijn dan 2x het geheugen³ van de verklarende reeksen. Als het systeemgeheugen langer is dan meetreeks, is de betrouwbaarheid van het tijdreeksmodel onvoldoende. Het geheugen van het systeem op de verklarende reeksen wordt bepaald in de optimalisatie van het tijdreeksmodel. Dit is gedefinieerd als het moment waarop de responsfunctie voor 99% is uitgewerkt. Voor de block respons (de grondwaterrespons op bijvoorbeeld 1 mm neerslag in 1 dag) hiervan is een voorbeeld opgenomen in Figuur 7, in dit voorbeeld is het geheugen, voor de 99% waarde, 23 dagen. Als de meetreeks te kort is, is het niet goed mogelijk om de respons goed in te schatten.

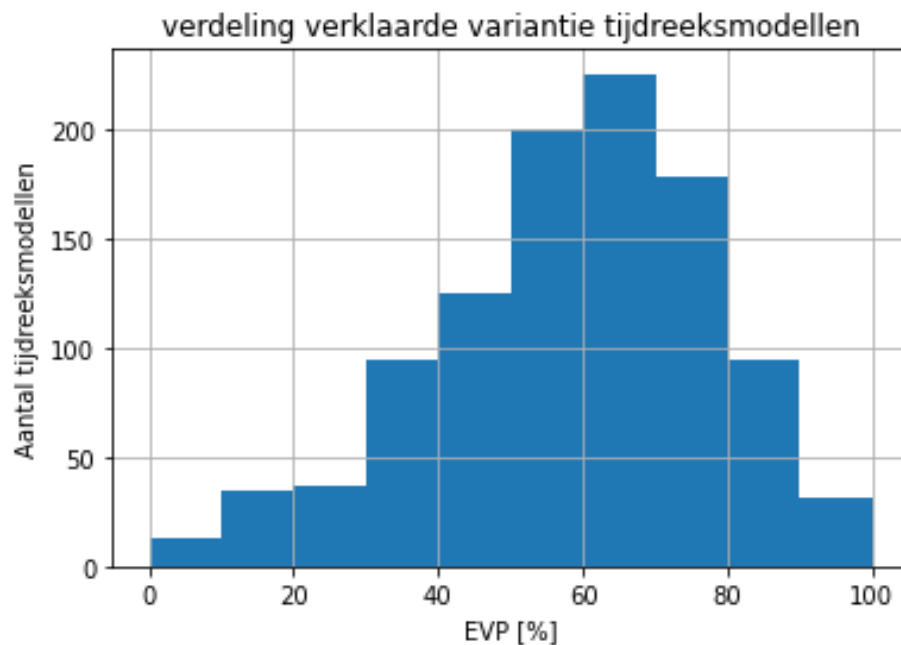
³ Het geheugen is gedefinieerd als het moment waarop 99% van de evenwichtstoestand van de staprespons is bereikt. Als de meetreeks korter is dan deze periode kan de uitdamping van invloeden uit het verleden niet goed worden ingeschat en is het model onbetrouwbaar. Als vuistregel wordt dan voor een lengte van de reeks van 2x het geheugen gekozen, dan treedt dit effect niet op.



Figuur 7. Voorbeeld van een block respons.

3.1.3 Resultaten tijdreeksanalyse

In figuur 3-2 is de verdeling van de verklaarde variantie van de tijdreeksmodellen te zien. De gemiddelde EVP van alle tijdreeksmodellen is 59%. In totaal zijn er 303 tijdreeksmodellen met een verklaarde variantie van > 70% (ca. 29%). In totaal zijn er 158 tijdreeksmodellen (ca. 15%) die voor alle toetsen slagen. Uit het tijdreeksmodel volgt de relatie tussen de grondwaterstand en de neerslag/verdamping.



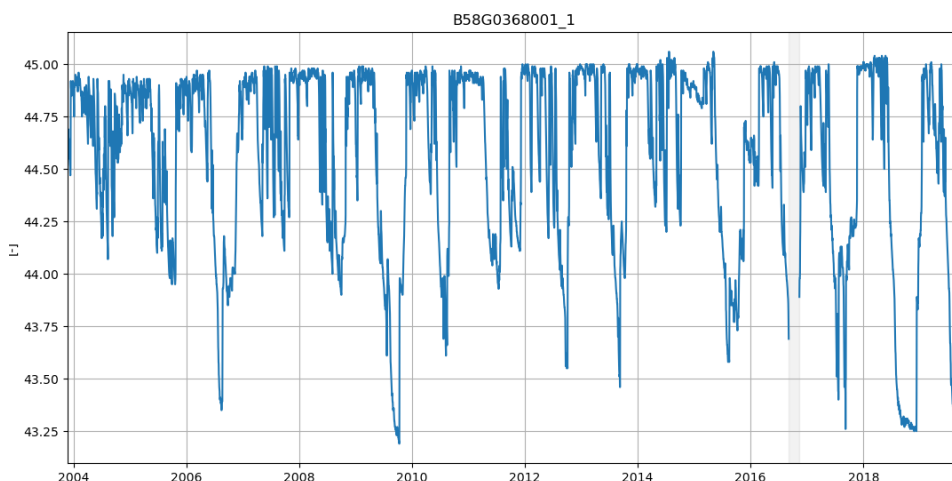
Figuur 8. Verdeling verklaarde variantie (EVP) van de tijdreeksmodellen

3.1.4 Simuleren 30 jaar grondwaterstanden

Met behulp van de tijdreeksmodellen zijn voor alle peilbuizen de grondwaterstanden gesimuleerd voor de afgelopen 30 jaar (1990 - 2019). Om de grondwaterstand voor deze periode te simuleren is gebruikt gemaakt van de historische neerslag- en verdampingsdata van het KNMI station dat het dichtst bij de peilbuis ligt. Op basis van deze reeksen en de relatie tussen de grondwaterstand en neerslag/verdamping, die gekalibreerd is het met tijdreeksmodel, kan de grondwaterstand worden gesimuleerd. Hierbij wordt aangenomen dat het hydrologische systeem niet is veranderd in de periode van 1990 - 2019.

3.1.5 Mogelijk vervolg tijdreeksanalyse

Voor enkele reeksen kan bij nadere inspectie niet-lineariteit worden herkend [15]. Dit fenomeen treedt vooral op wanneer de grondwaterstand aan het maaiveld staat en niet verder stijgt als gevolg van drainage. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 9. In deze meetreeks is te zien dat de grondwaterstand niet hoger wordt dan ca. NAP +45 m. Wanneer dit gebeurt reageert de grondwaterstand anders op neerslag dan wanneer de grondwaterstand bijvoorbeeld 1 meter onder het maaiveld staat. De grondwaterstand kan immers dan niet hoger worden. In de huidige automatisering van de tijdreeksanalyse is geen onderscheidt gemaakt in de vorm van het tijdreeksmodel. Voor enkele van de reeksen zou een nadere analyse, waarbij deze niet-lineariteit wordt meegenomen, mogelijk tot een verbetering van de simulatie van de grondwaterstand kunnen leiden.



Figuur 9. Voorbeeld niet-lineaire meetreeks.

3.2 SWAP berekeningen

Het dynamische 1D SWAP (Soil, Water, Atmosphere, Plant) model [20] is gebruikt om het effect van de droogte van 2018 te bepalen op hydrologische parameters (Figuur 10) en daaruit afgeleid:

- Grondwaterstandskarakteristieken (GHG, GVG, GLG)
- Indices voor grondwaterdroogte en bodemvochtdroogte [18]
- Procesmatige berekening standplaatsfactoren droogtestress (TS) en zuurstofstress (RS) [31], [19]. Zie kader voor toelichting.

Toelichting - standplaatsfactoren droogtestress (TS) en zuurstofstress (RS)

Of planten op een bepaalde plek kunnen overleven wordt onder meer bepaald door de beschikbaarheid van zuurstof en water in de bodem. Planten proberen altijd voldoende zuurstof en water op te nemen uit de bodem. Als de beschikbaarheid van zuurstof of water in de wortelzone onvoldoende is om aan de vraag van planten te voldoen, zullen planten die niet fysiologisch aangepast zijn aan deze omstandigheden lijden aan zuurstof- of droogtestress [32], [33], [19], [34], [35], [36], [39], [29], [40], [41].

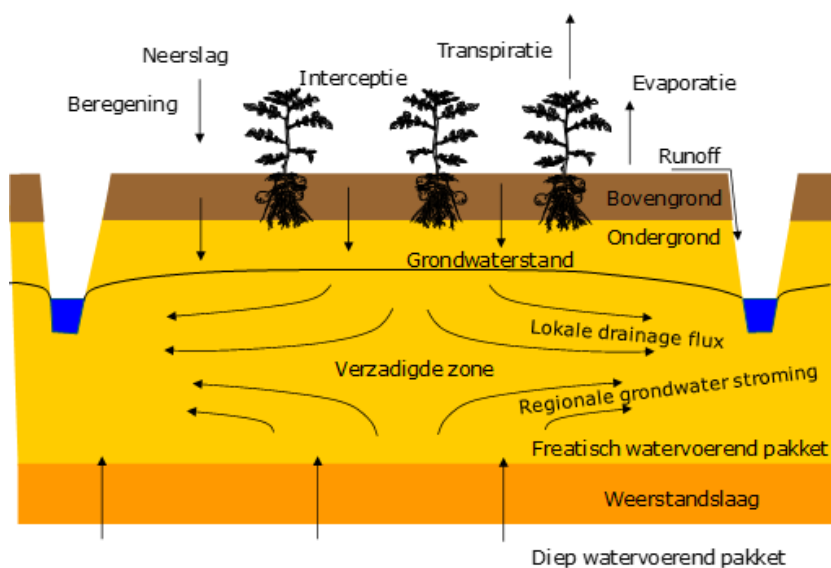
Planten respireren ('ademen') om energie voor groei en onderhoud te verkrijgen. Normaal gesproken verkrijgen plantenwortels voldoende zuurstof voor hun respiratie direct uit de poriën in de bodem. Echter, als de bodem te nat wordt, wordt lucht in de bodemporiën vervangen door water. Hierdoor kunnen planten niet genoeg zuurstof uit de bodem opnemen voor hun respiratie. Planten lijden dan aan zuurstofstress. Of planten zuurstofstress ondervinden is ook sterk temperatuurafhankelijk. Planten verbruiken namelijk meer zuurstof als het warm is.

Zuurstofstress wordt berekend aan de hand van een geïntegreerd bodem-plant-atmosfeer-model dat het zuurstoftransport van de atmosfeer naar de plantenwortels berekent, en dit vergelijkt met de hoeveelheid zuurstof die de plantenwortels nodig hebben om volledig (potentieel) te kunnen ademen [37]. Het verschil tussen het potentiële en het werkelijke zuurstofverbruik resulteert in een zuurstoftekort. De zuurstofstress RS wordt berekend door per jaar uit het dagelijkse zuurstoftekort de maximale tiendaagse som te selecteren. Voor een klimaatgemiddelde waarde van de zuurstofstress wordt deze vervolgens gemiddeld over een periode van 30 jaar. Door deze berekeningswijze wordt per jaar de periode met het hoogste zuurstoftekort geselecteerd, een periode die beslissend is voor de plantengroei. RS hangt af van het bodemvochtgehalte – en zo de fractie luchtgevulde poriën, de bodemtemperatuur, het bodemtype en van enkele planteigenschappen voor een standaardgewas gedefinieerd volgens Bartholomeus e.a. (2008) [37].

Planten kunnen ook lijden aan een tekort aan water, waardoor ze niet meer optimaal kunnen transpireren. Op een vergelijkbare manier als voor RS wordt de droogtestress TS berekend, namelijk als de maximale transpiratiereductie in een aaneengesloten periode van tien dagen.

3.2.1 Theorie hydrologisch model

Het 1D-SWAP model is een onverzadigde zone model, dat hydrologische grootheden simuleert die direct inwerken op het wortelmilieu. SWAP berekent de grootheden op basis van meteorologische condities, bodemfysische parameters volgens Van Genuchten [21], een hydrologische onderrandvoorwaarde, de schematisatie van de drainagesituatie en gewaseigenschappen. Uitvoergegevens zijn op dagbasis en zijn onder meer de grondwaterstand, bodemvochtgehalte, bodemtemperatuur en de gewasverdamping (potentiële en werkelijke transpiratie).



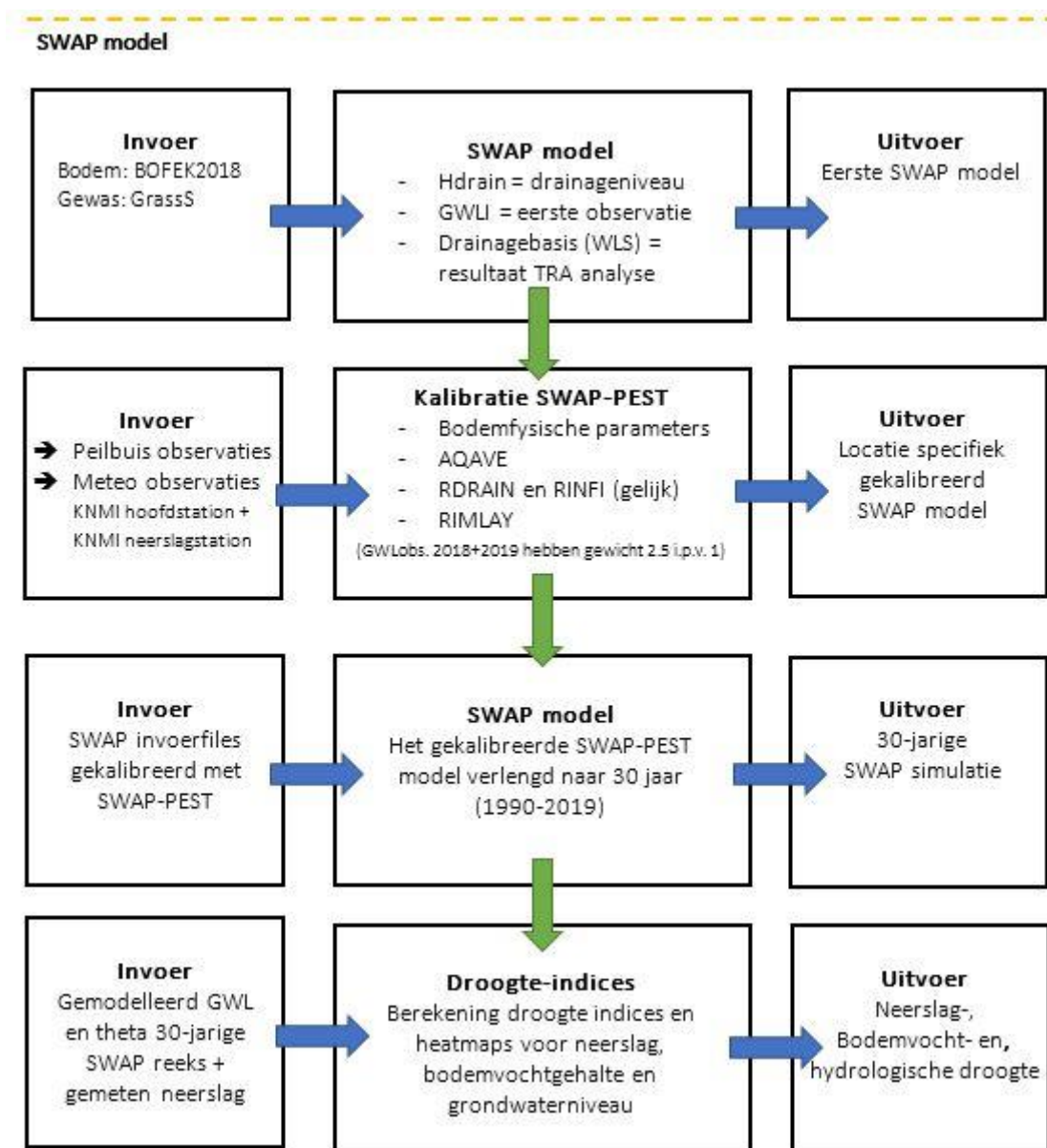
Figuur 10. SWAP modeldomein met belangrijke hydrologische processen [20].

3.2.2 Opzet hydrologisch model

De SWAP studie is uitgevoerd op een selectie van de peilbuizen die in de tijdreeksanalyse (paragraaf 3.1) als betrouwbaar zijn beoordeeld. Belangrijk voor het model SWAP is dat van de gemeten grondwaterreeksen in de peilbuis, enkel het gemeten freatisch grondwaterniveau (filter 1) voor de kalibratie van SWAP gebruikt is. In totaal waren 28 peilbuizen geschikt (bijlage III).

Voor elke peilbuis is een SWAP model opgezet in drie stappen. Als laatste zijn ook de hydrologische karakteristieken afgeleid en droogte-indices (zie ook Figuur 11).

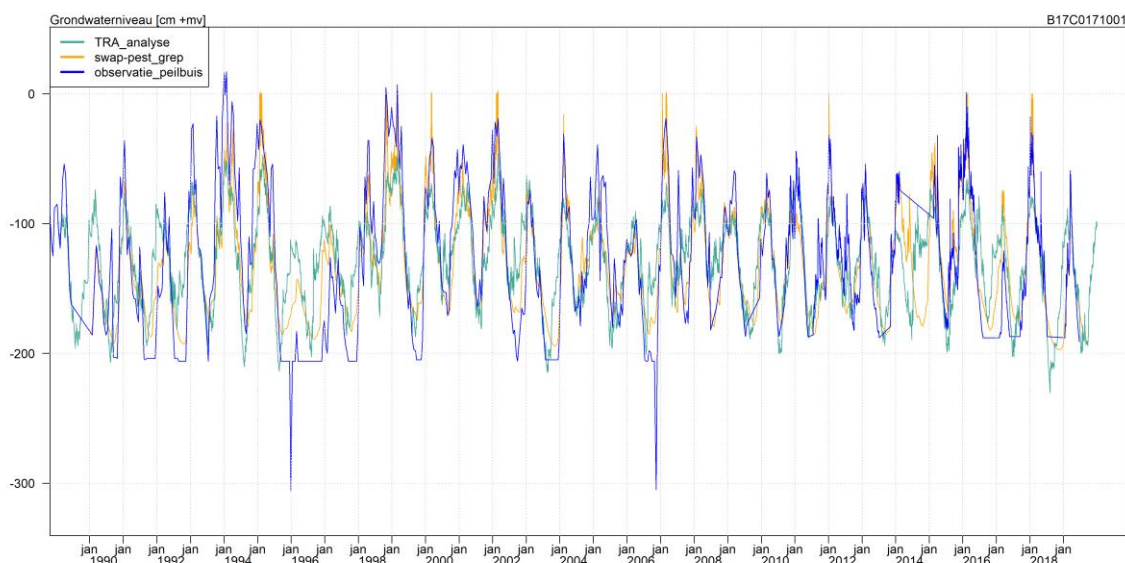
1. Een basis SWAP model is opgezet met als invoerbestanden de bodemfysische eenheden [22] gebaseerd op de BOFEK2012, en een referentiegewas. In het SWAP model is voor het initiële grondwaterniveau (GWL) de eerste meting van de peilbuisreeks gebruikt. De 'extended' drainage functie is in SWAP gebruikt om de drainageparameters te modelleren. Het drainageniveau van het perceel (in SWAP de parameters WLS en Hdrain) is overgenomen van het gemodelleerde drainageniveau in de TRA-analyse (in TRA de parameter constant_d). Het resultaat van deze stap is een ruw SWAP model voor de peilbuislocatie.
2. Vervolgens is het SWAP model gekalibreerd aan gemeten grondwaterstanden door gebruik te maken van het algoritme PEST [23]. De gemeten grondwaterniveaus (in de peilbuizen), de meteorologische metingen van het dichtstbijzijnde hoofd KNMI weerstation, en de neerslaggegevens van het dichtstbijzijnde KNMI-neerslagstation zijn gebruikt als invoer. Deze kalibratie is erop gericht om een optimale schatting van de bodemfysische eigenschappen, de drainageweerstand (parameter RDRAIN), de infiltratieweerstand (parameter RINF) en de hydrologische omdrandvoorwaarde (parameter RIMLAY) te maken.
3. Het gekalibreerde SWAP model is daarna verlengd naar een modelleerreeks van 30 jaar (1990-2019). Met behulp van een 30-jarige reeks kunnen hydrologische karakteristieken als GxG's worden afgeleid.
4. Als laatste stap zijn de standplaatsfactoren RS en TS berekend uit de SWAP-uitkomsten, zijn hydrologische karakteristieken (paragraaf 3.3) afgeleid en is de neerslagdroogte, bodemvochtdroogte en hydrologische droogte gekarakteriseerd. Deze droogtes zijn afgeleid op basis van anomalieën in de tijdreeksen van de verschillende hydrologische componenten. Hiervoor is de variabele drempelwaardemethode gebruikt [24], [25], [26].



Figuur 11. Verschillende doorlopen stappen voor de opzet van het hydrologische SWAP model.

3.2.3 Resultaten hydrologische model

Getracht is de gesimuleerde grondwaterstand zo goed mogelijk overeen te laten komen met de gemeten grondwaterstand. Dat is gedaan met zowel de SWAP-simulaties, als met de TRA-modellen (Figuur 12). Het gesimuleerde grondwaterstandsverloop komt ongeveer overeen met de gemeten grondwaterstand. Echter, als eerste valt op dat in enkele jaren de extremen (minimum en maximum) minder goed worden gesimuleerd. Als tweede blijkt uit de simulatie van andere peilbuizen dat ondiepe grondwaterstanden ($\pm 0.2\text{m-mv}$) minder goed te simuleren zijn dan diepere grondwaterstanden ($\pm 1.0\text{m-mv}$). Als laatste blijkt dat grondwaterstanden boven maaiveld ook minder goed te simuleren zijn.



Figuur 12. Gesimuleerde grondwaterstand met SWAP en TRA, en de gemeten grondwaterstand van peilbuis B17C0171-001.

3.3 Afleiden hydrologische karakteristieken

Uit de gesimuleerde reeksen en de gemeten grondwaterreeksen zijn enkele karakteristieke waarden afgeleid (Tabel 2). Deze worden gebruikt in de volgende analyses.

Tabel 2. Afgeleide karakteristieke waarden.

Karakteristieke waarde	Gemeten reeks	Gesimuleerde reeks (TRA of SWAP)
GHG	Voor de gemeten grondwater reeksen is de GHG bepaald. De GHG is bepaald door het gemiddelde te nemen van de 3 hoogste grondwaterstanden per jaar. Hiervoor zijn de grondwaterstanden van de 14 ^e en 28 ^e dag per maand gebruikt. Om de GHG te bepalen is een meetperiode nodig van 30 jaar. Voor de gemeten grondwaterreeksen geldt dat de meetreeksen zelden 30 jaar aan data bevatten. Daarom is gekozen om de GHG te bepalen op het aantal jaar dat de meetreeks lang is (bijvoorbeeld 3 jaar), hierbij is genoteerd op basis van hoeveel jaar deze waarde is bepaald.	De gesimuleerde reeksen hebben een lengte van 30 jaar (1990 - 2019). Uit deze reeksen zijn voor elk jaar de 3 hoogste waarden genomen op de 14 ^e en 28 ^e van elke maand van 1 april tot 1 april (hydrologisch jaar). De GHG is bepaald uit het gemiddelde van deze waarden op 30 jaar.
GLG	Voor de gemeten grondwater reeksen is de GLG bepaald. De GLG is bepaald door het gemiddelde te nemen van de 3 laagste grondwaterstanden per jaar. Hiervoor zijn de grondwaterstanden van de 14 ^e en 28 ^e dag per maand gebruikt. Om de GLG te bepalen is een meetperiode nodig van 30 jaar. Voor de gemeten grondwaterreeksen geldt dat de meetreeksen zelden 30 jaar aan data bevatten. Daarom is gekozen om de GLG te bepalen op het aantal jaar dat de meetreeks lang is (bijvoorbeeld 3 jaar), hierbij is genoteerd op basis van hoeveel jaar deze waarde is bepaald.	De gesimuleerde reeksen hebben een lengte van 30 jaar (1990 - 2019). Uit deze reeksen zijn voor elk jaar de 3 laagste waarden genomen op de 14 ^e en 28 ^e van elke maand van 1 april tot 1 april (hydrologisch jaar). De GLG is bepaald uit het gemiddelde van deze waarden op 30 jaar.

Karakteristieke waarde	Gemeten reeks	Gesimuleerde reeks (TRA of SWAP)
HG3	Voor de droge jaren 2018 en 2019 zijn de HG3 waardes bepaald. Dit is gedaan op basis van het gemiddelde van de 3 hoogst gemeten grondwaterstanden van het betreffende jaar.	Voor de droge jaren 2018 en 2019 zijn de HG3 waardes bepaald. Dit is gedaan op basis van het gemiddelde van de 3 hoogst gemeten grondwaterstanden van het betreffende jaar van 1 april tot 1 april (hydrologisch jaar).
LG3	Voor de droge jaren 2018 en 2019 zijn de LG3 waardes bepaald. Dit is gedaan op basis van het gemiddelde van de 3 laagst gemeten grondwaterstanden van het betreffende jaar.	Voor de droge jaren 2018 en 2019 zijn de LG3 waardes bepaald. Dit is gedaan op basis van het gemiddelde van de 3 laagst gemeten grondwaterstanden van het betreffende jaar van 1 april tot 1 april (hydrologisch jaar).
RSm	-	De gesimuleerde reeksen hebben een lengte van 30 jaar (1990-2019), op dagelijkse basis. Uit deze reeksen is voor elk jaar de RS berekend (zie ook kader paragraaf 3.2).
TSm	-	De gesimuleerde reeksen hebben een lengte van 30 jaar (1990-2019), op dagelijkse basis. Uit deze reeksen is voor elk jaar de TS berekend (zie ook kader paragraaf 3.2).

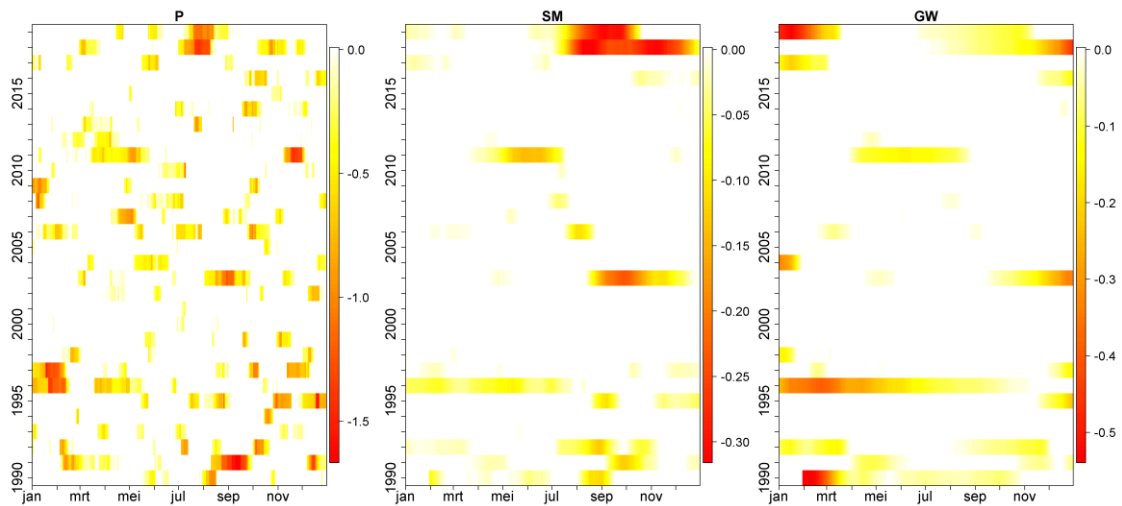
In bijlage I is een overzicht van deze waardes opgenomen. Uit de berekende waarden blijkt dat voor nagenoeg alle gesimuleerde reeksen geldt dat de LG3 van 2018 en 2019 lager ligt dan de berekende GLG. Dit geeft aan dat met de tijdreeksmodellen in deze jaren lage grondwaterstanden worden gesimuleerd, wat in overeenstemming is met de droge periode.

3.4 Droogte-indices

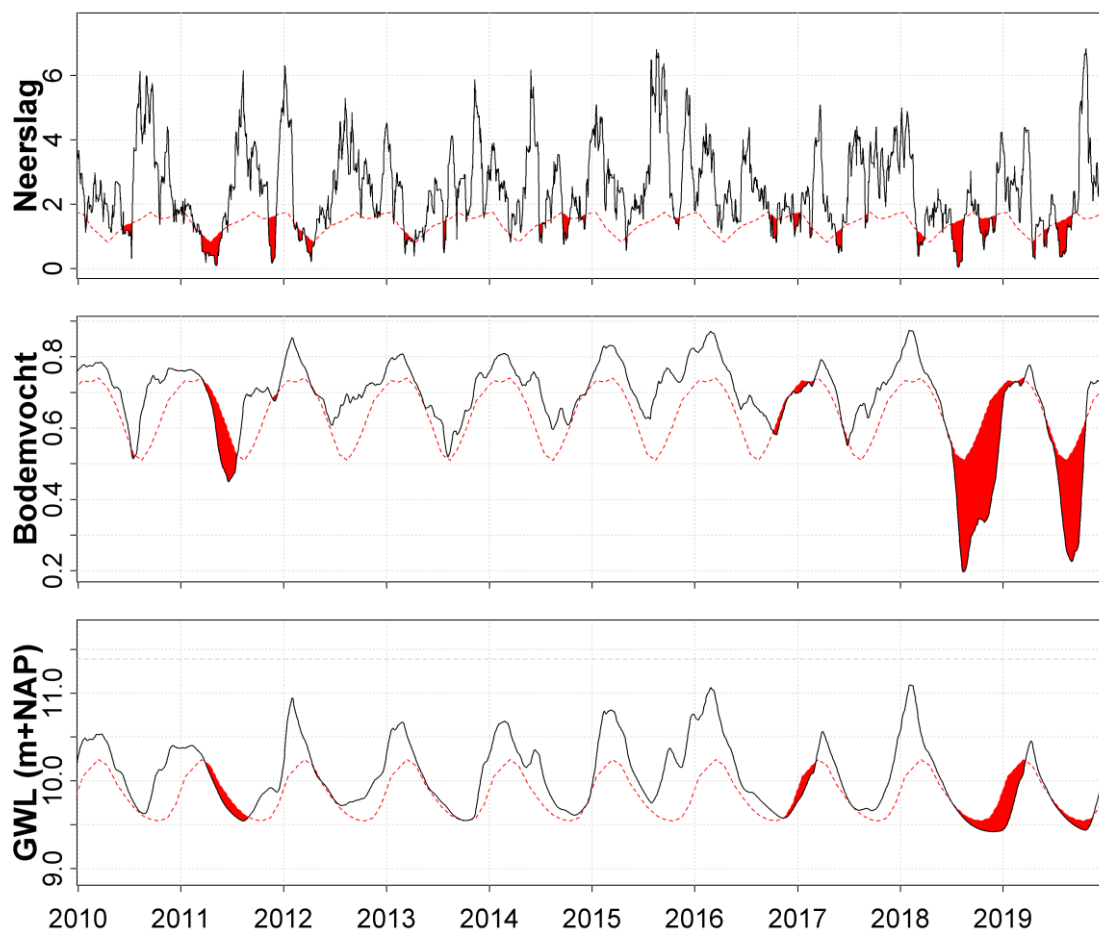
Uit de 30-jarige gesimuleerde SWAP reeksen zijn de droogte-indices berekend; de neerslag-, bodemvocht en hydrologische droogte is gekarakteriseerd, volgens de variabele drempelwaarde methode [24], [25], [26]. Neerslagdroogte komt het snelst en meeste voor, als kortdurende periode (ter illustratie zie situatie voor peilbuis B17C0171-001 in Figuur 13, Figuur 14).

Na de neerslagdroogte volgt de bodemvochtdroogte. Bodemvochtdroogte houdt voor een langere periode aan. De droogte in het grondwater (hydrologische droogte) is als laatste zichtbaar en herstel duurt relatief lang (Figuur 13). De droogte in 2018 en 2019 is beduidend het extreemst in de periode 2010-2019 (Figuur 14).

Om de droogte van 2018 hydrologisch te karakteriseren, is onderzocht hoe de droogtestress en zuurstrofstress van dat jaar (TS(2018) en RS (2018)) afwijkt van beide stressmaten, gemiddeld over 30 jaar (RSm en TSm). Figuur 15 geeft de relatie tussen RSm en TSm eerder gevonden door Bartholomeus et al. [31]. Figuur 15a uit hun onderzoek geeft het aandeel mesofyten weer per vegetatieopname (hun onderzoek omvatten 185 opnamen). Mesofyten zijn de generalisten onder de planten die in een brede range van waterstanden/vochtcondities kunnen overleven. Dit in tegenstelling tot specialisten zoals hydrofyten en xerofyten die zich hebben aangepast aan respectievelijk zeer natte en zeer droge condities. Figuur 15b geeft de verwachte verschuiving aan in RSm en TSm als gevolg van klimaatverandering (W+ scenario, zichtjaar 2050) waarbij zowel een toename in RSm als TSm wordt voorspeld. Dit resultaat wordt verwacht in een W+ scenario enerzijds als gevolg van een toename in droogte en anderzijds een toename in piekbuien, in combinatie met een hogere temperatuur. Een dergelijke verschuiving in RSm en TSm is in het voordeel van de generalisten en in het nadeel van de specialisten. Onder de specialisten bevinden zich veel zeldzame planten (Rode Lijst soorten).

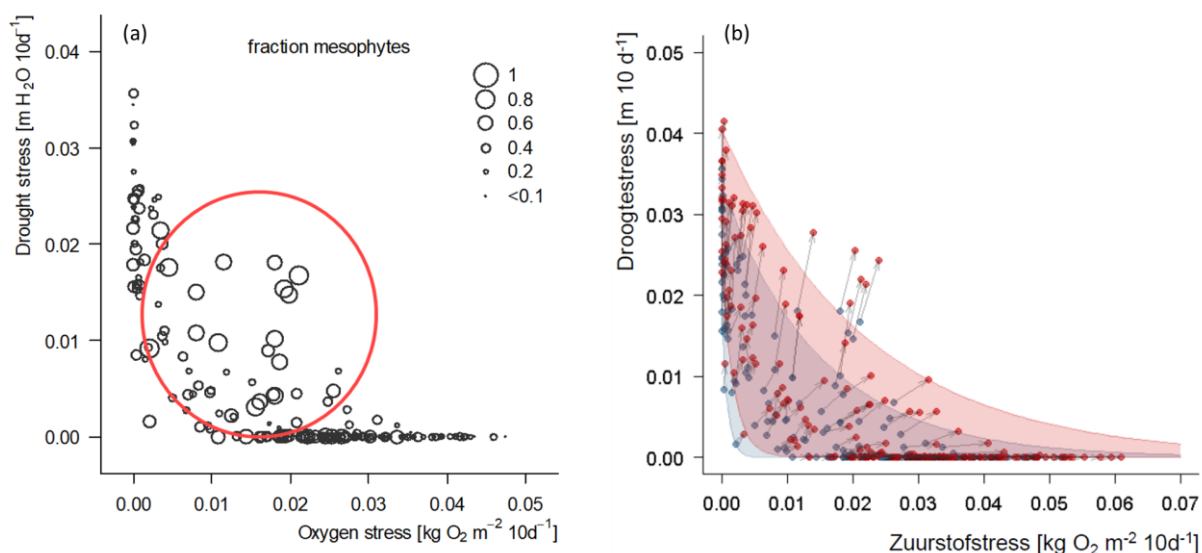


Figuur 13. Neerslag-, bodemvocht-, en hydrologische droogte gebaseerd op 30-jarige modelleerreeks met SWAP van peilbuis B17C0171-001. Het kleurverloop van wit-geel-oranje-rood geeft de waarde van de droogte-indices, van geen droogte (wit) tot extreem droog (rood).

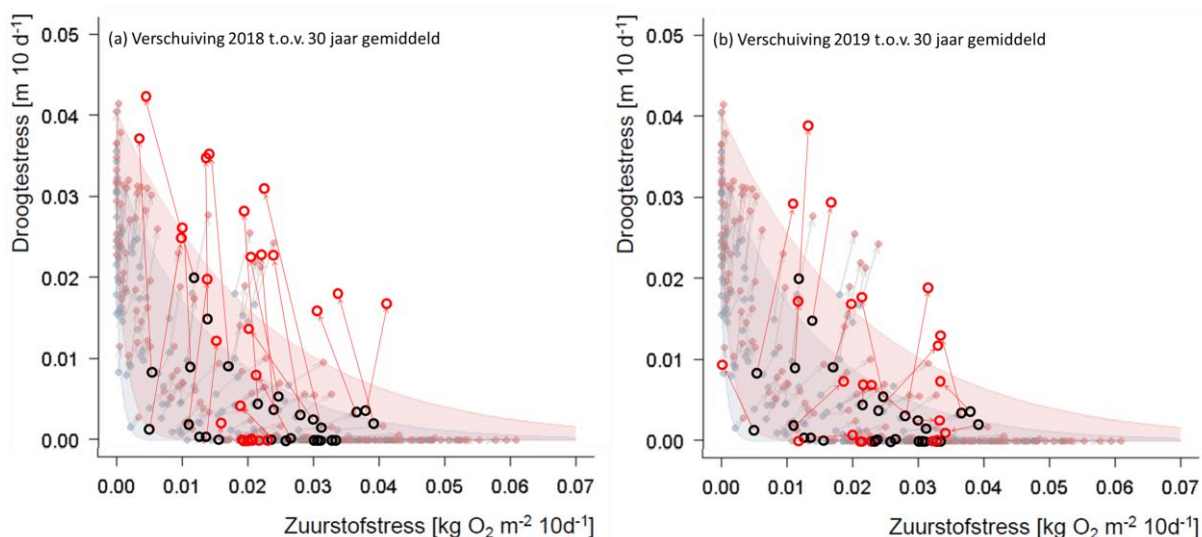


Figuur 14. Droogte-indices voor neerslag-, bodemvocht- en hydrologische droogte, gebaseerd op 30-jarige modelleerreeks met SWAP van peilbuis B17C0171-001. De zwarte lijn geeft de referentiesituatie weer. De rode vlakken geven perioden van droogte weer.

Figuur 16 geeft eenzelfde relatie weer op basis van de geselecteerde pq's in deze studie. In de selectie zitten vooral locaties met zuurstofstress (nattere vegetaties met een groter aandeel hygrofyten). De verschuiving in RS en TS is in Figuur 16a aangegeven voor 2018 en Figuur 16b voor 2019. De verschuivingen zijn anders dan voor het W+ scenario (Figuur 15b). In het jaar 2018 is sprake van een extreme toename in droogtestress waarbij ook de zuurstofstress afneemt. Voor 2019 zien we een vergelijkbaar patroon, maar minder extreem. De verschuiving in TS en RS is logisch voor droge jaren zonder extreme piekbuien. De verschuivingen in TS in 2018 en 2019 zijn heel groot ten opzichte van Figuur 15, maar dat komt vooral doordat extreme jaarwaarden (van 2018 en 2019) worden vergeleken met dertigjarige gemiddelden.



Figuur 15. Drogtestress en zuurstofstress voor verschillende vegetatieopnamen uit Bartholomeus et al. [31]. In (a-links) geeft de grootte van de bolletjes het aandeel mesofyten per opname. In (b-rechts) staan dezelfde vegetatieopnamen, waarvoor droogte- en zuurstofstress zijn berekend voor het huidige klimaat (blauw) en het W+ scenario voor 2050 (rood).



Figuur 16. Drogtestress en zuurstofstress voor plots waarvoor SWAP-simulaties zijn gedaan binnen dit onderzoek. Elk bolletje is een vegetatieopname waarvoor droogtestress en zuurstofstress zijn berekend. De zwarte bolletjes geven de 30 jaar gemiddelde stress, de rode open bolletjes de stressen voor 2018 (a-links) en 2019 (b-rechts). De rode pijlen geven de verschuiving van deze jaren ten opzichte van het 30-jarig gemiddelde.

4 Effect van hydrologische droogte op de vegetatie

4.1 Inleiding

Hoofdstuk 2 beschrijft de selectie van vegetatieopnamen en peilbuizen en hoofdstuk 3 de hydrologische berekeningen die zijn uitgevoerd op een selectie van bruikbare reeksen (peilbuizen met vegetatieopnamen). In dit hoofdstuk vindt de integratie plaats: we onderzoeken hoe de vegetatie heeft gereageerd op het droge jaar 2018, en of deze reactie te verklaren is vanuit de hydrologische reactie op 2018.

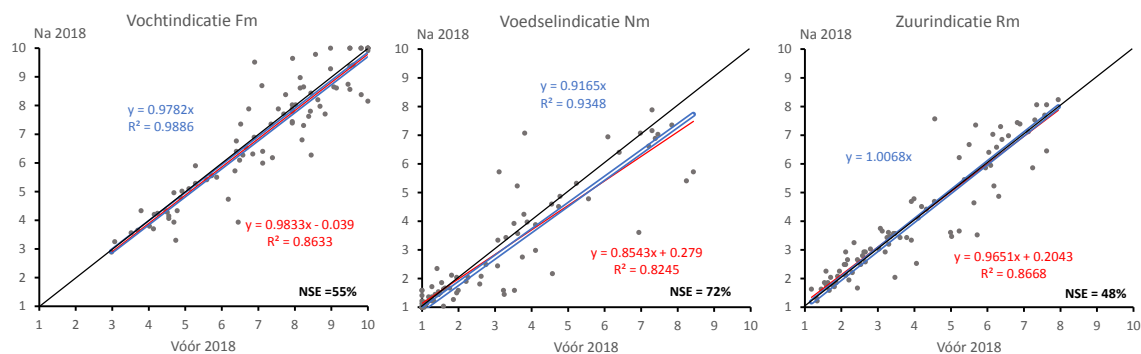
Om (veranderingen in) de hydrologie van de standplaats te kunnen karakteriseren, blijken we, na het combineren van de gegevens, te beschikken over 91 plots waarvan zowel vegetatieopnamen zijn gemaakt vóór en ná 2018, als betrouwbare tijdreeksmodellen van de grondwaterstand bestaan. Van deze 91 plots hebben we er twee laten afvallen (DR_V043 en DR_V049) omdat die een zeer grote verandering in standplaatsindicaties lieten zien en bij nadere bestudering van de opnamen bleek dat er bij de veldmedewerker onduidelijkheid bestond over de exacte locatie en dat hij het vermoeden had dat de locatie was geplagd. Blijven er dus 89 plots over. Hiervan zijn er 28 plots met de uitkomsten van SWAP-simulaties.

Er zijn tal van manieren om de gevolgen van de droogte op de vegetatie te analyseren. Wij vallen hier terug op een recente analyse van het Landelijk Meetnet Flora (hierna: 'de LMF-studie'), waarin is onderzocht hoe de droogte van 2018 tot uitdrukking kwam in de vegetatie [26].

4.2 Vegetatierespons

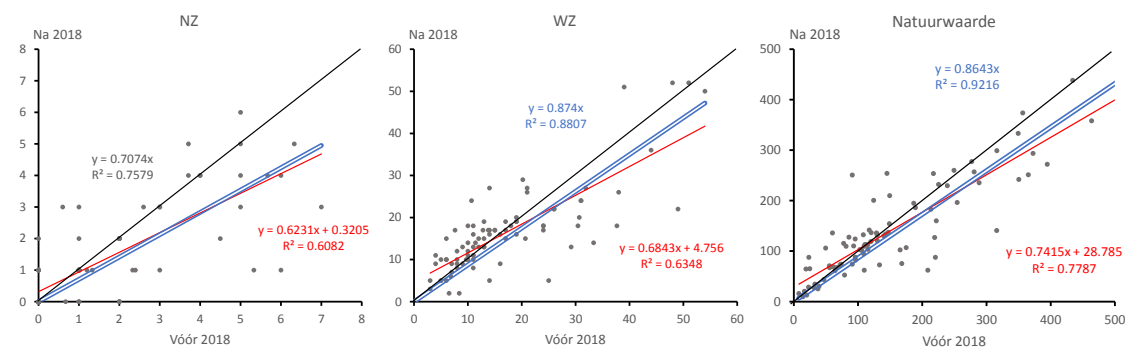
In Figuur 17 zijn de gemiddelde indicatiewaarden voor respectievelijk vochttoestand (Fm: 1 = droog t/m 10 = nat), voedselrijkdom (Nm: 1 = arm t/m 10 = rijk) en zuurgraad (Rm: 1 = zuur t/m 10 = basisch) bepaald uit vegetatieopnamen van de periode voor het droge jaar 2018 (= Vóór 2018) uitgezet tegen dezelfde variabelen afgeleid uit opnamen van 2019 of 2020 (= Na 2018). De zwarte lijn geeft het 1:1-verband aan: als punten gemiddeld op deze lijn liggen is er door de droogte niets veranderd. De rode en blauwe lijnen zijn lineaire regressies door de punten, waarbij de blauwe lijn gefixeerd is door de oorsprong: $y = \beta x$. Een hellingshoek β kleiner dan 1 duidt op een afname van de standplaatsindicatie, een waarde groter dan 1 op een toename.

De resultaten van Figuur 17 zijn in lijn met de analyse van de vele vegetatieplots uit het LMF [26]: de opnamegemiddelde indicatiewaarden zijn nauwelijks van hun plaats gekomen. Gemiddeld is Fm met 1.9% gedaald, Nm met 4.1% gestegen en Rm met 1.5% gestegen. Deze veranderingen zijn echter niet significant. "Opnamegemiddelde indicatiewaarden zijn matige graadmeters voor de korte-termijngevolgen van een droog jaar", luidt een van de conclusies uit de LMF-studie, een conclusie die hier nog eens wordt bevestigd. Voor de redenen waarom dat zo is en waarom de voedselindicatie Nm door de droogte is gedaald en wat dat in werkelijkheid zegt over de bodemvruchtbaarheid, volstaan we met een verwijzing naar die studie.



Figuur 17. Verandering in de gemiddelde indicatiewaarden voor vochttoestand, voedselrijkdom en zuurgraad tussen de periode voor het droge jaar 2018 en na dat jaar (opnamen 2019 of 2020). Gemiddelden gebaseerd op presenties (bedekking soorten niet meegewogen).

Uit die LMF-studie bleek dat de droogte van 2018 (met een uitloop naar 2019/2020) wel heeft geleid tot een verandering in soortensamenstelling van de plots en daarmee tot een afname van de natuurwaarde die de plots vertegenwoordigen. Die natuurwaarde kan op verschillende manieren worden uitgedrukt: als aantal zeldzame soorten NZ, als som van de zeldzaamheidswaarde van de soorten WZ (op een schaal van 1-10), en als waarde NW volgens de 'methode Gelderland', waarin rekening wordt gehouden met tal van aspecten, zoals nationale en internationale zeldzaamheid en bedekking [28]. Voor details verwijzen we weer naar de LMF-studie. Welke van deze variabelen we ook nemen, in alle gevallen is er door de bank genomen sprake van een aanzienlijke afname van de natuurwaarde: NZ daalt met 17% ($p < 0.05$), WZ met 31% ($p < 0.05$), en NW met 6.8% ($p < 0.05$).



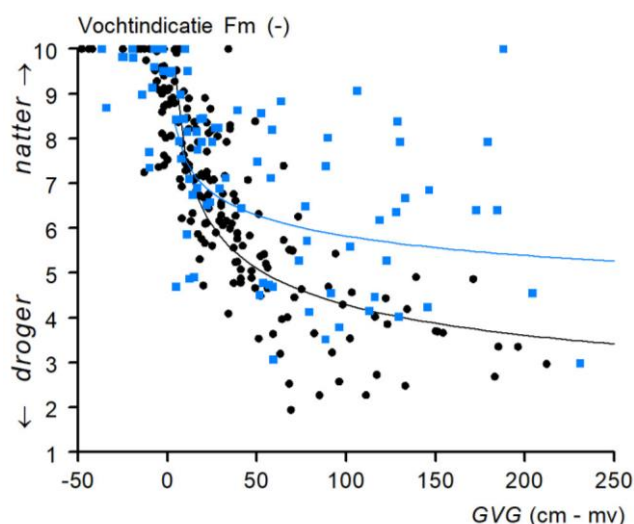
Figuur 18. Verandering in de natuurwaarden tussen de periode voor het droge jaar 2018 en na dat jaar (opnamen 2019 of 2020): NZ = aantal zeldzame soorten, WZ = som van de zeldzaamheidswaarde van soorten, Natuurwaarde = waarde volgens de methode Gelderland. NZ en WZ gebaseerd op presenties (bedekking soorten niet meegewogen).

4.3 Grondwaterstand en vegetatie

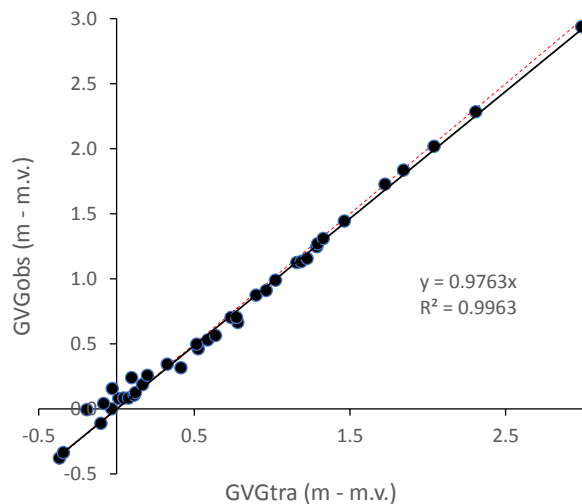
Als eerste kijken we hoe de samenhang in de gegevens is tussen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG en de vochtindicatie Fm en hoe die samenhang zich verhoudt tot die van eerdere studies. Die eerdere studies zijn vaak geheel of gedeeltelijk gebaseerd op een onderzoek van Han Runhaar [29]. In Figuur 19 is de GVG uitgezet tegen Fm, voor zowel de gegevens van Runhaar als de gegevens uit onze studie. Door beide gegevensbronnen is een eenvoudige machtsfunctie gefit om het verschil tussen beide bronnen inzichtelijk te maken. De GVG in onze studie is berekend uit de GHG en de GLG van de tijdreeksanalyse ($GVG = 5.4 + 0.83GHG + 0.19GLG$; waarden in cm [30]). Twee zaken vallen op als we beide bronnen vergelijken: ten eerste dat de spreiding in onze gegevens veel groter is dan bij Runhaar, en ten tweede dat de vochtindicatie bij onze gegevens systematisch hoger ligt.

Het tweede, systematische, verschil is geen artefact van de tijdreeksanalyse. Dat blijkt als we van de tijdreeksanalyse afgeleide GVG vergelijken met de GVG die is afgeleid van meetgegevens, zie Figuur 20. Een aantal van 39 vegetatieplots was beschikbaar voor deze vergelijking, omdat die voldoende grondwaterstandswaarnemingen hebben om de GVG voldoende nauwkeurig van af te leiden.

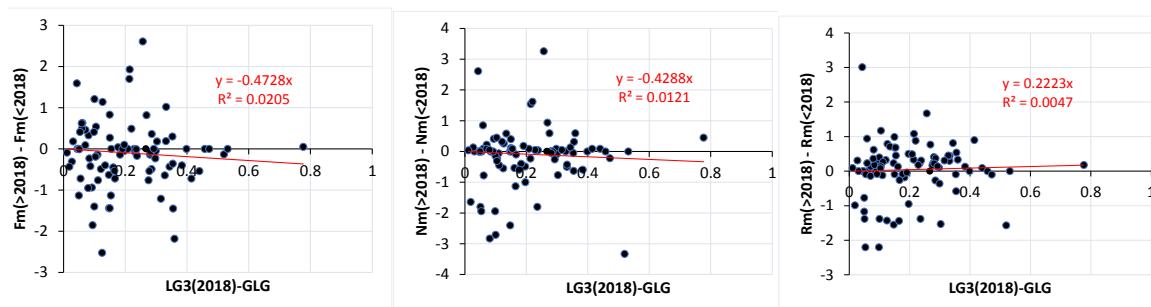
Centraal in de analyse staat de hypothese dat de verandering in de vegetatie groter is, naarmate de hydrologie van de plots in 2018 meer afwijkt (droger) van het gemiddelde. Als hydrologische respons op het droge jaar 2018 gebruiken we hier het verschil tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand over alle jaren (GLG) en de laagste grondwaterstand in 2018 (de LG3: gemiddelde van de 3 laagste grondwaterstanden van 2018). Als vegetatierespons op 2018 nemen we het verschil tussen de gemiddelde vegetatie-indicatie van 2019 of 2020 en die van vóór 2018. We onderzoeken dus: hoe reageerde de laagste grondwaterstand op 2018, hoe de vegetatie, en is er een verband tussen beide responsen? De resultaten van deze analyse zijn opgenomen in Figuur 21 voor de drie indicatiewaarden Fm, Nm en Rm, en in Figuur 22 voor de drie waarderingsparameters NZ, WZ en NW.



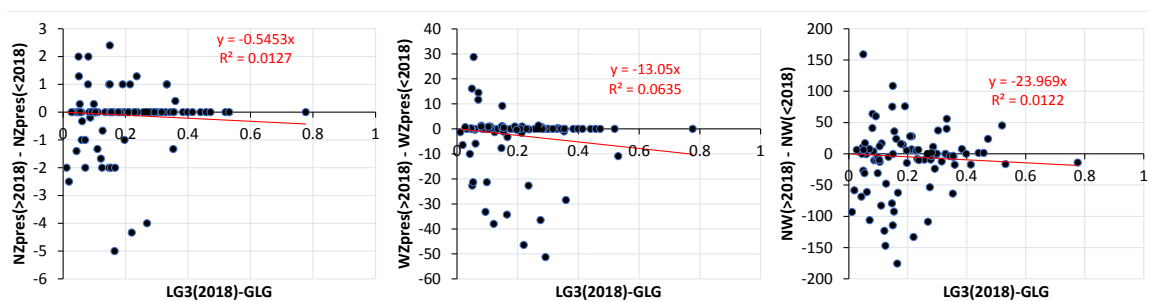
Figuur 19. Relatie tussen gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand GVG en presentiegemiddelde vochtindicatie Fm, gebaseerd op de gegevens van Runhaar (zwarte stippen) [29], en gebaseerd op onze meetgegevens (blauwe vierkanten).



Figuur 20. GVG berekend uit met tijdreeksanalyse gesimuleerde grondwaterstanden (GVGtra) tegen de GVG afgeleid uit gemeten grondwaterstanden (GVGobs).



Figuur 21. Verschil (m) tussen laagste grondwaterstand in 2018 (LG3) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) tegen de verandering (tussen voor 2018 en na 2018) in opnamegemiddelde indicatiewaarden voor vochttoestand Fm, voedselrijkdom Nm en zuurgraad Rm.



Figuur 22. Verschil (m) tussen laagste grondwaterstand in 2018 (LG3) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) tegen de verandering (tussen voor 2018 en na 2018) in natuurwaarden NZ, WZ en NW (methode Gelderland).

De scatterplots lijken de hypothese te bevestigen dat de vegetatierespons groter is naarmate de grondwaterstand in 2018 verder was uitgezakt ten opzichte van het gemiddelde. Het verband tussen de hydrologische respons en de vegetatierespons is echter uiterst zwak. Via een statistische toets is geanalyseerd of het lineair verband significant is. De test-hypothese is dat de

richtingscoëfficiënt gelijk is aan nul. De p-waarde van de richtingscoëfficiënt is vergeleken met een alpha (significantie niveau) van 5%. De tests zijn tweezijdig beschouwd. In bijna alle gevallen bleken de relaties niet significant (Tabel 3). Alleen voor WZpres (som van de zeldzaamheidswaarde van de soorten op basis van presentie) en WZbed (som van de zeldzaamheidswaarde van de soorten op basis van bedekking) is aangetoond dat het verband statistisch significant is. In het discussiehoofdstuk gaan we in op de mogelijke oorzaken.

Tabel 3 De p waarden voor de richtingscoëfficiënt ($r.c.$). De lineaire relaties zijn geforceerd door de oorsprong. Als $p < 0,05$ dan is de relatie statistisch significant (in vet weergegeven).

r.c.	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	n
X1	0,18	0,30	0,52	0,29	0,77	0,02	0,00	0,30	20

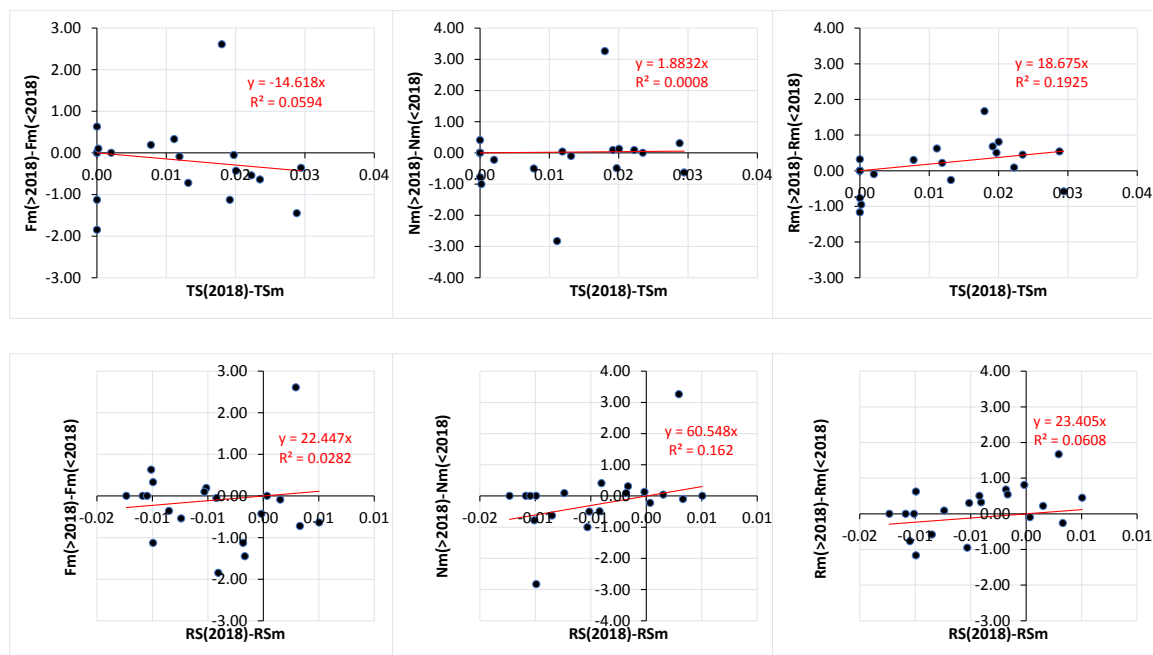
Met

X1 = LG3(2018)_tra-GLG_tra	Y1 = Fm(>2018)-Fm(<2018)	Y4 = NZpres(>2018)-NZpres(<2018)
	Y2 = Nm(>2018)-Nm(<2018)	Y5 = NZbed(>2018)-NZbed(<2018)
	Y3 = Rm(>2018)-Rm(<2018)	Y6 = WZpres(>2018)-WZpres(<2018)
		Y7 = WZbed(>2018)-WZbed(<2018)
		Y8 = NW(>2018)-NW(<2018)

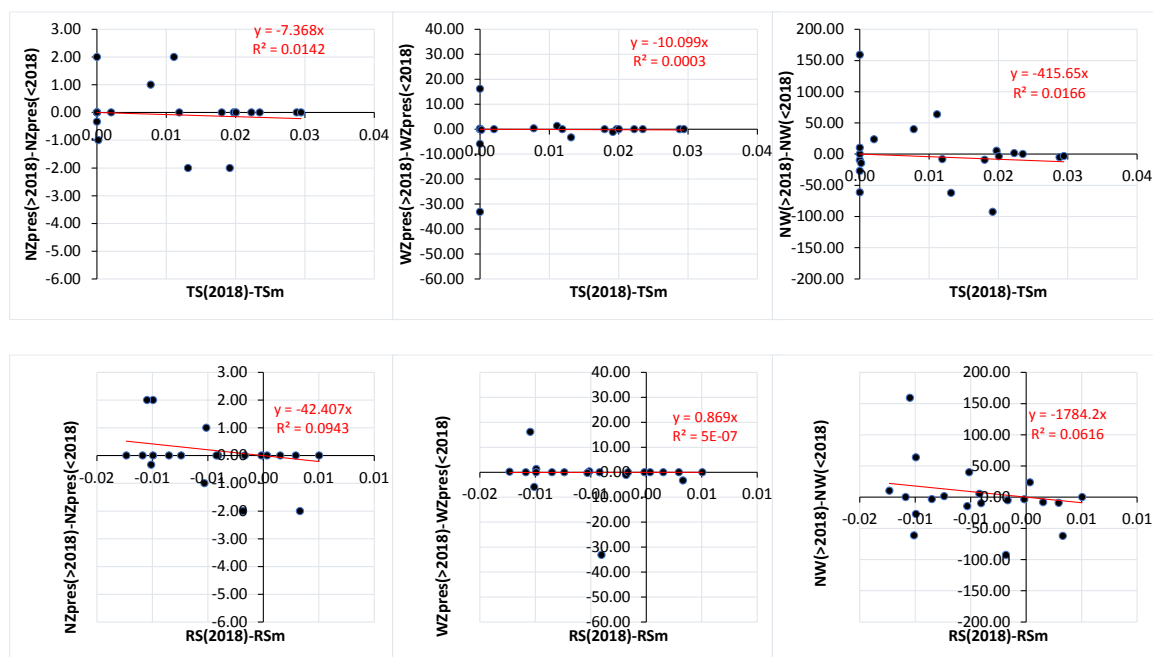
4.4 Droogtestress, zuurstofstress en vegetatie

De GVG is een indirecte maat voor de vochttoestand van de bodem, onder andere omdat hij geen rekening houdt met de bodemgesteldheid en het weer. Directere maten zijn de droogtestress TS en de zuurstofstress RS, gedefinieerd als het tekort (van een standaardgewas) aan respectievelijk water om potentieel te transpireren en aan zuurstof om potentieel te respireren gedurende een aaneengesloten periode van 10 dagen. Zie § 3.4.

Als maten voor de hydrologische respons op 2018 nemen we de droogtestress en de respiratiestress in 2018 (TS(2018) en RS(2018)) minus respectievelijk de gemiddelde TS en RS over alle jaren (T_{Sm} en R_{Sm}). Voor de vegetatieresponsen gebruiken we als maat weer de afwijking van de vegetatie-indicatie in 2019/2020 ten opzichte van de jaren vóór 2018. De resultaten voor de standplaatsindicaties F_m, N_m en R_m zijn opgenomen in Figuur 23 en voor de natuurwaarde-indicaties NZ, WZ en NW in Figuur 24. Ook hier zijn de relaties statistisch getoetst en bleken in bijna alle gevallen niet significant (Tabel 4). De relatie tussen droogtestress (TS) en gemiddelde indicatiewaarde voor zuurgraad (R_m) blijkt significant. Dit is waarschijnlijk een artefact zoals ook al eerder is vastgesteld in de analyse met LMF gegevens [26].



Figuur 23. Droogtestress 2018 ($TS(2018)$) ten opzichte van de gemiddelde droogtestress (Tsm) (onder) en zuurstofstress in 2018 ($RS(2018)$) t.o.v. van de gemiddelde zuurstofstress (RSm) (boven) tegen de verandering (tussen voor 2018 en na 2018) in opnamegemiddelde indicatiewaarden voor vochttoestand Fm , voedselrijkdom Nm en zuurgraad Rm . TS in $m \cdot 10d^{-1}$, RS in $kg O_2 \cdot m^2 \cdot 10d^{-1}$.



Figuur 24. Droogtestress 2018 ($TS(2018)$) ten opzichte van de gemiddelde droogtestress (Tsm) (onder) en zuurstofstress in 2018 ($RS(2018)$) ten opzichte van de gemiddelde zuurstofstress (RSm) (boven) tegen de verandering (tussen voor 2018 en na 2018) in natuurwaarden NZ , WZ en NW (methode Gelderland). TS in $m \cdot 10d^{-1}$, RS in $kg O_2 \cdot m^2 \cdot 10d^{-1}$.

Tabel 4 De p waarden voor de richtingscoëfficiënt (r.c.). De lineaire relaties zijn geforceerd door de oorsprong. Als $p < 0,05$ dan is de relatie statistisch significant (in vet weergegeven).

r.c.	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	n
X2	0,29	0,90	0,05	0,61	0,96	0,94	0,25	0,58	20
X3	0,47	0,07	0,28	0,18	0,78	1,00	0,35	0,28	20

Met

X2 = TS(2018)-TSm Y1 = Fm(>2018)-Fm(<2018) Y4 = NZpres(>2018)-NZpres(<2018)
 X3 = RS(2018)-RSm Y2 = Nm(>2018)-Nm(<2018) Y5 = NZbed(>2018)-NZbed(<2018)
 Y3 = Rm(>2018)-Rm(<2018) Y6 = WZpres(>2018)-WZpres(<2018)
 Y7 = WZbed(>2018)-WZbed(<2018)
 Y8 = NW(>2018)-NW(<2018)

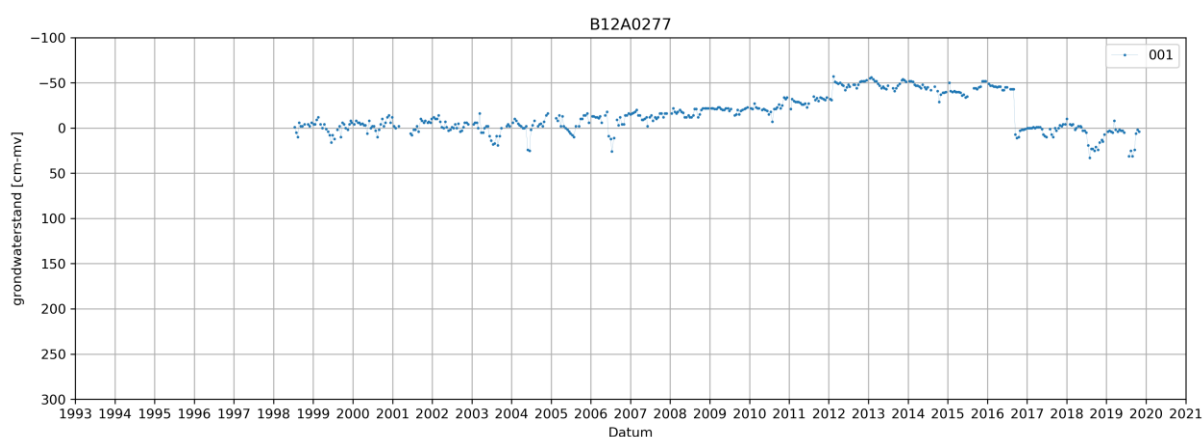
5 Discussie

5.1 Kwaliteit van de data

Om de effecten van veranderingen in de grondwaterstand als gevolg van droogte op de vegetatie te kunnen bepalen zijn systematische en parallelle waarnemingen nodig van grondwaterstanden en de vegetatie. Deze dienen over een voldoende lange periode te zijn genomen waarin voor zowel de periode vóór als ná de droogte voldoende betrouwbare gegevens zijn. Daarnaast is het ten behoeve van de interpretatie wenselijk om ook inzicht te hebben in andere factoren dan droogte die van invloed kunnen zijn op de vegetatieontwikkeling. Relevant is bijvoorbeeld te weten wanneer welke veranderingen zijn opgetreden in het hydrologisch systeem en het vegetatiebeheer.

Er moest veel werk worden verzet in het voorbereiden van de data alvorens de analyse kon worden uitgevoerd. Ondanks de aanzienlijke omvang van de data (830 peilbuizen, bijna 2000 vegetatieopname) blijkt het aantal voor de analyse geschikte locaties beperkt. Er waren oorspronkelijk 830 peilbuizen geselecteerd. Voor veel peilbuizen bleken er onvolkomenheden te zitten in de metingen. Voorbeelden van deze onvolkomenheden zijn:

1. Metingen ontbreken voor de relevante periode;
2. Het uitzakken van de grondwaterstand is niet gemeten doordat het grondwaterpeil beneden de meetapparatuur (diver) zakt.
3. De meetdichtheid is te laag. Pas na 2005 zien we een toename in het gebruik van divers met een hogere meetfrequentie;
4. Het opgegeven maaiveld is waarschijnlijk onjuist. Een aanwijzing hiervoor is als de grondwaterstand bij hoge peilen is afgetopt en boven het maaiveld ligt. Dergelijke waterstanden zijn weliswaar mogelijk bij inundatie, maar dan moet uit aanvullende gegevens ook blijken dat dit daadwerkelijk optreedt (bijv. luchtfoto's of indicatie vanuit de vegetatie);
5. Er zitten 'sprongen' of een vreemde trend in de grondwatermeetreeks (voorbeeld Figuur 24);
6. De meetreeks geeft een willekeurig beeld (als een scatterplot) in plaats van een seizoenpatroon;
7. De meetreeks bevat een of meerdere evidente uitbijters;



Figuur 25. Voorbeeld van een onbetrouwbare grondwaterstandsmetreeks.

De hoop was dat een deel van de problemen kon worden opgevangen met de tijdreeksanalyse. Dankzij de tijdreeksanalyse konden we meetreeksen verlengen en gaten in de data opvullen. Het resultaat van een tijdreeksmodel heeft weer onvolkomenheden doordat er nooit een perfecte fit is en afwijkingen zullen optreden ten opzichte van de ruwe meetgegevens. Voor meetreeksen met te grote gaten in de gegevens konden in het geheel geen betrouwbaar tijdreeksmodellen worden opgesteld. Perioden waarin de grondwaterstand heel hoog is en dan nauwelijks reageert op neerslag en verdamping vormen een probleem, omdat die de betrouwbaarheid van de TRA-modellen verlagen. Dergelijke perioden buiten beschouwing laten (zie § 3.1.1), leidt alsnog tot het classificeren van veel TRA-modellen als onbetrouwbaar. Het weglaten van dergelijke modellen, gebaseerd op de aanwezigheid van natte perioden met een stabiele grondwaterstand, is mogelijk een verklaring voor de systematische afwijking ten opzichte van de bekende relatie tussen GVG en vochtindicatie F_m (Figuur 19). We bevelen aan in een vervolgstudie niet-lineaire tijdreeksanalyse toe te passen; daarmee zouden dergelijke perioden mogelijk beter nagebootst kunnen worden zodat er meer betrouwbare TRA-modellen overblijven.

Bij veel vegetatieopnamen (1949) was vooral een probleem dat de exacte ligging onvoldoende goed bekend was. Vooral voor de oudere vegetatieopnamen was het XY coördinaat vastgelegd in hectometers. Pas vanaf 2003 waren nauwkeurige GPS-metingen mogelijk. Dit is een probleem als de standplaats heterogeen is. Dan moet de ligging exact bekend zijn. Vegetatieopnamen waarbij op basis van de beschrijving duidelijk was dat het om dezelfde locatie ging (bijvoorbeeld dankzij een aanduiding met een locatiecode) stonden toch verschillende coördinaten. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door onnauwkeurigheid bij de plaatsbepaling met GPS. En zelfs als de coördinaten betrouwbaar lijken en niet variëren, dan speelt nog het probleem van oriëntatie. Hebben de coördinaten betrekking op het midden of een van de hoekpunten, en zo ja welke?

Voor diverse vegetatieopnamen van SBB speelde het probleem van onbetrouwbare of ontbrekende coördinaten. In een aantal gevallen stond in beschrijving bij de vegetatieopname ook aangegeven bij welke dino peilbuis de vegetatieopname hoort en globaal een beschrijving van de oriëntatie (bijvoorbeeld 10 meter naar het noordwesten ten opzichte van peilbuis X). Aan de hand van die beschrijving zijn alsnog XY coördinaten toegekend aan dergelijke vegetatieopnamen. Het bleek monnikenwerk omdat niet alle beschrijvingen consistent waren. Ook waren er vele peilbuizen waar de coördinaten niet bekend waren waardoor de vegetatieopname alsnog niet kon worden gelokaliseerd. Het organiseren van de data vergde veel controleslagen en onduidelijk is in hoeverre het eindresultaat nu echt betrouwbaar is.

Voor de analyse hadden we gekoppelde metingen nodig. In heel veel gevallen bleek de vegetatieopname een enkelvoudige opname (eenmalige waarneming) of een te korte reeks die niet overlapt met de situatie voor en na de droogte. Daarnaast waren er veel situaties waarbij er wel vegetatieopnamen waren, maar geen (gelokaliseerde) peilbuis bekend was. Voor vegetatieopnamereeksen zonder peilbuis is nog gekeken of handmatig in GIS een peilbuis in de nabijheid kon worden geselecteerd die representatief is voor de standplaats. Dit bleek maar in enkele gevallen mogelijk. En dan hebben we nog de mogelijke ruis in vegetatiegegevens als gevolg van determinatiefouten, het werken met verschillende waarnemers, het niet constant zijn van de opnamegrootte van pq 's, en het voorkomen verstoringen in de pq -reeks voor (zoals door betreding met een zwaar voertuig) waarvan de gevolgen voor de vegetatiesamenstelling op basis van de ons ter beschikking gestelde informatie moeilijk kon worden beoordeeld.

5.2 Robuustheid van de uitkomsten

Ondanks de gemelde problemen met de peilbuizen komt de droogte van 2018, 2019 en 2020 sterk tot uiting in de hydrologische gegevens. De LG3 - GLG waarde als schatter van de grondwaterstandsaling blijkt duidelijk groter te zijn in de droge jaren dan in de jaren daarvoor. Ook zien we een sterke toename in de droogtestress (TS). Net als in de LMF-studie zien we geen sterke verschuiving in indicatiewaarden in de pq 's (F_m , N_m , R_m), maar wel in de verschillende parameters voor natuurwaarde (NZ, WZ, NW), die beduidend zijn afgenomen.

In de studie is ervoor gekozen om, zowel voor TRA als voor SWAP, de analyse voort te zetten met de modelfits zoals deze zo goed als mogelijk verkregen konden worden in de beperkte beschikbare tijd. Voor elke plot zijn de verschillen in GxG's en RS en TS voor 2018 en 2019 ten opzichte van hun 30-jaar gemiddelden berekend. Ook al kunnen de absolute waarden van model en meting van elkaar afwijken, de relatieve verschillen tussen de jaren kunnen juist met een (fysisch) model inzichtelijk worden gemaakt. Hierbij zijn in de simulaties alle randvoorwaarden gelijk, met uitzondering van het weer. Voor SWAP geldt dat zo naast effecten op de grondwaterstand, ook effecten op standplaatsfactoren RS en TS kunnen worden ingeschat. De analyse laat daarin plausibele patronen zien.

Er zijn enkele statistisch significante relaties gevonden. De uitkomsten zijn deels in lijn met wat eerder gevonden is op basis van de LMF gegevens [26]. Ook in deze studie zien we een schijnbare afname van de bodemvruchtbaarheid, een mogelijk schijnbare verzuring, en een werkelijke achteruitgang in natuurwaarde als gevolg van de droogte.

We hebben met zowel TRA als SWAP in beperkte tijd getracht gemeten grondwaterstanden te reproduceren, maar waar dat wel/niet goed ging is niet uitgezocht waardoor dat komt. Een detailanalyse van de mate waarin met SWAP en TRA gemeten grondwaterstanden kunnen worden gereproduceerd is een interessante vervolgstap die in het huidige project niet was voorzien. Figuur 12 in het rapport toont gemeten grondwaterstanden en met SWAP en TRA gesimuleerde grondwaterstanden voor deze locatie. Op het oog volgt hieruit voor deze locatie dat SWAP beter in staat is de droge en natte pieken te reproduceren. Voor andere locaties blijkt dit niet per se het geval. Zo volgt uit de SWAP simulaties dat in situaties en periodes met zeer ondiepe grondwaterstanden (ondieper dan zo'n 30 cm-mv) een neerslaggebeurtenis direct tot een korte piek in de grondwaterstand leidt, terwijl dit in metingen vaak niet zichtbaar is. Vermoedelijk is hier in werkelijkheid sprake van snelle afvoer van dit regenwater, maar zit dat niet in de modelschematisatie. Om dit wel te kunnen meenemen is meer locatiespecifieke kennis nodig.

Ten aanzien van de SWAP berekeningen kan ook de vraag worden gesteld in hoeverre de keuze voor gebruik van BOFEK2018 (in plaats van boorstaat peilbuis) en de keuze voor een referentiegewas (gras in plaats van de werkelijke vegetatie) de betrouwbaarheid van de SWAP modellen beïnvloedt. De keuze voor het referentiegewas is nodig om de standplaatsfactoren droogtestress en zuurstofstress te berekenen. Dat de keuze voor het begroeiingstype de resultaten enigszins beïnvloedt is helder, maar ook voor dit aspect was geen nadere analyse voorzien in het huidige project. We bevelen daarom aan in een vervolgonderzoek om het effect van het werkelijke begroeiingstype op de modelsimulaties inzichtelijk te maken. Het is zinvol om in een dergelijk vervolgonderzoek locatiespecifieke kennis te gebruiken. Verdampingsparameters, bewortelingsdiepte en bedekkingsgraad zijn dan eigenschappen die geschat moeten worden.

Onze hypothese was dat vegetatieplots (PQ's) door de droge jaren meer zijn veranderd naarmate de hydrologische droogte (hier uitgedrukt in LG3-GLG en TSm-TS(2018)) groter is. Deze hypothese zien we niet bevestigd in onze studie. De verklaring kan liggen in de ruis in onze gegevens, maar veeleer denken we dat we moeten terugkomen op onze hypothese. Vegetatieplots waar in 2018 de droogte ernstig toesloeg (hoge uitslag van LG3-GLG en TSm-TS(2018)), zullen immers in voorgaande jaren ook al gevoeliger zijn geweest voor droge omstandigheden, waardoor plantensoorten die daar niet tegen bestand zijn in 2018 al grotendeels ontbraken. Het maximale neerslagtekort in Nederland in het voorjaar is de afgelopen vijftig jaar toegenomen, met bijna 50 procent⁴. Het is mogelijk dat na de natte jaren '90 de droge voorjaren al van invloed zijn geweest op de vegetatie-ontwikkeling. In andere woorden: de jaren vóór 2018 hebben al gefungeerd als een selectiefilter over de opnamen.

Ook in deze analyse bestaat de mogelijkheid dat secundaire gevolgen van droogte later nog zichtbaar worden in de structuur en samenstelling van de vegetatie: verruiging door een hogere

⁴ <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/toename-neerslagtekort-en-verdamping-in-voorjaar>

voedselrijkdom ten gevolge van de afbraak van organische stof; verzuring ten gevolge van het wegvallen van basenrijke kwel. Met nadruk bevelen we daarom een vervolgonderzoek aan, waarin zowel de LMF-studie als deze studie worden herhaald, maar dan met gegevens uit 2020 en enkele jaren daarna.

In Figuur 19 is de GVG uitgezet tegen Fm, voor zowel de gegevens van Runhaar als de gegevens uit deze studie. We zien twee opvallende verschillen. Ten eerste is de spreiding in onze gegevens veel groter dan bij Runhaar, en ten tweede is de vochtindicatie bij onze gegevens systematisch hoger. Alle in paragraaf 5.1 genoemde onzekerheden zullen er zeker debet aan zijn dat de relatie tussen GVG en vochtindicatie Fm zoveel meer spreiding vertoont ten opzichte van eerdere studies. De systematische afwijking van de meetpunten in Figuur 19 (systematisch nattere vochtindicatie dan op grond van de GVG verwacht) zou, zoals we eerder schreven, (mede) het gevolg kunnen zijn van het weglaten van peilbuizen waar geen geschikt TRA-model voor kon worden gemaakt, wegens het voorkomen van natte perioden met een vrij stabiele grondwaterstand. Een andere verklaring kan zijn dat we te maken met schijnspiegelsystemen, of in ieder geval met bodems met een ijzerhoudende inspoelingslaag waarop water stagneert; veel van de opnamen konden immers worden geclassificeerd tot 'heide' (Bijlage IV).

Komen de relaties dichter bij elkaar als er verbeteringen worden doorgevoerd op de huidige meetgegevens? Bijvoorbeeld door het bijplaatsen van peilbuizen bij betrouwbare vegetatiereeksen waar nu peilbuismetingen ontbreken en door een evenwichtigere selectie van opnamen? Dit lijkt ons het onderzoeken waard.

Het bijeenbrengen en opschonen van de gegevens is waardevol en heeft onzes inziens geleid tot een waardevol overzicht van gekoppelde meetgegevens (vegetatie-hydrologie), en vooral van de veelheid aan gebreken in de metingen. Er zijn veel mogelijkheden om verbeteringen door te voeren in de data en de analyse. Zo kan het controleren en verbeteren van de huidige grondwaterstandsmetreeksen leiden tot een uitbreiding van bruikbare gekoppelde meetlocaties. Ook zijn er mogelijkheden om de tijdreeksanalyse te verbeteren (zie paragraaf 3.1.5) door beter rekening te gaan houden met niet-lineariteit in natte, gedraineerde gebieden. Ook dit kan leiden tot een betere simulatie van de grondwaterstand en een uitbreiding van bruikbare meetkoppels. Daarnaast is het wenselijk om aan de locaties met bruikbare meetgegevens ook informatie te koppelen over hydrologische ingrepen en beheer. Wij adviseren om in te zetten op het onderhouden en verbeteren van de huidige dataset omdat deze in de toekomst ongetwijfeld weer nodig zal zijn bij de verdere analyse van droogte-effecten op de vegetatie en waterhuishouding.

5.3 Beantwoording van de onderzoeksvragen

We staan hier nog even stil bij de beantwoording van de deelvragen aangegeven in paragraaf 1.3:

1. Hoe hebben vegetatietypen en plantensoorten gereageerd op de droogte van 2018 en 2019?

Een overzicht van de vegetatietypen aangetroffen bij de 29 geselecteerde locaties is aangegeven in bijlage IV. In de brongegevens was al een aanduiding gegeven door de bronhouder. Aangezien dit niet voor alle opnamen het geval was is met Turboveg (ASSOCIA) opnieuw de associatie afgeleid. In een aantal gevallen zien we een afwijking. Vergelijking tussen de beschrijving van de opname (REMARKS) en de toedeling van associatie door de bronhouder doen ons twijfelen bij de juistheid van die toedeling. Bijlage IV laat zien dat vooral heide is geselecteerd en slechts in een enkel geval een andere vegetatie (hoogveen, blauwgrasland, veldrus-schraalland). Uitgaande van de associatietoedeling die we zelf hebben uitgevoerd op basis van de opnamen zien we in 13 gevallen geen verandering optreden in het vegetatietype. In een enkel geval zien we een vooruitgang van de vegetatie (bijvoorbeeld Groot Zandbrink, Takkenhoogte), mogelijk het gevolg van maatregelen. In veel gevallen is sprake van verslechtering waarbij een vegetatie soms volledig verdwijnt (bijvoorbeeld het waterveenmos in turfputten van Engbertsdijkvenen). Ook zijn op een aantal locaties de kruidachtige vegetatie overgegaan naar bos (Meeuwenven, Bergvennen & Brecklenkampse Veld en Groote Peel). Aangezien sommige associatie-toedelingen vragen oproepen

is het wenselijk nader uit te zoeken hoe dit kan. Zo kan specifiek gekeken worden naar de genoteerde soorten per opname en deze te vergelijken met locatiespecifieke informatie (foto's, aanvullend veldbezoek).

Er is ook per soort gekeken naar de som van de bedekking in 2016 en 2019 (Bijlage V). Als we kijken naar de niet algemene soorten volgens de Rode Lijst 2012 dan zien we dat Valkruid en Witte snavelbies is afgenomen, Eenarig wollegras is toegenomen en de soorten Lavendelhei, Kraaihei, Grote veenbes, Kleine veenbes, Heidekartelblad en Liggende vleugeltjesbloem gelijk zijn gebleven. Het is lastig om hieruit algemene conclusies te trekken. Nadere analyse in de ontwikkeling van de bedekking per soort en per locatie waarbij een koppeling wordt gelegd met meteorologische informatie en eventuele informatie over maatregelen (inrichting, beheer) kan mogelijk meer helderheid geven. Voor nu is de conclusie dat we geen sterk signaal zien in de bedekkingsinformatie van soorten.

2. Zijn er verschillen in de reactie tussen standplaatsen? Zo ja, hoe uit dat zich?

De reeksen die zijn geselecteerd laten zien dat vooral pq's in heidelandschap zijn geselecteerd. Het aantal locaties met bruikbare reeksen in andere landschappen zou uitgebreid kunnen worden. Op basis van de thans beschikbare meetgegevens kan een advies worden gegeven welke meetlocaties voortgezet dan wel verbeterd (peilbuis) dienen te worden.

3. Zijn goed ontwikkelde vegetaties minder door de droge jaren aangetast dan slecht ontwikkelde vegetaties? De hypothese hierbij is dat de waterhuishouding van goed ontwikkelde vegetaties op orde was (anders was de vegetatie niet goed ontwikkeld), en dat zulke vegetaties minder last hadden van 2018 en 2019. Ofwel: kan het effect van droogte versus verdroging (structurele aantasting waterhuishouding) worden geïdentificeerd?

De beantwoording van de vraag vergt een opsplitsing van de data in een groep 'goed ontwikkelde' plantengemeenschappen en daarvan afgeleide 'rompgemeenschappen'. Alvorens deze analyse wordt uitgevoerd dient eerst een controle op juistheid te worden uitgevoerd voor het afleiden van de plantengemeenschap (zie ook punt 1). De verwachting is dat met de huidige data er onvoldoende reeksen overblijven voor een statistisch bruikbare vergelijking.

4. In welke mate voldoet de huidige monitoring voor het op landelijke schaal bepalen van effecten van extreme droogte en verdroging? Zijn er werkbare aanpassingen mogelijk in de huidige opzet zodat beter inzicht ontstaat in het langjarig effect van terugkerende droge periodes? In hoeverre past de huidige opzet van bestaande meetnetten op de hier genoemde doelen?

De indruk bestaat dat de huidige monitoring niet voldoet voor het op landelijke schaal kunnen bepalen van het effect van verdroging en extreme droogte op de vegetatie. Er zijn tekortkomingen in de ruimtelijke spreiding (Drenthe, Overijssel en Gelderland zijn oververtegenwoordigd ten opzichte van de andere provincies op de hogere zandgronden) en in de spreiding over vegetatietypen (de selectie heeft vooral bruikbare reeksen in heidevegetatie opgeleverd). Daarnaast is er een gebrek aan continuïteit in de metingen en dient er aandacht te worden besteed aan de kwaliteit, de compleetheid en de validiteit van de meetgegevens.

5.3 Aanbevelingen ten aanzien van de monitoring

Wat betekenen de huidige inzichten nu voor het opzetten van een meetnet gericht op vegetatie en grondwaterhuishouding. In alle gevallen begin dit met de doelstelling van het meetnet. *Welke vraag of vragen wil je kunnen beantwoorden?* Nu hebben we gewerkt met een ongeorganiseerde set aan data die niet specifiek was toegerust op het beantwoorden van de (deel)vragen aangegeven in de inleiding.

Voor het verbeteren van het meetnet zien we een aantal noodzakelijke stappen:

1. Het verbeteren en controleren van huidige gegevens om zodoende de bruikbaarheid nader vast te stellen. Daarbij hoort ook het nadenken over de analyses die je er mee wilt uitvoeren om (deel)vragen te kunnen beantwoorden.
2. Vervolgens kan worden nagedacht over de meetmethoden. Voor de vegetatieopnamen bijvoorbeeld is het cruciaal dat de locatie ook daadwerkelijk exact wordt vastgelegd en in de toekomst niet meer gaat variëren. Een pq moet altijd goed zijn terug te vinden om onnodige ruis te vermijden.
3. Er dient een nadere stratificatie te worden uitgewerkt zodat de meetpunten waar vegetatie en hydrologie gekoppeld worden gemeten ook daadwerkelijk representatief zijn voor de verschillende landschapstypen die we hebben in Nederland. Het huidige meetnet en de resultaten van onderzoek naar representativiteit zou agenderend moeten zijn voor het uitbreiden van meetlocaties.
4. De continuïteit van het meetnet moet worden geborgd. Langjarige, systematische metingen van gekoppelde abiotische en biotische metingen zijn goud waard aangezien ze echt inzicht geven in wat er in het veld gebeurt. Daarbij helpt het als er ook nadere informatie wordt verschaft over de locatie (situatieschets) en de hydrologische maatregelen die worden of zijn genomen. Ook het vegetatiebeheer dient te worden geregistreerd.
5. Het meetnet zou zoveel mogelijk 'open data' moeten zijn om het gebruik van de gegevens te maximaliseren. De gegevens zijn namelijk niet alleen waardevol om de effecten van droogte op de vegetatie te volgen en daarover te kunnen rapporteren. Gekoppelde metingen abiotiek - biotiek kunnen ook van grote waarde zijn voor het verbeteren van ecohydrologische modellen (via toetsing of via het verbeteren van vegetatieresponsrelaties).
6. Welke parameters worden gemeten hangt af van de vraag die men wil kunnen beantwoorden met het meetnet. Naast grondwaterstand kan worden gedacht aan bodemvochtmetingen en metingen aan de kwaliteit van grondwater, bodem en oppervlaktewater (zie bijvoorbeeld [38]).

Het bovenstaande vraagt om een meer gecoördineerde aanpak met een centrale aansturing en verplichtend karakter zoals ook elders is geadviseerd [38].

6 Referenties

- 1 Van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., Hoefsloot, P., Clevers, S., Hendriks, D., van Huijgevoort, M., Hunink, J., Mulder, N., Pouwels, J., & J. de Wit, 2019. Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland: Rapportage fase 1: ontwikkeling van uniforme werkwijze voor analyse van droogte en tussentijdse bevindingen. KnowH2O rapport, 19 Sep 2019, 95 pp.
- 2 Witte, J.P.M., D. van Deijl & G.A.P.H. van den Eertwegh, 2020. Gevolgen voor de natuur van de droge jaren 2018 en 2019; resultaten van een enquête onder deskundigen : deelrapport van het project: Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. FWE/KnowH2O rapport, 20 april 2020.
- 3 Beets, C., P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal, 2000. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 1: resultaten inventarisatie 1999. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 4 Beets, C., P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal, 2001. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 2: resultaten inventarisatie 2000. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 5 Beets, C., P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal, 2002. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 3: resultaten inventarisatie 2001. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 6 Beets, C., P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal, 2003. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 4: resultaten inventarisatie 2002. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 7 Beets, C., P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal, 2004. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 5: resultaten inventarisatie 2003. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 8 Beets, C., P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal, 2005. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 6: resultaten inventarisatie 2004. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 9 Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2005. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 7: resultaten inventarisatie 2005. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 10 Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2006. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 8: resultaten inventarisatie 2006. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 11 Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2007. Selectie van referentiepunten t.b.v. het SBB-project terreincondities. Fase 9: resultaten inventarisatie 2007. Staatsbosbeheer/Alterra.
- 12 Possen, B.J.H.M. & M. Paas – van Oort, 2017. Evaluatie Referentiemeetnet Terreincondities, RHDHV rapport WATBE9431R001F0.2, 15 december 2017
- 13 Keskamp, A.A.M., P.W.F.M. Hommel & P. van Wijhe, 2019. Referentiemeetnet terreincondities - Actualisatie & uitbreiding. Rapport projectnr 17.52.760.01, definitief, 11 april 2019
- 14 Meij, T.J., 2019. Beschikbaarheid van gemeten grondwaterstanden uit het referentiemeetnet van Staatsbosbeheer. Zwolle, Provincie Overijssel.
- 15 Berendrecht, W., Gehrels, H., van Geer, F., & A.Heemink, 2004. Een niet-lineair tijdreeksmodellen voor grondwaterstandsfluctuaties in gedraineerde gebieden. Stromingen 10, nummer 2.
- 16 Obergfell, C., Bakker, M., & K. Maas, 2019. Identification and explanation of a change in the groundwater regime using time series analysis. Groundwater, 57(6), 886-894.
- 17 Van Geer, F., 2012. Tijdreeksanalyse: Introductie en aandachtspunten. Stromingen 18 (2): 5-14.
- 18 Van den Eertwegh, G., R. Bartholomeus, P. De Louw, F. Witte, J. Van Dam, D. Van Deijl, P. Hoefsloot, M. Van Huijgevoort, J. Hunink, I. America, J. Pouwels and J. De Wit, 2020. Rapportage Droogte Zandgronden Nederland Fase 2, behorende bij: Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden-en Oost-Nederland: het verhaal. Analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen, Projectteam Droogte.
- 19 Bartholomeus, R.P. and J.P.M. Witte, 2013. Ecohydrological Stress - Groundwater To Stress Transfer; Theory and manual version 2.0. KWR 2013.088. Nieuwegein.
- 20 Kroes, J.G., et al., 2017. SWAP version 4 : theory description and user manual, Wageningen Environmental Research: Wageningen.

- 21 van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal* 44(5): p. 892-898.
- 22 Heinen, M., G. Bakker, and J.H.M. Wösten, 2020. Waterretentie-en doorlatendheidskarakteristieken van boven-en ondergronden in Nederland: de Staringreeks: Update 2018. Wageningen Environmental Research: Wageningen.
- 23 Doherty, J., 2010. PEST: Model independent parameter estimation, Watermark Numer. Comput., Brisbane, Queensland, Australia.
- 24 van den Eertwegh, G., et al., 2020. Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland : het verhaal: analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen. KnowH2O: Berg en Dal.
- 25 Hisdal, H., et al., 2004. Hydrological drought characteristics. *Developments in water science* 48(5): p. 139-198.
- 26 Yevjevich, V.M., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology papers* ; no. 23, Fort Collins, Colorado State University.
- 27 Witte, J.P.M., 2021. Gevolgen van de droogte van 2018 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland, afgeleid van het Landelijk Meetnet Flora. FWE: Oosterbeek. p. 44.
- 28 Hertog, A.J. and M. Rijken, 1992. Geautomatiseerde bepaling van natuurbehoudswaarde in vegetatie-opnamen. Provincie Gelderland: Arnhem.
- 29 Runhaar, J., Toetsing ecotopensysteem, 1989. Relatie tussen de vochtindicatie van de vegetatie en grondwaterstanden. *Landschap*, 1989. 6: p. 129-146.
- 30 Van der Sluijs, P., 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. *H2O* 15(3): p. 42-46.
- 31 Bartholomeus, R.P., et al., 2011. Climate change threatens endangered plant species by stronger and interacting water-related stresses. *J. Geophys. Res.* 116(G4): p. G04023.
- 32 Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. Bodegom, J.C. Van Dam, P. Becker, & R. Aerts, 2012a. Process-based proxy of oxygen stress surpasses indirect ones in predicting vegetation characteristics. *Ecohydrology* 5:746-758.
- 33 Bartholomeus, R.P., 2009. Moisture Matters; Climate-proof and process-based relationships between water, oxygen and vegetation. PhD, VU University.
- 34 Bartholomeus, R.P., M. J. D. Hack-ten Broeke, H.M. Mulder, J. Kroes, R.E. Ruijtenberg, J. Runhaar and J.P.M. Witte, 2018. Waterwijzers Landbouw en Natuur. *Landschap* 1: 15-23.
- 35 Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. Van Bodegom and J.C. Van Dam, 2010. Nieuwe maat voor bodemvochtregime ook geschikt onder toekomstig klimaat. *H2O* 3: 37-39.
- 36 Witte, J.P.M., R. Pastoors, D.J. Van der Hoek, R.P. Bartholomeus, A. Van Loon and P.M. Van Bodegom, 2011. Is het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium gereed voor het voorspellen van natuureffecten? *Stromingen* 17(2): 15-26
- 37 Bartholomeus, R. P., J. P. M. Witte, P. M. Van Bodegom, J. C. Van Dam and R. Aerts, 2008. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: substituting the Feddes-function by a process-based model. *Journal of Hydrology* 360: 147-165
- 38 Knoben, R., B. Possen & B. van Velthoven, 2021. Verbeteren informatievoorziening vochtcondities. Inventarisatie en advies. Rapport RHDHV BH5819WATRP2103300817, Nijmegen.
- 39 Jansen, P.C., & J. Runhaar, 2002. Droogtestress als ecologische maat voor de vochttoestand *Stromingen* 8:31-39.
- 40 Runhaar, J., J.P.M. Witte, & P. Verburg, 1997. Ground-water level, moisture supply, and vegetation in the Netherlands. *Wetlands* 17:528-538.
- 41 Witte, J.P.M., & J. Runhaar, 2000. Planten als indicatoren voor water. *Stromingen* 6:5-21. Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, & J. Runhaar, 2012b. Drought stress and vegetation characteristics on sites with different slopes and orientations. *Ecohydrology* 5:808-818.

Bijlagen

Bijlage I - Selectie van peilbuizen met bruikbare tijdreeksen en reeks vegetatieopnamen

metabestand_pq_gws.xlsx (https://rvanek.home.xs4all.nl/metabestand_pq_dino.xlsx)

Bijlage II - Uitkomsten van de tijdreeksanalyse

tra.zip (<https://rvanek.home.xs4all.nl/tra.zip>)

Bijlage III - Selectie van peilbuizen met bruikbare tijdreeksen en reeks vegetatieopnamen

B07C1795_1
B12C0190_1
B12C0270_1
B12C0271_1
B12C0280_1
B12D1763_1
B17C0171_1
B17C0351_1
B17C0364_1
B17C0365_1
B17C1763_1
B17D1454_1
B17D1455_1
B17E0187_1
B17E1512_1
B17E1513_1
B22D0879_1
B23A0467_1
B28B1468_1
B28F0393_1
B28F0463_1
B33G1137_1
B33G1140_1
B34F3233_1
B34F3235_1
B34H0318_1
B35A0890_1
B57E0318_1
B58A0663_1

Bijlage IV - Associaties en beschrijvingen pq's voor de 29 geselecteerde locaties. De bovenste tabel geeft de associaties en tabel daaronder informatie uit het veld REMARKS in de brongegevens en onze opmerkingen. _voor en _na staat voor de eerste en laatste opname uit de reeks. Ass geeft aan dat het gaat om een associatie die zelf is afgeleid met Turboveg (ASSOCIA). Assb geeft aan welke associatie in de brongegevens is aangegeven.

nr	serie	ass_voor	ass_na	assb_voor	assb_na	gebied
1	DR_V003	11RG02	39AA02A	r16AB03A	r10RG01	Meeuwenven
2	DR_V089	11RG02	08RG08	r11BA01B	19AA02	Bargerveen
3	DR_V172	12RG01	12RG01	r20RG01	.	Holtingerveld
4	DR_V204	14AA01A	14AA01A	r45AA05B	.	Havelte-west
5	DR_V209	11AA02C	11AA02C	r20RG01	.	Holtingerveld
6	DR_V211	11RG02	11AA02C	r19AA02	.	Holtingerveld
7	DR_V217	20AA01B	20AA01B	r16RG23	.	Holtingerveld
8	DR_V218	11RG02	11RG02	r42RG04	.	Holtingerveld
9	DR_V219	11AA02C	11AA02C	r16RG07	.	Holtingerveld
10	DR_V220	11AA01	11RG02	r34RG01	.	Holtingerveld
11	DR_V222	41AA03A	41AA03A	r16RG23	.	Holtingerveld
12	DR_V223	11RG02	11RG02	r10DG06	.	Holtingerveld
13	DR_V249	11RG02	19AA01	r10DG01	.	Holtingerveld
14	DR_V250	12RG01	39AA02E	r34RG01	r20AA01C	Takkenhoogte
15	OV_EER09	10RG02	11AA01	r10RG04	r10RG04	Landgoed Eerde
16	OV_ENG18	41RG02	41RG02	r44RG02	r43AA01C	Enbertsdijksvenen (zuid)
17	OV_ENG27	10RG01	16RG01	r10RG02	.	Engbertsdijksvenen (noord)
18	OV_LON06	28AA01B	06AC03	r09RG05	r29AA01B	Lonnekermeer
19	OV_SW43_5	11AA02A	11RG02	r11AA02A	r11AA02A	Wierdense Veld
20	OV_SW46_20a	16AA01B	40AA01C	r09BA02	r09BA02	Bergvennen & Brecklenkampse Veld
21	OV_WIE22	11AA02A	11AA02A	r11AA02A	r11AA02A	Wierdense Veld
22	GL_5091	11AA01	11AA01	r43RG02	.	Hatertsche vennen
23	GL_5102	39AA02E	39AA02A	r20AA01B	.	Vossenbroek
24	GL_5143	16AB01	12AA01A	r11RG02	r29AA02B	Needse Achterveld
25	GL_6020	16RG01	12AA01B	.	.	Landgoederen Brummen
26	PH062	09RG02	16AA01B	r16Aa1c	.	Groot Zandbrink
27	NB_NB2026	11RG02	11RG02	r19AA01B	r16BC01B	Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux
28	NB_NB3077	16AB01	16AB01	r11RG01	.	Het Merkske
29	LM_LI71003	11RG02	40RG02	r16RG25	r16RG25	Groote Peel

nr	serie	REMARKS	Eigen opmerkingen
1	DR_V003	Inhomogene opname. Aan de rand van een laagte met ook drogere delen. Vlakbij peilbuis in de schaduw van een berk.	Verdroogde natte heide waar aandeel houtige vegetatie is toegenomen.
2	DR_V089	Koeien ligplaats, sterk begraasd, veel flatsen, opengekrabde plekken in pq. N06.04 (vochtige heide), moet N06.03 (hoogveen) zijn.	Natte heide / hoogveen. Toedeling 08RG08 lijkt onjuist, maar 19AA02 is ook vreemd. Vernattingsmaatregelen?
3	DR_V172	.	Natte heide met brem?
4	DR_V204	PQ ligt buiten N2000 gebied, heeft buntgrasvegetatie en zou voldoen aan H2330. In 2019 is vegetatie zeer verdroogd en veel is dood.	Typering r45AA05B (beukenbos met pronkmos) moet fout zijn.
5	DR_V209	.	Natte heide
6	DR_V211	Geen habitattypenkaart, maar lijkt vochtige heide.	Droge heide met pijpenstrootje.
7	DR_V217	.	Vochtige heide
8	DR_V218	.	Vochtige heide met pijpenstrootje

nr	serie	REMARKS	Eigen opmerkingen
9	DR_V219	.	Natte heide met veenmos. Die r42RG04 (rompgemeenschap van elzenbroek met dominantie Grote brandnetel in de ondergroei) is onwaarschijnlijk.
10	DR_V220	Is inmiddels zo ver dichtgegroeid dat dit geen pioniervegetatie meer is. Bruine snavelbies bedekt ook te weinig. Voldoet wel voor vochtige heide	Natte heide met snavelbies. r34RG01 is onwaarschijnlijk.
11	DR_V222	Omgewaaide berk in pq	Struweel van lijsterbes met gewone bosbes
12	DR_V223	.	Droge heide met pijpenstrootje.
13	DR_V249	Te hoge bedekking Pijpenstrootje en te lage bedekking Sruikhei om te kwalificeren voor H4030	Droge heide overwoekerd door pijpenstrootje
14	DR_V250	Begraasd door Schotse hooglanders; het terreindeel waarin de opname ligt is waarschijnlijk vrij recent geplagd. Ontwikkelt zich naar heide (N07.01), geen grasland meer	Van soortenarm grasland met soortenarme Poa trivialis en Lolium perenne naar vochtige heide. 39AA02E in 2020 komt niet overeen met beschrijving pq.
15	OV_EER09	Geplagd terrein. Vacca cor recent afgezet. Betreft eventueel H3160 - afhankelijk van overige vegetatie in ven.	Van rompgemeenschap met snavelzegge (ondiepe, oligo- tot meso-oligotrofe vennen) naar natte heide met snavelbies.
16	OV_ENG18	Verdroogd berkenbroek. Is droog berkenbos met stekelvarens.	Verdroogd berkenbroekbos
17	OV_ENG27	Uitgegraven laagte. Buiten opname verspreide Molinia-horsten. Veenmos grotendeels ondergedoken. In 2019 geheel drooggevalen en trapgaten van vee in opnamen. In 2020 moslaag grotendeels dood materiaal.	Van turfkat met waterveenmos naar droogval
18	OV_LON06	Schraalgrasland in 2015. De peilbuislocatie wijkt af van de geplande locatie in 2015, waardoor ook twijfel over de ligging van pq.	Twijfels over juiste ligging pq in 2019
19	OV_SW43_5	Herhaling van WIE22, dat deels overlapt met eenmalig opgenomen SW43_5. Geen Calluna of Sphagnum cuspidatum aangetroffen.	Van natte heide met veenmos naar vochtige heide met pijpenstrootje.
20	OV_SW46_20a	PQ is herhaling van het in 2017 uitgezette pq. In 2018 is Parnassia niet teruggevonden. H6410, want 3 soorten Tormetil, Ruw walstro en Blauwe zegge aanwezig.	Blauwgrasland. Typering 40AA01C (bos) lijkt niet overeen te komen met eerdere opname.
21	OV_WIE22	Huurnerveld. Veenput in hoogveengebied. Waterpeil variabel: van plas-dras tot 10 cm water boven maaiveld. Snavelbies.	Veenput
22	GL_5091	PQ ligt deels in bos.	Natte heide met zonnedaauw en snavelbies. r43RG02 (rompgemeenschap van zeer soortenarm berkenbroekbos met dominantie van Pijpenstrootje) suggereert verbossing.
23	GL_5102	.	Bos? Had niet in de selectie mogen zitten. Was eerder aangegeven als r20AA01B (droge hei met stekelbrem).
24	GL_5143	In 2018 gemaaid. In 2015 Vierrijige ogentroost aangetroffen.	Eén van de laatste stukjes natte heidevelden. Vraagtekens bij toedeling associaties. Van veldrusschraalland naar een tredplantengemeenschappen met straatgras, grote weegbree en engels raaigras? Onrealistisch. Komt niet overeen met r11RG02 (door Eenarig wollegras gedomineerde gemeenschappen) en r29AA02B (borstelbies, dwergvlas en dwergbloem).
25	GL_6020	1740 Brummen Hallsepad	Van rompgemeenschap met gestreepte witbol naar tredplantengemeenschappen met straatgras, grote weegbree en engels raaigras?

nr	serie	REMARKS	Eigen opmerkingen
26	PH062	.	Van rompgemeenschap met verdroogd soortenrijke zeggen-gemeenschap naar blauwgrasland. Herstel dankzij maatregelen?
27	NB_NB2026	Dophei met veenbies	Dophei met pijpenstrootje (11RG02), maar de andere toedeling associaties klopt niet (Kamgrasland, vegetatie met liggend walstro?).
28	NB_NB3077	Veel door pq heengelopen, deels platgetrapt.	Veldrusschraalland. Toedeling 11RG01 (Struikheide) lijkt onwaarschijnlijk.
29	LM_LI71003	PQ ligt bij peilbuis. Spontaan berkenbos met Vuilboom naast peilbuis.	Van een met eenarig wollegras gedomineerde vegetatie naar soortenarm broekbos met pijpenstrootje. Toedeling aan r16RG25 (vegetatie met ruwe smele) lijkt onwaarschijnlijk.

Bijlage V - Verandering in het voorkomen van soorten in de geselecteerde vegetatiereeksen. 45 gepaarde opnamen bij peilbuizen, waarvan 24 met struikheide, 27 met dopheide, 33 met pijpenstrootje. Het gaat veelal om heide.. Er is een duidelijke teruggang van soorten waarvan je dat zou verwachten: witte en bruine snavelbies, moeraswolfsklauw, kleine zonnedaauw.

	Presentie			Bedekking (%)		
	2016	2019	%	2016	2019	%
4 Duizendblad	0	1		0	1	
18 Fioringras	4	6	50	63	113	79
19 Gewoon struisgras	10	14	40	71	76	7
21 Vroege haver	0	1		0	1	
40 Geknikte vossenstaart	4	4	0	59	22	-63
42 Grote vossenstaart	2	2	0	2	2	0
55 Lavendelheide	2	2	0	2	2	0
66 Gewoon reukgras	5	5	0	9	33	267
93 Valkruid	1	1	0	19	9	-53
139 Zachte berk	7	10	43	7	10	43
140 Ruwe berk	5	10	100	5	10	100
173 Hennegras	0	1		0	1	
174 Duinriet	1	1	0	1	1	0
186 Struikheide	24	24	0	632	558	-12
187 Gewone dotterbloem	1	1	0	1	1	0
198 Grasklokje	1	1	0	1	1	0
205 Pinksterbloem	4	6	50	4	8	100
219 Zompzegge	0	1		0	1	
220 Geelgroene zegge	1	0	-100	1	0	-100
246 Hazenzegge	0	1		0	1	
248 Blauwe zegge	2	2	0	2	2	0
251 Pilzegge	6	11	83	16	23	44
254 Hoge cyperzegge	1	0	-100	1	0	-100
260 Snavelzegge	2	1	-50	2	9	350
296 Gewone hoornbloem	0	4		0	6	
335 Kale jonker	1	1	0	1	1	0
362 Rankende helmbloem	1	4	300	1	4	300
397 Ruwe smeide	2	1	-50	2	1	-50
398 Bochtige smeide	14	12	-14	104	104	0
417 Kleine zonnedaauw	1	0	-100	1	0	-100
426 Smalle stekelvaren	5	5	0	5	5	0
437 Gewone waterbies	1	1	0	1	1	0
447 Kraaiheide	6	6	0	60	60	0
450 Wilgenroosje	1	0	-100	1	0	-100
451 Harig wilgenroosje	1	0	-100	1	0	-100
457 Viltige basterdwederik	1	0	-100	1	0	-100
463 Holpijp	1	1	0	19	9	-53
466 Lidrus	0	1		0	1	

	Presentie			Bedekking (%)		
	2016	2019	%	2016	2019	%
473 Gewone dophei	27	27	0	427	477	12
476 Veenpluis	5	6	20	7	8	14
479 Eenarig wollegras	4	4	0	49	78	59
519 Beemdlangbloem	2	2	0	2	2	0
520 Rood zwenkgras	3	2	-33	40	10	-75
530 Sporkehout	9	13	44	35	39	11
543 Gewone hennepnetel	1	1	0	1	1	0
549 Liggend walstro	7	10	43	23	10	-57
558 Stekelbrem	1	1	0	1	1	0
582 Hondsdraf	1	0	-100	1	0	-100
584 Mannagras	5	3	-40	23	3	-87
585 Liesgras	1	1	0	9	19	111
618 Stijf havikskruid	0	1		0	1	
621 Muizenoor	1	1	0	1	1	0
631 Gestreepte witbol	10	9	-10	154	156	1
632 Gladde witbol	4	2	-50	32	6	-81
638 Waterviolier	1	1	0	19	1	-95
641 Gewone waternavel	2	1	-50	2	1	-50
654 Gewoon biggenkruid	5	7	40	7	7	0
658 Hulst	0	1		0	1	
673 Zomprus	1	0	-100	9	0	-100
679 Biezenknoppen	2	1	-50	2	1	-50
680 Pitrus	11	11	0	222	182	-18
687 Trekrus	4	6	50	4	6	50
725 Vertakte leeuwentand	2	5	150	2	5	150
756 Engels raaigras	3	6	100	21	43	105
759 Wilde kamperfoelie	1	3	200	1	3	200
763 Moerasrolklaver	2	1	-50	2	19	850
766 Gewone veldbies	1	1	0	3	3	0
772 Echte koekoeksbloem	1	1	0	1	1	0
777 Moeraswolfsklauw	1	0	-100	1	0	-100
780 Wolfspoot	2	2	0	2	2	0
813 Watermunt	3	2	-33	11	28	155
832 Pijpenstrootje	33	33	0	1015	1085	7
844 Moeras-_Weidevergeet-mij-nietje	1	1	0	1	3	200
857 Borstelgras	1	1	0	1	1	0
868 Watertorkruid	0	1		0	1	
912 Grote veenbes	1	1	0	19	19	0
913 Kleine veenbes	3	3	0	19	19	0
924 Heidekartelblad	1	1	0	1	1	0
930 Rietgras	2	2	0	2	18	800
943 Grove den	12	15	25	86	70	-19
946 Smalle weegbree	4	6	50	4	14	250
952 Straatgras	1	0	-100	1	0	-100

	Presentie			Bedekking (%)		
	2016	2019	%	2016	2019	%
958 Veldbeemdgras	1	3	200	1	3	200
959 Ruw beemdgras	8	7	-13	114	49	-57
962 Liggende vleugeltjesbloem	1	1	0	9	9	0
968 Gewoon varkensgras	0	1		0	1	
972 Waterpeper	0	1		0	1	
983 Ratelpopulier	1	3	200	1	3	200
1008 Tormentil	4	4	0	41	12	-71
1019 Gewone vogelkers	1	1	0	1	1	0
1020 Amerikaanse vogelkers	1	3	200	1	3	200
1037 Zomereik	6	9	50	14	9	-36
1040 Scherpe boterbloem	1	2	100	9	10	11
1048 Egelboterbloem	1	1	0	1	1	0
1056 Kruipende boterbloem	7	7	0	205	98	-52
1068 Witte snavelbies	2	1	-50	4	1	-75
1069 Bruine snavelbies	1	1	0	38	3	-92
1093 Veldzuring	3	6	100	3	22	633
1094 Schapenzuring	7	5	-29	27	42	56
1096 Paardenzuring	0	1		0	1	
1101 Ridderzuring	2	2	0	2	2	0
1112 Liggende vetmuur	1	0	-100	1	0	-100
1117 Geoorde wilg	3	5	67	11	13	18
1119 Grauwe wilg s.l.	1	1	0	1	1	0
1124 Kruipwilg	2	3	50	10	3	-70
1140 Brem	1	1	0	1	1	0
1199 Tandjesgras	2	2	0	2	2	0
1227 Wilde lijsterbes	6	6	0	6	6	0
1229 Grote egelskop	0	1		0	1	
1245 Moerasandoorn	0	1		0	1	
1248 Grasmuur	2	1	-50	2	9	350
1250 Vogelmuur	0	1		0	1	
1254 Zeegroene muur	1	1	0	1	1	0
1258 Blauwe knoop	1	1	0	9	9	0
1299 Kleine klaver	0	1		0	1	
1305 Rode klaver	0	1		0	1	
1306 Witte klaver	4	4	0	30	6	-80
1333 Echte valeriaan	0	1		0	1	
1347 Veldereprijs	1	1	0	1	1	0
1363 Tijmereprijs	1	0	-100	1	0	-100
1380 Hondsviooltje	1	1	0	1	1	0
1474 Fijn schapengras	4	6	50	14	22	57
1544 Moerasstruisgras	1	3	200	3	5	67
1545 Zandstruisgras	1	1	0	3	1	-67
1634 Gewone braam	5	6	20	13	6	-54
1642 Kantige basterdwederik	2	1	-50	2	1	-50

	Presentie			Bedekking (%)		
	2016	2019	%	2016	2019	%
1852 Amerikaans krentenboompje	1	2	100	1	2	100
1876 Amerikaanse eik	0	2		0	2	
1933 Veelbloemige veldbies	2	4	100	2	4	100
2259 Douglasspar	2	2	0	64	64	0
2314 Gewone_Glanzige hoornbloem	5	0	-100	5	0	-100
2320 Grote_Getande weegbree	1	1	0	1	1	0
2337 Zachte dravik	1	2	100	9	39	333
2357 Veenbies s.l.	2	2	0	2	2	0
2376 Moeraswalstro	1	2	100	1	2	100
2385 Timoteegras_Klein timoteegras	2	2	0	10	10	0
2430 Paardenbloem	5	4	-20	23	59	157
5309 Gewone_Rechte rolklaver	1	1	0	1	1	0
6078 Tandzaad (G)	0	1		0	1	
6097 Sterrenkroos (G)	1	0	-100	1	0	-100