

# Analyse Milieucondities Drouwenerzand

## Landelijk Meetnet Flora

13 april 2026

*provincie*  **Drenthe**

# Inhoudsopgave

<b>1. Introductie</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Materiaal en methode</b> .....	<b>6</b>
2.1 Permanente kwadraten .....	6
2.2 Exclusiecriteria .....	6
2.3 pH-metingen .....	7
2.4 Milieucondities .....	7
2.5 Statistiek .....	7
<b>3. Resultaten</b> .....	<b>9</b>
Milieucondities .....	9
Zuurgraad .....	9
Hydrologie .....	9
Nutriënten .....	10
<b>4. Discussie</b> .....	<b>12</b>
<b>5. Conclusie</b> .....	<b>12</b>
Literatuur .....	13
Bijlage I: Beschrijving ontwikkeling permanente kwadraten .....	14
Bijlage II: Uitleg verschillende indicatiewaarden .....	17

# SAMENVATTING

In het Drouwenerzand zijn trends geanalyseerd in milieucondities op basis van vegetatieopnamen (1999-2024) uit 14 permanente kwadraten uit het Landelijk Meetnet Flora. In deze permanente kwadraten wordt iedere drie jaar (of eens per zes jaar in bossen) een vegetatieopname gemaakt. Om indicatoren voor zuurgraad, hydrologie en nutriënten te berekenen zijn de methodes van Wamelink en Ellenberg gebruikt. Voor de statistische analyse zijn *lineair mixed effects* modellen gebruikt. Deze statistische modellen corrigeren voor herhaalde metingen binnen proefvlakken.

De resultaten laten een patroon van verzuring, verdroging en uitspoeling van basische kationen zien. De zuurgraad op basis van de Wamelink indicatoren pH-H<sub>2</sub>O en pH-KCL laat een significante negatieve trend zien. De hydrologische indicatoren tonen een verschuiving naar drogere standplaatscondities. Bovendien laten de resultaten een afname zien van basische kationen, wat wijst op een afnemende bodembuffering. Deze trends passen in het beeld dat geschetst wordt door de concept natuurdoelanalyse van het Drouwenerzand.

# 1. Introductie

In het Drouwenezand liggen 14 permanente kwadraten (PQ's) van het Landelijk Meetnet Flora (LMF). Dit meetnet is in 1999 ontwikkeld door provincies, rijksoverheid en terreinbeheerders en is onderdeel van het Netwerk Ecologische Monitoring (NEM). De PQ's van het meetnet worden eens per drie jaar opgenomen (of eens per zes jaar in bossen) en levert daarom een waardevolle langjarige meetreeks. Het LMF levert input voor de 3-jarlijkse evaluatie van het provinciale natuurbeleid door het Planbureau voor de Leefomgeving. Het LMF is ontworpen om trends in soortgroepen en milieucodities te detecteren op landelijk niveau, maar er is ook behoefte aan rapportage op provinciaal- en gebiedsniveau.

Het Landelijk Meetnet Flora is in de provincie Drenthe onderverdeeld in zes verschillende meetnetten, elk met een ander doel. In het Drouwenezand liggen PQ's van het Meetnet Milieu- en Natuurkwaliteit (LMF-MN) met als doel het volgen van ontwikkelingen in milieucodities en PQ's van het Meetnet Procesindicatoren (LMF-PI) met als doel het volgen van de effecten van maatregelen op vegetatieontwikkelingen in habitattypen.

Het voorkomen van plantensoorten is afhankelijk van bodemcondities. Op basis van de samenstelling van vegetatie in een PQ kunnen afgeleide abiotische parameters zoals zuurgraad, vochttoestand en nutriënten in de bodem berekend worden. Hiervoor bestaan verschillende methoden (Wamelink, Ellenberg en Iteratio), ieder met hun voor- en nadelen (zie bijlage II). De indicatiewaarden van Ellenberg en Wamelink zijn afgeleid uit statistische relaties van soorten en gemeten milieucodities, waardoor soorten op een relatieve positie langs een milieugradiënt geplaatst zijn. De resultaten op basis van deze indicatoren geven daarom geen absolute waarden weer, maar doordat systematische onzekerheden constant blijven binnen een meetreeks zijn de indicatoren wel geschikt om trends over tijd te volgen.

Daarbij moet worden opgemerkt dat vegetatie doorgaans vertraagd reageert op veranderingen in bodem- en hydrologische condities. De afgeleide indicatorwaarden weerspiegelen de respons van de vegetatie over meerdere jaren en kunnen achterlopen op veranderingen in abiotische omstandigheden.



**Figuur 1:** Locaties van de LMF-meetpunten in het Drouwenezand.

In deze notitie wordt onderzocht in of de afgeleide abiotische parameters (Ellenberg en Wamelink) op basis van vegetatieopnamen in permanente kwadraten significante trends laten zien in het Drouwenerzand.

Het Drouwenerzand ligt nagenoeg geheel op voormalig stuifzand (vaaggronden). Onder het westelijke deel van het Drouwenerzand ligt een keileemlaag (formatie van Drenthe) van wisselende dikte in de ondiepe ondergrond. Het gebied is aangewezen voor de habitattypen stuifzandheiden met struikhei (H2310), binnenlandse kraaiheibegroeiingen (H2320), zandverstuivingen (H2330), jeneverbesstruwelen (H5130) en heischrale graslanden (H6230). Deze laatste komt overigens waarschijnlijk niet voor sinds aanwijzing.

De natuurdoelanalyse voor het Drouwenerzand laat zien dat het gebied sterk onder druk staat door drie samenhangende knelpunten: vermesting, verzuring en verdroging. De overbelasting met stikstof wordt in de analyse als structureel probleem benoemd. Dat betekent dat Ellenberg-trofie en Wamelink-NO<sub>3</sub> waarschijnlijk stabiel tot licht stijgend zullen zijn.

Daarnaast schetst de natuurdoelanalyse een beeld van voortgaande verzuring. Stikstofdepositie versnelt verzuringsprocessen, leidt tot uitspoeling van basische kationen en verlaagt de buffercapaciteit van de bodem. Indicatoren die zuurgraad en buffering weergeven zullen blijven verschuiven richting zuurder en minder gebufferd.

Ook wijst de natuurdoelanalyse op duidelijke signalen van verdroging en toenemende hydrologische stress, mede versterkt door recente droge zomers. Hydrologische indicatoren zullen verder opschuiven naar droger. Dat betekent dat vegetatie-afgeleide vochtindicatoren zoals Ellenberg vocht dalende trends zullen laten zien.

Kortom, op basis van de natuurdoelanalyse is de verwachting dat (1) vermesting aanhoudt met stabiele tot licht stijgende N-/trofie-indicatoren, (2) verzuring doorzet met dalende pH-indicatoren, (3) indicatoren voor basische kationen afnemen en (4) verdroging zichtbaar wordt door lagere vochtindicatoren.

## 2. Materiaal en methode

### 2.1 Permanente kwadraten

De permanente kwadraten van het LMF zijn rond en hebben een straal van 2,5 meter in lage vegetaties of 5 meter in bos en struweel. De PQ's van het meetnet bermen en overs zijn lang en smal (bermen, oevers, houtwallen). Vanaf 1999 zijn de permanente kwadraten eens per vier jaar opgenomen. Vanaf 2015 is de cyclus beter afgestemd op de zesjarige cyclus van de SNL-monitoring en gewijzigd naar eens per drie jaar, of eens per zes jaar in bossen.

De proefvlakken zijn zo gekozen dat ze min of meer homogene vegetaties bevatten. Dat wil zeggen, proefvlakken die, in ieder geval ten tijde van de eerste opname, bestaan uit één vegetatietype. Alle soorten vaatplanten en mossen in het proefvlak worden genoteerd met hun bedekking in een Braun-Blanquet schaal (aangepast door Barkman, Doing en Segal 1964). De PQ's worden teruggevonden door middel van d-GPS met een potentiële nauwkeurigheid van één centimeter.

Van de PQ's in het Drouwenezand liggen er 2 in habitatype H5130 (Jeneverbesstruwelen), 3 in H2330 (Zandverstuivingen), 5 in H2310 (Stuifzandheiden met Struikhei), 1 in H9190 (Oude eikenbossen) en 3 in H0000 (geen habitatype).

### 2.2 Exclusiecriteria

De dataset bestaat uit 93 opnamen van in totaal 14 PQ's. Opnamen met minder dan 5 soorten werden uit de dataset verwijderd omdat deze niet gebruikt kunnen worden voor betrouwbare berekeningen van indicatiewaarden. Dit leidde tot verwijdering van 13 opnamen, waarvan 12 opnamen in soortenarme PQ's met struikhei en 1 opname in jeneverbesstruweel. Na exclusie bleven 14 PQ's over met in totaal 80 opnamen. Omdat verzuring vaak leidt tot soortenarme vegetaties, leidt het excluseren van soortenarme opnamen waarschijnlijk tot een onderschatting van verzuring. Opnamen met verstoringen zoals plaggen of maaien zijn ook uit de dataset verwijderd (tabel 1). Na het toepassen van deze exclusiecriteria voor verstoring werd 1 opname verwijderd. In totaal bleven er 79 opnamen over. Zie bijlage I voor een tabel met opmerkingen per PQ.

**Tabel 1:** Verstoringen waarbij een opname uit de dataset wordt verwijderd, gebaseerd op de exclusiecriteria van het CBS.

Verstoring	Opname verwijderen
Bestrijdingsmiddelen gebruikt	Ja
Afgegraven (>10 cm van toplaag verwijderd)	Ja
Afgeplagd (< 10 cm van toplaag verwijderd)	Ja
Groot onderhoud sloot (herprofilering)	Ja
Grond geroerd	Ja
Grond opgebracht	Ja
Ondergestoven	Ja
(Vrij) diepe insporing door berijding	Ja
(Vrij) sterkte betreding	Nee
Strooisellaag verwijderd	Nee
Stormschade	Nee
Dunning	Ja
Kap	Ja
Brand	Ja
Opslag verwijderd of struiken afgezet	Nee
Overige (opmerkingenveld invullen)	Nee
Bomen, struiken gepland	Ja
Ingezaaid	Ja
Slootmateriaal gedeponeed	Ja
Vuilstort etc.	Ja

Maaien zonder afvoer of klepelen	Ja
(Vrij) veel hout of snoeihout blijven liggen	Ja
(Vrij) veel mest of bladval gedeponerd	Ja
Grote permanente daling grondwater	Ja
Grote permanente stijging grondwater	Ja
Begreppeld	Ja
Greppels gedempt	Ja
Onder water gestaan (afwijkend van de normale situatie)	Ja
Drooggevallen (afwijkend van de normale situatie)	Ja
Net gemaaid	Ja
Net geschoond	Ja
Net begraasd	Ja

## 2.3 pH-metingen

Voor het verdrogingsmeetnet wordt pH (H<sub>2</sub>O) in het veld gemeten. De metingen worden uitgevoerd met een Hanna Instruments pH-meter voor bodem, waarbij vier metingen worden gedaan langs de rand van het proefvlak en één in het centrum. Er wordt een gat van ongeveer 5 cm diepte in de bodem gemaakt, waar vervolgens demiwater in wordt gegoten om de bodem te verzadigen met water. Het gemiddelde van de vijf metingen per PQ is gebruikt in de statistische analyse van dit rapport.

## 2.4 Milieucodities

Er bestaan drie indicatorsystemen, namelijk die van Ellenberg, Wamelink en Iteratio, ieder met een eigen methode om milieucodities te berekenen (zie bijlage II). Voor de berekening van milieucodities op basis van vegetatie hebben soorten in een vegetatieopname een indicatiewaarde voor zuurgraad, trofiegraad of grondwaterstand gekregen op basis van veldmetingen (of expertoordeel in het geval van Ellenberg).

Uit een rapport van Hennekens *et al.* (2020) blijkt dat de indicator voor NO<sub>3</sub> op basis van Wamelink een minder goede weergave geeft van de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten (trofie) in vergelijking met Iteratio en Ellenberg. Daarom is voor trofie de indicator van Ellenberg gebruikt. Voor basische kationen (Mg, K, Ca en Cl) is Wamelink gebruikt, omdat Ellenberg hierin geen onderscheid maakt.

Voor pH-H<sub>2</sub>O is Wamelink betrouwbaarder in de zure range (pH<6) in vergelijking met Iteratio (Hennekens *et al.* 2022). Ook vertoont de indicator voor pH van Wamelink de hoogste correlatie met direct gemeten pH-waarden voor de PQ's in Drenthe. Daarom is gekozen om voor zuurgraad gebruik te maken van de indicator van Wamelink.

Het Drouwenezand bestaat grotendeels uit vegetaties die niet direct afhankelijk zijn van grondwaterstand. Bij grondwaterstanden beneden de 75 cm onder maaiveld is er nagenoeg geen relatie meer met de meeste plantensoorten, omdat ze geen water kunnen opnemen van die diepte. Grondwaterstanden berekend op basis van Wamelink beneden de 75 cm kunnen dan ook niet geïnterpreteerd worden als een werkelijke grondwaterstand in centimeters of als een absolute maat voor verdroging/vernatting. Wel zou de uitkomst gebruikt kunnen worden als een relatieve indicator langs een nat-droog gradiënt en kan daarmee mogelijk iets vertellen over de verandering binnen een PQ. Daarom is er wel gekozen om de Wamelink indicatoren voor gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) mee te nemen, in toevoeging op de Ellenberg indicator voor vocht.

## 2.5 Statistiek

Om te bepalen of er significante trends aanwezig zijn in de ontwikkeling van de vegetatie-indicatoren op basis van Ellenberg en Wamelink, is voor elke variabele eerst gekeken naar de aard van de data en de verdeling ervan. Wanneer de data zowel normaal verdeeld (gecontroleerd met de Shapiro–Wilk-test) als gelijke varianties (Levene-test) hebben (eventueel na transformatie) wordt gebruik gemaakt van een Lineair Mixed-

effects Model (LMM) met jaar als fixed effect en het permanente kwadraat als random effect. Linear Mixed effects Models corrigeren voor herhaalde metingen binnen hetzelfde plot (waardoor de metingen niet onafhankelijk zijn). Bij niet-normaal verdeelde gegevens wordt eerst een log-tranformatie gebruikt. Zijn de gegevens daarna nog steeds niet normaal verdeeld, dan wordt overgestapt op een Gamma-LMM.

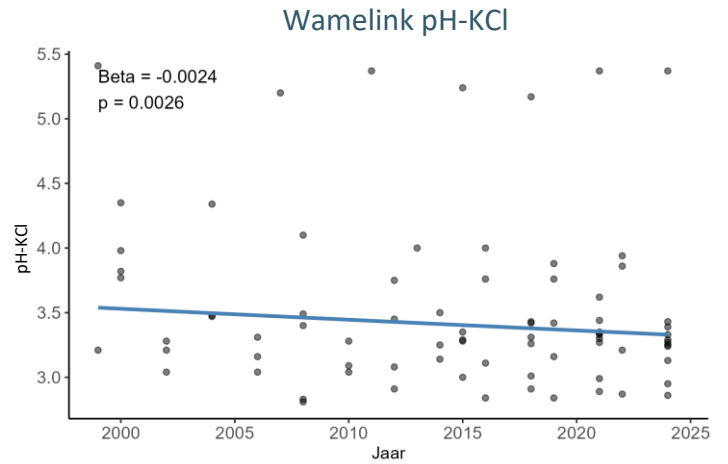
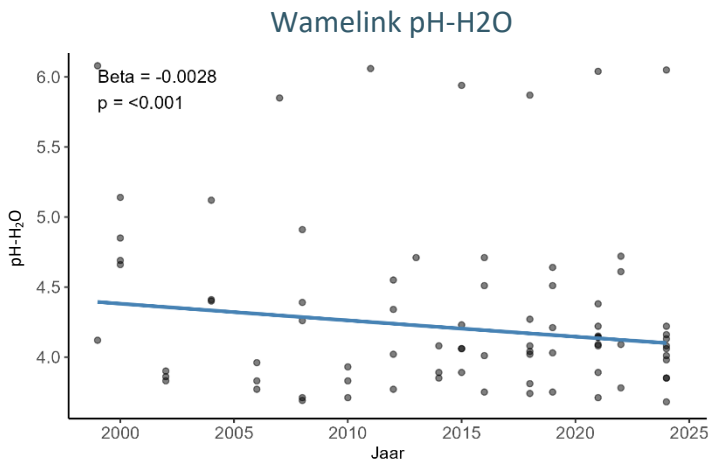
Omdat er voor abiotiek in totaal 17 variabelen zijn getoetst, zijn alle p-waarden ten slotte gecorrigeerd met de Benjamini–Hochberg false-discovery-rate (Benjamini en Hochberg, 1995) waardoor de kans op een fout-positieve uitkomst onder de 5% blijft.

### 3. Resultaten

#### Milieucodities

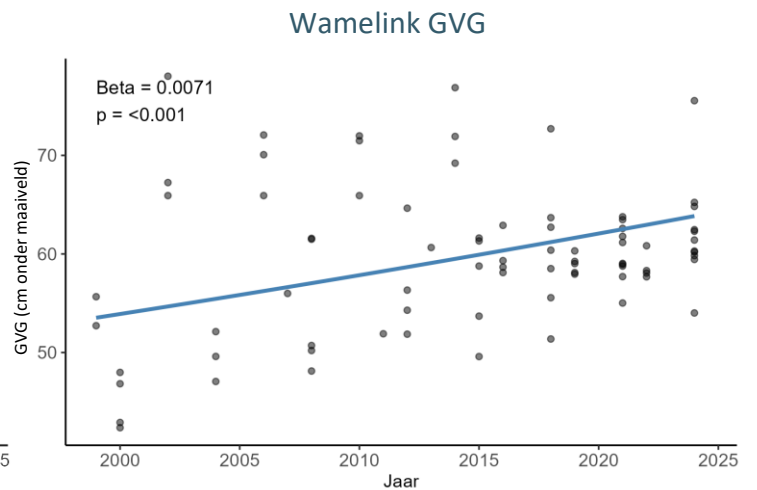
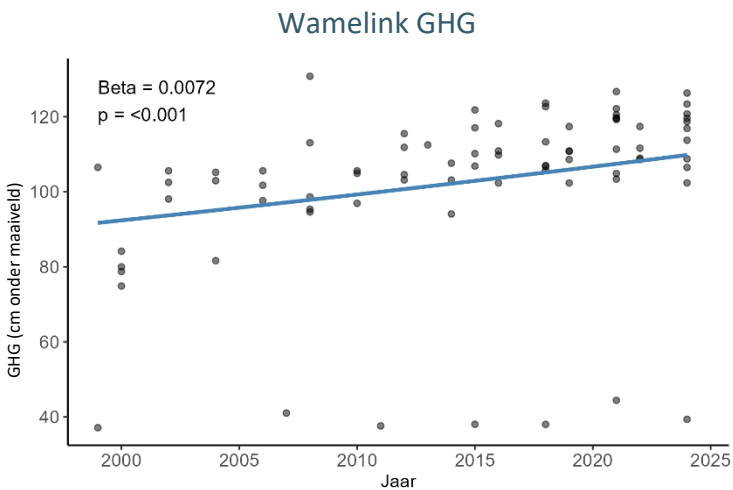
#### Zuurgraad

Zowel Wamelink pH-H<sub>2</sub>O en pH-KCl laten een significante dalende trend zien ( $\beta = -0.0028$ ,  $p < 0.001$  en  $\beta = -0.0024$ ,  $p = 0.0026$ ).

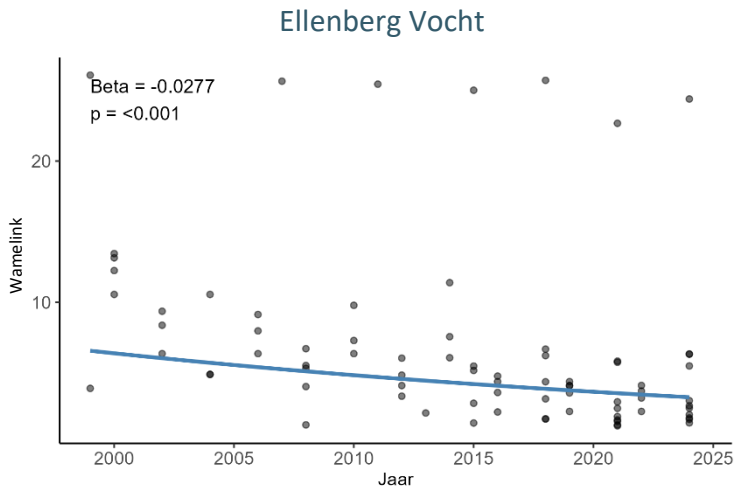


#### Hydrologie

Significante daling (cm onder maaiveld) van GHG ( $\beta = 0.0072$ ,  $p < 0.001$ ) en GVG ( $\beta = 0.0071$ ,  $p < 0.001$ ). Een stijgende trend betekent hier een dalende grondwaterstand.

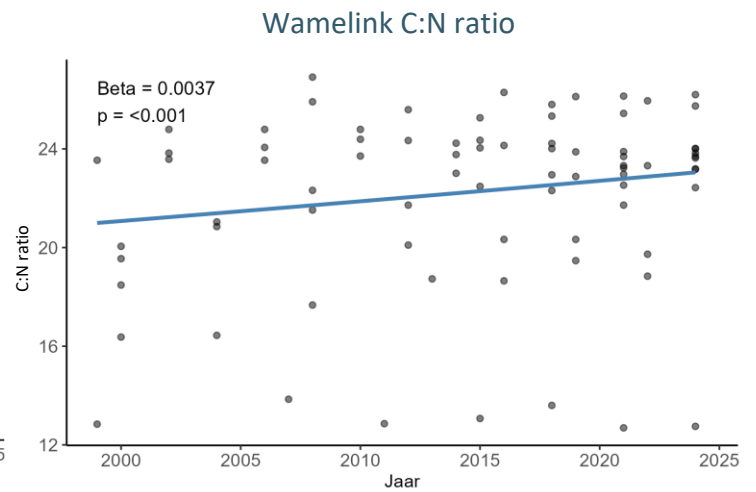
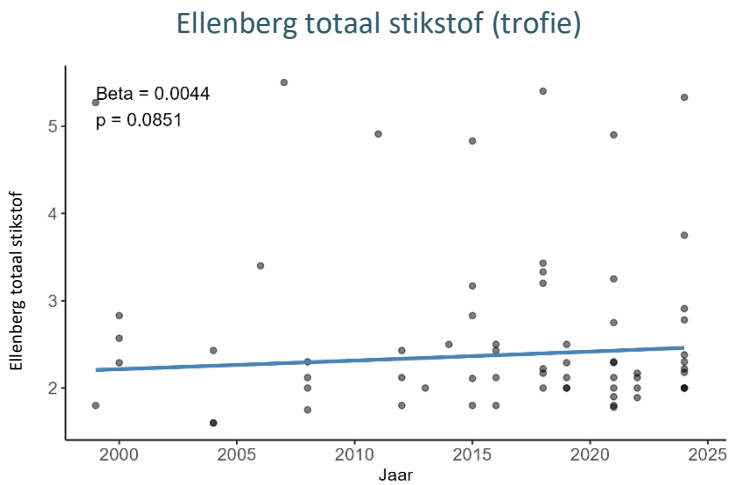


Ellenberg vocht daalt significant ( $\beta = -0.0277$ ,  $p < 0.001$ ).



## Nutriënten

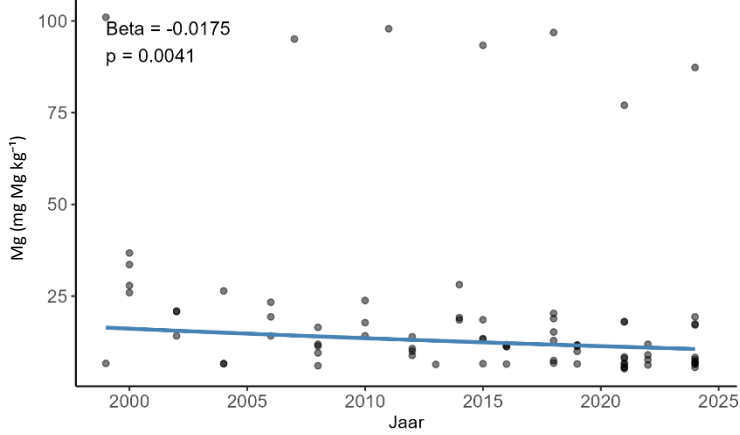
Trofie op basis van Ellenberg stijgt licht, maar niet significant ( $\beta = 0.0044$ ,  $p = 0.0851$ ) en de C:N ratio op basis van Wamelink stijgt significant ( $\beta = 0.0037$ ,  $p < 0.001$ ).



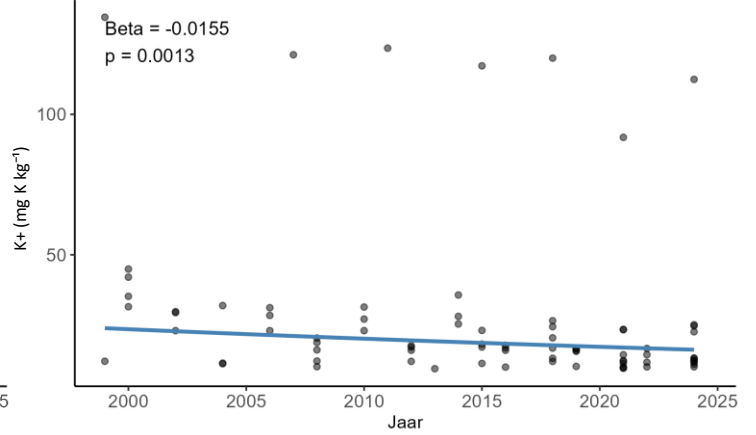
Totaal fosfaat en  $\text{PO}_4^{3-}$  (beschikbaar) dalen beide licht, maar niet significant ( $p = 0.3103$  en  $p = 0.0697$ ).

Magnesium ( $Mg^{2+}$ ) en kalium ( $K^+$ ) laten een significante negatieve trend zien ( $\beta = -0.0175$ ,  $p = 0.0041$  en  $\beta = -0.0155$ ,  $p = 0.0013$ ).

Wamelink  $Mg^{2+}$

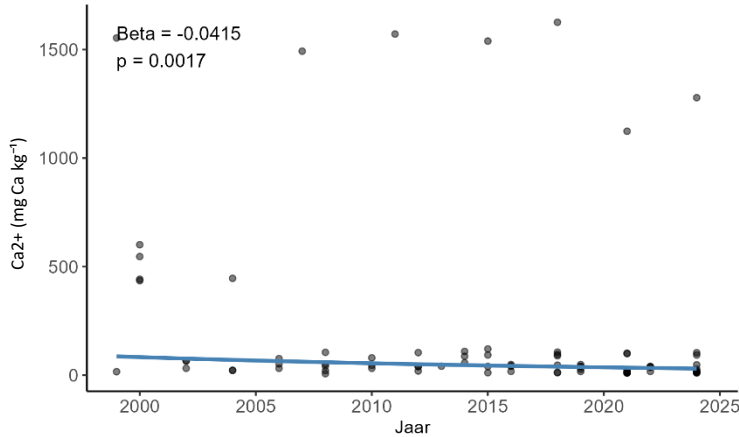


Wamelink  $K^+$

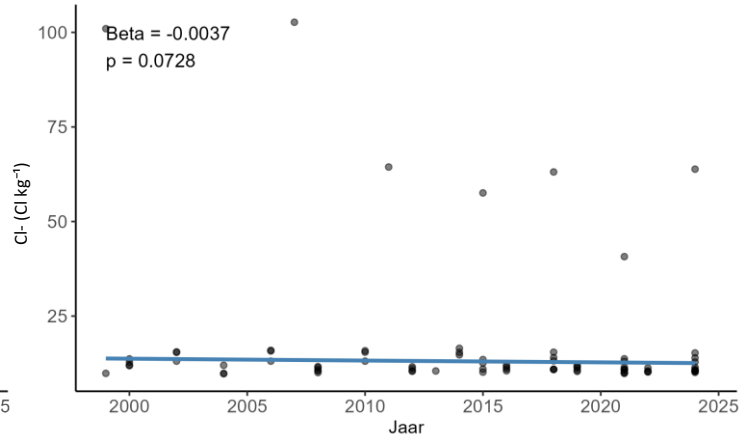


$Ca^{2+}$  daalt significant ( $\beta = -0.0415$ ,  $p = 0.0017$ ) en  $Cl^-$  daalt ook, maar niet significant ( $\beta = -0.0037$ ,  $p = 0.07$ ).

Wamelink  $Ca^{2+}$

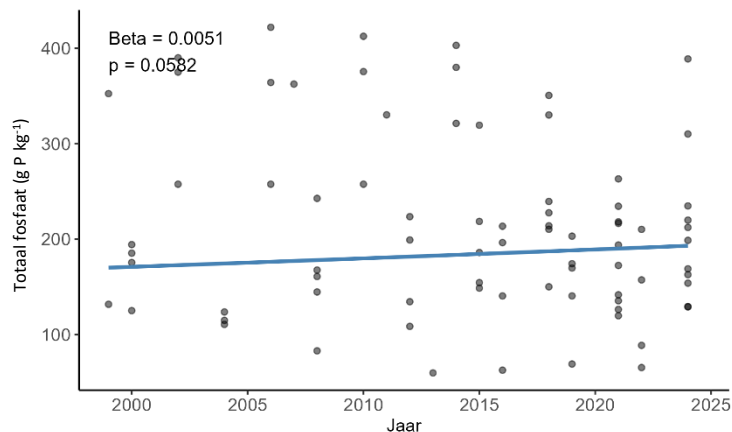


Wamelink  $Cl^-$

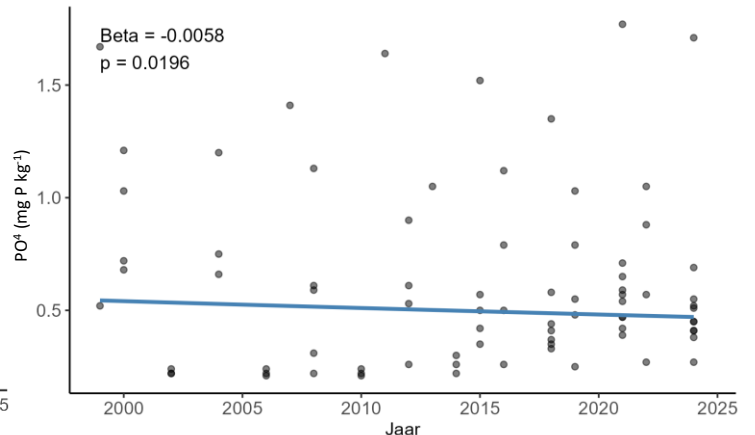


Totaal fosfaat stijgt, maar niet significant ( $\beta = 0.0051$ ,  $p = 0.05827$ ) en  $PO_4^{3-}$  daalt significant ( $\beta = -0.0058$ ,  $p = 0.0196$ ).

Wamelink P-totaal



Wamelink  $PO_4^{3-}$



## 4. Discussie

Deze analyse wijst op drie samenhangende ontwikkelingen in het Drouwenerzand: verzuring, verdroging en afname van basische kationen. Voor de hydrologische component wijzen zowel de met Wamelink afgeleide grondwaterstandsindicatoren (GHG, GVG) als de vegetatie-afgeleide vochtindicator (Ellenberg vocht) op een verschuiving richting drogere standplaatscondities. Deze indicatoren voor vocht en grondwaterstand moeten voorzichtig worden geïnterpreteerd. De stuifzandvegetaties in het Drouwenerzand zijn grotendeels grondwateronafhankelijk. Grondwaterstanden van minder dan 75cm onder maaiveld hebben geen directe relatie meer met plantensamenstelling, waardoor absolute waarden minder betekenisvol zijn en trends sterker kunnen worden beïnvloed door relatief kleine verschuivingen in soortencompositie, successie (bijv. veroudering van struikhei), beheer, en meetonzekerheid.

Een daling in de gemiddelde hoogste- en voorjaarsgrondwaterstand is opvallend omdat winters in recente jaren volgens het KNMI natter zijn geworden. Zomers zijn echter juist droger geworden, waardoor vooral in relatief grondwateronafhankelijke vegetaties drogere condities in de wortelzone kunnen ontstaan.

De indicatoren voor nutriënten laten een genuanceerd beeld zien. De afgeleide waarde voor trofie op basis van Ellenberg laat geen duidelijke trend zien, terwijl de C:N-ratio op basis van Wamelink significant toeneemt. Een stijgende C:N-ratio kan wijzen op een afnemende beschikbaarheid van stikstof voor planten, ondanks mogelijke aanvoer via depositie. Dit kan passen bij zuurdere en drogere bodemcondities, waarin de mineralisatie van organische stof wordt geremd. Daarnaast kan stikstof verloren gaan door uitspoeling of denitrificatie, of tijdelijk worden vastgelegd in organische stof. De Wamelink indicatoren voor magnesium, kalium, chloride en calcium laten een daling zien, waarschijnlijk duidend op uitspoeling van basische kationen. Deze afname van basische kationen vermindert de buffercapaciteit van de bodem, wat mogelijk leidt tot verdere verzuring.

Hoewel de dataset zo goed mogelijk is opgeschoond, kunnen ecologische trends worden beïnvloed door toevalligheden in individuele reeksen waarin problemen (Van Rooijen *et al.* 2024). Het is bijvoorbeeld mogelijk dat PQ's een aantal meter verschuiven, wat invloed kan hebben op de soortensamenstelling en vervolgens op de berekende milieucondities. Deze onzekerheid wordt deels weggenomen door het gebruik van D-gps met een potentiële nauwkeurigheid van 1cm. Daarnaast kan de bedekking van soorten door verschillende personen anders ingeschat worden. Door trainingen in het veld wordt dit zo goed mogelijk voorkomen. Ook seizoensvariatie kan een rol spelen. Een regel voor opnamen in het LMF is dat een volgende meetronde van een PQ binnen vier weken van de vorige opname gedaan moet worden, maar ook wanneer de opname binnen deze tijdsperiode wordt gedaan, kan het groeiseizoen dusdanig anders verlopen dat sommige soorten worden gemist. Dit onderstreept het belang van langjarige meetreeksen. Door de metingen iedere drie jaar uit te voeren, wordt de invloed van waarnemers- en seizoenseffecten verkleind. Verder is het belangrijk dat opnamen met minder dan 5 soorten uit de dataset verwijderd moesten worden om betrouwbare abiotische waarden te berekenen. Omdat sterk verzuurde omstandigheden vaak soortenarme vegetaties tot gevolg hebben, is het mogelijk dat het verwijderen van soortenarme opnamen tot een onderschatting van verzuring heeft geleid.

## 5. Conclusie

Ondanks de genoemde aandachtspunten laten de langdurige vegetatiereeksen uit het Landelijk Meetnet Flora statistisch significante trends zien. De resultaten wijzen erop dat de bodem in het Drouwenerzand verzuurt, de standplaatscondities structureel droger worden en het bufferend vermogen van de bodem afneemt als gevolg van het verlies van basische kationen. Deze ontwikkelingen nauw aan bij de knelpunten die zijn benoemd in de natuurdoelanalyse voor het Drouwenerzand.

## Literatuur

- Barkman, J.J., Doing, H. & Segal, S. (1964). Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur Quantitativen Vegetationsanalyse Acta Botanica Neerlandica, Volume 13 - Issue 3 p. 394–419
- Bolker B.M., Brooks, M.E. Clark, C.J. Geange S.W., Poulsen J.R., Stevens M.H., White J.S. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. Trends Ecol Evol. 2009 Mar;24(3):127-35.
- Ellenberg, H. (1974). Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9: 1-97.
- Ellenberg, H. (1979). Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas, 2 auflage. Scripta Geobotanica 9: 1-122.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulssen, D. (1991). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18: 1-248.
- Hennekens S., Holtland J., van Rooijen N., Wamelink W., Ozinga W. (2020). Indicatiewaarden voor voedselrijkdom van de bodem: Een vergelijking tussen drie indicatiesystemen. WOt-technical report 191.
- Hennekens S., Holtland J., van Rooijen N., Wamelink W., Ozinga W. (2022). Planten als indicatoren voor pH en GVG: Een vergelijking van het ITERATIO- en Wamelink-indicatorsysteem voor pH en GVG. WOt-technical report 140.
- Van Rooijen N.M., Hennekens S., Sanders M., Holtland J., Wamelink W., Ozinga W. (2024) Planten als indicatoren voor pH en GVG II: een vergelijking van het ITERATIO- en Wamelink-indicatorsysteem voor pH en GVG vanuit ecologisch perspectief. WOt-technical report 263.

## Bijlage I: Beschrijving ontwikkeling permanente kwadraten

PQ-nr	Excluderen (Ja/Nee)	Meetnet	Opnamejaren	Habitattype T1	Opmerkingen (Braun Blanquet schaal waarden tussen haakjes)
G091	Nee	LMF-MN	1999, 2003, 2007, 2011, 2015, 2018, 2021, 2024	H0000	Globaal een afname van gestreepte witbol en toename van gewoon reukgras. In 1999 dominantie van witbol (4) in combinatie met veldzuring (2a) en ruw beemdgras (2b), engels raaigras (2m), gladde witbol (2m). In 2007 verschijnt reukgras. In 2011 komt gestreepte witbol nog maar voor met bedekking (1), maar in 2015 ineens weer een toename (3). In 2024 zijn gewoon struisgras en reukgras de grootste bedekkers (3).
G553	Nee	LMF-MN	2013, 2016, 2019, 2022	H2330 (Zandverstuiving)	In 2013 hoogste bedekkers fijn schapengras, grijs kronkelsteeltje en zandhaarmos (allen 2b),. Verder gaffeltandmos (2a), ruig haarmos (2a) en buntgras, bochtige smele, gewoon biggenkruid, dwergviltkruid aanwezig. Schapengras en kronkelsteeltje nemen toe (3) in de opnamen erna en in 2022 is ruig haarmos de grootste bedekker (4). Wamelink pH-Kcl laat verzuring zien van 4 naar 3,94, pH-H <sub>2</sub> O schommelt.
H031	Nee	LMF-MN	1999, 2003, 2007, 2011, 2015, 2018, 2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	In eerste opname nog veel borstelgras en open rendiermos, niet teruggevonden in tweede opname, waar bronsmos domineert (5), gevolgd door struikhei (4) met bochtige smele en heideklauwtjesmos. In 2007 geen mos gekarteerd, zeer soortenarme opname met dominantie van struikhei (5) Kraaihei en grove den (r) met bochtige smele (2m). In 2011 alleen amerikaanse eik, struikhei (5) en d flexuosa (1). Vanaf 2015 weer mossen gekarteerd. Vanaf dan afname van struikhei. Bochtige smele neemt iets toe. Ph wamelink schommelt.
H238	Nee	LMF-MN	2000, 2004, 2008, 2012, 2015, 2018, 2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	In 2000 soortenarme opname met dominantie van struikhei. Verder bochtige smele en fijn schapengras. Vanaf 2015 consequent (kost)mossen opgenomen. Heideklauwtjesmos dominant (3). Verder gewoon pluisjesmos (2a), gewoon gaffeltandmos (2a) en bronsmos (2a). Geen sterke veranderingen, behalve dat heide en mossen in 2018 deels zijn afgestorven (oorzaak onbekend).
H239	Nee	LMF-MN	2000, 2004, 2008, 2012, 2016, 2019, 2022	H2330 (Zandverstuiving)	Grazige vegetatie in 2000 met dominantie van fijn schapengras (3). Verder buntgras (2a) en borstelgras (2a). Vanaf 2008 duikt gewoon haarmos op (is deze eerder niet opgenomen?). In 2012 een jonge zaailing van jeneverbes in het PQ. In 2016 voldoet de vegetatie niet meer aan zandverstuiving want is te sterk dichtgegroeid met struikhei (H2310 voldoet beter). Daling in Wamelink pH-waarden.
H240	Nee	LMF-MN	2000, 2004, 2008, 2012, 2016, 2019, 2022	H2330 (Zandverstuiving)	Staat op T0 nog als H2310, op T1 als H2330. Tot en met 2012 hoge bedekking struikhei (5). Vanaf 2016 begint dit af te sterven. In 2019 voldoet vegetatie niet meer door afsterven struikhei H0000. Door hoge bedekking struisgras (en lage bedekking struikhei) geeft de habitatbeoordeling in 2024 H2330 aan. Dit is in lijn met T1.

Analyse milieucondities Drouwenerzand 1999-2024

H277	Nee	LMF-MN	2000, 2004, 2008, 2012, 2015, 2018, 2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	In 2000 opname met bochtige smele dominant (4), verder o.a. zandstruisgras (2a), schapengras (2a), struikhei (2a), liggend walstro (1) en borstelgras (+). In 2004 borstelgras en liggend walstro verdwenen en vergrassing met bochtige smele afgenomen. In 2012 liggend walstro weer terug. Bedekking struikhei neemt daarna toe, vergrassing neemt iets toe en blijft constant (3). Voldoet aan habitatype maar alleen in mozaïek door hoge bedekking bochtige smele. Vanaf 2021 zelfstandig kwalificerend voor H2310.
H278	Nee	LMF-MN	2000, 2004, 2008, 2012, 2016, 2019, 2022	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	Soortenarme opname in 2000 met struikhei (5), kraaihei (2b), zomereik (r) en sporkehout (r). Mossen t/m 2004 niet opgenomen. In 2008 verschijnt pilzegge en struikhei is afgestorven (lijkt gecontroleerd gebrand). In 2012 pilzegge (3) en struikhei (4) weer sterk toegenomen. Struikhei blijft dominant tot aan 2022, maar de vegetatie is soortenarm zonder composieten. Voldoet aan H2310.
H291	Nee	LMF-MN	2000, 2004, 2008, 2012, 2015, 2018, 2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	Vegetatie in 2000 dominant met struikhei (4), bochtige smele (2a), schapengras (2a), struisgras (2m) en veldzuring (1). In 2004 struikhei volledig dominant (5) en bijna geen grassen. Sinds 2012 struikhei en mossen deels afstervend. Er komen daarna meer verschillende korstmossen in de opname, maar dat kan ook aan de kennis van de opnemer liggen. In 2024 lijkt heide weer vitaal.
L478	Nee	LMF-MN	2002, 2006, 2010, 2014, 2018, 2024	H9190 (Oude eikenbossen)	Opname ligt in een open plek in het bos, klein heideveldje met opslag. Amerikaanse vogelkers verschijnt in 2010. In 2018 is struikhei afgestorven.
L479	Nee	LMF-MN	2002, 2006, 2010, 2014	H0000	Bos met zomereik, zachte berk en grove den. Geen grote veranderingen. Klimop en bochtige smele verschijnen in 2010.
L482	Nee	LMF-MN	2002, 2006, 2010, 2014	H0000	Bos met grove den en zomereik. Framboos (in laatste opname als zwarte braam aangemerkt?), liggend walstro en lijsterbes in kruidlaag. In 2010 verschijnt amerikaans krentenboompje.
N806	Nee	LMF-MN	2013, 2019	H5130 (Jeneverbesstruwelen)	Jeneverbesstruweel met struikhei. In 2019 is één jeneverbes grotendeels afgestorven. Kraaihei verschijnt in 2019 (2m).
N913	Nee	LMF-MN	2015, 2018, 2021, 2024	H5130 (Jeneverbesstruwelen)	Jeneverbesstruweel met struikhei. Habitatype komt niet overeen met T0 en T1, waar het als H2310 staat aangegeven. Geen grote veranderingen.
PAS2 6001	Nee	LMF-PI	2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	Struikhei en heideklauwjtesmos dominant (5), in 2024 verschijnt grijs kronkelsteeltje. Tweede opname rijker aan korstmossen dan eerste opname in 2021, waar alleen open rendiermos opgeschreven is. In 2024 ook kopjes-bekermos en dove heidelucifer.
PAS2 6002	Nee	LMF-PI	2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	Heideklauwjtesmos grootste bedekker (4), daarna struikhei (3). Korstmossen open rendiermos en varkenspootje. Grassen buntgras en fijn schapengras. Ook breekblaadje (+) aanwezig in eerste opname. In 2024 verschijnt grijs kronkelsteeltje. Wederom in tweede opname meer korstmossen zoals kopjes-bekermos en rafelig bekermos in toevoeging op open rendiermos en varkenspootje.
PAS2 6003	Nee	LMF-PI	2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	In tweede opname groot deel heide afgestorven in het PQ. Als struikhei niet terugkomt ontwikkelt zich dit waarschijnlijk naar H2330 (zandverstuivingen).

Analyse milieucondities Drouwenerzand 1999-2024

PAS2 6004	Nee	LMF-PI	2021, 2024	H2310 (Stuifzandheide met struikhei)	Struikhei en heideklauwtjesmos dominant (4). In 2024 verschijnt grijs kronkelsteeltje in opname. Ook hier in de tweede opname veel meer cladonia's (girafje, rood bekermos, kopjes-bekermos en dove heidelucifer) gevonden.
--------------	-----	--------	------------	--	---

## Bijlage II: Uitleg verschillende indicatiewaarden

Uitleg op basis van Hennekens *et al.* (2022)

### Ellenberg

Het gebruik van plantensoorten als indicator voor bepaalde milieucondities kent een lange historie, maar de eerste auteur die een systematisch indicatiesysteem ontwikkeld heeft voor een groot gebied, was de Duitse vegetatiekundige Heinz Ellenberg (*Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*, Ellenberg, 1974; 1979; Ellenberg *et al.*, 1991; 2010). De door hem ontwikkelde lijst met 'Ellenberg-indicatiewaarden' geeft voor de plantensoorten van Centraal-Europa een eenvoudige, numerieke karakterisering van hun standplaatsvoorkeur. Per soort wordt voor zeven belangrijke milieufactoren de voorkeur weergegeven met behulp van een negendelige ordinale schaal (voor vocht wordt een twaalfdelige schaal gebruikt). Voor alle milieufactoren geldt dat de getallen een gradiënt van lage naar hoge waarden van de betreffende milieufactor weerspiegelen. De zeven Ellenberg-waarden van een soort geven een samenvatting van de milieucondities waarbij de soort in het vrije veld optimaal voorkomt en ze bieden daarmee een beschrijving van de 'gerealiseerde niche'.

De standplaatsfactoren waarvoor Ellenberg-indicatiewaarden beschikbaar zijn (met tussen haakjes de door Ellenberg gebruikte afkorting en benaming):

- Nutriëntenbeschikbaarheid (N = Stickstoffzahl / Nährstoffzahl)
- Lichtbeschikbaarheid (L = Lichtzahl)
- Vochtbeschikbaarheid (F = Feuchtezahl)
- Zuurgraad (R = Reaktionszahl)
- Temperatuur (T = Temperaturzahl)
- Continentaliteit (K = Kontinentalitätszahl)
- Saliniteit (S = Salzzahl)

Per standplaatsfactor geven de indicatiewaarden informatie over de positie langs de milieugradiënt waar de soort met de hoogste frequentie voorkomt (de piek van de responscurve). Een nadeel van het systeem van Ellenberg-indicatiewaarden is dat er geen informatie geboden wordt over de range aan condities waarbij een soort voorkomt (de ecologische range van de responscurve). Wel worden soorten met een zeer grote bandbreedte gemarkeerd met een 'x' en aangeduid als 'indifferent'.

In de literatuur is kritiek geuit op het subjectieve karakter van de Ellenberg-indicatiewaarden (Økland, 1990; Diekmann & Lawesson, 1999), maar in de praktijk blijken ze vaak goed te werken (o.a. Ter Braak & Gremmen, 1987; Diekmann, 1995; 2003; Thompson *et al.*, 1993; Chytrý *et al.*, 2009; Ozinga *et al.*, 2013; Shipley *et al.*, 2017). Dit blijkt onder andere uit diverse studies waarin relatief hoge correlaties werden gevonden tussen gemiddelde Ellenberg-waarden van vegetatieopnamen en gemeten milieucondities (o.a. Hill & Carey, 1997; Schaffers & Sýkora, 2000; Wagner *et al.*, 2007; Kleinebecker *et al.*, 2018).

Het Ellenberg-indicatiegetal voor pH geeft informatie over de zuurgraad in de wortelzone gedurende het groeiseizoen waarbij de plant met de hoogste bedekking voorkomt. Bij het toekennen van de indicatiewaarden heeft Ellenberg onder andere gebruikgemaakt van een grote dataset met ruim 15.000 veldmetingen van bodem-pH. Hierbij zijn op een deel van de locaties naast mengmonsters ook metingen verricht in aparte monsters in verschillende bodemhorizonten en in sommige gevallen zijn de metingen in meerdere seizoenen herhaald (maar verdere details zijn helaas niet beschikbaar). Hieruit bleek dat de pH-waarden op kleine schaal sterk kunnen variëren, zowel ruimtelijk als temporeel. Daarnaast benadrukt Ellenberg dat veel plantensoorten een brede range hebben en dat het pH-optimum per gebied kan verschillen.

Het Ellenberg-vochtgetal geeft informatie over de vochtbeschikbaarheid in de wortelzone gedurende het groeiseizoen waarbij de plant met de hoogste frequentie voorkomt. In vergelijking met pH is de voor de plant relevante vochtbeschikbaarheid lastig te meten en Ellenberg benadrukt dat de indicatiewaarden gezien

moeten worden als relatieve waarden die niet eenduidig geïnterpreteerd kunnen worden aan grondwaterstanden. Hiervoor is aanvullende informatie nodig over bodem en hydrologie.

## Wamelink

Vanaf 1970 is het indicatiesysteem van Ellenberg gebruikt voor analyse van milieuvaryatie. Volgens Wamelink et al. (2002) is het nadeel van het Ellenberg-indicatiesysteem echter dat de ordinale indicatiewaarden daarvan (bijv. van 1 = zuur naar 9 = basisch) met verschillende betrouwbaarheid vertaald kunnen worden in waarden die ook in het veld gemeten kunnen worden, bijvoorbeeld Ellenberg F (Vocht) naar grondwaterstand (GVG of GLG) of Ellenberg R (Zuurgraad) naar bodem-pH. Vertaling naar meetbare veldwaarden, bijvoorbeeld GVG, is belangrijk voor de beoordeling welke maatregelen genomen moeten worden om de milieucondities te verbeteren om de gewenste natuurkwaliteit te bereiken en te behouden.

Om de vertaling van Ellenberg-indicatiewaarden naar veldwaarden overbodig te maken, zijn de zogenaamde WW-indicatiewaarden ontwikkeld. Zij zijn rechtstreeks gebaseerd op metingen in het veld, bijvoorbeeld pH, NO<sub>3</sub> in de bodem, totaal-P in de bodem, GVG of gemiddelde jaartemperatuur (Wamelink et al., 2005; 2012).

De indicatiewaarden kunnen, analoog aan de Ellenberg-indicatiewaarden, worden gebruikt in bijvoorbeeld Turboveg en SynBioSys. Voor een vegetatieopname wordt bijvoorbeeld het gemiddelde berekend van de indicatiewaarden op basis van de samenstellende soorten. Eventueel kan rekening worden gehouden met de bedekking of de breedte van de responscurve van de soorten en zo een gewicht toe te kennen aan de indicatiewaarden per soort. Dit is voor de eerdere LMF-berekeningen ook gebeurd, daarbij wordt de range van de responscurve (gebaseerd op het 5e en 95e percentiel van de responscurve) als gewicht gebruikt. Soorten met een brede range tellen minder zwaar mee dan soorten met een smalle range (zie volgende paragraaf).

De WW-indicatiewaarden voor zowel pH als GVG zijn gevalideerd met onafhankelijke data (zie Wamelink et al., 2005). De onzekerheid voor de pH varieert afhankelijk van de dataset meestal tussen 0.3 en 0.5 pH eenheid (zie ook Wamelink et al., 2005), wat goed te noemen is; bij validatie ligt de verklaarde variantie meestal tussen de 0.5 en 0.7. Voor grondwaterstand is dit minder onderzocht en is de onzekerheid onbekend. Bij validatie werd een verklaarde variantie van 0.52 gevonden (ongepubliceerd).

Voor de pH geldt dat vooral zuurdere situaties goed voorspeld worden met het indicatiesysteem, bij pH-waarden boven de 6 à 7 werkt het systeem aanmerkelijk minder goed en zouden mogelijk betere andere indicatiewaarden gebruikt kunnen worden, zoals calciumgehalte, fosfaatgehalte of chloridegehalte in de bodem.

Voor grondwaterstanden geldt dat diepere grondwaterstanden, beneden de 75 cm -mv, nagenoeg geen relatie meer hebben met de meeste plantensoorten, omdat ze geen water kunnen opnemen van die diepte. Dat betekent ook dat op basis van plantensoorten geen grondwaterstanden van beneden 75 cm -mv kunnen worden geschat. Bij de berekening van de gemiddelden, en al eerder bij het schatten van de indicatiewaarde, wordt daar nog geen rekening mee gehouden, daar kunnen dus wel waarden hoger dan 75 cm voorkomen. Als dat niet zou worden gedaan, zouden de droge delen worden onderschat. Zulke diepe waterstanden zouden daarom ook niet moeten worden meegenomen in analyses of in voorspellingen gebaseerd op plantensoorten. Geschiktere parameters zijn dan bijvoorbeeld de (effectieve) neerslag of het vochtpercentage in de bodem (Wamelink et al., 2011). Voor die laatste is ook een WW-indicatiewaarde beschikbaar.

## Iteratio

Het indirect afleiden van milieufactoren zoals pH en GVG, op basis van een vegetatieopname en indicatiewaarden van de samenstellende soorten, is niet nieuw. Verschillende indicatiesystemen werken tot nu toe vaak met het optimum in de responscurven van soorten zonder dat er weegwaarden voor de breedte van de range van een soort op een bepaalde milieugradiënt worden meegenomen. Dit werkt in het middengebied van een bepaalde milieu-as (= milieugradiënt) wel goed, maar naar de extremen toe worden de afwijkingen tussen de geïndiceerde waarden van vegetatieopnamen en de gemeten waarden (zeer) groot. De geïndiceerde waarden worden namelijk door middeling naar het midden getrokken; de extremen worden afgevlakt. Het indicatiesysteem ITERATIO heeft daar een oplossing voor gevonden.

ITERATIO is ontwikkeld met de bedoeling de berekende milieufactoren zo direct mogelijk aan te laten sluiten op de ecologische vereisten van zowel de Natura 2000-habitattypen als de SNL-beheertypen. Het instrument ITERATIO is in eerste instantie opgezet om terreinconditiekaarten te maken van gekarteerde natuurterreinen. De vegetatieopnamen die zijn gemaakt om de typologie van de kaart te onderbouwen, worden gebruikt voor het berekenen van een indicatiewaarde van de gekarteerde vegetatietypen op de kaart. Daarbij wordt aangenomen dat de gemaakte vegetatieopnamen voldoende representatief zijn voor alle kaarteenheden waar het vegetatietype voorkomt. Vervolgens kunnen, indien van een gebied meerdere karteringen zijn uitgevoerd met bijvoorbeeld tussenliggende periodes van tien jaar, veranderingen van abiotische condities in beeld worden gebracht. Deze veranderingen in abiotische condities kunnen leiden tot gerichte beheersmaatregelen die genomen worden om de condities te verbeteren.

Algemeen wordt ingezien dat soorten met een smalle range op een bepaalde milieu-as, de scherpste indicatie opleveren. Echter, dergelijke soorten komen in de praktijk in lang niet alle opnamen voor. Voor ITERATIO is daarom een statistiek ontwikkeld waarbij het 'werk' gedaan wordt door de smalle soorten en waarbij de bredere soorten via een iteratief proces gefit worden op de milieugradiënt die in hoge mate door de smalle soorten gedefinieerd wordt. De bredere soorten die geen gefixeerde indicatiewaarde hebben, krijgen zo een waarde die bepaald wordt door de smalle soorten bij wie ze in de opnamen voorkomen. Zo wordt bereikt dat de smalle soorten de milieugradiënt bepalen en waarbij toch ook vegetatieopnamen zonder deze smalle soorten een indicatiewaarde krijgen (Holtland et al., 2010).

In ITERATIO wordt de bedekking van de soorten meegenomen bij de berekening van de gewogen gemiddelde indicatiewaarde van de opnamen. Daarvoor wordt bij het inlezen van de opnamen de bedekking aangepast aan de hand van een ordinale schaal die loopt van 1 t/m 9 (ook wel aangeduid als de Van der Maarel-schaal), waardoor de invloed in de berekening verlaagd wordt van met name de soorten met hoge bedekkingen.

De trofiegraad geeft de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten aan, gebaseerd op een combinatie van macronutriënten (dus niet alleen stikstof, maar ook fosfaat en kalium). Voor trofie was het in tegenstelling tot zuurgraad en GVG (Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand) niet mogelijk om indicatiewaarden voor soorten te bepalen op basis van veldmetingen gekoppeld aan vegetatieopnamen. Daarom is voor ITERATIO gebruikgemaakt van een bestaand indicatorenstelsel. De compleetste bron voor indicatiegetallen voor voedselrijkdom was destijds de Indicatorenreeks van KIWA/Staatsbosbeheer (Jalink, 1995; 1996; Aggenbach, 1995; 1998; 1999; 2005). Daarvoor zijn zowel metingen gebruikt (biomassaproductie en beschikbare nutriënten) als expertkennis (KIWA). Belangrijk voor de ontwikkeling van de reeks zijn enerzijds Nederlandse biomassaproductiemetingen en anderzijds ook Duitse biomassaproductiemetingen van Klaus Dierssen (1990). Verder is niet alleen kennis van soorten ingezet, maar ook van de relatieve voedselrijkdom van vegetatietypen. De kensoorten van een vegetatietype krijgen de abiotische ranges van het betreffende vegetatietype.”