

An aerial photograph of a sandy dune landscape. The terrain is covered with sparse, low-lying vegetation in shades of brown and green. A winding path leads through the dunes. In the upper left, a group of three people is sitting on a wooden bench. In the lower center, a person in a blue dress is walking away from the camera. In the lower right, a group of five people, including a man in a green shirt and a woman in a red shirt, are standing and looking towards the camera. The overall scene depicts a natural, open environment with some human presence.

FWE | April 2021

**Gevolgen van de
droogte van 2018 voor
de vegetatie van
natuurgebieden op de
Hogere Zandgronden
van Nederland,
afgeleid van het
Landelijk Meetnet
Flora**

Colofon

Titel

Gevolgen van de droogte van 2018 voor de vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland, afgeleid van het Landelijk Meetnet Flora

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

Auteur

Jan-Philip M. (Flip) Witte

© April 2021 FWE
Van Deldenpad 5
6862 DC Oosterbeek



www.ecohydrologie.nl

E flip.witte@ecohydrologie.nl

M 06-15237751

Voorwoord

In dit rapport zijn de gevolgen van het droge jaar 2018 voor de vegetatie op de Hogere Zandgronden van Nederland geanalyseerd. Die analyse was alleen maar mogelijk dankzij de duizenden vegetatieopnamen die door vegetatiekundigen zijn gemaakt binnen het Landelijk Meetnet Flora (LMF). Hen wil ik hierbij danken voor hun inspanningen.

Veel dank gaat ook uit naar Matthijs ten Harkel (provincie Noord-Brabant) en Gé van den Eertwegh (KnowH₂O), die namens respectievelijk de vele opdrachtgevers en de vele onderzoekers het droogteonderzoek wonderwel in goede banen weten te leiden. Arco van Strien (CBS) verdient alle lof voor het toegankelijk maken van de LMF-gegevens, alsmede voor zijn commentaar op het rapport en zijn aanvullende analyses.

Tot slot dank aan degenen die het conceptrapport hebben gecommentarieerd en zo voor verbeteringen hebben gezorgd. Naast Matthijs ten Harkel, Gé van den Eertwegh en Arco van Strien zijn dat Rob van Dongen (Staatsbosbeheer), Corine Geujen (Natuurmonumenten), Matthijs Bonte (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat) en Carolien Steinweg (Waterleiding Maatschappij Drenthe).

Flip Witte, Oosterbeek, 16 april 2021

Inhoud

Colofon	1
Voorwoord	3
Inhoud	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Methode	11
2.1 Beschrijving, voorbewerkingen en uitbreiding van het LMF	11
2.2 Bewerking van vegetatieopnamen	15
2.2.1 Indicatiewaarde voor de standplaats	15
2.2.2 Natuurwaarden	18
2.3 Tijdreeksanalyse	19
3 Resultaten	21
3.1 Gemiddelde standplaatsindicaties van alle opnamen	21
3.2 Gemiddelde standplaatsindicaties van enkele IPI's	23
3.3 Natuurwaarden	26
3.4 Gemiddelde indicatiewaarden in 2015 en 2019	30
3.5 Analyse op het niveau van individuele soorten	31
3.5.1 Selectie van plots	31
3.5.2 Verandering in relatie tot de zeldzaamheid van soorten	32
3.5.3 Veranderingen in twee ecosystemen	34
4 Discussie, conclusies en aanbevelingen	37
4.1 Robuustheid van de uitkomsten	37
4.2 Daling voedselindicatie: oorzaak en blijvend?	37
4.3 Het nadeel van ratio's	38
4.4 Verzuring of toch niet?	38
4.5 Conclusies	39
4.6 Aanbevelingen voor nader onderzoek	41
5 Referenties	43

Samenvatting

Onderzocht is wat de gevolgen zijn geweest van het droge jaar 2018 voor de terrestrische vegetatie van natuurgebieden op de Hogere Zandgronden van Nederland. Het onderzoek is gedaan door analyses uit te voeren op de vegetatieopnamen van het Landelijk Meetnet Flora (LMF). Dit is een door de provincies onderhouden netwerk van plots waarvan de soortensamenstelling met een frequentie van eens in de drie tot vier jaar wordt opgenomen. Uit deze opnamen werden verschillende variabelen afgeleid die mogelijk zijn veranderd als reactie op de droogte van 2018: de talrijkheid van soorten, opnamegemiddelde indicatiewaarden voor standplaatsfactoren (voor vocht, voedselrijkdom en zuurgraad), botanische natuurwaarde. Tevens is bij wijze van voorbeeld onderzocht hoe de soortensamenstelling van twee verschillende ecosysteemttypen is veranderd. Uit de analyse blijkt onder meer:

1. De gemiddelde indicatiewaarden voor standplaatsfactoren blijken weinig te zijn veranderd.
2. Opnamegemiddelde indicatiewaarden zijn matige graadmeters voor de korte-termijngevolgen van een droog jaar.
3. De botanische natuurwaarde is gedaald. Afhankelijk van de waarderingsmethode bedraagt de afname 6 tot 18%.
4. Meer soorten zijn in aantal en bedekking achteruit-, dan vooruit gegaan (50% ging achteruit, 35% vooruit).
5. Deze verandering kan niet worden gerelateerd aan de zeldzaamheid van de soorten: bij zowel algemene als zeldzame soorten domineert de achteruitgang.
6. Doordat algemene soorten vaak een hogere indicatiewaarde voor voedselrijkdom hebben én doordat ze domineren in de vegetatie en dus in absolute zin het meest in aantal en bedekking zijn achteruitgegaan, kan het lijken of de droogte van 2018 heeft geleid tot een verlaging van de bodemvruchtbaarheid.
7. Mogelijk heeft de droogte van 2018 in sommige ecosystemen (bijvoorbeeld natte en droge heide, heischrale graslanden) geleid tot bodemverzuring.
8. Van twee systemen is de verandering in soortensamenstelling geanalyseerd: door regenwater gevoede natte systemen (hoogvenen, natte heiden, zure vennen) en door basenrijke kwel gevoede systemen (blauwgraslanden en trilvenen). In beide systemen is er sprake van een aanzienlijk verlies aan karakteristieke soorten.
9. Met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid kunnen bovengenoemde veranderingen worden toegeschreven aan de droogte van 2018.
10. De studie bevestigt in grote lijnen het in een enquête (Witte *et al.*, 2020) gegeven oordeel van de beheerders over de gevolgen van de droogte voor de vegetatie van hun natuurgebieden.

Op grond van de analyse kan worden overwogen het LMF anders in te richten, waarbij een deel van de plots jaarlijks wordt opgenomen en waarbij eenvoudige aanvullende bodemmetingen worden gedaan (o.a. pH en bodemvocht). Tevens wordt aanbevolen de analyse na een aantal jaar te herhalen, als het LMF is aangevuld met nieuwe opnamen. De verwachting is dat dan de secundaire gevolgen van droogte zichtbaar zullen worden: verruiging door een hogere voedselrijkdom ten gevolge van de afbraak van organische stof; verzuring ten gevolge van het wegvallen van basenrijke kwel.

1 Inleiding

De zomers van 2018 en 2019 waren bijzonder droog, waardoor schade ontstond in diverse sectoren van de maatschappij, waaronder de landbouw, de scheepvaart, de infrastructuur en de natuur. Verschillende organisaties hebben aan een consortium van onderzoekers opdracht gegeven de gevolgen van 2018 en 2019 voor de Hogere Zandgronden van Nederland in beeld te brengen, en maatregelen door te rekenen waarmee in de toekomst droogteschade kan worden vermeden en bestreden. De eerste twee van de drie fasen van dit onderzoek zijn inmiddels afgerond (Van den Eertwegh *et al.*, 2019, Van den Eertwegh *et al.*, 2020).

Een van de opdrachten van het onderzoek is het beschrijven van de gevolgen van de droge jaren voor de natuur, waarbij de nadruk ligt op de terrestrische vegetatie van natuurgebieden. Effecten op de fauna worden onderzocht door de organisaties RAVON en SOVON. Goed inzicht in de gevolgen van droogte is nodig om het natuurbelang voldoende gewicht te geven in het beleid. Kwantificeren van natuureffecten is echter om twee redenen niet eenvoudig. Ten eerste omdat de toestand van de natuur in Nederland slecht wordt gemonitord. Dit betekent bijvoorbeeld dat het ontbreekt aan voldoende steekproeven in de vegetatie waar de samenstelling aan plantensoorten regelmatig (bij voorkeur jaarlijks) over een lange reeks van jaren wordt genoteerd, dus aan permanente kwadraten (plots), waarbij tevens de belangrijkste verklarende standplaatsfactoren worden gemonitord, zoals de grondwaterstand en de bodemzuurgraad. Ten tweede kan de natuur na-ijlen op gebeurtenissen, met als gevolg dat eventuele effecten pas na jaren zichtbaar worden en dan bovendien verward kunnen worden met in de tussentijd optredende andere milieuveranderingen, zoals vermesting en verzuring.

In het droogteonderzoek worden drie sporen bewandeld om toch zo goed mogelijk natuureffecten van de droge jaren in beeld te krijgen:

1. Een systematische inventarisatie van gevolgen via een enquête onder deskundigen van terrein-beherende organisaties en provincies.
2. Analyse van vegetatieopnamen uit het Landelijke Meetnet Flora (LMF). Dat is een bestand met duizenden plots (permanente kwadraten, pq's), die sinds 1999 worden opgenomen (echter zonder metingen aan de standplaats).
3. Een analyse van een beperkte set aan plots waar de verandering in de vegetatie die is opgetreden door de afgelopen droge jaren, wordt gerelateerd aan hydrologische grootheden, zoals de laagste grondwaterstand. Dat kan met deze set, omdat in de nabijheid van de plots ook de grondwaterstand via een peilbuis is gemonitord.

Over de enquête (ad 1) is inmiddels gerapporteerd (Witte *et al.*, 2020). In deze notitie beschrijven we de analyse van het LMF (ad 2); over de analyse van plots bij peilbuizen (ad 3) wordt apart verslag gedaan.

2 Methode

2.1 Beschrijving, voorbereidingen en uitbreiding van het LMF

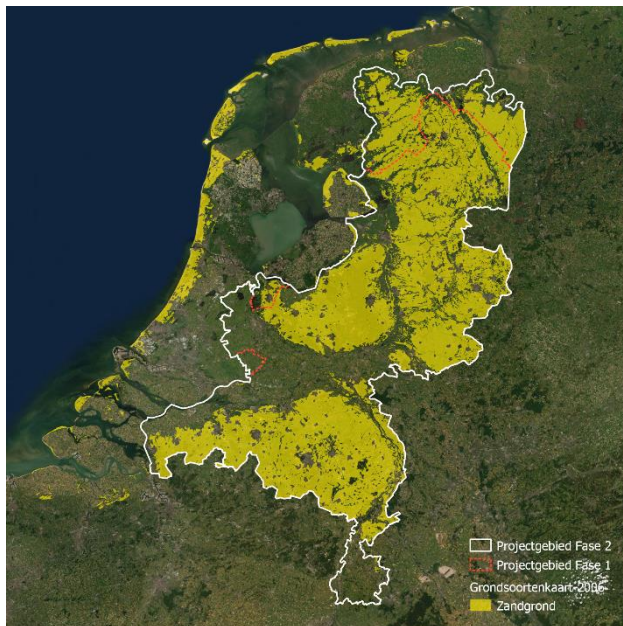
Het LMF bevat duizenden opnamen van vaste locaties, zodanig gekozen (via een 'gestratificeerde bemonstering') dat verschillende, vrij grove, begroeiingstypen voldoende worden vertegenwoordigd. De eerste opnamen werden in 1999 gemaakt en tot voor kort werd er een opnamefrequentie van vier jaar gehanteerd, waarbij ieder jaar dezelfde plots van de betreffende vierjarige cyclus werden bezocht. In 2018 heeft men dit schema losgelaten en is men overgegaan op een frequentie van drie jaar met een selectie van plots die afwijkt van de voorheen gehanteerde vierjarige cyclus (Anonymous, 2019). Het meetnet was in eerste instantie bedoeld voor de evaluatie van het landelijk beleid, maar onlangs hebben de bij het LMF betrokken organisaties (provincies en CBS) besloten het ook te gebruiken voor beleidsevaluaties op provinciaal niveau. Het meetnet is uitdrukkelijk niet bestemd voor het monitoren van zeldzame soorten (*ibed.*); daar komen we later (§ 3.5) op terug.

Arco van Strien (CBS) leverde op 13 augustus 2020 de waarnemingen uit het LMF in de volgende vier bestanden aan, voorzien van een heldere toelichting:

1. LMF_Soorten.csv: bestand met 4343 taxa (alleen vaatplanten) uit het LMF die bruikbaar zijn voor analyses. Van dit aantal zijn 438 soorten of ondersoorten lastig te determineren of classificeren en daarom bevat het bestand tevens een vertaling van deze taxa naar een bekende soort. Bijvoorbeeld: de ondersoort Knolglanshaver (nr. 1608) wordt vertaald naar de soort Glanshaver (nr. 96).
2. LMF_plot.csv: bestand met informatie over de plots (totaal 12799). Per regel onder meer: plot-naam, coördinaten van de locatie, gebiedsnaam en IPI-code (Tabel 1). IPI staat voor Interprovinciale Inventarisatie-eenheid en geeft het type begroeiing weer.
3. LMF_Kop.csv. Gegevens over de opnamen, met per regel: plotnaam, jaar, datum, verstoringscode (Tabel 2).
4. LMF_Tellingen.csv. Bestand met de opnamen. Per record: plotnaam, jaar, nummer soort, bedekkingspercentage. In dit bestand zijn de 'moeilijke' taxa (ad 1) al omgenummerd.

We hebben van de plots alleen die geselecteerd, die behoren tot de Hogere Zandgronden (Figuur 1). Dat zijn er 7155. We hebben het LMF uitgebreid met een kleine set plots op de Hogere Zandgronden in de buurt van peilbuizen, die we voor het in de Inleiding genoemde derde spoor worden gebruikt en die in 2019 of 2020 zijn opgenomen. De beschrijving van deze plots gebeurt in een aparte notitie (Van Ek et al., i.p.). Van die extra plots blijken er 35 dezelfde coördinaten te hebben als in het LMF, en in de meeste gevallen (maar niet alle!) dezelfde naam. Om dubbele opnames te voorkomen hebben we de opnamen van deze 35 plots uit de aanvullende set niet aan het LMF-bestand toegevoegd. Daarmee bleef er een bestand over van 7348 plots.

Vervolgens hebben we op grond van de IPI alleen plots gebruikt die kenmerkend zijn voor natuurgebieden, zijn productiebossen wegens hun kunstmatige karakter buiten beschouwing gelaten, evenals oppervlaktewateren (zeegaten, meren, sloten, etc.). Tevens zijn plots verwijderd waarvan de coördinaten of de oppervlakte tijdens de inventarisatieperiode zijn veranderd en, wegens hun wisselvallige en brede karakter, plots met een zogenaamde 'algemene natuurkwaliteit'. Deze selecties leidden tot een verder inperking tot 3377 plots.



Figuur 1. Omgrenzing (witte contourlijn) van het projectgebied Hogere Zandgronden (dat dus niet alleen zandgrond omvat).

In deze notitie onderzoeken we de gevolgen van de afgelopen droge jaren 2018 en 2019. Het bestand bevat opnamen van 2018 en 2019 (en een kleine set van 2020), maar die van 2018 zijn niet bruikbaar omdat een deel daarvan is opgenomen in de eerste helft van dat jaar, toen het nog niet droog was, en omdat de gevolgen van de droogte zich waarschijnlijk pas later echt openbaren. Beperken we ons tot de plots die zowel vóór als ná 2018 zijn opgenomen, dan blijven er 733 over.

Het aantal plots wordt nog kleiner als we diegene weglaten, die ooit een keer zijn verstoord (Tabel 2). In de analyse negeren we echter de verstoringen, omdat we dan nog minder opnamen overhouden en er geen reden is om aan te nemen dat verstoringen de conclusies uit ons onderzoek zullen beïnvloeden.

Veranderingen kunnen worden geanalyseerd op basis van gemiddelde indicatiewaarden of natuurwaarden per plot, en op basis van soorten. Vooral in het laatste geval zijn de uitkomsten zeer afhankelijk van de plots die toevallig in de jaren vóór 2018 zijn bezocht. Om de analyse zuiver te houden, beperken we analyse van indicatiewaarden en soorten daarom ook een keer tot een set van plots die in precies dezelfde jaren zijn opgenomen. Met hoe meer jaren 2019 echter wordt vergeleken, des te minder plots er overblijven en dus des te minder het aantal soorten waarover een uitspraak kan worden gedaan. Het jaar dat de meeste opnamen gemeen heeft met 2019 is 2015: in beide jaren werden 289 dezelfde plots opgenomen. Willen we twee of nog meer jaren met 2019 vergelijken, dan houden we nog minder plots over, dus dat doen we niet. Achteraf gezien is het jammer dat net in het droge jaar 2018 is overgegaan tot een andere monsterfrequentie, anders waren er vier keer zoveel plots voor deze vergelijking beschikbaar geweest.

Samengevat:

- Voor onze analyse staan ons 733 plots ter beschikking die zowel vóór als ná 2018 zijn opgenomen;
- Willen we een zuivere vergelijking (2015 versus 2019), dan zijn er hooguit 289 plots bruikbaar.

Tabel 1. Beschrijving van de Interprovinciale inventarisatiecodes (overgenomen uit LMF-handleiding; Anonymous (2019)). De met een sterretje () gemarkeerde IPI's zijn gebruikt voor de analyse.*

Nr	Beschrijving	Nr	Beschrijving
*111	Duinvalleibos	343	Karrevelden
*112	Elzenbroekbos	344	Plasjes in klaverbladen
*113	Wilgen(vloed)bos	345	Overige kleine gegraven plasjes
*114	Berkenbroekbos	351	Vennen
121	Pinusbos	352	Duinplassen, duinmeertjes
122	Larixbos	353	Wielen, kolken, welen
123	Naaldbos, niet behorend tot Pinus- en Larixbos	354	Overige poelen en plasjes
*124	Gemengd loof-/naaldbos	*361	Rabatten
*131	Droog, relatief voedselarm loofbos	*362	Inlagen
*132	Droog, relatief voedselrijk loofbos	*363	Overige kleine moerasjes
*133	Droog loofbos, weinig kenmerkend ontwikkeld of gestoord	*364	IJsbanen
*141	Vochtig parkbos (vochtig bos met exotische of stinseflora)	*411	Grasland en hooiland
*142	Bronbos	*412	Grasland met boomgaard of populierenaanplant
*143	Loofbos op vochtige voedselrijke gronden	*413	Cultuurgrasland met een natuurlijke inslag
*144	Vochtig berkenbos	414	Vervallen
*145	Populieren-/wilgen-aanplant	415	Kunstweiden
*146	Eendenkooien	421	Grootschalig akkerland
*147	Loofbos op matig vochtige, relatief voedselarme grond	422	Kleinschalig akkerland
*151	Duinstruweel	423	Intensief fruitteeltgebied
*152	Jeneverbesstruweel	424	(Boom)kwekerijen
*153	Gagelstruweel	511	Braakliggend terrein
*154	Vlierstruweel / Braamstruweel	512	Vuilstortplaatsen
*155	Wilgenstruweel	513	Opgespoten terrein
*156	Doornstruweel	514	Recente droge afgravingen
*161	Grienden	521	Erven, volkstuinten, moestuinten
*162	Essenhakhout	522	Sportterreinen, recreatiegebieden, campings
*163	Elzenhakhout	523	Parken, kerkhoven, villawijken
*164	Eikenhakhout	524	Glastuinbouwgebieden
*165	Hakhoutpercelen met gemengde samenstelling (geriefbosjes)	525	Industriegebied
*171	Houtwallen, wildwallen, wallen langs beken	526	Binnensteden en woonwijken
*172	Met hout begroeide tuinwallen en schurvelingen	527	Muren en wallenkanten
*173	Beplante polderkaden	611	Verharde wegen met berm
*174	(Mei)doornhagen	612	Parkeerplaatsen
*175	Elzen-Essensingels	613	Onverharde wegen en paden met berm
*176	Eiken-Berkensingels	621	Spoorbanen
*177	Graften en stuifwallen	622	Emplacementen en overslagterreinen
*178	Bomenrijen	631	Waterkerende dijken
*179	Ruilverkavelings- en landschappelijke aanplanten	*632	Zomerkaden
*181	Opslagbos in hoogveengebied	*633	Binnendijken
*182	Opslagbos in heidegebied	634	Deltadammen, asfaltdijken
*183	Opslagbos in laagveengebied	635	Steenglooingen
191	Kapvlakten etc. in naaldbos	*636	Polderkaden

Nr	Beschrijving	Nr	Beschrijving
192	Kapvlakten etc. in droog loofbos	637	Onbeplante tuinwallen en schurvelingen
193	Kapvlakten etc. in vochtig loofbos	711	Grote rivieren
*211	Zeereep	712	Kleine (laagland) rivieren en veenstromen
*212	Infiltratiegebied	713	Oude rivierarmen
*213	Natte duinvalleien	721	Natuurlijke laaglandbeken
*214	Open duingebied	722	Genormaliseerde laaglandbeken
*221	Slikken en zandplaten	723	Bergbeken
*222	Schorren en kwelders	724	Korte beken
*223	Riet- en biezenorzen	725	Oude beekarmen
*231	Droge heiden	741	Kanalen
*232	Vochtige heiden	742	Weteringen, vaarten en brede waterschapsleidingen
*233	Zandverstuivingen	743	Veenwijken
*241	Kalkhellinggrasland	751	Sloten
*242	Blauwgrasland	752	Vervallen
*243	Halfnatuurlijke vochtige tot natte graslanden op matig voedselrijke gronden	753	Vervallen
*244	Heischraal grassland	754	Slootkanten
*245	Halfnatuurlijke droge graslanden op matig voedselrijke gronden	755	Greppels
*246	Zilt grassland	756	Waterschapsleidingen (smal)
*251	Levend hoogveen	757	Bermsloten en -greppels
*252	Ontwaterd hoogveen	759	Spoorsloten
*253	Afgetakeld hoogveen	811	Akrokrenen (puntbronnen)
254	Veenputten	812	Rheokrenen
*261	Laagveenmoeras en petgaten	813	Limnokrenen
262	Laagveenplassen	814	Helokrenen
*263	Riet- en biezenland	815	Gekluisterde bronnen
*264	Legakkers	816	Bronvijvers
311	Afgesloten zeearmen	*817	Artesische bronnen
312	Ijsselmeer	*925	Oeverzone van hoogveenplassen of -putten
313	Meren en meertjes	*926	Oeverzone van laagveenplassen, petgaten e.d.
321	Zandgaten, grindgaten, kleigaten	*931	Oeverzone van niet gegraven grote plassen
322	Infiltratiebekkens	*932	Oeverzone van grote aangelegde (gegraven) plassen
*323	Vloeiervelden	*933	Oeverzone van vijvers en grachten
324	Drinkwaterspaarbekken	*934	Oeverzone van kleine aangelegde plassen
331	Vijvers (bijvoorbeeld op landgoederen)	*935	Oeverzone van kleine niet gegraven (natuurlijke) plassen
332	Slot- en fortgrachten	*971	Oeverzone van rivieren, kleine rivieren en veenstromen
333	Stadsgrachten	*972	Oeverzone van beken
334	Kleine recreatieplassen, zwemvijvers	*973	Oeverzone van afgesloten krekken
335	Visvijvers	*974	Oeverzone van kanalen, weteringen e.d.
336	Stads- en dorpsvijvers	*975	Oeverzone van sloten en greppels
341	Drinkputten, dobben, poelen	*981	Oeverzone van bronvijvers
*342	Tichelgaten, kleiputten		

Tabel 2. Verstoringcodes (overgenomen uit LMF-handleiding; Anonymous (2019)).

w1	= Grote permanente daling grondwater
w2	= Grote permanente stijging grondwater
w3	= Begreppeld
w4	= Greppels gedempt
w5	= Onder water gestaan (afwijkende van de normale situatie)
w6	= Drooggevallen (afwijkend van normale situatie)
g1	= Afgegraven (>10 cm van toplaag verwijderd)
g2	= Afgeplagd (< 10 cm van toplaag verwijderd)
g3	= Groot onderhoud sloot (herprofilering)
g4	= Grond geroerd
g5	= Grond opgebracht
g6	= Ondergestoven
g7	= (Vrij) diepe insporing door berijding
g8	= (Vrij) sterke betreding
v1	= Sloomateriaal gedeponeerd
v2	= Vuilstort etc.
v3	= Maaien zonder afvoer of klepelen of (vrij) veel maaisel blijven liggen
v4	= (Vrij) veel hout of snoeihout blijven liggen
v5	= (Vrij) veel mest of bladval gedeponeerd
k1	= Strooisellaag verwijderd
k2	= Stormschade
k3	= Dunning
k4	= Kap
k5	= Brand
k6	= Opslag verwijderd of struiken afgezet
p1	= Bomen, struiken gepland
p2	= Geheel ingezaaid of inzaai van soorten
b1	= Begrazing beëindigd
b2	= Begrazing gestart
b3	= Maaibeheer beëindigd
b4	= Maaibeheer gestart
b5	= Bemesting gestart
b6	= Bemesting beëindigd
b7	= Bestrijdingsmiddelen gebruikt
o1	= Overige verstoring (omschrijving in opmerkingenveld invullen)
x1	= Net gemaaid
x2	= Net geschoond
x3	= Net begraasd

2.2 Bewerking van vegetatieopnamen

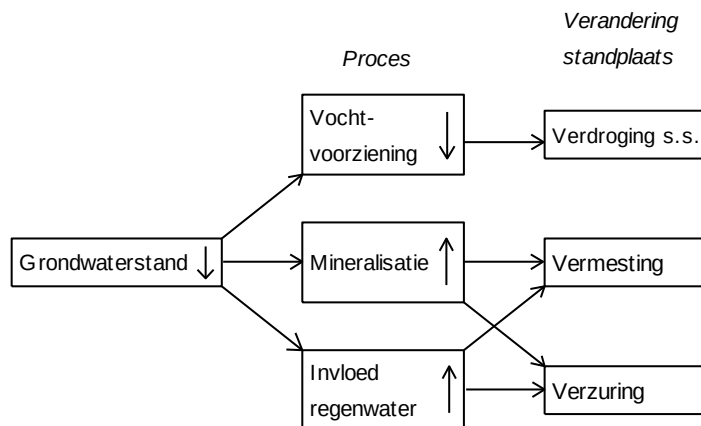
De gevolgen van de droge jaren kunnen we analyseren aan de hand van het voorkomen en de bedekking van individuele soorten in een opname, maar ook door soorten in een opname te aggregeren op basis van hun indicatiewaarde voor de standplaats en op basis van hun natuurwaarde.

2.2.1 Indicatiewaarde voor de standplaats

Met het programma ESTAR (Witte *et al.*, 2014) zijn voor iedere opname de volgende gemiddelde indicatiegetallen I_m berekend uit de indicatiewaarde I van de N soorten in de opname:

- A. Gemiddelde indicatiewaarde voor vocht (F_m)
- B. Gemiddelde indicatiewaarde voor voedselrijkdom (N_m)
- C. Gemiddelde indicatiewaarde voor zuurgraad (R_m)

Gedachte achter keuze B en C is dat droogte niet alleen gevolgen heeft voor de beschikbaarheid van vocht (en zuurstof), maar ook voor de voedselrijkdom en de zuurgraad (Figuur 2).



Figuur 2. Invloed van verlaging van de grondwaterstand op belangrijke standplaatsfactoren. Verlaging kan leiden tot een gebrek aan water in de wortelzone, waardoor planten niet meer potentieel kunnen transpireren: verdroging in strikte zin. Doordat meer zuurstof in de bodem doordringt mineraliseert organisch materiaal, waarbij nutriënten vrij komen: de standplaats 'vermest'. Bij de afbraak komen protonen vrij waardoor de pH daalt: verzuring. Verzuring kan ook optreden doordat de invloed van regenwater toeneemt en de pH niet meer gebufferd wordt door basenrijk grondwater. Fosfaat kan worden gebonden aan ijzer (bij pH<6) of calcium (pH>6) dat met kwelwater is meegevoerd. Wanneer de invloed in de wortelzone van het regenwater dus toeneemt ten koste van kwelwater, zal meer fosfaat beschikbaar kunnen komen voor de plant (vermesting).

De berekeningswijze is op twee manieren gedaan. Met de zogenaamde 'kwalitatieve methode' (*sensu* Ellenberg (1992)), waarbij alleen de presentie van iedere soort i meetelt:

$$I_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1,N} I_i$$

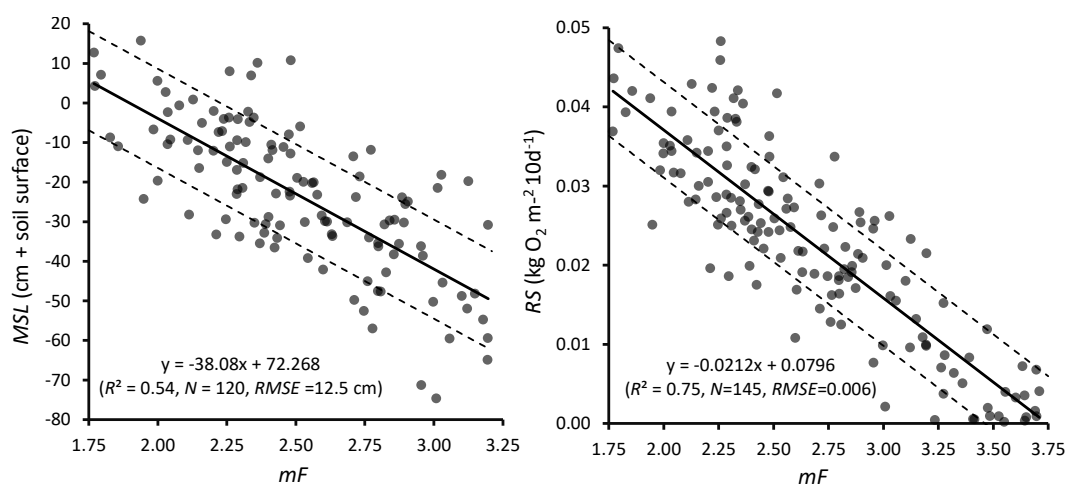
En met de 'kwantitatieve methode' (*ibed.*), waarbij de indicatie wordt gewogen naar de bedekking B van de soort:

$$I_m = \left(\sum_{i=1,N} B_i I_i \right) / \left(\sum_{i=1,N} B_i \right)$$

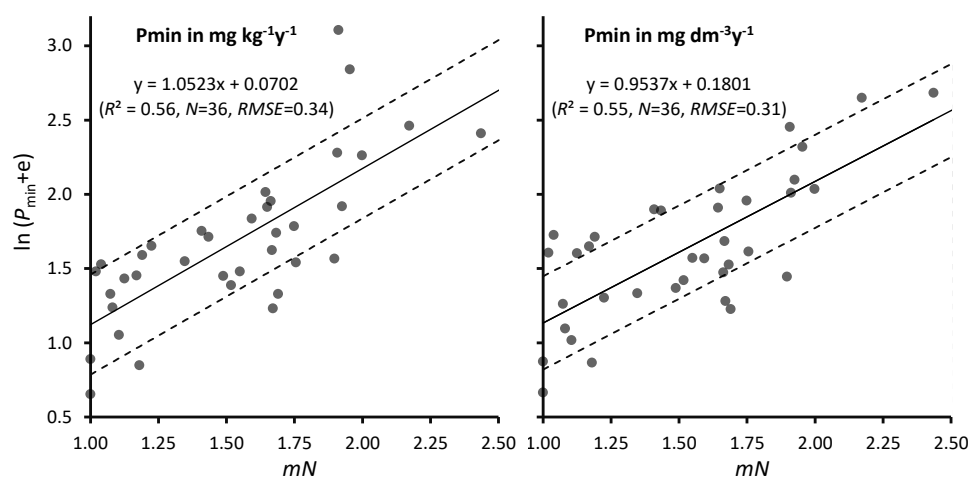
Op basis van een analyse van opnamen bij gemeten grondwaterstanden werd door Käfer & Witte (2004) geconcludeerd dat de kwalitatieve methode veruit de voorkeur verdient als het gaat om het karakteriseren van de vochttoestand van de standplaats. Voor het signaleren van een trend echter, zou het meewegen van de bedekking van soorten, dus de kwantitatieve methode, wellicht bruikbaarder kunnen zijn. Daarom passen we ook deze methode toe.

ESTAR maakt gebruik van de indeling in ecologische groepen van vaatplanten (Runhaar *et al.*, 2004) en van blad- en levermossen (Dirkse & Kruijsen, 1993). Voor de vergelijkbaarheid met de bekende indicatiewaarden van Ellenberg (1992), zijn de Runhaar-indicatiewaarden getransformeerd naar een schaal van 1 tot 10 (F_m : zeer droog – zeer nat, N_m : zeer voedselarm – zeer voedselrijk, R_m : zeer zuur – zeer basisch) (zie p. 79 in Van den Eertwegh *et al.*, 2019). Alleen de vaatplanten betrekken we in de analyse omdat mossen niet altijd zijn opgenomen tijdens de veldinventarisaties en ze derhalve ontbraken in de door het CBS verstrekte LMF-bestanden.

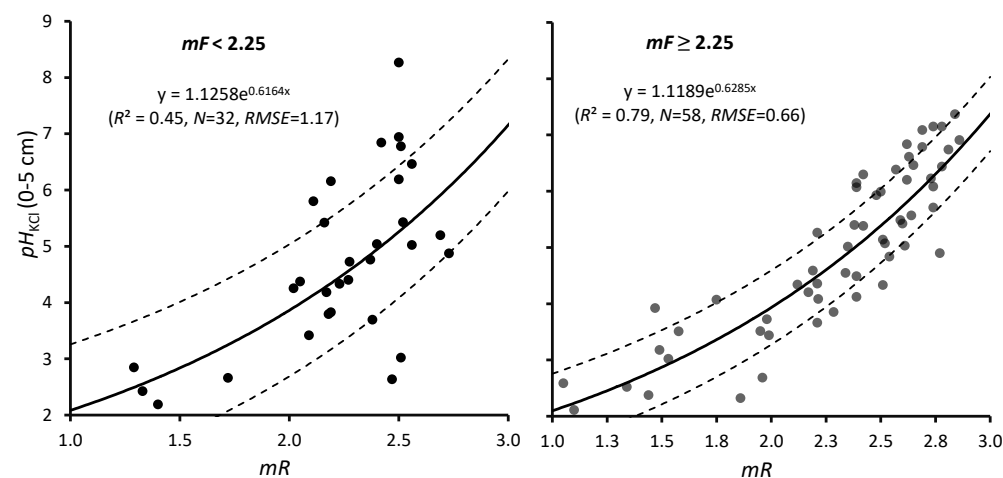
Wij hebben indicatiewaarden nog nooit gebruikt voor het detecteren van veranderingen, maar om twee redenen verwachten wij dat dit bruikbare inzichten kan opleveren in de droogte van 2018. Allereerst blijkt uit verschillende studies dat opnamegemiddelde indicatiewaarden naar ecologische maatstaven goed corresponderen met waargenomen of berekende fysische en chemische grootheden in het veld. Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5 geven daar voorbeelden van.



Figuur 3. Relatie tussen opnamegemiddelde vochtindicatie F_m en respectievelijk gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (links) en gemiddelde zuurstofstress RS . Bron: Witte et al. (2014), gegevens van Bartholomeus et al. (2012).



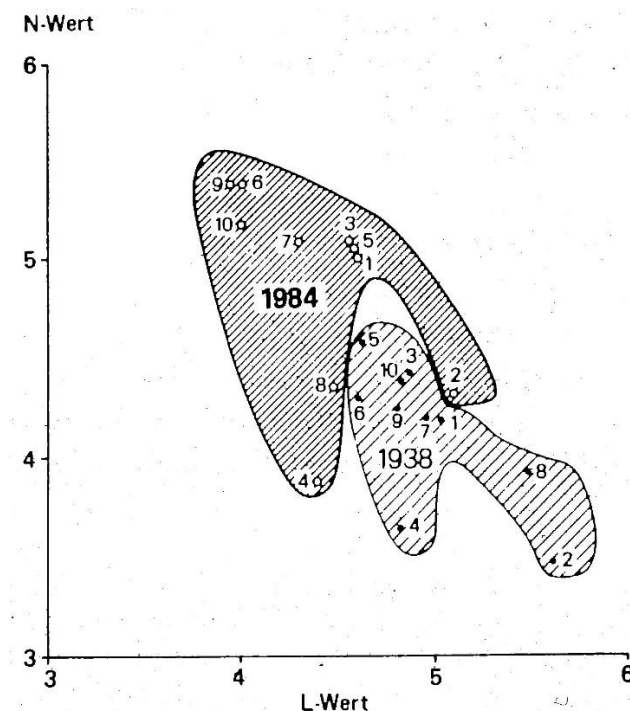
Figuur 4. Relatie tussen opnamegemiddelde voedselindicatie N_m en de mineralisatie van fosfaat in de bovenste 10 cm van de bodem, zowel per kg bodem (links) als per kubieke decimeter bodem (rechts). Bron: Witte et al. (2014), gegevens van Fujita et al. (2013).



Figuur 5. Relatie tussen opnamegemiddelde zuurindicatie R_m en de pH_{KCl} in de bovenste bodemlaag (0-5 cm) van natte bodems (links) en van vochtige tot droge bodems (rechts). Bron: Witte et al. (2014), gegevens Cirkel et al. (2014b).

Op de tweede plaats baseren we ons op het volgende beperkte overzicht van studies waarin indicatiewaarden werden gebruikt om veranderingen op te sporen. Ellenberg *et al.* (1991) lieten zien hoe indicatiewaarden van een bosflora in de loop van de successie in bijna een halve eeuw veranderden (Figuur 6). Recente publicaties zijn die van: Ewald *et al.* (2013) – die de ontwikkeling gedurende meer dan 100 jaar van bossen beschrijven; Fanfarillo *et al.* (2019) – die de verandering in een akkerflora tussen 1964 en 2017 laten zien; Salinitro *et al.* (2019) – die de effecten van klimaatverandering en urbanisatie op de stadsflora gedurende een periode van 120 jaar beschrijven; en ten slotte Matula *et al.* (2020) – die laten zien hoe een bos in de periode 2008-2014 zich ontwikkelde, vooral nadat in 2009 kaalkap plaatsvond.

Op grond van bovenstaande overwegingen is onze hypothese dat de droogte van 2018 zich zal hebben gemanifesteerd in veranderingen in opnamegemiddelde indicatiewaarden van standplaatsfactoren.



Figuur 6. Veranderingen in de opnamegemiddelde indicatiewaarden voor licht (L) en voedselrijkdom (N) van een eiken-berkenbos tussen ca. 1938 en 1984. Bron: Ellenberg *et al.* (1991)

2.2.2 Natuurwaarden

Bij middeling van soorten in een opname tellen de kwetsbare en dus zeldzamere soorten even zwaar als de algemene en vaak robuustere soorten met eenzelfde standplaatsindicatie. Bovendien komt het aantal soorten in een opname niet tot uitdrukking in het gemiddelde. Daarom hebben we ook onderzocht hoe de natuurwaarde die de opname vertegenwoordigt door de droogte is veranderd. Die natuurwaarde wordt vooral bepaald door het aantal zeldzame soorten en de mate van zeldzaamheid van die soorten (Witte, 1996, Witte *et al.*, 2011). Daarom onderzoeken we ook hoe de zeldzame soorten in vegetatieopnamen hebben gereageerd op de droogte. Daarvoor maken we gebruik van de indeling van vaatplanten in zogenaamde kilometerhokfrequentieklassen KFK (Tamis & van 't Zelfde, 2003). Dit is een klassenindeling waarop de zeldzaamheid van soorten is uitgedrukt op een schaal die loopt van 1 (uiterst zeldzaam) tot 9 (zeer algemeen). De schaal is extreem scheef: in het dagelijks leven worden we gedomineerd door soorten met KFK8 en KFK9. Dotterbloem en Echte koekoeksbloem bijvoorbeeld, toch best aardig voor de natuurliefhebber, hebben respectievelijk KFK8 en KFK9, Ronde zonnedauw heeft KFK7.

Per opname zijn de volgende twee variabelen berekend:

D. Aantal zeldzame soorten NZ , waarbij zeldzaamheid is gedefinieerd als $KFK < 8$

E. Som van zeldzaamheidswaarde: $WZ = \sum_{i=1,N} (10 - KFK_i)$

Het laatste getal zegt iets over de natuurwaarde die de opname vertegenwoordigt; het is dit de waarderingsmethode die werd gebruikt in een van de eerste ecohydrologische voorspellingsmodellen, het model WAFLO (alleen toen met zogenaamde uurhokfrequentieklassen UFK's i.p.v. KFK's; Gremmen *et al.* (1990)). Een aantal van 9 zeer algemene soorten in een opname geeft dus dezelfde score als één uiterst zeldzame soort. De berekening is uitgevoerd op basis van zowel de presentie als de bedekking van soorten (kwalitatief en kwantitatief).

Tevens is van iedere opname de natuurwaarde volgens de 'methode Gelderland' (Hertog & Rijken, 1992) berekend met het programma ASTER (Witte *et al.*, 2011):

F. Natuurwaarde methode Gelderland

Deze methode houdt rekening met verschillende factoren, zoals het aantal soorten in een opname en de zeldzaamheid van soorten op nationaal en internationaal niveau. Hij geeft resultaten die, zo bleek in een vergelijkend onderzoek naar waarderingsmethoden, het meest overeenkomen met het oordeel van deskundigen op botanisch gebied (*ibed.*).

2.3 Tijdreeksanalyse

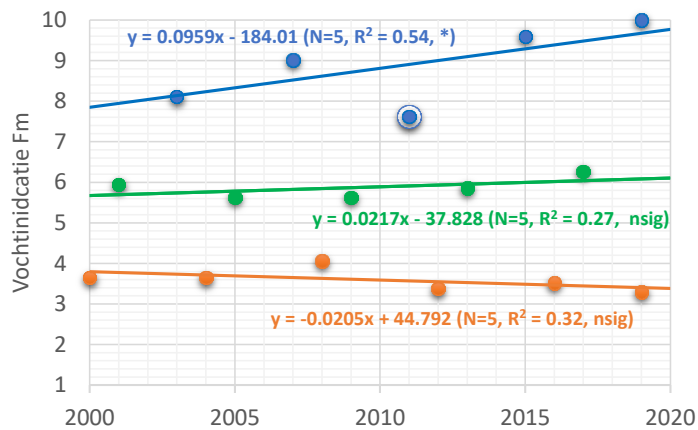
Voor iedere plot zijn tijdreeksen van voornoemde indicatiegetallen gemaakt (kwantitatieve én kwalitatieve methode). Figuur 7 geeft een voorbeeld. Deze reeksen zijn op het droogteportaal te bezichtigen, een digitaal platform waarop de resultaten van het project 'Droogte Zandgronden Nederland' worden geplaatst.

Op de 'meetwaarden' is vervolgens lineaire regressie toegepast. Voor iedere plot zijn berekend (Figuur 7): aantal waarnemingen N , Pearson's R^2 , intercept en hellingshoek van het lineaire verband, en significantie van de hellingshoek:

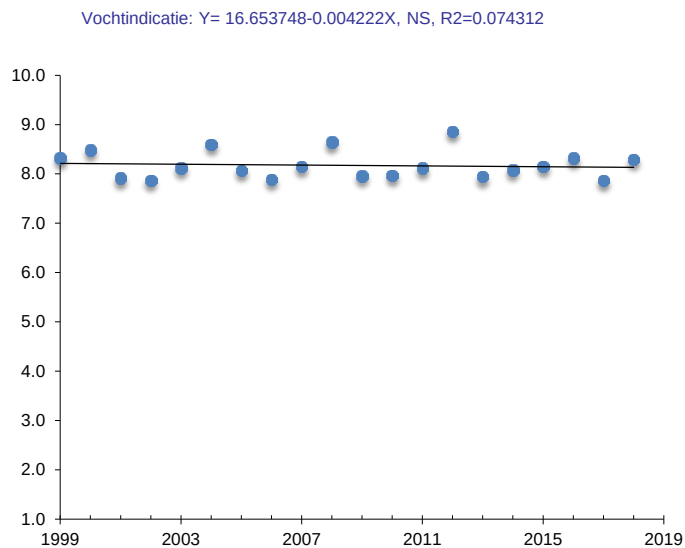
*	=	laag significant ($\alpha = 0.10$),
**	=	matig significant ($\alpha = 0.05$),
***	=	significant ($\alpha = 0.01$).

Voorts is van iedere waarnemingen met een z-toets berekend of hij veel ($z > 1.5$) afwijkt van de regressielijn: $z = (\text{waarneming} - \text{regressiewaarde}) / RMSE$. De regressielijn is overigens mede bepaald op basis van eventueel afwijkende waarnemingen. Zouden we ook willen weten of een waarneming statistisch significant afwijkt, dan zouden we de regressie moeten overdoen zonder die uitschieter en vervolgens de significantie van de afwijking bepalen. Eventueel kan vervolgens ook een nieuwe, tweede uitbijter worden gedetecteerd, passend bij de nieuwe regressielijn. Deze iteratieve procedure hebben we niet uitgevoerd, we houden het signaleren van uitbijters, zonder daar een statistische toets aan te verbinden.

Op eenzelfde wijze zijn tijdreeksen per IPI gemaakt, waarvan Figuur 8 een voorbeeld geeft. In de resultaten per IPI is vaak een periodiciteit te herkennen, die te maken heeft met systematische verschillen in de selectie van plots die om de vier jaar worden opgenomen. In Figuur 8 is dit verschijnsel duidelijk waarneembaar. Bij de regressie zou met deze periodiciteit rekening kunnen worden gehouden (Box-Jenkins model), maar daar zijn wij in dit onderzoek niet aan toe gekomen. Als plotresultaten worden geaggregeerd, zoals tot indicatiewaarden of zeer grote ruimtelijke eenheden, wordt dit inventarisatie-effect weggemiddeld. Vanwege het inventarisatie-effect is besloten de resultaten niet per IPI te presenteren.



Figuur 7. Tijdreeksen van opnamegemiddelde vochtindicatie F_m van drie plots (kwalitatieve methode). Significatieniveau van de hellingshoek is tussen haakjes weergegeven; één waarneming (blauw, 2011) is omcirkeld omdat die veel afwijkt van de trendlijn (die overigens gebaseerd is op alle waarnemingen, dus inclusief de uitbijter).



Figuur 8. Tijdreeksen van opnamegemiddelde vochtindicatie F_m van een IPI. Ieder punt geeft de gemiddelde waarden van F_m in het betreffende jaar aan.

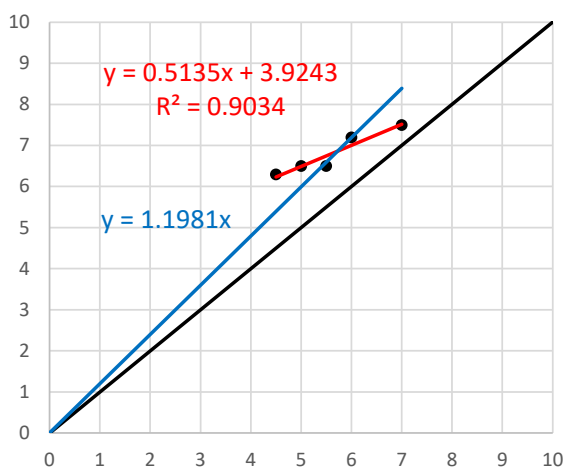
3 Resultaten

3.1 Gemiddelde standplaatsindicaties van alle opnamen

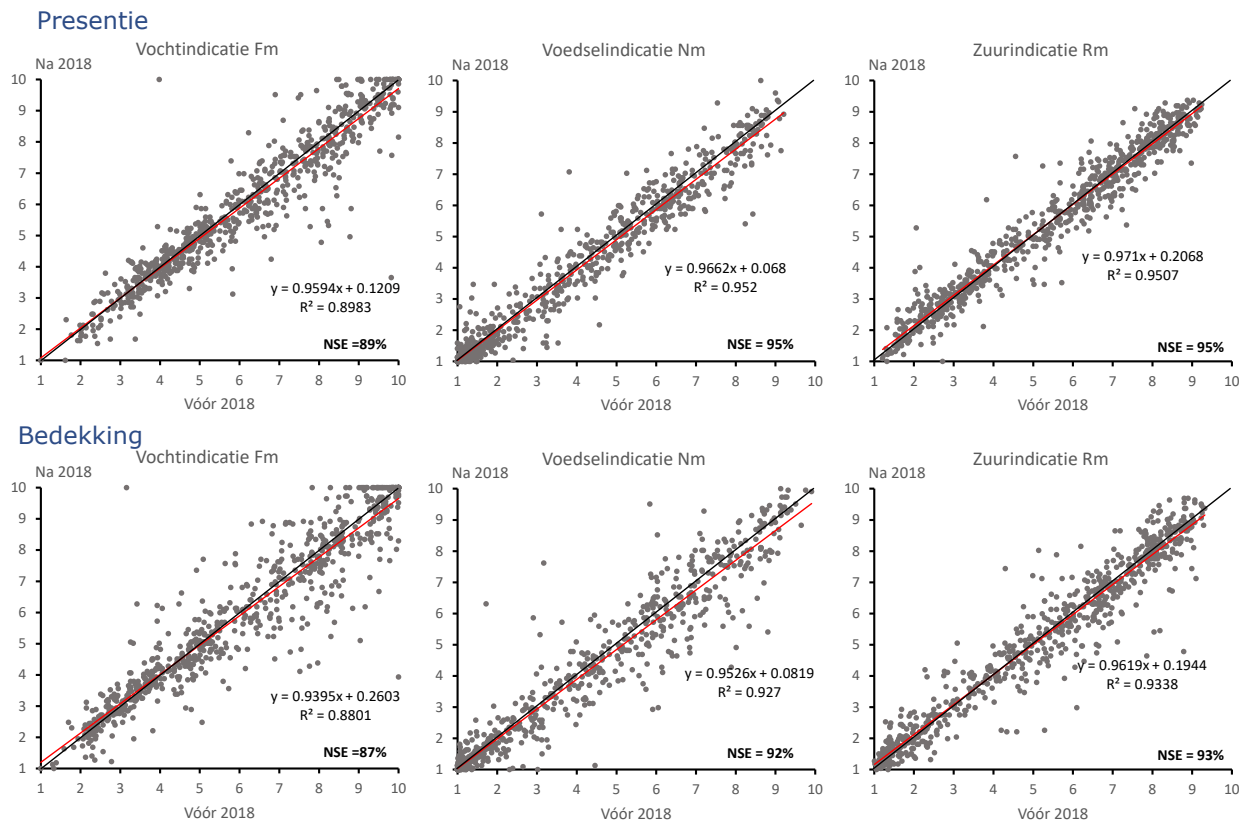
Als eerste analyse zijn de gemiddelde indicatiegetallen van vóór 2018 vergeleken met die van 2019 (en in een aantal gevallen van 2020, als de opname dat jaar beschikbaar is). Opnamen uit 2018 laten we dus, om de in § 2.1 genoemde redenen, buiten beschouwing. De berekening van vóór 2018 is een gemiddelde van de jaren waarin de plot is opgenomen. Alle in § 2.1 genoemde 733 plots die zowel vóór als ná 2018 zijn opgenomen, worden gebruikt in deze analyse.

In Figuur 10 zijn de resultaten van deze vergelijking weergegeven voor zowel de kwalitatieve als de kwantitatieve methode. De rode lijn in de grafieken is het resultaat van lineaire regressie (met R^2 de verklaarde variantie), de zwarte lijn geeft het 1:1-verband aan, dus het verband als er geen verandering in indicatiewaarde zou zijn opgetreden (met NSE de Nash-Sutcliffe efficiency, die aangeeft in hoeverre de waarden ná 2018 worden beschreven door de 1:1-lijn). De kwantitatieve methode (bedekkingsgewogen gemiddelden) resulteert in meer spreiding in de puntenwolk, wat logisch is omdat de bedekking van soorten moeilijk te schatten is en afhankelijk is van het weer en de fenologische toestand waarin de vegetatie tijdens de opname verkeert. Een paar uitbijters in de grafieken zouden te maken kunnen hebben met een fout, bijvoorbeeld in de determinatie van een soort in een soortenarme opname, maar ook kan het om zeer soortenarme opnamen gaan waarin het uitvallen of verschijnen van één enkele soort al grote gevolgen heeft voor de opnamegemiddelde indicatiewaarde; voor de conclusies hebben deze paar punten geen gevolgen.

Op basis van de kwalitatieve berekeningen (Figuur 10, boven) concluderen we dat de hellingshoek β van een lineair regressiemodel door de oorsprong ($y = \beta x$, dus anders de rode regressielijn $y = \alpha + \beta x$ in Figuur 9; zie Figuur 9) voor vochtindicatie F_m zeer significant afwijkt van de waarde 1.0: $\beta = 0.976$, met een standaardfout van 0.005.



Figuur 9. In dit rapport gepresenteerde grafische weergave van veranderingen: de zwarte lijn is het 1:1-verband, de rode het lineaire verband door de waarnemingen met een zwevende asafsnede, de blauwe lijn het lineaire verband door de punten met een snijpunt door de oorsprong. De blauwe lijn is in Figuur 10 niet getoond, omdat daarvoor de ruimte te beperkt wordt geacht.



Figuur 10. Naar presentie (boven: kwalitatief) en naar bedekking (onder: kwantitatief) gewogen opnamegemiddelde indicatiewaarden van de plots vóór en ná 2018.

Voor de mate van significantie gebruiken we de volgende grenswaarden:

*	=	significant ($\alpha = 0.05$),
**	=	zeer significant ($\alpha = 0.01$),
***	=	zeer significant ($\alpha = 0.001$).

Dat zijn dus strengere significantieniveaus dan we hanteerden bij de tijdreeksen per plot (§ 2.3). De reden is dat we bij die tijdreeksen te weinig waarnemingen hebben om strengere eisen te kunnen stellen.

In booggraden uitgedrukt (waarbij de 1:1-lijn een hoek van 45° heeft), is de hellingshoek met 0.7° voor de vochtindicatie *Fm* zeer significant gedaald (***; de vegetatie indiceert drogere omstandigheden). Bij de voedselindicatie *Nm* daalt de hellingshoek met 1.3° *** (voedselarmer) en bij de zuurindicatie *Rm* stijgt hij met 0.1° ^{nsig} (minder zuur), maar die stijging is niet significant. De kwantitatieve berekening (Figuur 10, onder) leidt niet tot wezenlijk andere resultaten: op basis van naar bedekking gewogen gemiddelden daalt de hellingshoek bij *Fm* ook met 0.7° ***, daalt hij bij *Nm* iets meer (1.0° ***) en daalt *Rm* dit keer licht maar is deze verandering weer niet significant (-0.2° ^{nsig}).

De gemiddelde veranderingen in standplaatsindicaties is een makkelijker te begrijpen maat voor de verschillen. Via een gepaarde t-toets onderzochten we hoe significant die veranderingen zijn. Op basis van de kwalitatieve berekening vinden we dan: *Fm* -2.1% ***, *Nm* -1.7% ***, *Rm* 0.9% **. Dit keer dus wel een significante verandering van de zuurindicatie, zij het niet op het hoogste significantieniveau. In de kwantitatieve berekening worden de percentages respectievelijk: -1.8% ***, -2.7% *** en -0.1% ^{nsig}; de verandering in zuurindicatie, dit keer een daling, is dan dus niet significant.

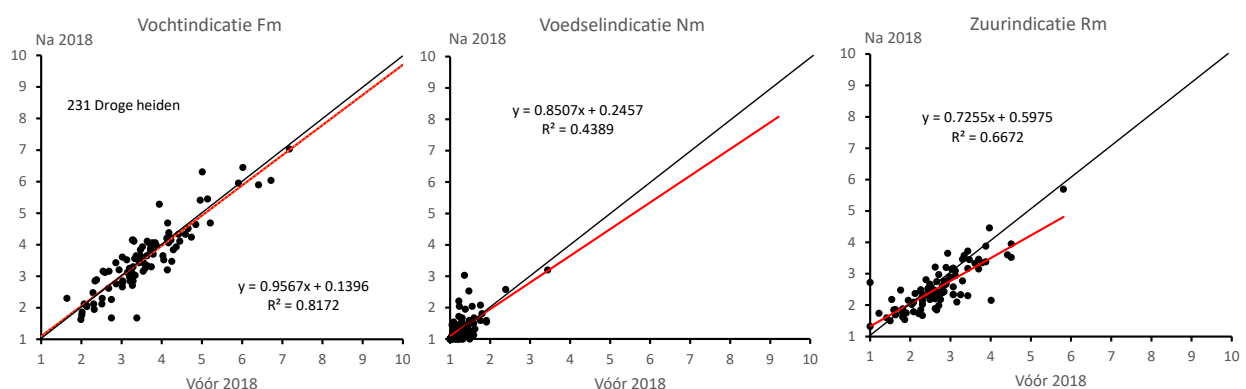
In de discussie (Hoofdstuk 4) vatten we alle veranderingen samen in een overzichtstabel. We zullen daar ook ingaan op de vraag of de geconstateerde veranderingen reëel zijn of mogelijk, in ieder geval ten dele, een gevolg van de berekeningssystematiek.

Hoewel vaak significant, zijn de percentages (van zowel de kwalitatieve als kwantitatieve berekening) meestal laag te noemen, wat betekent dat het signaal van het droge jaar 2018 in deze opnamegemiddelde standplaatsindicaties gering is.

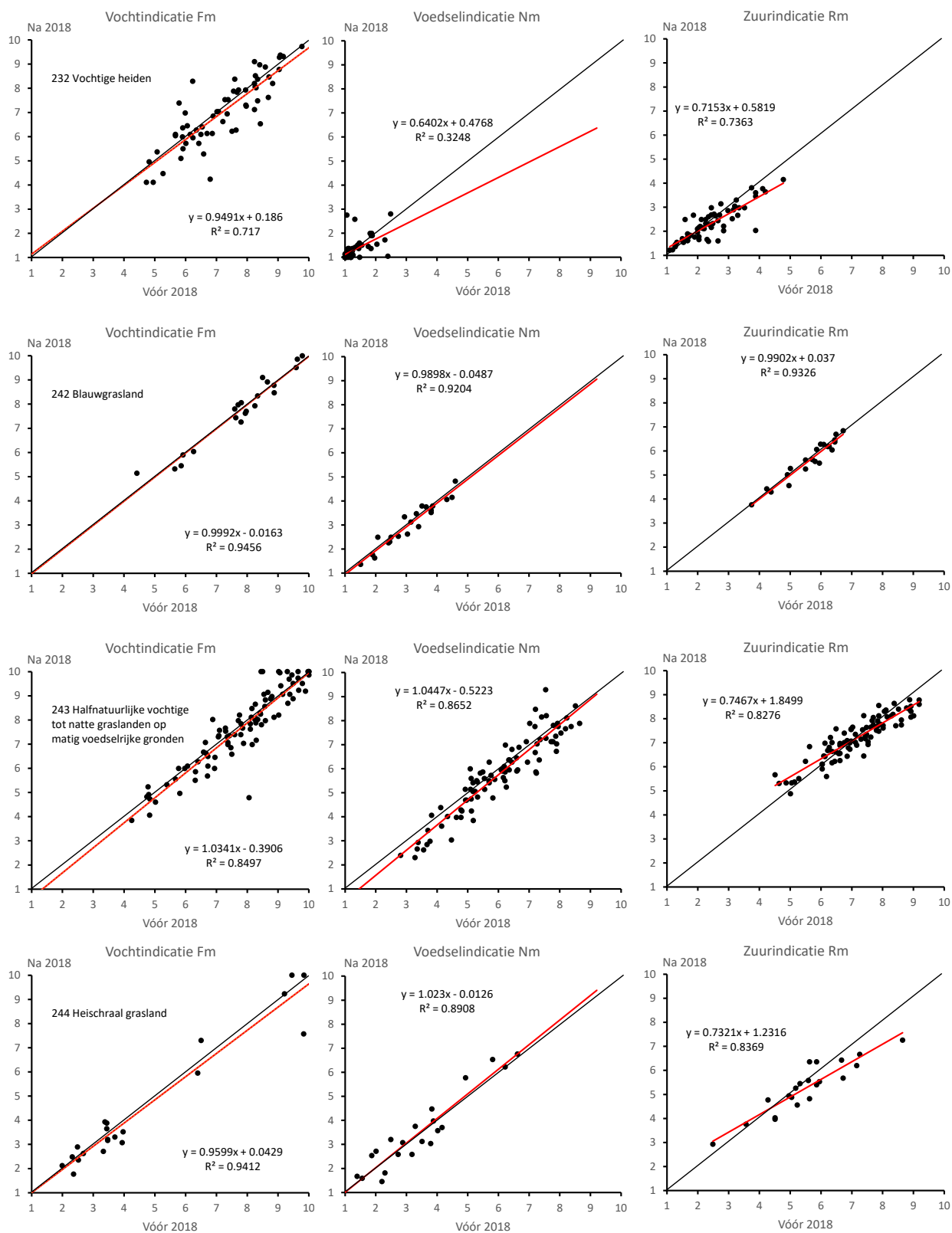
3.2 Gemiddelde standplaatsindicaties van enkele IPI's

In onze enquête onder terreinbeheerders naar de gevolgen van de droogte (Witte *et al.*, 2020) werden door de respondenten natuurtypen genoemd die het sterkst hadden gereageerd op het droge jaar 2018. In Figuur 11 zijn enkele IPI's die sterk overeenkomen met deze natuurtypen en waarvan ten minste vier plots bestaan, apart weergegeven voor de op presentie gebaseerde grootheden Vochtindicatie F_m , Voedselrijkdomindicatie N_m en Zuurindicatie R_m . Ook met deze selectie lijkt er in deze opnamegemiddelde indicatiewaarden vochtindicatie geen duidelijk signaal van de droogte waarneembaar, met als uitzondering IPI 263 Riet en biesenlanden, waarin een duidelijke afname van F_m waarneembaar is. Opvallend bij deze IPI is dat de afname groter is naarmate de vochtindicatie lager is; op basis hiervan werpen we de hypothese op dat vooral de Riet- en biesenlanden die al geen optimale waterhuishouding hadden ($F_m < 9$), door de droogte zijn aangetast.

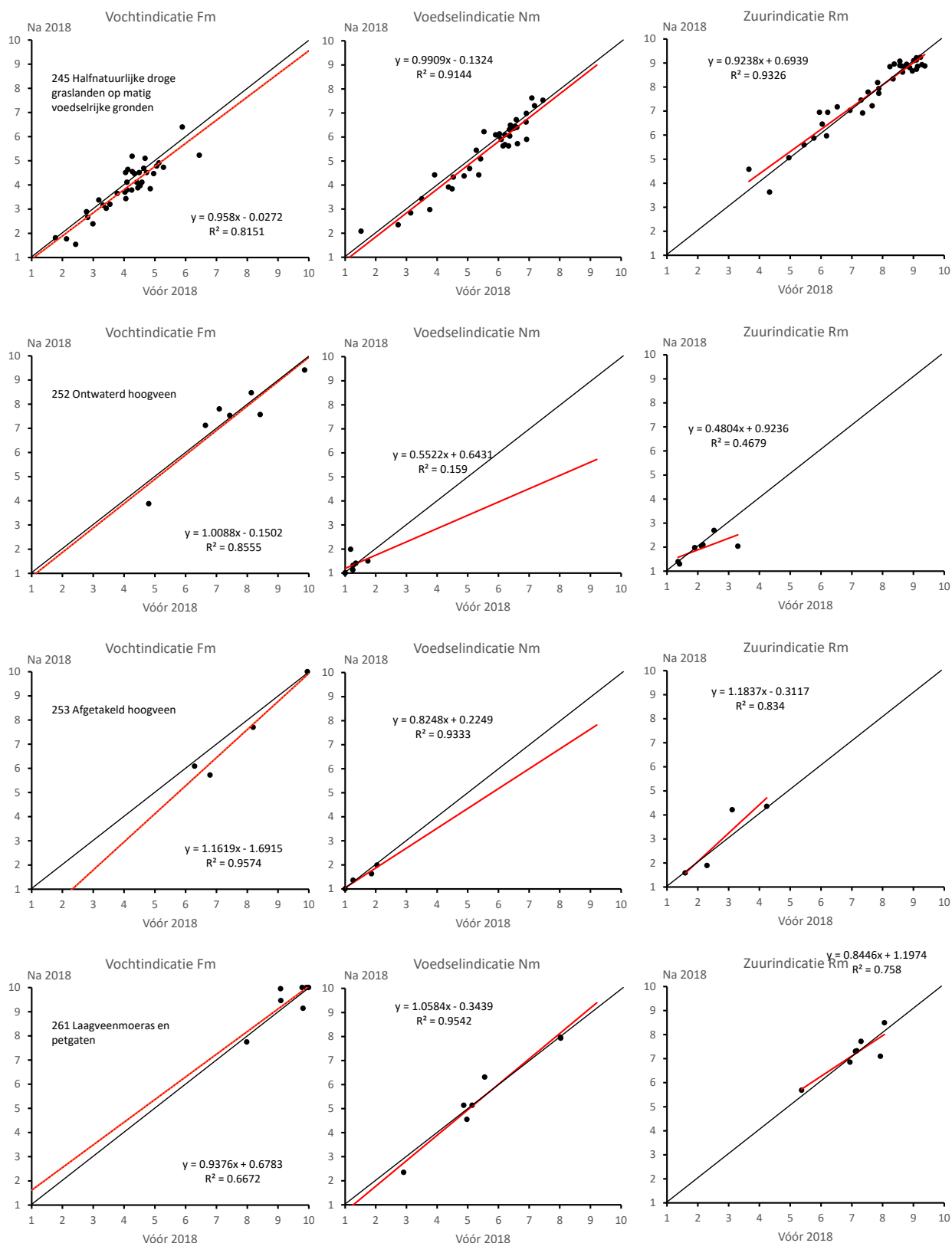
Tevens lijkt er verzuring waarneembaar in Droge en Vochtige hei (IPI 231 en 232), in de basische plots ($R_m > 7$) van Halfnatuurlijke graslanden op natte tot vochtige matig voedselrijke bodem (243), in Heischraalgrasland (244) en in de basische plots ($R_m > 7$) van Riet en biesenland (263). Bij IPI 231, 232 en 243 is er mogelijk sprake van een artefact, althans ten dele, dat samenhangt met de afname van N_m . We komen daar in de discussie op terug (§ 4.4). De verzuring van 244 en 263 lijkt echter reëel, omdat N_m van deze IPI's niet is veranderd. Opvallend bij IPI 243 en, in mindere mate 263, is dat de verzuring vooral optreedt in het basische traject ($R_m > 7$), terwijl het meer zure traject ($R_m < 7$) juist basischer lijkt te worden. Ook dat kan mede door een verandering in N_m zijn veroorzaakt.



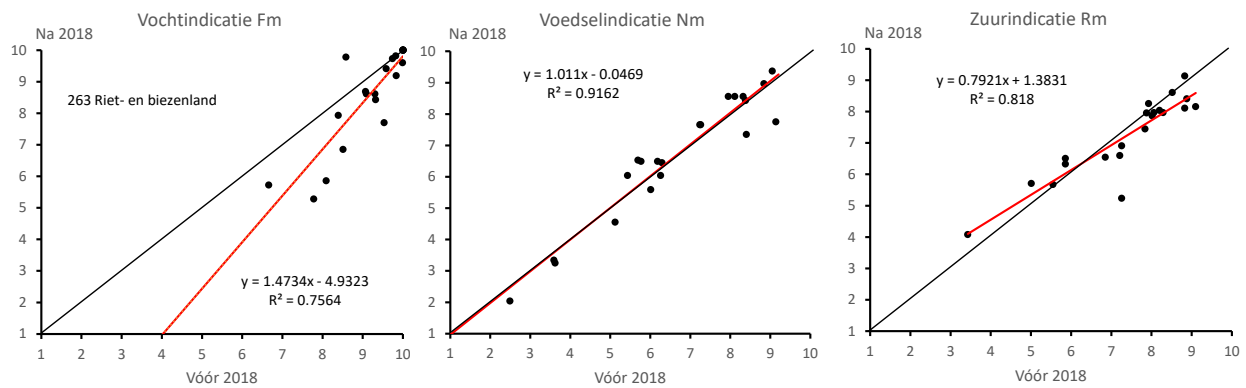
Figuur 11. Als Figuur 10 (boven: presentie), maar nu uitgesplitst naar een aantal IPI's en met aandeel Voedselarme soorten (i.p.v. matig/zeer voedselrijk).



Figuur 11, vervolg.



Figuur 11, vervolg.



Figuur 11, vervolg.

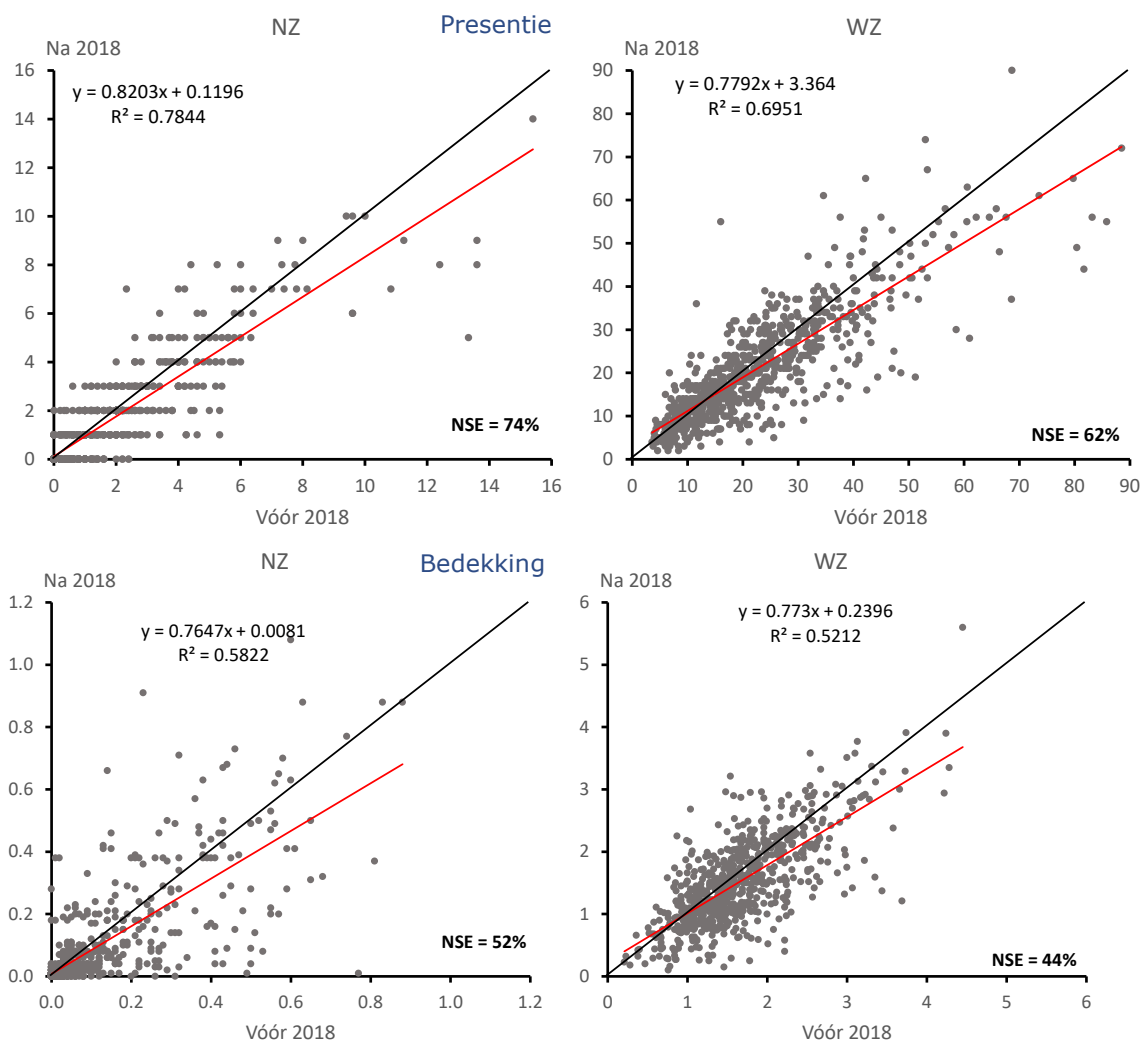
De door de vegetatie geïndiceerde verzuring lijkt in ieder geval gedeeltelijk reëel en in lijn met het onderzoek van Aggenbach (2021) aan de veranderingen in de basenverzadiging van de bodem tussen 2009 en 2020 van de blauwgraslandreservaten Punthuizen, Stroothuizen en Lemselermaten. Deze onderzoeker schrijft de zuurvorming toe aan sulfidenoxidatie in combinatie met verdroging (e-mail wisseling 14 januari 2021). Martin de Haan (Brabant Water) en Gijsbert Cirkel (KWR) menen in hun veldonderzoek dezelfde verzuringverschijnselen waar te nemen (*ibed.*) en laatstgenoemde heeft het over een zuurbom (sulfiden) die bij droogte kan afgaan (zie in dit verband ook Cirkel *et al.* (2014a)).

3.3 Natuurwaarden

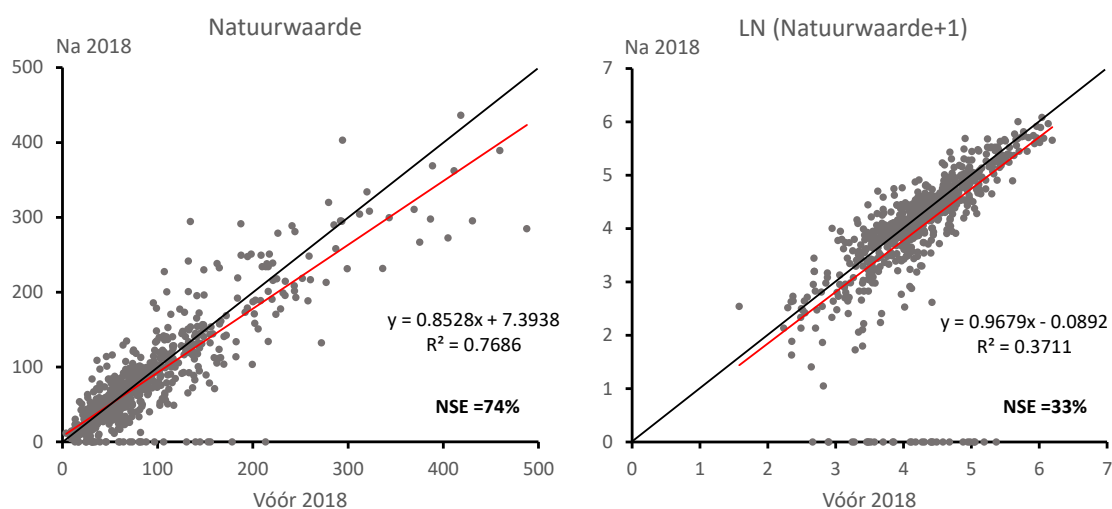
Zoals in § 2.2.2 aangekondigd, onderzoeken we ook hoe de natuurwaarde die de opname vertegenwoordigt door de droogte is veranderd. Immers, bij middeling van soorten in een opname tellen de kwetsbare en dus zeldzamere soorten even zwaar als de algemene en vaak robuustere soorten en bovendien komt de soortenrijkdom in een opname niet tot uitdrukking in het gemiddelde.

In Figuur 12 zijn zowel het aantal zeldzame soorten *NZ* als de zeldzaamheidswaarde van de opname *WZ* vóór en ná 2018 zijn weergegeven, twee indicaties van de natuurwaarde. De bovenste figuur is zonder, de onderste mét weging naar de bedekking der soorten. In alle vier de grafieken blijkt dat er in 2019 sprake is van een zeer significante afname in zeldzaamheid ten opzichte van de vorige jaren: de afname op basis van presentie bedraagt 11% voor het aantal zeldzame soorten *NZ* en 15% voor de zeldzaamheidswaarde *WZ*. Bij weging naar bedekking bedragen de percentages respectievelijk 7 en 8. De natuurwaarde van de opname, die mede wordt bepaald door de zeldzaamheid van de soorten en de soortenrijkdom van een opname, is afgenomen met 6% (Figuur 13). Een aantal van 31 opnamen valt terug tot een waarde 0. Alle hier genoemde veranderingen zijn zeer significant (***).

De natuurwaardeverandering van IPI's die volgens terreinbeheerders het sterkst hebben gereageerd op de droogte van 2018 is weergegeven in Figuur 14 (alleen IPI's met ten minste 4 plots; 251 Levend hoogveen, bijvoorbeeld, wordt daarom niet getoond). De resultaten bevestigen de conclusies uit de enquête, die in Tabel 3 zijn samengevat (tussen haakjes code verwante IPI): de vegetatie van N06.01 Veenmosrietland en moerasheide (231), N06.02 Trilveen (243, 261, 263), N06.04 Vochtige heide (232), N07.01 Droge heide (231), N10.01 Nat schraalland (242) zou volgens de respondenten sterk zijn aangetast door het droge jaar 2018. De door de respondenten genoemde vooruitgang van de vegetatie van N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland en N12.03 Glanshaverhooiland (245) zien we echter niet in de LMF-resultaten terug.



Figuur 12. Aantal zeldzame soorten NZ en zeldzaamheidswaarde WZ van de plots vóór en ná 2018, gebaseerd op presentie (boven) en op bedekking (onder).

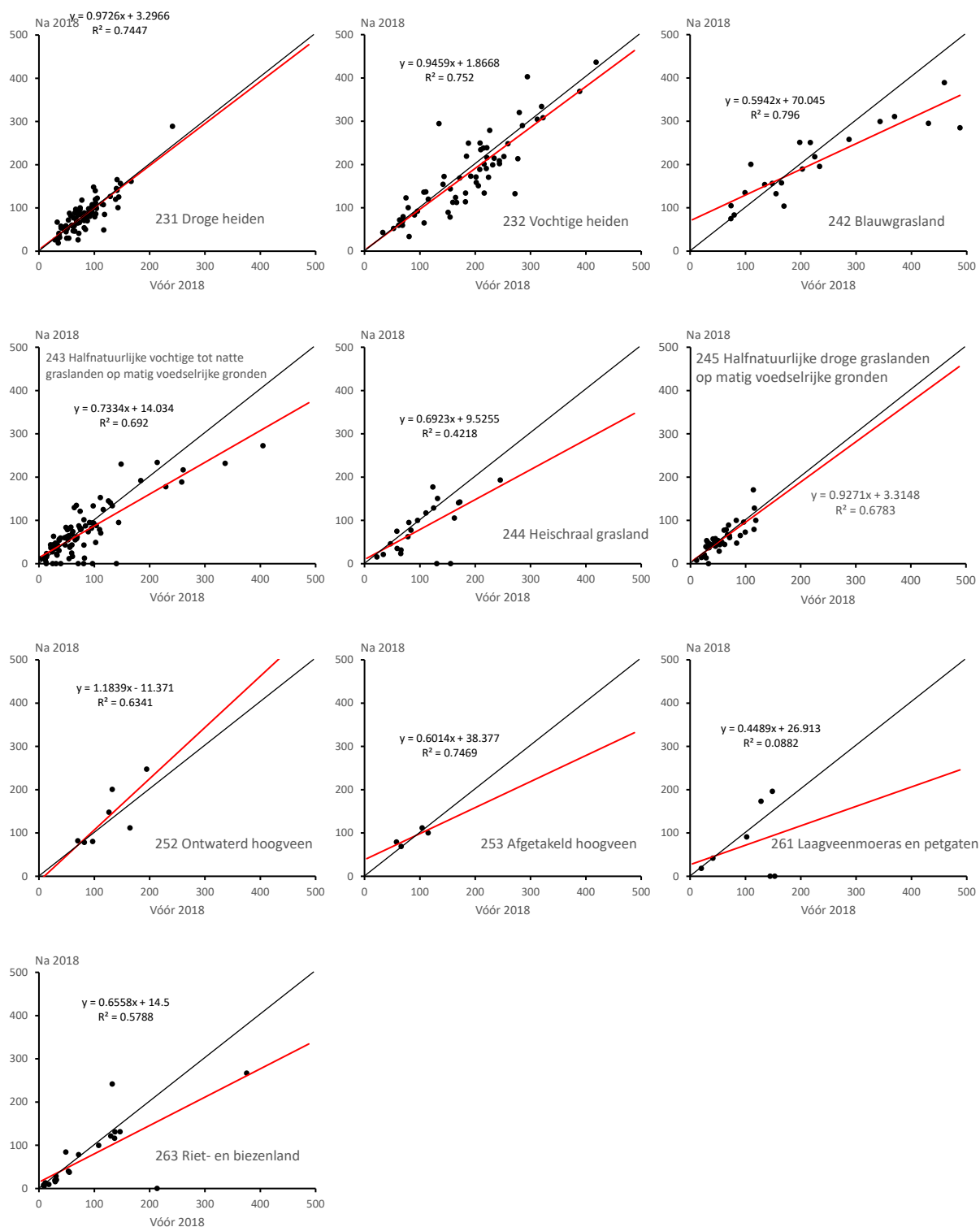


Figuur 13. Natuurwaarde methode Gelderland van de plots vóór en ná 2018.

Tabel 3. Samenvatting effecten droge jaren 2018 en 2019 op natuurtypen. Bron: Witte et al. (2020).

	Vegetatie	Fauna				
N03.01 Beek en bron	↓	↓				
N05.01 Moeras	→	→				
N06.01 Veenmosrietland en moerasheide	↓	→				
N06.02 Trilveen	↓	→				
N06.03 Hoogveen	↓	↓				
N06.04 Vochtige heide	→	↓				
N06.05 Zwakgebufferd ven	→	↓				
N06.06 Zuur ven of hoogveenven	→	↓				
N07.01 Droge heide	→	→				
N07.02 Zandverstuiving	↑	→				
N10.01 Nat schraalland	→	→				
N10.02 Vochtig hooiland	→	→				
N11.01 Droog schraalland	↑	↑				
N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland	↑	↑				
N12.03 Glanshaverhooiland	↑	↑				
N12.05 Kruiden- en faunarijke akker	↑	↑				
N13.01 Vochtig weidevogelgrasland	↑	→				
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	→	↑				
N14.02 Hoog- en laagveenbos	↓	→				
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	→	↑				
N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos	↓	↑				
N16.03 Droog bos met productie	→	↑				
N16.04 Vochtig bos met productie	→	→				
N17.01 Vochtig hakhout en middenbos	→	→				
N17.03 Park- en stinzenbos	↑	↑				

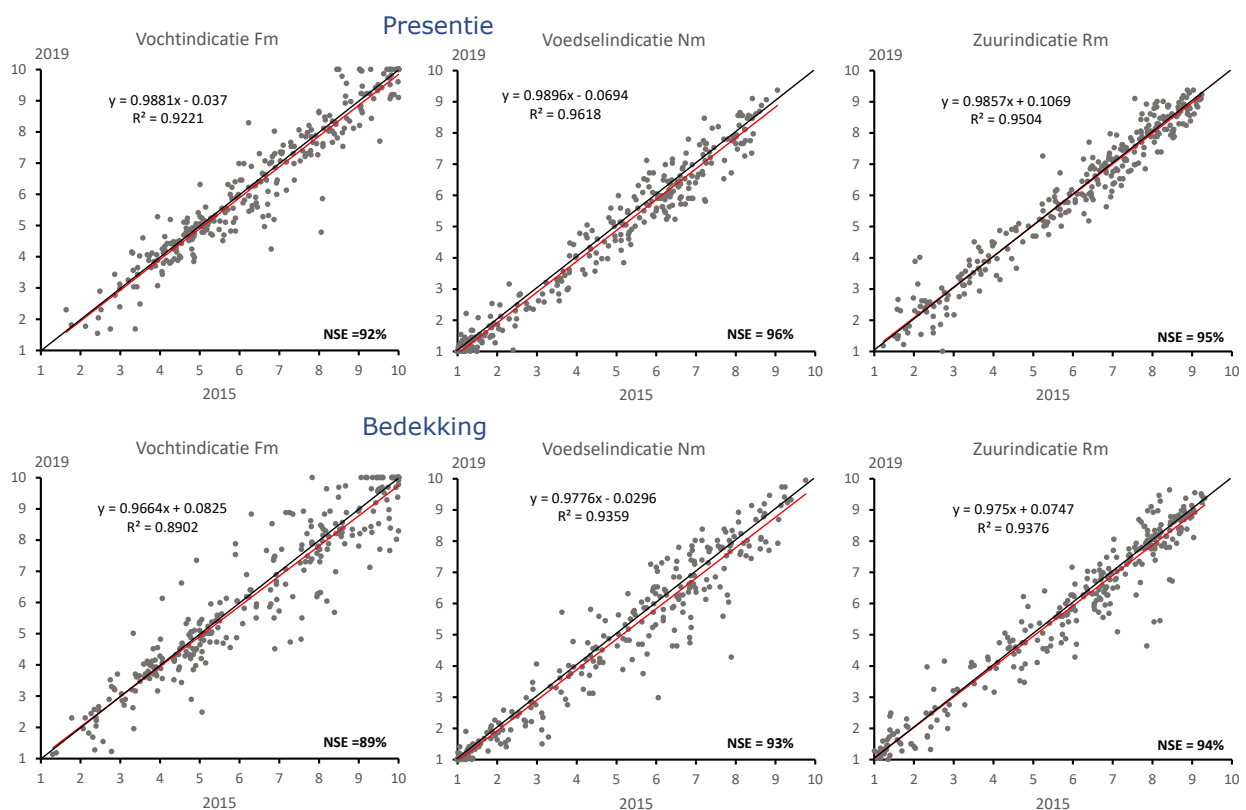
		Schade		
		klein	matig	groot
Herstel	klein	↓	↓	↓
	matig	→	→	→
	groot	↑	↑	↑



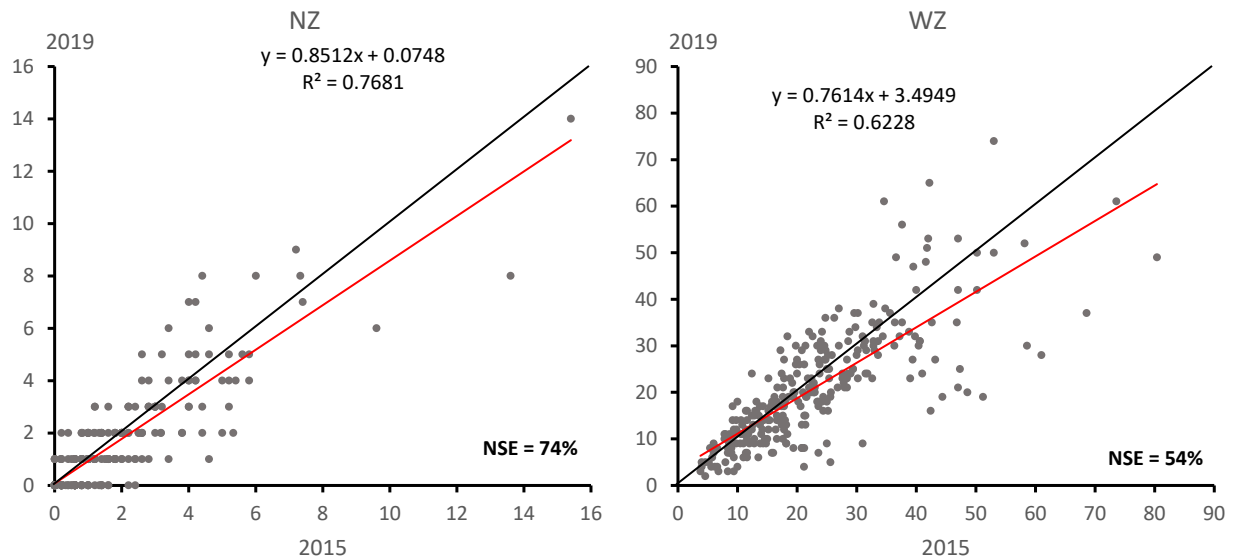
Figuur 14. Als Figuur 13, maar nu uitgesplitst naar een aantal IPI's.

3.4 Gemiddelde indicatiewaarden in 2015 en 2019

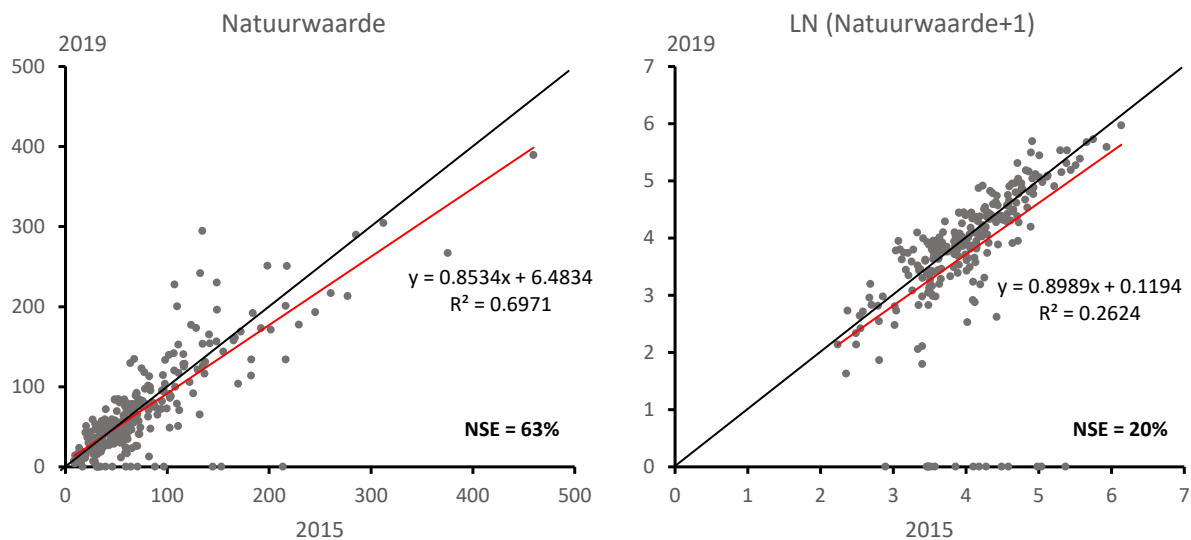
De analyses in de vorige paragrafen hebben als bezwaar dat iedere plot een eigen verzameling opnamen van vóór 2018 kent, wat tot artefacten kan leiden. We wijzen in dit verband naar de eerder geconstateerde periodiciteit in de tijdreeksen per IPI (Figuur 8). Een ander nadeel is dat ook opnamen van zeer lang geleden, zelfs van 1999, meewegen in de berekening van de gemiddelde indicaties vóór 2018, terwijl over een lange tijdsperiode milieumomstandigheden aanzienlijk kunnen zijn veranderd, bijvoorbeeld ten gevolge van natuurherstelmaatregelen en atmosferische depositie. Daarom hebben we de analyse overgedaan met de 289 plots die zowel in 2015 als in 2019 zijn opgenomen. Enkele resultaten (alleen presenties/kwalitatief) zijn opgenomen in Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17. Deze leiden nauwelijks tot andere inzichten: zo daalt de gemiddelde vochtindicatie met 1.8%*** in plaats van 2.1%*** en de natuurwaarde volgens de methode Gelderland met 5.9%* in plaats van 6.3%***. De resultaten van alle berekeningen worden samengevat in het laatste hoofdstuk.



Figuur 15. Naar presentie (boven) en bedekking (onder) gewogen gemiddelde indicatiewaarden van de plots in 2015 en 2019.



Figuur 16. Aantal zeldzame soorten NZ en zeldzaamheidswaarde WZ van de plots in 2015 en 2019, gebaseerd op presentie.



Figuur 17. Natuurwaarde (methode Gelderland) van de plots in 2015 en 2019.

3.5 Analyse op het niveau van individuele soorten

3.5.1 Selectie van plots

Hoewel het LMF daar niet voor is bedoeld onderzoeken we ook, zoals in § 2.1 aangekondigd, of de droogte van 2018 te zien is in de aanwezigheid en bedekking van plantensoorten, ook de zeldzame. We beoordelen dan niet zozeer de verandering van iedere soort apart, als wel de verandering van groepen van soorten. Op het niveau van soortengroepen zijn de resultaten minder van het toeval afhankelijk.

Als een soort eenmaal in een plot in enig jaar is aangetroffen, telt hij mee voor alle jaren (opnamen) binnen die plot. Dat meetellen kan zijn: soort is dat jaar aanwezig, of soort is in dat jaar niet aanwezig. Dit is een ander soort afwezigheid als wanneer een soort nooit in een plot is aangetroffen; in dat geval wordt die soort voor de betreffende plot buiten beschouwing gelaten. Omdat het aantreffen van een soort sterk afhankelijk is van de selectie van plots tijdens een inventarisatiejaar, en dat geldt vooral voor de zeldzame soorten, beperken we de analyse tot de jaren 2015 en 2019 en plots die in beide jaren zijn opgenomen. Omdat we daarmee veel soorten

verliezen, nemen we dit keer alle IPI's mee in de analyse. Dat leidt tot een selectie van 410 plots en 640 taxa.

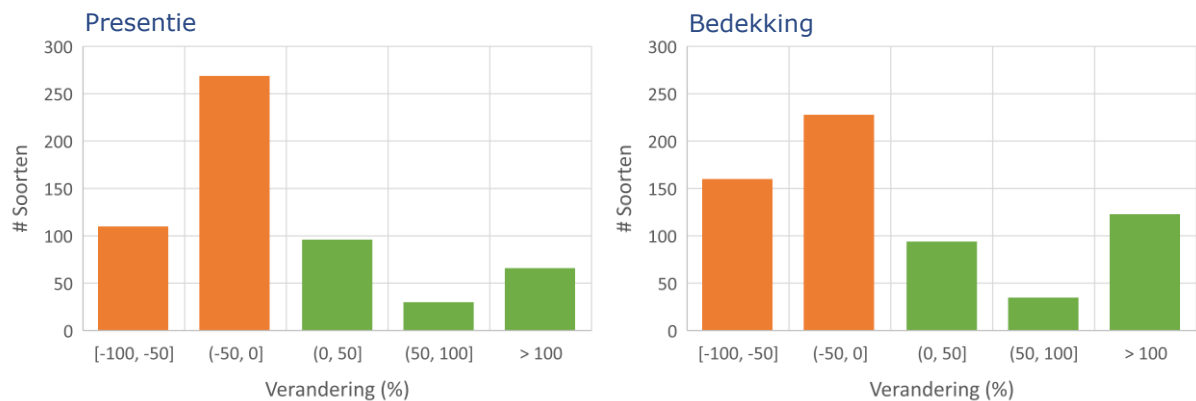
3.5.2 Verandering in relatie tot de zeldzaamheid van soorten

Tabel 4 geeft voor de 10 algemeenste kruiden en grassen aan hoe vaak die in 2015 en in 2019 zijn aangetroffen, alsmede de van deze aantallen afgeleide procentuele verandering. Van de 640 soorten blijken er 219 te zijn vooruit gegaan, 292 achteruit en 129 in presentie gelijk te zijn gebleven. Op basis van de bedekking zijn deze cijfers respectievelijk 225, 50 en 338. De achteruitgang in 2019 (46-53% van de soorten) was dus groter dan de vooruitgang (34-35%).

Kijken we alleen naar soorten die in beide jaren samen ten minste vier keer zijn aangetroffen, dan zien we een duidelijke verschuiving naar een lagere soortenrijkdom in 2019 (Figuur 18).

Tabel 4. Aantal keer dat een soort is aangetroffen in 2015 en 2019 en de daaruit berekende procentuele verandering in 2019 ten opzichte 2015 (10 algemeenste soorten).

	2015	2019	%
18 Fioringras	83	65	-22
66 Gewoon reukgras	72	74	3
419 Brede stekelvaren	82	83	1
631 Gestreepte witbol	122	127	4
680 Pitrus	107	83	-22
784 Grote wederik	71	78	10
832 Pijpenstrootje	105	115	10
933 Riet	78	77	-1
946 Smalle weegbree	69	75	9
959 Ruw beemdgras	91	70	-23



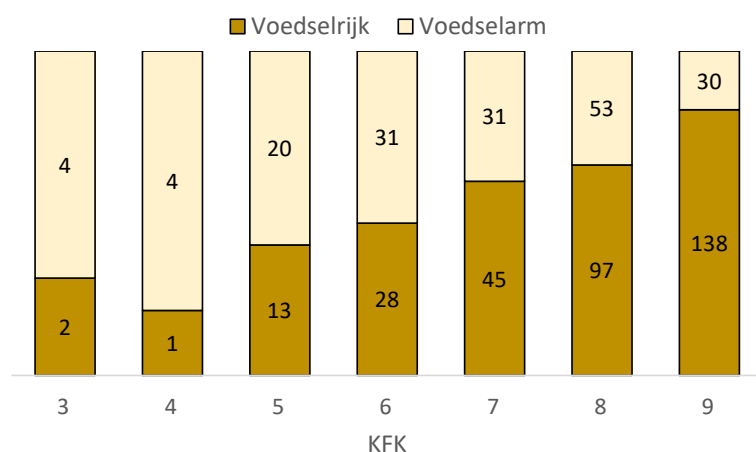
Figuur 18. Verandering tussen 2019 en 2015 in de presentie (links) en de bedekking (rechts) van soorten (alleen soorten die minimaal 4 keer zijn aangetroffen in beide jaren samen).

In tegenstelling tot onze verwachting, is de afname niet sterker naarmate de soorten zeldzamer zijn (Figuur 19). Wel is de afname én de toename over alle zeldzaamheidsklassen groter wanneer de bedekking van de soorten wordt meegewogen (vergelijk Figuur 19 onder met Figuur 19 boven). Dat is logisch omdat voor de klasse 'gelijk' de bedekking van een soort onveranderd moet zijn gebleven, wat alleen al door toevallige factoren niet gauw zal gebeuren.

Soorten van voedselrijke bodems zijn vaak algemener dan soorten van voedselarme bodems (Figuur 20). Hieruit volgt dat soorten die het meest in absolute aantal en absolute bedekking zijn achteruitgegaan, de algemene soorten van voedselrijke bodems zijn.



Figuur 19. Aantal soorten dat van 2015 naar 2019 toeneemt, gelijk blijft en afneemt, uitgesplitst naar zeldzaamheidsklasse KFK (hoe hoger de KFK, des te algemener; soorten met KFK1 en KFK2 ontbraken). Verandering zowel gebaseerd op presentie (boven) als bedekking (onder). Voorbeeld: van de 168 soorten die in KFK9 vallen, zijn er op basis van hun presentie 94 achteruit gegaan, 11 gelijk gebleven en 63 vooruit gegaan.



Figuur 20. Verdeling van soorten van matig voedselrijke en zeer voedselrijke bodems en van voedselarme bodems over de zeldzaamheidsklassen KFK (hoe hoger de KFK, des te algemener; soorten met KFK1 en KFK2 ontbraken).). Voorbeeld: van de 168 soorten die in KFK9 vallen, zijn er op 138 kenmerkend voor voedselrijke bodems en 30 voor voedselarme bodems.

3.5.3 Veranderingen in twee ecosystemen

We hebben tevens, bij wijze van illustratie, de verandering onderzocht van soorten die kenmerkend zijn voor twee soorten milieus: een kenmerkend voor een volledige afhankelijkheid van neerslagwater, en een kenmerkend voor kwelmilieus. Voor toekenning van soorten aan die typen hebben we gebruik gemaakt van de indeling van soorten in ecologische groepen door Runhaar *et al.* (2004). In Tabel 5 staan de soorten die kenmerkend zijn voor natte tot vochtige heiden, hoogvenen en zure vennen, vegetaties die volledig afhankelijk zijn van neerslagwater (natuurtypen N06.03, N06.04, N06.6; soorten waarvan ten minste een van twee ecologische groepen EG eindigen op 21 of 41). Op basis van presentie, zijn van de 21 kenmerkende soorten er 12 achteruitgegaan, 7 gelijk gebleven en 2 vooruitgegaan. Op basis van de bedekking zijn deze aantallen respectievelijk 12, 2 en 7.

Hetzelfde is weergegeven in voor soorten van blauwgraslanden en trilvenen (N06.02, N10.01; soorten waarvan ten minste een van twee ecologische groepen EG eindigt op 22), die vaak afhankelijk zijn van basenrijk grondwater (Tabel 6): 12 achteruit, 7 gelijk en 9 vooruit op basis van presentie; op basis van bedekking zijn de aantallen respectievelijk 18, 2 en 8.

Deze twee voorbeelden ondersteunen de observaties van beheerders, die "grote schade" aangaven "aan de vegetatie en de fauna van natuurtypen die kenmerkend zijn voor natte en vochtige voedselarme standplaatsen die voor hun watervoorziening vrijwel of geheel afhankelijk zijn van neerslagwater" en "Matige schade tot grote schade" aan "natte typen die mede gevoed worden grond- en/of oppervlaktewater" (Witte *et al.*, 2020, p. 22).

Tabel 5. Verandering in de presentie en bedekking van soorten, kenmerkend voor natte en vochtige, voedselarme en zure bodems (hoogvenen, natte heiden, zure vennen). Voor de codes van de ecologische groepen (EG1 en EG2), zie: Runhaar et al. (2004).

	Presentie			Bedekking			EG1	EG2
	2015	2019	%	2015	2019	%		
418 Ronde zonnedauw	10	5	-50	20	15	-25	P21	G21
924 Heidekartelblad	2	1	-50	4	3	-25	G41	G42
558 Stekelbrem	4	2	-50	7	9	29	G41	G61
1068 Witte snavelbies	11	6	-45	26	15	-42	P21	
476 Veenpluis	22	13	-41	124	50	-60	V11	G21
1616 Gevlekte orchis_Bosorchis	6	4	-33	20	13	-35	G42	G41
568 Klokjesgentiaan	6	5	-17	9	5	-44	G41	G42
417 Kleine zonnedauw	14	12	-14	38	25	-34	P21	
251 Pilzegge	23	20	-13	53	38	-28	G61	G41
777 Moeraswolfsklauw	8	7	-13	30	53	77	P21	
1069 Bruine snavelbies	10	9	-10	37	41	11	P21	
473 Gewone dophei	46	44	-4	882	1011	15	G41	G21
913 Kleine veenbes	1	1	0	8	4	-50	G21	
1153 Veenbies	1	1	0	3	2	-33	G41	G21
687 Trekrus	10	10	0	17	19	12	G41	
479 Eenarig wollegras	5	5	0	6	7	17	G21	H21
962 Liggende vleugeltjesbloem	2	2	0	4	4	0	G42	G41
186 Struikhei	62	62	0	1314	1171	-11	G61	G41
560 Kruipbrem	1	1	0	1	1	0	G61	G41
858 Beenbreek	3	4	33	5	6	20	G21	
2357 Veenbies s.l.	1	2	100	18	16	-11	G41	G21

Tabel 6. Verandering in de presentie en bedekking van soorten, kenmerkend voor natte, voedselarme en zwak-zure bodems (blauwgraslanden en trilvenen). Voor de codes van de ecologische groepen (EG1 en EG2), zie: Runhaar et al. (2004).

	Presentie			Bedekking			EG1	EG2
	2015	2019	%	2015	2019	%		
1159 Borstelbies	1	0	-100	1	0	-100	P27	P22
681 Draadrus	6	2	-67	44	2	-95	G22	G27
849 Wilde gagel	6	4	-33	112	77	-31	H21	H22
332 Spaanse ruiter	6	4	-33	31	38	23	G22	
1332 Kleine valeriaan	3	2	-33	6	3	-50	G22	G27
1362 Schildereprijs	6	4	-33	7	4	-43	P22	W12
236 Blonde zegge	4	3	-25	58	12	-79	G22	
1137 Grote pimpernel	8	7	-13	15	11	-27	G22	G27
248 Blauwe zegge	34	30	-12	454	406	-11	G22	G42
679 Biezenknoppen	44	40	-9	97	70	-28	G22	G27
1008 Tormentil	36	34	-6	150	183	22	G42	G22
1933 Veelbloemige veldbies	23	22	-4	27	32	19	G42	G22
217 Knots zegge	1	1	0	1	1	0	G22	
220 Geelgroene zegge	7	7	0	33	33	0	G22	G27
267 Blaas zegge	7	7	0	26	23	-12	G27	G22
420 Kamvaren	2	2	0	3	2	-33	H22	G22
641 Gewone waternavel	28	28	0	95	131	38	G23	G22
644 Moerashertshooi	1	1	0	19	10	-47	P22	W12
1005 Kruipganzerik	3	3	0	28	19	-32	G22	G42
763 Moerasrolklaver	57	58	2	342	309	-10	G27	G22
670 Veldrus	43	45	5	635	382	-40	G22	G27
1258 Blauwe knoop	19	20	5	119	114	-4	G42	G22
244 Zwarte zegge	35	37	6	98	151	54	G22	G27
1544 Moerasstruisgras	49	53	8	618	629	2	G22	G27
1385 Moerasviooltje	11	12	9	31	30	-3	G22	H22
228 Sterzegge	8	11	38	29	13	-55	G22	
221 Ronde zegge	0	2	999	0	4	999	V12	G22
939 Pilvaren	0	1	999	0	1	999	P22	W12

4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

4.1 Robuustheid van de uitkomsten

Hoe robuust zijn de uitkomsten en zeggen ze werkelijk iets over de droogte van 2018? Over een lange tijdsperiode kan de vegetatie immers door andere oorzaken dan de droogte van 2018 zijn veranderd, dus zijn de resultaten die we vonden wel toe te schrijven aan dat droge jaar? Andere oorzaken voor de veranderingen zijn echter niet aannemelijk.

Ten eerste omdat de vergelijking van 2019 met het vrij recente jaar 2015 (§ 3.4) niet wezenlijk andere resultaten opleverde. En ten tweede omdat aanvullende analyses Van Arco van Strien (CBS) met wie wij over de resultaten corresponderen, ook niet tot andere bevindingen hebben geleid. Per e-mail (16 februari 2021) liet Van Strien ons weten dat hij een deel van onze analyses had overgedaan. Allereerst vergeleek hij 2019 niet alleen met 2015, maar was hij wat minder streng door tevens 2014 en 2016 bij de vergelijking te betrekken. Zo kon hij beschikken over 503 plots (in plaats van 289). Bovendien gebruikte hij een ander systeem van indicatiewaarden (namelijk die van Iteratio; Holtland *et al.* (2010)). Op deze manier vond hij *“eveneens hooguit geringe veranderingen in indicatiewaarden (in termen van Iteratio: een beetje verdroging, een beetje verzuring en – net als jij – een verlaging van het trofie-niveau”*. Net als wij vond hij meer plots die in natuurwaarde (methode Gelderland) waren achteruitgegaan (nl. 60%), dan dat er in natuurwaarde waren vooruitgegaan (40%). Zeer waardevol was zijn aanvullende analyse waarin hij opnamen 2017 (dus net vóór het droge jaar 2018) vergeleek met opnamen uit 2012, 2013 en 2014. Van de 713 plots voor deze vergelijking gingen er in zijn analyse nog geen 51% in natuurwaarde achteruit (om precies te zijn: 50,07%) en 49% in natuurwaarde vooruit. Zijn conclusie: *“De natuurwaarde blijkt dus te dalen in 2015-2019, maar niet in 2013-2017, hetgeen pleit voor een effect door het droge jaar 2018”*.

Worden de resultaten duidelijker als we soorten die goed bestand zijn tegen een incidentele droogte uit de analyse weglaten: bomen, struiken en soorten met ondergrondse opslag van voedingsstoffen (bollen, knollen, wortelstokken)? Dit hebben we onderzocht door persistente soorten (fanerofyten en geofyten) te selecteren uit BioBase2003 en de berekeningen zonder deze soorten over te doen. Dit leidde niet tot wezenlijk andere resultaten.

4.2 Daling voedselindicatie: oorzaak en blijvend?

De afname van de voedselindicatie N_m heeft ons in eerste instantie verbaasd. Verdroging leidt immers tot afbraak van organische materiaal en daarmee tot vermesting en verzuring van de standplaats. Bij nadere beschouwing is het resultaat echter goed verklaarbaar:

- Algemeen voorkomende soorten hebben de grootste kans om in het absolute aantal en de absolute bedekking achteruit te gaan, simpelweg omdat ze met zo vele zijn (Figuur 19).
- Algemene soorten zijn overwegend soorten van voedselrijke bodems (Figuur 20).
- Ergo: juist voedselminnende soorten worden in aantal en bedekking door de droogte getroffen, wat zich uit in een afname van de opnamegemiddelde voedselindicatie N_m .

Als aanvullende verklaring kunnen we nog opvoeren dat voedselminnende soorten over het algemeen productiever zijn en dus naar alle waarschijnlijkheid meer verdampen zodat ze gevoeliger zijn voor de directe gevolgen van een gebrek aan bodemvocht.

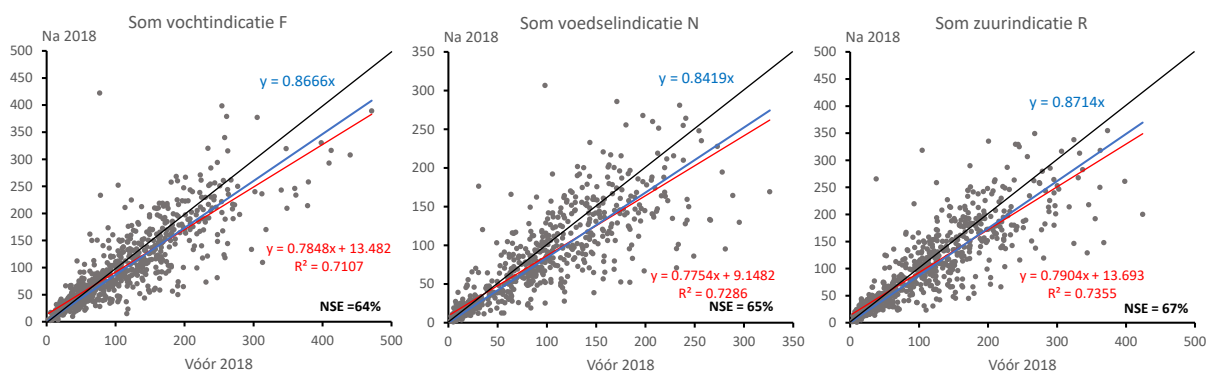
Deze verklaringen zijn in lijn met de in de enquête (Witte *et al.*, 2020) gerapporteerde veldwaarnemingen dat Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*, een algemene grassoort) door de droogte is achteruitgegaan.

We zien in de gegevens dus waarschijnlijk vooral de directe gevolgen van de droogte terug: het gebrek aan water om te kunnen verdampen zodat soorten weggwijnen of lokaal uitsterven. Op de lange termijn, is onze verwachting, zullen de secundaire gevolgen van de droogte echter zichtbaar worden: juist een toename van de voedselrijkdom van natte en vochtige bodems door een versterkte afbraak van organisch materiaal en een verzuring van de bodem ten gevolge van die afbraak en het wegvallen van basenrijke kwel. Deze secundaire gevolgen leiden vooral via competitie tussen soorten uiteindelijk tot de achteruitgang van de minder algemene soorten. Of deze verwachting bewaarheid wordt zal, ijs en vooral weder dienende, pas over enkele jaren kunnen blijken.

4.3 Het nadeel van ratio's

Uit onze studie blijkt dat opnamegemiddelde indicatiewaarden nauwelijks hebben gereageerd op de droogte van 2018, hoewel onze verwachting op basis van eerder onderzoek (§ 2.2.1) anders was. In dat eerdere onderzoek werden echter veranderingen op een veel langere tijdschaal onderzocht (behalve in één geval, maar dat betrof een zeer rigoureuze ingreep: de kaalkap van een bos). Op een kortere tijdschaal blijken opnamegemiddelde indicatiewaarden dus niet zo veelzeggend te zijn. Met de wijsheid achteraf is ook dit verklaarbaar: het opnamegemiddelde wordt berekend uit een breuk en als daarvan de teller en de noemer in ongeveer in gelijke mate veranderen, blijft de uitkomst van de breuk vrijwel ongewijzigd. Dus: ook als de helft van de soorten bij wijze van spreken uit een plot verdwijnt, hoeft dat nog geen invloed te hebben op het opnamegemiddelde.

Bij de natuurwaardering van de opnamen werkten we niet met ratio's en zagen we wel een heel duidelijk effect van de droogte. Wil men in het vervolg toch met indicatiewaarden blijven rekenen, dan zou het wellicht beter zijn te kijken naar veranderingen in de som van de indicatiewaarden van plantensoorten, in plaats van het gemiddelde. Als voorbeeld hebben we dit gedaan voor de indicatiewaarden voor vocht, voedselrijkdom en zuurgraad (*F*, *N*, *R*), zie Figuur 21. Een grote som duidt op een opname met veel soorten en een hoge standplaatsindicatie (dus respectievelijk nat, voedselrijk, basisch), een lage som op een opname met weinig soorten en een lage standplaatsindicatie (droog, voedselarm, zuur).

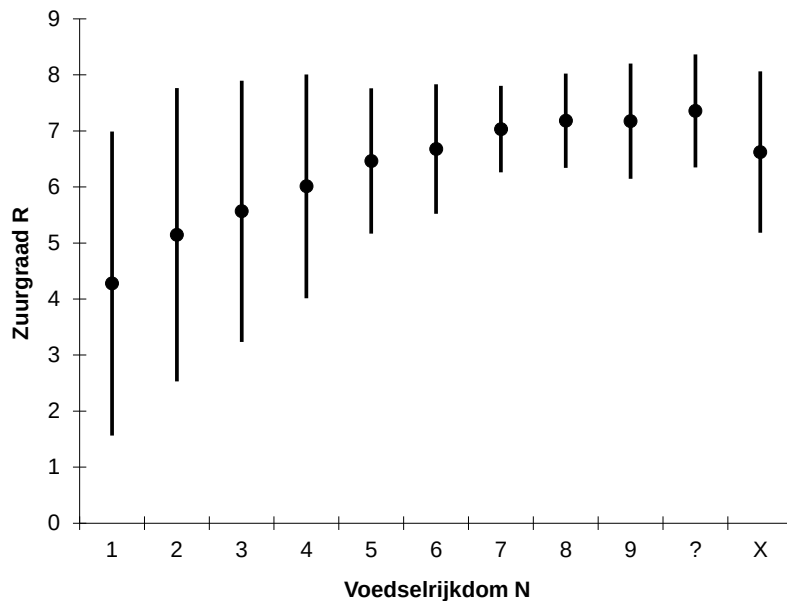


Figuur 21. Naar presentie gewogen som van de indicatiewaarden *F*, *N* en *R* van de plots vóór en ná 2018.

4.4 Verzuring of toch niet?

Enkele onderzochte ecosystemen lijken, op basis van hun zuurindicatie *Rm* een verzuring van de standplaats te laten zien. We denken dat die verzuring reëel is, maar zijn daar niet stellig over. Dat komt omdat algemene en voedselminnende soorten het hardst in aantal en bedekking zijn achteruitgegaan (absoluut gezien) en deze soorten meestal ook een hoger zuurindicatiegetal *R* hebben (dus op minder zure omstandigheden duiden). Zuurminnende soorten zijn vaak soorten

van voedselarme bodems. Het verband tussen voedselindicatie en zuurindicatie komt niet alleen voor bij het indicatiewaardensysteem dat wij hebben gebruikt, maar ook bij andere systemen (Figuur 22). Het zou verstandig zijn het verzuringseffect nader te bestuderen.



Figuur 22. Relatie tussen Ellenberg-voedselindicatie N en Ellenberg-zuurindicatie R (gemiddelde en standaardafwijking), gebaseerd op de indicatiewaardenlijst uit 1991.

In een conceptversie van dit rapport meenden we bovendien een duidelijke aanwijzing van verzuring te zien, die achteraf bleek te berusten op een artefact¹. Deze aanwijzing was gebaseerd op veranderingen in het aandeel zwak-zure en basische soorten in de vegetatieplots. Gemiddelden en aandelen: het zijn ratio's en dus oppassen geblazen.

4.5 Conclusies

In Tabel 7 zijn de resultaten van de analyse van indicatiewaarden samengevat, echter zonder onderscheid naar IPI. Uit de resultaten trekken we de volgende conclusies:

1. De Opnamegemiddelde indicatiewaarden voor standplaatsfactoren zijn weinig veranderd, hoewel de veranderingen meestal wel significant zijn. De veranderingen, gemiddeld over de gepresenteerde berekeningsmethoden, bedragen (cijfers afgerond op 0.5%):
 - a. Opnamegemiddelde vochtindicatie F_m daalt met 2.0%;
 - b. Opnamegemiddelde voedselindicatie N_m daalt met 2.5%;
 - c. Opnamegemiddelde vochtindicatie zuurindicatie R_m verandert niet.

¹ Om dit te begrijpen is een toelichting op de indeling in ecologische groepen van Runhaar et al. (2014) nodig. Bij die indeling tellen de aandelen van de verschillende standplaatsklassen van een soort altijd op tot 100%. Een soort is bijvoorbeeld voor 60% aan vochtige bodems toegekend, en voor 40% aan droge bodems, bij elkaar 100%. Dit gaat ook op voor de standplaatsfactoren Saliniteit en Voedselrijkdom. De factor Zuurgraad echter, wordt niet toebedeeld aan de klassen 'matig voedselrijk' en 'zeer voedselrijk'. De klassen 'zuur', 'zwak-zuur' en 'basisch' tellen daarom niet op tot 100%, zodra een soort geheel of gedeeltelijk aan matig voedselrijke of zeer voedselrijke bodems is toegekend. Verdwijnen er dus voedselminnende soorten uit een opname, dan stijgt vanzelf de relatieve bijdrage in de opname van soorten die wel aan een zuurgraadklasse zijn toegekend. Dat zijn niet alleen de soorten van zwak-zure en basische bodems, maar ook die van zure bodems.

2. Kijken we echter naar de botanische waarde van de opnamen (gekenmerkt door het aantal zeldzame soorten *NZ*, de zeldzaamheidswaarde *WZ* of de waarde volgens de methode Gelderland), dan blijkt die met 6.0 tot 18.0% te zijn afgenomen.
3. Voor het signaleren van veranderingen in de vegetatie kan beter niet gerekend worden met ratio's (gemiddelden, aandelen), want daarmee worden veranderingen gemaskeerd.

Vergelijken we het jaar 2019 met 2015, dan kunnen we het volgende concluderen:

4. In 2019 zijn er zowel soorten vooruitgegaan in aantal en/of bedekking als soorten die zijn achteruitgegaan in aantal en/of bedekking. Het aantal soorten dat achteruitging (50%) overtrof echter het aantal soorten dat een vooruitgang (35%).
5. In tegenstelling tot onze verwachting, was de afname niet sterker naarmate de soorten zeldzamer zijn: zowel algemene als zeldzame soorten gingen overwegend achteruit.
6. Analyse van door regenwater gevoede natte systemen (hoogvenen, natte heiden, zure vennen) en van door basenrijke kwel gevoede systemen (blauwgraslanden en trilvenen) wijst op een aanzienlijk verlies aan karakteristieke soorten.

Natuurbeheerders hebben in een enquête aangegeven dat bepaalde natuurdoeltypen zijn aangetast. Analyse per corresponderende IPI en ecologische soortengroep leidt tot de volgende conclusie:

7. De natuurwaarde van deze IPI's is overwegend afgenomen.
8. Bij enkele IPI's lijkt er sprake te zijn van verzuring van de standplaats.

Tot slot kunnen we nog de volgende conclusies trekken:

9. Met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid kunnen bovengenoemde veranderingen worden toegeschreven aan de droogte van 2018.
10. Deze studie bevestigt in grote lijnen het in een enquête (Witte *et al.*, 2020) gegeven oordeel van de beheerders over de gevolgen van de droogte voor de vegetatie van hun natuurgebieden.

Tabel 7. Samenvatting van de procentuele voor- en achteruitgang van de verschillende indicaties, met onderscheid naar de analyse van alle opnamen van voor en na 2018 (§ 3.1, 3.2 en 3.3) en de analyse van opnamen uit 2015 en 2019 (§ 3.4). Tevens onderscheid naar analyse op basis van de presentie en op basis van de bedekking van soorten (kwalitatief versus kwantitatief). Hellingshoek in booggraden.

*Significantieniveaus: * = significant ($\alpha = 0.95$), ** = zeer significant ($\alpha = 0.99$), *** = zeer significant ($\alpha = 0.999$), nsig = niet significant.*

	Verandering hellingshoek $Y=\beta X$				Verandering gemiddelde			
	Alle opnamen		2015 versus 2019		Alle opnamen		2015 versus 2019	
	Kwal	Kwant	Kwal	Kwant	Kwal	Kwant	Kwal	Kwant
Vochtindicatie Fm	-0.7 ***	-0.7 ***	-0.5 **	-0.6 **	-2.1 ***	-1.8 ***	-1.8 **	-2.1 **
Voedselindicatie Nm	-0.6 ***	-1.0 ***	-0.6 ***	-0.8 ***	-1.7 ***	-2.7 ***	-2.5 ***	-2.9 ***
Zuurindicatie Rm	0.1 nsig	-0.2 nsig	0.0 nsig	-0.4 *	0.9 **	-0.1 nsig	0.3 nsig	-1.3 *
Aantal zeldzame soorten NZ	-4.7 ***	-6.7 ***	-4.4 ***	-8.1 ***	-10.5 ***	-7.4 ***	-9.9 **	-8.3 ***
Zeldzaamheidswaarde WZ	-3.4 ***	-3.0 ***	-4.1 ***	-4.7 ***	-14.9 ***	-8.0 ***	-17.9 *	-10.9 ***
Natuurwaarde	-2.9 ***	-2.9 ***	-4.0 ***	-4.0 ***	-6.3 ***	-6.3 ***	-5.9 *	-5.9 *

4.6 Aanbevelingen voor nader onderzoek

In deze studie is dankbaar gebruik gemaakt van het LMF: een zeer nuttig netwerk van plots voor het detecteren van veranderingen. Bij de totstandkoming van het LMF is gepoogd de plots geografisch zo te spreiden over het land, dat verschillende milieutypen goed worden vertegenwoordigd. Van de andere kant wenste men ook een goede verdeling van de waarnemingen in de tijd, zodat trends konden worden geanalyseerd. Het was dus zoeken naar een optimaal evenwicht tussen de verdeling van de opnamen in ruimte en tijd, gegeven de beschikbare middelen.

Omdat de vegetatieopnamen echter maar eens in de vier jaar plaatsvonden, en sinds 2018 om de drie jaar, is het aantal opnamen per plot (thans maximaal zes) voorsnog te gering om er een tijdreeksanalyse op los te laten. Bovendien zijn uitbijters met zo'n korte reeks statistisch zelden significant. Jammer, maar uit het oogpunt van financiering begrijpelijk, is het ook dat de vegetatieopnamen niet zijn te relateren aan harde veldmetingen. We bevelen daarom het volgende aan:

1. Overweeg de meetfrequentie voor een deel van de plots te verdichten naar een jaarlijkse opname. Met een jaarfrequentie kan op den duur een tijdreeksanalyse worden uitgevoerd, met als verklarende variabele bijvoorbeeld het cumulatieve neerslagtekort.
2. Het maken van vegetatieopnamen kost veel arbeidsuren. Als de veldmedewerker toch aanwezig is, overweeg hem dan gelijk eenvoudige metingen aan de bodem te laten verrichten (o.a. pH en bodemvocht). Daarvoor is handzame apparatuur beschikbaar, die weliswaar niet heel nauwkeurig is, maar die door het gebruik op zeer veel locaties toch dienstbaar kan zijn bij het achterhalen van de processen die hebben gezorgd voor de waargenomen veranderingen in de vegetatie.

De analyse van de LMF-bestanden heeft meer hoofdbrekens gekost dan vooraf was voorzien. Aanvankelijk werd gedacht dat het vergelijken van gemiddelde indicatiewaarden vóór en ná 2018 voldoende signaal zou vertonen van het droge jaar 2018. Toen dat niet het geval was, hebben we, met succes, grootheden gevonden die relevanter zijn: soortenrijkdom, de natuurwaarde van opnamen, de veranderingen per ecologische groep van soorten. Er is echter met meer uit de LMF-gegevens te halen. Wij bevelen daarom het volgende aan:

3. Analyseer veranderingen in indicatiewaarden van alle IPI's en onderzoek of daaruit informatie is te halen over mogelijke processen die zijn opgetreden ten gevolge van de droogte (zie het in § 3.2 gegeven voorbeeld van IPI 263 Riet en biesenlanden).
4. Inventariseer op een systematische wijze de veranderingen per natuurstype, door een vertaaltabel te maken van IPI naar natuurstype (in § 3.3 is dit alleen anekdotisch gedaan).
5. Onderzoek of de ruimtelijke verschillen in de berekende veranderingen kunnen worden verklaard. Zien we in de resultaten terug welke natuurgebieden robuuster zijn ingericht (door bijvoorbeeld hun grote omvang of een effectieve bufferzone), en in welke gebieden vernattingsmaatregelen zijn getroffen? In dit onderzoek kan onder meer gebruik worden gemaakt van gerichte vragen aan terrein-beherende organisaties, van de provinciale meetnetten verdroging, van de uitkomsten van hydrologische modellen, en wellicht ook van satellietwaarnemingen.
6. Onderzoek de samenhang in de veranderingen van standplaatsindicaties. Droogte kan bijvoorbeeld op natte bodems via een verhoogde mineralisatie van organisch stof leiden tot een hogere plantaardige productie (hogere voedselindicatie), terwijl in droge milieus het gebrek aan vocht juist leidt tot een lagere productie (lagere voedselindicatie). Deze aanbeveling is, zie de overwegingen in § 2.2.1, vooral van belang in de toekomst, als er nieuwe jaren aan het LMF zijn toegevoegd.
7. Probeer uit de gegevens van het LHM een maat te destilleren die door beleidsmakers en bestuurders gebruikt kan worden om te beslissen wanneer er mogelijk onherstelbare schade aan de natuur gaat ontstaan.

5 Referenties

- Aggenbach, C. J. S., 2021. *Duurzaamheid van basenminnende schraallanden in kwelzones. Monitoring 1989-2020 Stroothuizen, Punthuizen en Lemselermaten*. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren, Driebergen.
- Anonymous, 2019. *Handleiding voor het Landelijk Meetnet Flora - Milieu- en Natuurkwaliteit. Herziene uitgave 2019*. Centraal Bureau voor de Statistiek & Interprovinciale Werkgroep voor Inventarisatie en Monitoring van Natuur en Landschap (IAWM) Subwerkgroep Flora en Vegetatie, Den Haag/Heerlen.
- Bartholomeus, R. P., J. P. M. Witte, P. M. Bodegom, J. C. Van Dam, P. Becker, & R. Aerts, 2012. Process-based proxy of oxygen stress surpasses indirect ones in predicting vegetation characteristics. *Ecohydrology* **5**:746-758.
- Cirkel, D. G., C. G. E. M. Van Beek, J. P. M. Witte, & S. E. A. T. M. Van Der Zee, 2014a. Sulphate reduction and calcite precipitation in relation to internal eutrophication of groundwater fed alkaline fens. *Biogeochemistry* **117**:375-393.
- Cirkel, D. G., J. P. M. Witte, J. N. Nijp, P. M. van Bodegom, & S. E. A. T. M. Zee, 2014b. The influence of spatiotemporal variability and adaptations to hypoxia on empirical relationships between soil acidity and vegetation. *Ecohydrology* **7**:21-23.
- Dirkse, G. M., & B. W. J. M. Kruijsen, 1993. Indeling in ecologische groepen van Nederlandse blad- en levermossen. *Gorteria* **19**:1-29.
- Ellenberg, H., H. E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner, & D. Paulissen, 1991. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Verlag Erich Goltze KG, Göttingen.
- Ellenberg, H., 1992. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen (ohne *Rubus*). In H. Ellenberg, H. E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner & D. Paulissen, editors. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*.
- Ewald, J., S. Hennekens, S. Conrad, T. Wohlgemuth, F. Jansen, M. Jenssen, J. Cornelis, H.-G. Michiels, J. Kayser, & M. Chytrý, 2013. Spatial and temporal patterns of Ellenberg nutrient values in forests of Germany and adjacent regions-a survey based on phytosociological databases. *Tuexenia* **33**:93-109.
- Fanfarillo, E., A. Kasperski, A. Giuliani, & G. Abbate, 2019. Shifts of arable plant communities after agricultural intensification: a floristic and ecological diachronic analysis in maize fields of Latium (central Italy). *Botany Letters* **166**:356-365.
- Fujita, Y., P. M. Van Bodegom, & J. P. M. Witte, 2013. Relationships between nutrient-related plant traits and combinations of soil N and P Fertility. *PLoS ONE* **8**(12) **8**:e83735.
- Gremmen, N. J. M., M. J. S. M. Reijnen, J. Wiertz, & G. Van Wirdum, 1990. A model to predict and assess the effects of groundwater withdrawal on the vegetation in the Pleistocene areas of the Netherlands. *Journal of environmental management* **31**:143-155.
- Hertog, A. J., & M. Rijken, 1992. *Geautomatiseerde bepaling van natuurbewaardswaarde in vegetatie-opnamen.*, Provincie Gelderland, Arnhem.
- Holtland, W. J., C. J. F. Ter Braak, & M. G. C. Schouten, 2010. Iteratio: calculating environmental indicator values for species and relevés. *Applied Vegetation Science* **13**:369-377.
- Käfer, J., & J. P. M. Witte, 2004. Cover-weighted averaging of indicator values in vegetation analyses. *Journal of Vegetation Science* **15**:647-652.
- Matula, R., R. Řepka, J. Šebesta, J. L. Pettit, J. Chamagne, M. Šrámek, K. Horgan, & P. Maděra, 2020. Resprouting trees drive understory vegetation dynamics following logging in a temperate forest. *Scientific Reports* **10**:9231.
- Runhaar, J., W. van Landuyt, C. L. G. Groen, E. J. Weeda, & F. Verloove, 2004. Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria* **30**:12-26.

- Salinitro, M., A. Alessandrini, A. Zappi, & A. Tassoni, 2019. Impact of climate change and urban development on the flora of a southern European city: Analysis of biodiversity change over a 120-year period. *Scientific Reports* **9**:1-10.
- Tamis, W. L. M., & M. van 't Zelfde, 2003. KFK, een nieuwe zeldzaamheidsschaal voor de Nederlandse flora. *Gorteria* **29**:57-83.
- Van den Eertwegh, G., R. Bartholomeus, P. De Louw, J. P. M. Witte, J. C. Van Dam, D. Van Deijl, P. Hoefsloot, M. Van Huijgevoort, J. De Wit, C. Clevers, & J. Hunink, 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, KWR, WUR, HSS, FWE.
- Van den Eertwegh, G., R. Bartholomeus, P. De Louw, J. P. M. Witte, J. C. Van Dam., D. Van Deijl, P. Hoefsloot, M. Van Huijgevoort, J. Hunink, I. America, J. Pouwels, & J. De Wit, 2020. *Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Het verhaal: analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen. Rapportage Fase 2*. KnowH2O, KWR, Deltares, WUR, HSS, FWE.
- Witte, J. P. M., 1996. De waarde van natuur. Zeldzaamheid en de botanische waardering van gebieden. *Landschap, jrg* **13**:79-95.
- Witte, J. P. M., T. Strasser, & R. Slings, 2011. Kwantitatieve vegetatiewaardering beperkt bruikbaar *Landschap* **28**:56-66.
- Witte, J. P. M., R. P. Bartholomeus, D. G. Cirkel, E. Doornik, Y. Fujita, & J. Runhaar, 2014. *Manual and description of ESTAR, version 01; A software tool to analyse vegetation plots*. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 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, Oosterbeek.