



Indicatiewaarden voor voedselrijkdom van de bodem

Een vergelijking tussen drie indicatiesystemen

S. Hennekens, J. Holtland, N. van Rooijen, W. Wamelink & W. Ozinga

| WOt-technical report 191



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Indicatiewaarden voor voedselrijkdom van de bodem

Dit Technical report is gemaakt conform het Kwaliteitsmanagementsysteem (KMS) van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research.

De WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) te ondersteunen. We zorgen voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieus, biodiversiteit en bodeminformatie, en werken mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOt-publicaties

De reeks 'WOt-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het PBL is een inhoudelijk onafhankelijk onderzoeksinstituut op het gebied van milieu, natuur en ruimte, zoals gewaarborgd in de Aanwijzingen voor de Planbureaus, Staatscourant 3200, 21 februari 2012.

Dit onderzoeksrapport draagt bij aan de kennis die verwerkt wordt in meer beleidsgerichte publicaties zoals Natuurverkenning, Balans van de Leefomgeving en andere thematische verkenningen.

Het onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Indicatiewaarden voor voedselrijkdom van de bodem

Een vergelijking tussen drie indicatiesystemen

Stephan Hennekens¹, Jan Holtland², Nils van Rooijen¹, Wieger Wamelink¹ & Wim Ozinga¹

1 Wageningen Environmental Research

2 Holtland Eco Advies

BAPS-projectnummer WOT-04-010-034.66

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2020

WOT-technical report 191

ISSN 2352-2739

DOI 10.18174/536435

Referaat

Hennekens, S., J. Holtland, N. van Rooijen, W. Wamelink & W. Ozinga (2020). *Indicatiewaarden voor voedselrijkdom van de bodem; Een vergelijking tussen drie indicatiesystemen*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 191. 56 blz.; 11 fig.; 6 tab.; 60 ref; 0 Bijlagen.

Voor het Compendium van de Leefomgeving en de Digitale Balans wordt voor de kwaliteit en trend van milieuocondities gebruikgemaakt van indicatiewaarden van planten. In dit document wordt geprobeerd antwoord te geven op de vraag wat een goed indicatiesysteem is voor de nutriëntenbeschikbaarheid van planten als indicator voor veranderingen in voedselrijkdom (vermesting). Op verschillende manieren is getracht deze vraag te beantwoorden, waarbij de aandacht zich voornamelijk richt op drie indicatiesystemen, namelijk ITERATIO-trofie, Ellenberg-trofie en Wamelink-NO3.

Op de eerste plaats is gekeken naar hoe de verschillende indicatoren met elkaar correleren. Daarnaast zijn voor de verschillende indicatoren ecologische diagrammen opgesteld van plantengemeenschappen die onderling zijn vergeleken door experts. Verder is een drietal opnamensets doorgerekend waarbij per opname bekend is wat de biomassa/mestgift is, zodat berekende trofie-indicaties direct hieraan konden worden gekoppeld. Ten slotte zijn van een elftal meerjarige PQ-reeksen van de Strabrechtse heide de trends in trofie doorgerekend.

Op basis van deze analyses is geconcludeerd dat ITERATIO- en Ellenberg-trofie goede indicatoren voor nutriëntenbeschikbaarheid zijn, zeker ook als het gaat om het detecteren van temporele veranderingen in de vegetatie. WW-NO3 of ieder andere WW-indicator kan niet als trofie-indicator worden ingezet, omdat slechts één macronutriënt niet voldoende is om de complexiteit van nutriëntenbeschikbaarheid te vatten.

Trefwoorden: Indicatiesystemen, ITERATIO, Ellenberg, Wamelink-indicatoren, nutriëntenbeschikbaarheid, trofie, voedselrijkdom, stikstof

Abstract

Hennekens, S., J. Holtland, N. van Rooijen, W. Wamelink & W. Ozinga (2020). *Indices for nutrient status: A comparison of three indicator systems*. Wageningen, The Statutory Research Task Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), WOt-technical report 191. 56 p.; 11 Figs; 6 Tabs; 60 Refs; 0 Annexes.

For the Environmental Data Compendium, including the Digital Environmental Balance, ecosystem quality and trends in availability of nutrients are assessed by using indices based on plant species. This report presents a study to determine the most suitable indicator system for assessing nitrogen availability to plants. Three existing indicator systems were compared: ITERATIO, Ellenberg indicator value and Wamelink-NO3. First, correlations between the different indices were examined, then indices were calculated for different plant communities and the outcomes were evaluated by vegetation experts. Subsequently, three datasets on species composition and biomass/fertilisation rates were analysed in order to relate biomass/fertilisation data to trophic indicator values. Lastly, trends in trophic level were calculated for eleven time series of permanent vegetation recordings of the Strabrechtse Heide heathland.

Based on these analyses it was concluded that ITERATIO and Ellenberg produced the most reliable results. Neither Wamelink-NO3, nor other Wamelink indicator values are deemed suitable for assessing nutrient availability as they each focus on a single macronutrient. This is not sufficient to grasp the complexity of nutrient availability in ecosystems.

Keywords: Indicator systems, ITERATIO, Ellenberg, nutrient availability, nitrogen

Foto omslag: Shutterstock

© 2020 **Wageningen Environmental Research**

Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 480700; e-mail: stephan.hennekens@wur.nl

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (unit binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 54 71, info.wnm@wur.nl, www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

WOT Natuur & Milieu is onderdeel van Wageningen University & Research.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/536435> of op www.wur.nl/wotnatuurenmilieu. De WOT Natuur & Milieu verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Voor het Compendium van de Leefomgeving en de Digitale Balans wordt voor de kwaliteit en trend van stikstofbeschikbaarheid ecosystemen gebruikgemaakt van indicatiewaarden van planten voor N-totaal van Wamelink. Verkennende analyses hebben echter aangetoond dat deze indicator het totaal aan aanwezige stikstof in de bodem en niet alleen de beschikbare stikstof voor planten weergeeft. Om uitspraken te doen over veranderingen in voedselrijkdom en vermesting is een indicator nodig, gericht op het complex van beschikbare nutriënten, ook wel aangeduid als trofie. Derhalve worden in deze studie verschillende indicatiesystemen met elkaar vergeleken, waarbij gezocht wordt naar een betere indicator voor nutriëntenbeschikbaarheid voor plantensoorten.

De auteurs

Inhoud

Woord vooraf	5
Inhoud	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
2 Achtergrond indicatiesystemen	15
2.1 Ellenberg-trofie-indicatiewaarden	15
2.1.1 Inleiding	15
2.1.2 Hoe zijn de Ellenberg-indicatiewaarden tot stand gekomen?	15
2.1.3 Ellenberg-indicatiewaarden voor nutriëntenbeschikbaarheid	16
2.2 ITERATIO-trofie-indicatiewaarden	17
2.2.1 Inleiding	17
2.2.2 Toekennen van indicatiewaarden en gewichten	18
2.2.3 Iteratieve berekening van de indicatiewaarde van opnamen	20
2.2.4 Regionalisatie	22
2.3 WW-indicatiewaarden	22
2.3.1 Inleiding	22
2.3.2 Opstellen indicatiewaarden	22
2.3.3 Nutriëntenbeschikbaarheid	24
3 Analyses	25
3.1 Inleiding	25
3.2 Databselectie	25
3.3 Correlaties tussen indicatoren	27
3.3.1 Correlaties op basis van soortindicaties	27
3.3.2 Correlaties op basis van gemiddelde indicatiewaarden van opnamen	28
3.3.3 Conclusie	28
3.4 Vergelijking boxplots van indicatiewaarden van plantengemeenschappen	29
3.4.1 Inleiding	29
3.4.2 Analyse ecologische diagrammen	30
3.4.3 Conclusie	31
3.5 Trofie-indicaties in relatie tot biomassa en mestgift	31
3.5.1 Inleiding	31
3.5.2 Het Poolse bemestingsexperiment	32
3.5.3 Graslanden in Zuid-Holland en Utrecht	33
3.5.4 Ecological Condition Database	34
3.5.5 Conclusie	35
3.6 Veertig jaar PQ-onderzoek Strabrechtse heide	35
3.6.1 Inleiding	35
3.6.2 PQ-analyse	35
3.6.3 Conclusie	39

4	Eindconclusie	41
4.1	Vergelijking van de drie indicatiesystemen	41
4.2	Discussie over indicatiewaarden voor nutriënten op basis van bodemchemische metingen	42
4.3	Conclusie en aanbeveling	43
	Literatuur	45
	Elektronische bijlagen	49
	Verantwoording	51

Samenvatting

Er wordt door PBL, WOT/WENR, CBS en provincies gebruikgemaakt van indicatoren om veranderingen in milieucondities te signaleren. Het gaat om de toestand en trend van milieucondities zoals voedselbeschikbaarheid voor plantensoorten, pH en gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG).

Er zijn verschillende indicatiesystemen beschikbaar voor voedselbeschikbaarheid. Door het PBL is in 2019 een *quickscan* uitgevoerd waarbij verschillende indicatiesystemen, namelijk de indicatiegetallen van Wieger Wamelink (in dit rapport verder aangeduid met de afkorting 'WW'), ITERATIO- en Ellenberg-indicatiewaarden, met elkaar zijn vergeleken. Aanleiding was een niet verwacht resultaat bij het gebruik van het WW-N-totaal als maat voor voedselbeschikbaarheid voor plantensoorten. Bovendien is stikstof niet het enige nutriënt dat de voedselrijkdom van een ecosysteem bepaald.

Er is al vele decennia discussie over de vraag in hoeverre en hoe het mogelijk is om vanuit de vegetatie betrouwbare indices af te leiden voor de beschikbaarheid van verschillende nutriënten in de bodem. De voedselrijkdom of productiviteit van de bodem (beschikbaarheid van nutriënten voor de productie van biomassa) wordt niet alleen bepaald door de beschikbaarheid van stikstof (N), maar ook door andere macronutriënten, zoals fosfaat (P) en kalium (K) en de verhouding tussen macronutriënten. De mate waarin de soortensamenstelling samenhangt met de beschikbaarheid van N en/of P en K verschilt tussen habitattypen en tussen gebieden en wordt mede beïnvloed door andere factoren (o.a. pH en hydrologie). Daarbij is N-totaal van de bodem een maat voor de hoeveelheid aanwezige stikstof en niet voor de hoeveelheid beschikbare stikstof. Plantenwortels nemen namelijk stikstof (N) op als nitraat (NO_3) of ammonium (NH_4). De trofiegraad geeft de voedselrijkdom van het water of van de bodem aan, gebaseerd op een combinatie van macronutriënten die nodig zijn voor de voeding van planten.

Om tot een antwoord te kunnen komen op de vraag welk indicatiesysteem de nutriëntenschikbaarheid voor plantensoorten het best weergeeft, is een aantal analyses uitgevoerd. In de eerste plaats een onderlinge vergelijking van de drie indicatiesystemen: WW (met indicatiewaarden voor WW-N-Totaal, WW-NH₄, WW-NH₃, WW-NO₃, WW-C/N, WW-PO₃, WW-PTOT), ITERATIO-Trofie en Ellenberg-Trofie. Hierbij is een vergelijking uitgevoerd op basis van (1) de indicatiewaarden van een selectie van soorten en (2) de gemiddelde indicatiewaarden van vegetatieopnamen. In het tweede geval zijn random sets van telkens zo'n 15.000 vegetatieopnamen doorgerekend. Deze onderlinge vergelijking levert echter nog geen informatie over de mate waarin de drie indicatiesystemen geschikt zijn als indicator voor nutriëntenbeschikbaarheid. Wel is op basis hiervan voor WW-NO₃ gekozen, omdat deze indicator het sterkst gecorreleerd is met Ellenberg-trofie en Iteratio-trofie. Bovendien is nitraat een voor de planten direct beschikbare stikstofbron.

Om een betere, directe relatie te kunnen vinden tussen trofie en begroeiing is, gezocht naar datasets waarbij behalve vegetatieopnamen ook biomassa-/mestgiftbepalingen zijn gedaan. Hiermee kunnen indicatiewaarden van de vegetatieopnamen direct worden gekoppeld aan biomassaproductie. Helaas zijn dergelijke metingen zeer schaars en dan ook nog tot voornamelijk graslanden beperkt. Een duidelijk antwoord over welk indicatorsysteem het beste de relatie weergeeft tussen biomassa en trofie-indicatie is niet naar voren gekomen bij deze analyse.

Een duidelijker antwoord wordt gegeven door de vergelijking van ecologische diagrammen van plantengemeenschappen (associaties). Twee experts hebben deze diagrammen beoordeeld zonder te weten om welk indicatiesysteem het ging en onafhankelijk van elkaar geconcludeerd dat zowel ITERATIO als Ellenberg de onderlinge verhoudingen tussen de associaties van een vegetatiegroep (graslanden, heiden, bossen, wateren) goed weergeven en dat WW-NO₃ dat niet doet.

Ten slotte is van een elftal PQ's van heidevegetatie op zandgrond, die over een periode van veertig jaar ieder jaar zijn opgenomen op de Strabrechtse heide, de trend in trofie bepaald. Hierbij is naar voren gekomen dat zowel ITERATIO als Ellenberg de trend goed weergeeft, maar dat ITERATIO minder uitschieters naar boven en onder de trendlijn toont. Deze jaarlijkse fluctuaties worden veelal veroorzaakt door incidenteel voorkomende soorten die niet specifiek zijn voor de bemonsterde vegetatie. Bij ITERATIO hebben deze soorten meestal geen vaste waarde of hebben een laag gewicht toegekend gekregen, waardoor ze minder bepalend zijn bij de berekening van de gemiddelde trofiewaarde van een vegetatieopname.

Eindconclusie is dat op basis van de bovengenoemde analyses ITERATIO en Ellenberg het best gebruikt kunnen worden voor het bepalen van de trofie en dat ITERATIO het best lijkt te presteren bij trendanalyses op gebiedsniveau. Hoe ITERATIO wat betreft trendanalyse op nationaal niveau met de LMF-data presteert, zal nader onderzocht moeten worden.

Summary

The Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), the Statutory Research Tasks Unit of Wageningen Environmental Research (WOT/WENR), Statistics Netherlands (CBS) and the Dutch provincial governments use indicators to assess environmental changes. Here we focus on indicators for trends in nitrogen availability to plants. Further information can be found on the Environmental Data Compendium website.

There are many methods available to indicate nitrogen availability for vascular plants. In 2019 PBL/CBS conducted a quick scan to assess and compare the indicator values of three methods: Wieger Wamelink (WW), ITERATIO and Ellenberg. The study was conducted in response to a non-expected result after using WW-N-Totaal (WW-Total nitrogen) as a measure for nitrogen availability for plant species.

For decades there has been debate about how and to what extent vegetation composition can be used to derive reliable indicators for the availability of different nutrients in the soil. Soil productivity, as reflected in the above-ground biomass, is not only linked to nitrogen (N) availability, but also to a complex of other macronutrients such as phosphate (P) and micronutrients. The degree to which species composition is determined by the availability of N and P differs between habitat types and areas. Moreover, other environmental factors, (e.g. pH, management and hydrology) affect species composition. To rely on nitrogen availability alone will presumably lead to faulty conclusions, as was shown by the explorative analysis by PBL/CBS.

In order to assess the value of vegetation-derived nutrient indicators we conducted the following analyses. First, the following indicators from the three methods were compared: Ellenberg-N (for trophic level), ITERATIO-T (for trophic level) and WW (WW Total N, WW NH₄, WW-NO₃, WW-C:N, WW-PO₄, WW Total P). Two different sets of indicator values were compared: (1) indicator values derived from a selection of plant species and (2) the average indicator values of vegetation recordings. In the latter analysis, random sets of 15,000 vegetation recordings were analysed. This comparison offers no insight into the applicability of the three indicator methods for assessing nutrient availability.

To find a direct correlation between trophic levels, vegetation and productivity, we analysed any datasets we could find that include vegetation recordings combined with above-ground biomass measurements or fertilisation indices. A clear correlation was not found in this analysis, as these data are very rare and often limited to grassland ecosystems.

Another approach yielded clearer results. The calculated indicator values of phytosociological plant communities were compared. Two experts concluded, independently, that both ITERATIO and the Ellenberg indicator value correctly represent the different associations in relation to one another. WW-NO₃, however, does not give a reliable representation of the different communities.

In a last analysis, a trend in trophic levels was determined from a time series of vegetation relevés, repeatedly recorded over a period of 40 years in the Strabrechtse Heide heathland. Trends were reflected correctly in both the Ellenberg and ITERATIO indices, although ITERATIO showed fewer outliers in the data compared to Ellenberg, as rare species or single coincidental occurrences are less pronounced in ITERATIO.

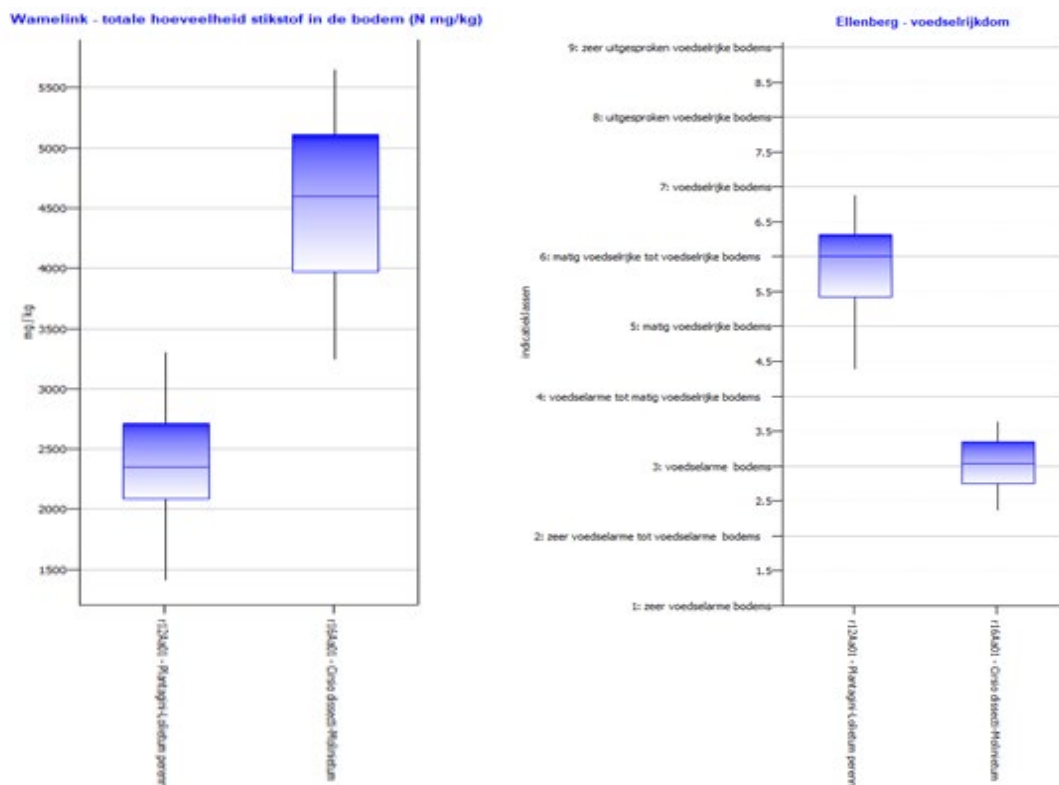
It can be concluded that both ITERATIO and Ellenberg are suitable for assessing trophic levels, although ITERATIO offers the highest correlation in various tests. How ITERATIO performs on a national scale needs further investigation.

1 Inleiding

Er wordt door PBL, WOT/WENR, CBS en provincies gebruikgemaakt van indicatoren om veranderingen in milieucondities te signaleren. Een van de indicatoren is de trend van stikstofbeschikbaarheid voor plantensoorten. (Zie hiervoor 'veranderingen in stikstofbeschikbaarheid', Balans voor de Leefomgeving.) Voor het inschatten van de beschikbaarheid van nutriënten zijn verschillende indicatiesystemen beschikbaar. Door het PBL is in 2019 een quickscan uitgevoerd waarbij drie indicatiesystemen, namelijk de indicatiegetallen van Wieger Wamelink (in dit rapport verder aangeduid met de afkorting 'WW'), ITERATIO- en Ellenberg-indicatiewaarden, met elkaar zijn vergeleken.

Aanleiding en probleem

Aanleiding was een niet verwacht resultaat bij het gebruik van de Wamelink-indicaties voor N-totaal (totale stikstofgehalte van de bodem) als maat voor vermesting. Zoals in onderstaande diagrammen (Figuur 1.1) duidelijk wordt aangetoond, geven WW-indicaties voor N-totaal (linker diagram) voor een bemest grasland (r12AA01; linker boxplot) en onbemest blauwgrasland (r16AA01; rechter boxplot) een tegenovergesteld beeld in vergelijking met Ellenberg-trofie (rechter diagram). Indien gekeken wordt naar de totale hoeveelheid aanwezige stikstof, dan komen de Wamelink-indicaties overeen met de verwachting, aangezien de bodem van een hoogproductief, bemest grasland een vaak relatief laag N-totaal kent vanwege het lage organische gehalte van de bodem. In een onbemest en laagproductief blauwgrasland is het organisch stofgehalte van de bodem veel hoger en is dus het gehalte N-totaal veel hoger. In een blauwgrasland is de stikstof echter gebonden in de organische stof en is de beschikbaarheid voor planten veel lager dan in een bemest grasland. Vanuit ecologisch perspectief is juist de beschikbaarheid en niet de aanwezigheid een relevante parameter en de CLO-indicator beoogt ook dit aspect in beeld te brengen. Dit voorbeeld laat zien dat WW-N-totaal in het geval van deze twee vegetatietypen geen goede indicator is voor de nutriëntenbeschikbaarheid voor plantensoorten.



Figuur 1.1 Boxplots (box begrensd door 25 en 75 percentielen) van Wamelink N-totaal (links) en Ellenberg-trofie (rechts) van een hoogproductief grasland (linker plot) en laagproductief grasland (rechter plot). Bron: SynBioSys Nederland.

Er is al vele decennia discussie over de vraag in hoeverre en hoe het mogelijk is om vanuit de vegetatie betrouwbare indices af te leiden voor de beschikbaarheid van individuele nutriënten in de bodem. De productiviteit van de bodem (beschikbaarheid van nutriënten voor de productie van biomassa) wordt niet alleen bepaald door de beschikbaarheid van stikstof (N), maar ook door andere macronutriënten, zoals fosfaat (P) en Kalium (K) en de verhouding tussen macronutriënten. De mate waarin de soortensamenstelling samenhangt met de beschikbaarheid van N en/of P verschilt tussen habitattypen en tussen gebieden en wordt mede beïnvloed door andere factoren (o.a. pH en hydrologie). Alleen van N – in welk vorm daarvan dan ook – is geen goede indicator voor beschikbaarheid van nutriënten voor planten. De trofiegraad geeft de voedselrijkdom van het water of van de bodem aan, gebaseerd op een combinatie van macronutriënten die nodig zijn voor de voeding van planten.

Onderzoeksvraag, aanpak en leeswijzer

Voor het bepalen van de indicatiewaarden van plantensoorten zijn verschillende indicatiesystemen beschikbaar. We hebben gekozen voor de drie meest gebruikte systemen:

1. Ellenberg, het langst beschikbare indicatiesysteem voor centraal Europa.
2. Wiegner Wamelink-getallen, gebruikt in indicatoren van het PBL en de WOT.
3. ITERATIO; ontwikkelt door Staatsbosbeheer voor het in kaart brengen van terreincondities en overgedragen aan BIJ12.

De achtergronden van deze indicatiesystemen worden beschreven in hoofdstuk 2.

De onderzoeksvraag in deze studie is:

Welk indicatorsysteem geeft de nutriëntenschikbaarheid voor plantensoorten het best weer?

Om die vraag te kunnen beantwoorden, is een aantal analyses uitgevoerd. In de eerste plaats is een onderlinge vergelijking uitgevoerd van drie indicatiesystemen: WW (WW-N-Totaal, WW-NH₄, WW-NH₃, WW-NO₃, WW-C/N, WW-PO₃, WW-PTOT), ITERATIO-Trofie en Ellenberg-Trofie. Hiervoor zijn correlaties uitgerekend op basis van (1) de indicatiewaarden van enkele duizenden soorten en (2) de gemiddelde indicatiewaarden van vegetatieopnamen, waarbij random sets van telkens zo'n 15.000 vegetatieopnamen zijn doorgerekend (paragraaf 3.1). Deze onderlinge vergelijking levert echter nog geen informatie over de mate waarin de drie indicatiesystemen geschikt zijn als indicator voor nutriëntenbeschikbaarheid. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, zijn voor de drie indicatiesystemen diagrammen opgesteld met boxplots van de indicatiewaarden van plantengemeenschappen en deze zijn op basis van een deskundigenoordeel onderling vergeleken (paragraaf 3.2).

Ten slotte is ook gezocht naar onafhankelijke datasets, waarbij naast vegetatieopnamen ook informatie beschikbaar was over de biomassaproductie binnen één seizoen, zodat de indicatiewaarden van de vegetatieopnamen direct kunnen worden gekoppeld aan gewasproductie, en dus indirect ook aan nutriëntenbeschikbaarheid (paragraaf 3.3) en is een 40-jarige PQ-reeks van de Strabrechtse heide bestudeerd (paragraaf 3.4). In hoofdstuk 4 worden de resultaten beoordeeld en conclusies getrokken over de geschiktheid van de indicatiesystemen als een indicator over trofie.

In tegenstelling tot Ellenberg-indicatoren en WW-indicatoren kent ITERATIO alleen vaste trofiewaarden voor een **beperkt** aantal soorten, zo'n 7% van de in totaal 3619 in beschouwing genomen taxa. Dit zijn over het algemeen soorten met een smalle ecologische bandbreedte. Voor alle andere, niet-vaste soorten wordt door middel van een aantal berekeningen (iteraties) de trofie berekend. Dit gebeurt normaliter binnen een landschappelijke context (bijv. een Fysisch Geografische Regio) en met een grote set aan opnamen (zie paragraaf 3.2). Voor deze studie is echter één landelijke lijst opgesteld voor zo veel mogelijk soorten om een vergelijking met de andere indicatiesystemen mogelijk te maken.

2 Achtergrond indicatiesystemen

2.1 Ellenberg-trofie-indicatiewaarden

2.1.1 Inleiding

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 standplaatsfactoren de voorkeur weergegeven met behulp van een 9-delige ordinale schaal (voor vocht een 12-delige schaal). Voor alle standplaatsfactoren 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 amplitudo van de responscurve). Wel worden soorten met een zeer grote bandbreedte gemarkeerd met een 'x' en aangeduid als 'indifferent'.

2.1.2 Hoe zijn de Ellenberg-indicatiewaarden tot stand gekomen?

Historische ontwikkeling

In de vijftiger jaren van de vorige eeuw heeft Ellenberg een eerste versie ontwikkeld van een indicatiesysteem voor een beperkt aantal akker- en graslandplanten (Ellenberg, 1950; 1952). Hierbij werd gewerkt met een vijfdelige schaal, maar dit bleek in de praktijk te weinig differentiatie te bieden. In latere versies werden daarom vier tussenklassen toegevoegd, zodat de nu gangbare 9-delige schaal ontstond (Ellenberg, 1974; 1979). Een uitzondering wordt gevormd door vocht, hiervoor werden voor waterplanten drie extra klassen toegevoegd zodat voor deze standplaatsfactor een 12-delige schaal ontstond. In 1991 is een derde, herziene versie van de lijst gepubliceerd (Ellenberg et al., 1991), waarin ook indicatiewaarden toegevoegd zijn voor diverse ontbrekende taxa en voor soortcomplexen van apomictische taxa zoals bramen (*Rubus spec.*). Naast de vaatplanten zijn hierin ook bladmossen, levermossen en korstmossen toegevoegd. In 2010 is de laatste herziening gepubliceerd als onderdeel van het boek *Vegetation Mitteleuropas* (Ellenberg & Leuschner, 2010).

Het systeem is ontwikkeld voor de Centraal-Europese flora, maar het wordt ook in veel andere Europese landen gebruikt. Daarnaast zijn er aangepaste lijsten met indicatiewaarden samengesteld voor Zwitserland (Landolt, 1977), Oost-Duitsland (Frank & Klotz, 1990), Hongarije (Borhidi, 1995),

Servië (Kojić et al., 1997), Groot-Brittannië (Hill et al., 1997, 2000), Spanje (Mayor, 1999), Polen (Zarzycki et al., 2002), De Egeïsche eilanden in Griekenland (Böhling et al., 2002), Faeröer (Lawesson et al., 2003), Italië (Pignatti, 2005; Guarino et al., 2012) en Tsjechië (Chytrý et al., 2018). Voor Nederland is gebruikgemaakt van de originele lijst van Ellenberg-waarden (Ellenberg, 1979), met aanvullingen voor mossen (Siebel, 1993) en kranswieren (Van Raam & Maier, 1992).

Onderbouwing

Ellenberg heeft voor de ontwikkeling van de lijsten met indicatiewaarden gebruikgemaakt van vele veldmetingen (inclusief bodemchemische analyses), gradiëntonderzoek, experimenten en vooral van expert-kennis. Het gebruik van expert-kennis was volgens Ellenberg vanwege meerder factoren onontkoombaar. In de eerste plaats waren er voor veel zeldzame plantensoorten onvoldoende meetgegevens beschikbaar waren (bij zeldzame soorten treedt vaak een relatief sterke *sampling bias* op). Daarnaast geven veldmetingen lang niet altijd een betrouwbaar beeld van de milieumcondities zoals die door de plant ervaren worden gedurende het groeiseizoen, mede omdat deze condities op kleine schaal sterk kunnen variëren (zowel ruimtelijk als temporeel, zie hoofdstuk 5).

Een derde reden voor Ellenberg om de indicatiewaarden niet uitsluitend te baseren op de absolute waarden van veldmetingen hangt samen met de effecten van interacties tussen soorten. Voor planten is niet zozeer de absolute waarde van een milieufactor waarbij de soort het best groeit van belang (de fundamentele niche), maar de *relatieve* waarde ten opzichte van de andere aanwezige soorten (de gerealiseerde niche). Hierdoor is het vaak niet mogelijk om het niche-optimum van soorten nauwkeurig te beschrijven op basis van de absolute waarde van milieumcondities. In andere woorden: de indicatieve waarde van planten is contextafhankelijk. Ellenberg benadrukt daarom dat de indicatiewaarden vooral informatie geven over de relatieve positie van soorten langs milieugradiënten ten opzichte van andere soorten. In de woorden van Ellenberg et al. (1991): "Dann bleibt man sich bewußt, daß es sich um eine *relative* Abstufung nach dem Schwergewicht des Auftretens *im Gelände* handelt. Auf *keinen* Fall bezeichnen meine Zeigerwerte die 'Anspruche' der Pflanzen an den betreffenden Umweltfaktor."

Het systeem van Ellenberg-indicatiewaarden wordt veel gebruikt om voor vegetatieopnamen gemiddelde indicatiewaarden te berekenen op basis van de waarden van de in het proefvlak voorkomende soorten. Het is strikt genomen niet correct om een gemiddelde te berekenen van ordinale waarden, maar Ter Braak & Gremmen (1987) hebben aannemelijk gemaakt dat de indicatiewaarden zich in praktijk gedragen als kwantitatieve data. In geval van ordinale waarden is het niet bekend wat de afstand is tussen de klassen, zodat je strikt genomen daar niet mee kunt rekenen. Ter Braak en Gremmen hebben echter aangetoond dat de klassen zich in de praktijk wel gedragen als numerieke data. Hierdoor is het toch verantwoord om met Ellenberg-waarden de gemiddelde indicatiewaarde per vegetatieopname te berekenen.

De lijst met Ellenberg-waarden is geïntegreerd in Turboveg en het kennissystemen SynBioSys, zodat van een selectie van vegetatieopnamen de gemiddelde Ellenberg-waarden met één druk op de knop berekend kan worden (Hennekens & Schaminée 2001; Hennekens et al., 2001; Schaminée et al., 2007). Dit kan op basis van de presentie van soorten (ongewogen) of gewogen naar de bedekking van de soort. In de praktijk maakt het al dan niet meenemen van de bedekking meestal niet veel uit en geven ongewogen gemiddeldes vaak de bevredigendste resultaten, mede omdat hierdoor kieskeurige soorten (die vaak een relatief geringe bedekking hebben) voldoende gewicht in de schaal leggen (Käfer & Witte, 2004). Echter in het geval van soortenarme vegetaties verdient het wel aanbeveling de bedekking mee te nemen als weegfactor.

2.1.3 Ellenberg-indicatiewaarden voor nutriëntenbeschikbaarheid

Het nutriëntengetal van Ellenberg (N-getal) geeft informatie over de algehele beschikbaarheid van nutriënten in de wortelzone waarbij de plant met de hoogste frequentie voorkomt. Het gaat dan met name om de fractie van de minerale stikstof (NO_3 en/of NH_4) en fosfaat die voor de plant beschikbaar zijn en in iets mindere mate ook om de beschikbaarheid van andere nutriënten, zoals kalium en magnesium.

De interpretatie van het 'N-getal' is in de loop van de carrière van Ellenberg geleidelijk wat verschoven van 'Stickstoffzahl' naar 'Nährstoffzahl'. In de eerste versies van de indicatielijsten wordt het N-getal expliciet geïnterpreteerd als stikstofgetal dat indicatief is voor de beschikbaarheid van minerale stikstof (NO_3 en/of NH_4) in de wortelzone van de plant (Ellenberg, 1950; 1952; 1974; 1979). De achterliggende gedachte hierbij is dat de bovengrondse biomassa-productie in veel gebieden in Centraal-Europa vooral gelimiteerd wordt door de beschikbaarheid van stikstof (Ellenberg et al., 1991). De laatste decennia zijn er echter diverse studies verschenen die aantonen dat de biomassa-productie en soortensamenstelling niet alleen bepaald worden door de beschikbaarheid van stikstof (N), maar ook door andere macronutriënten, zoals fosfaat (P) en de verhouding tussen macronutriënten. In latere edities vermeldt Ellenberg daarom dat het waarschijnlijk beter is om het N-getal te beschouwen als een 'nutriëntengetal' dat een integrale maat geeft voor de beschikbaarheid van macronutriënten (met name stikstof en fosfaat).

De hoge stikstofdepositie in grote delen van Europa kan het afleiden van indicatiewaarden bemoeilijken. Ellenberg heeft er daarom bewust voor gekozen om zo veel mogelijk gebruik te maken van data uit de periode voordat er sprake was van grootschalige veranderingen onder invloed van stikstofdepositie (voor 1970). Daarnaast heeft hij voor de herziene versie uit 1991 ook gebruikgemaakt van de resultaten van vele bemestingsexperimenten. Ellenberg zegt over de bron voor de N-getallen: "Nach eigenen Messungen und Angaben in der Literatur, die sich auf die Zeit vor 1970 beziehen, d. h. vor der gesteigerten Stickstoffimmission, sowie nach Düngungsversuchen und Vegetationsvergleichen."

Tabel 2.1 De Duitstalige toelichting van de klassen voor het Ellenberg-Stickstoffzahl / Nährstoffzahl zoals gepubliceerd in de laatste editie uit 2010 (Ellenberg & Leuschner, 2010).

1	stickstoffärmste Standorte anzeigend
2	zwischen 1 und 3 stehend
3	an stickstoffarmen Standorten häufiger als an mittelmäßigen und nur ausnahmsweise an reicheren
4	zwischen 3 und 5 stehend
5	mäßig stickstoffreiche Standorte anzeigend, an armen und reichen seltener
6	zwischen 5 und 7 stehend
7	an stickstoffreichen Standorten häufiger als an mittelmäßigen und nur ausnahmsweise an ärmeren
8	ausgesprochener Stickstoffzeiger
9	an übermäßig stickstoffreichen Standorten konzentriert (Viehlägerpflanze, Verschmutzungszeiger)

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. Voor het N-getal is er met name een duidelijke samenhang met de bovengrondse biomassa-productie (o.a. Hill & Carey, 1997; Schaffers & Sýkora, 2000; Wagner et al., 2007; Kleinebecker et al., 2018).

2.2 ITERATIO-trofie-indicatiewaarden

2.2.1 Inleiding

Bij de opzet van ITERATIO was het de bedoeling dat de berekende indicatiewaarden zo direct mogelijk aan zouden sluiten op de ecologische vereisten van zowel de Natura 2000-habitattypen als van de SNL-beheertypen, om zo te bereiken dat de analyses en interpretaties voor de doelsystemen zo min mogelijk verschillen op zouden opleveren. De doelsystemen van Natura 2000 en SNL zijn gebaseerd op de klassenindeling van de Indicatorenreeks van KIWA/Staatsbosbeheer (Jalink, 1995; 1996;

Aggenbach, 1995; 1998; 1999; 2005). De waarde van de klassen voor trofie zijn wel tot stand gekomen via verschillende basisgegevens. Zo is de indicatorenreeks hoofdzakelijk georiënteerd op biomassa-productie en daarnaast op nutriëntengehaltes van de bodem, terwijl bij de ecologische vereisten van Natura 2000 is uitgegaan van een expertoordeel over de ordening van de standplaatsen waarop de vegetaties voorkomen naar voedselrijkdom, uitgaande van de voor het voedselaanbod meest bepalende factoren: bodem, waterhuishouding en beheer (zie Runhaar et al., 2009).

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 indicatorensysteem. 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 (biomassa-productie en beschikbare nutriënten) als expertkennis (KIWA). Belangrijk voor de ontwikkeling van de reeks zijn enerzijds Nederlandse biomassa-productiemetingen en anderzijds ook Duitse biomassa-productiemetingen 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.

Voor de indicatorenreeks is destijds door KIWA een uitgebreide database opgezet voor de verschillende milieufactoren waarvoor de reeks per soort indicatiewaarden geeft. Van deze database is voor ITERATIO gebruikgemaakt bij het vaststellen van indicatiewaarden per soort voor trofie. Uit de database kon voor een groot aantal soorten afgeleid worden wat de range is op deze milieu-as en ook de daarbij voorkomende bedekking van de soort in de vegetatieopnamen. Daarmee was het mogelijk om voor een aanzienlijk aantal soorten met een smal ecologisch bereik op deze milieu-as een indicatiewaarde te bepalen (het optimum van een soort op de milieu-as) en voor alle soorten een gewicht (hoe smaller hoe hoger het gewicht, hoe breder hoe lager). (Zie verder paragraaf 2.2.2.) In Figuur 2.1 zijn de verschillende ordinale waarden en hun betekenis gedefinieerd zoals gebruikt in ITERATIO.



Figuur 2.1 Indicatiewaarden voor trofie zoals gebruikt in ITERATIO.

2.2.2 Toekennen van indicatiewaarden en gewichten

Toekennen van indicatiewaarden

De soorten met een relatief smalle amplitude (= range op de milieu-as smaller dan gemiddeld) voor de betreffende milieufactor hebben een gefixeerde indicatiewaarde gekregen. De indicatiewaarde wordt bepaald door het optimum (= hoogte van de amplitudo) van de soort, waarbij de mate van voorkomen en de grootste bedekking van de soort in de opnamen een rol spelen. Uit Holtland et al. (2010) blijkt dat het voor het schatten van indicatiewaarden van alle voorkomende soorten voldoende is als 10 à 20% van de soorten een gefixeerde indicatiewaarde krijgen. Het is voldoende als de soorten met een relatief smalle range op de betreffende milieu-as hun 'werk kunnen doen' in de berekening, terwijl ze worden geholpen door de lage gewichten voor de brede soorten (doorgaans

zonder gefixeerde indicatiewaarde). Anders gezegd: minder kritische soorten krijgen de indicatiewaarden van de kritische soorten waarmee ze samen voorkomen, omdat hun eigen indicatiewaarden weinig zeggen. Daarom wordt ook aan deze soorten een laag gewicht gegeven.

Een uitzondering vormen de brede soorten met een optimum buiten het midden van hun brede range (soorten met een hoge bedekking aan de uiteinde van de milieu-as). Het fixeren van die 'scheef voorkomende' soorten op hun optimumwaarde in combinatie met een laag gewicht, verbetert de nauwkeurigheid van de indicaties aan de uiteinden van de milieu-as. Fixatie van dergelijke soorten heeft het aandeel gefixeerde soorten verhoogd tot ongeveer 30% van alle plantensoorten uit een set van vegetatieopnamen, bijvoorbeeld alle opnamen die de basis vormen van een vegetatiekartering.

Toekennen van gewichten

Alle soorten hebben voor gebruik van ITERATIO een gewicht gekregen. Soorten met een gemiddelde amplitude voor de betreffende milieufactor krijgen een gewicht van 1. Soorten met een zeer smalle amplitude krijgen een gewicht van 3 en de soorten die daartussenin vallen een gewicht van 2. Soorten die voorkomen over (vrijwel) de gehele range (milieu-as) van de milieufactor krijgen een gewicht van 0,05 indien ze over die range ook nog hoge bedekkingen in de opnamen kunnen bereiken. Soorten die net zo breed zijn, maar over een deel van hun amplitude een voorkomen met lagere bedekkingen in de opnamen, krijgen een gewicht van 0,1. Soorten die qua breedte tussen zeer breed en gemiddeld scoren, krijgen een gewicht van 0,2 of 0,3, afhankelijk van hun amplitude. Soorten die onvoldoende voorkwamen in de opnamensets hebben voorlopig een gewicht van 0,3 gekregen.

Voor soorten die vaak met zeer hoge bedekkingen voorkomen in de opnamen (dat zijn ook bijna altijd soortenarme opnamen) is het gewicht een extra stap verlaagd, bijvoorbeeld van 0,2 naar 0,1. Andersom hebben soorten die vrijwel altijd een zeer lage bedekking hebben, een wat hoger gewicht gekregen, bijvoorbeeld van 2 naar 3.

Kortom, de toegekende gewichten zijn:

- 3,0 => Soorten met een zeer smalle amplitude – deze hebben gefixeerde indicatiewaarden
- 2,0 => Soorten tussen een zeer smalle amplitude en de gemiddelde – deze hebben ook gefixeerde indicatiewaarden (= range op de milieu-as smaller dan gemiddeld)
- 1,0 => Soorten met een gemiddelde brede amplitude
- 0,3 => Soorten met een amplitude breder dan gemiddeld
- 0,2 => Soorten met een amplitude breder dan gemiddeld
- 0,1 => Soorten met een amplitude over de hele milieu-as, maar op een deel van deze as met lagere bedekkingen. Bij een hoge bedekking aan de uiteinde van de milieu-as heeft de soort gefixeerde indicatiewaarden.
- 0,05 => Soorten met een amplitude over de hele milieu-as

Bedekking als gewicht

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 de Van der Maarel-schaal (ook wel aangeduid als Ordinale schaal), waardoor de invloed in de berekening verlaagd wordt van met name de soorten met hoge bedekkingen. Bij deze schaal worden de bedekkingen geschaald van 1 tot 100% naar 1 tot 9.

Bedekkingen van percentages naar 1-9:

- | | | |
|------|--|------|
| • r | zeer weinig exemplaren, bedekking <5% | => 1 |
| • + | weinig exemplaren, bedekking <5% | => 2 |
| • 1 | talrijk aantal, bedekking <5% | => 3 |
| • 2m | zeer talrijk aantal, bedekking <5% | => 4 |
| • 2a | willekeurig aantal, bedekking 5-12.5% | => 5 |
| • 2b | willekeurig aantal, bedekking 12.5-25% | => 6 |
| • 3 | willekeurig aantal, bedekking 25-50% | => 7 |
| • 4 | willekeurig aantal, bedekking 50-75% | => 8 |
| • 5 | willekeurig aantal, bedekking 75-100% | => 9 |

Bossen

Voor de bossen is het niet eenvoudig om een relatie te leggen met biomassaproductie. Hiervoor moet een schatting worden gemaakt van de jaarlijkse bijgroei van houtige soorten. Maar ook bij de ondergroei is een relatie met voedselrijkdom niet eenduidig, omdat de biomassaproductie ook afhankelijk is van de mate van beschaduwing van de ondergroei. De bossen zijn daarom minder ver uitgewerkt in de Indicatorenreeks van KIWA.

Voor zover geen indicatiewaarde ontleend kon worden aan de Indicatorenreeks, is voor ITERATIO daarom gebruikgemaakt van vervangingsgemeenschappen zoals die zijn gedefinieerd in de *Vegetatie van Nederland* (Schaminee et al., 1995). Als bijvoorbeeld een Glanshaverhooiland niet meer beheerd wordt, zal er bosvorming optreden: een Essen-Iepenbos. De kenmerkende soorten daarvan hebben dezelfde indicatiewaarde gekregen als de kenmerkende soorten van het Glanshaverhooiland, opgehoogd met een halve trofiekklasse. Het verhogen met een halve klasse is gedaan, omdat door maaibeheer jaarlijks gewas afgevoerd wordt, terwijl bij bossen een groter deel van de nutriënten via strooiselvertering weer in omloop komt. De biomassaproductie van bossen komt daardoor wat hoger te liggen dan die van graslanden. De vergelijking met vervangingsgemeenschappen en het ophogen van een halve klasse is gedaan op basis van expertkennis.

2.2.3 Iteratieve berekening van de indicatiewaarde van opnamen

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 vegetatieopnamen 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 milieu-as 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 milieurange bepalen en waarbij toch alle opnamen in een set (van een gebied) een indicatiewaarde krijgen (Holtland et al., 2010).

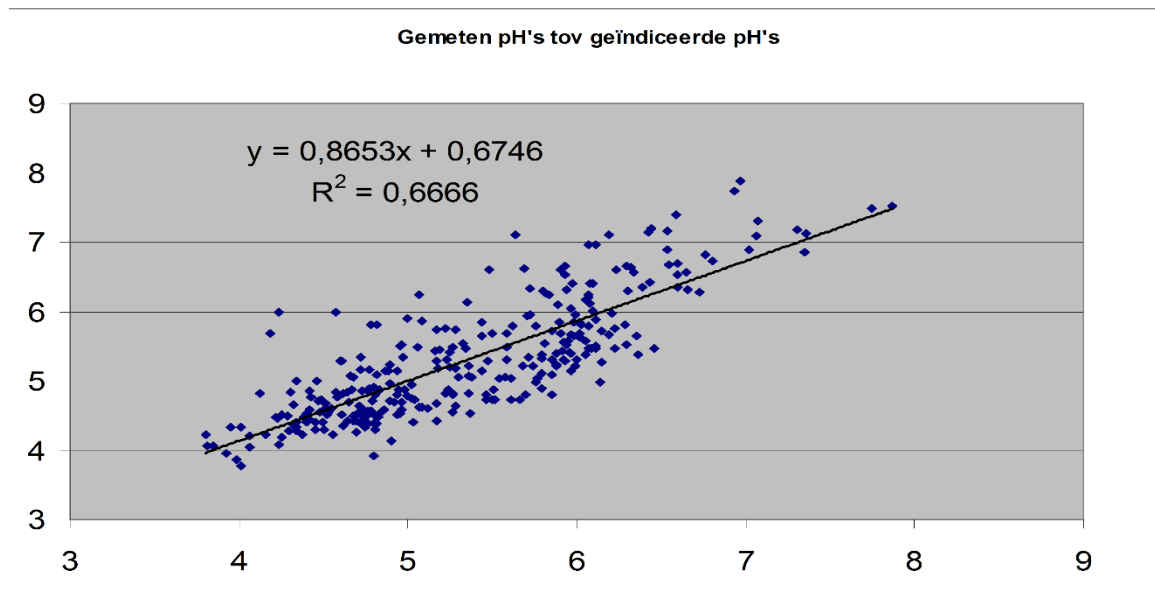
De iteratieve berekening verloopt als volgt. Nadat de te analyseren opnamen ingelezen zijn en de soorten daarvan verbonden zijn met de gefixeerde indicatiegetallen (met name de smalle soorten) en gewichten zijn toegekend, wordt in de eerste stap voor alle opnamen een eerste indicatiewaarde berekend op basis van het gewogen gemiddelde van de samenstellende soorten en hun bedekking in de opname. Het kan zijn dat een aantal opnamen nog geen indicatiewaarde krijgt, omdat deze opnamen alleen soorten zonder een gefixeerde indicatiewaarde (brede soorten) hebben. Een deel van de opnamen krijgt al wel een waarde, omdat er minimaal één soort in voorkomt met een gefixeerde indicatiewaarde.

In een tweede stap wordt voor alle soorten die geen gefixeerde indicatiewaarde hebben een waarde berekend op basis van de in de eerste stap berekende indicatiewaarden van de opnamen waarin de soort voorkomt, ook nu weer als gewogen gemiddelde over deze waarde van de opname en de bedekking van de soort in de opnamen. Het aantal soorten met een indicatiewaarde is nu aanzienlijk groter geworden, omdat een aantal brede soorten voorkomt in opnamen waarin ook smalle soorten met een gefixeerde waarde voorkomen. Die brede soorten krijgen in deze stap dus ook een indicatiewaarde.

Na enkele tientallen herhalingen van deze stappen hebben alle soorten een indicatiewaarde gekregen, net als alle opnamen. Deze waarden veranderen niet meer door meer iteraties. Normaal is dat het geval na 10 tot hooguit 100 iteraties.

De soorten zonder een gefixeerde waarde krijgen dus een waarde op basis van de soorten waarmee ze samen voorkomen in de beschikbare opnamentabel. Brede soorten zullen voorkomen samen met diverse smalle soorten over een groot deel van de milieugradiënt en krijgen daarmee een indicatiewaarde die ergens in het midden zal liggen, tenzij hun bedekking aan een uiteinde van de gradiënt veel groter is dan voor de rest. Minder brede soorten krijgen een waarde die afhangt van de smalle soorten waarmee ze samen voorkomen en dat kan een waarde zijn overal op de gradiënt.

Ter illustratie van de uitkomsten van ITERATIO zien we in Figuur 2.2 een vergelijking tussen metingen en indicaties voor pH met een set van opnamen waarin uiteenlopende milieucondities zijn vertegenwoordigd. Voor trofie is dit niet mogelijk, omdat er geen direct in het veld meetbare eenheid voor is. Toepassing van deze wijze van gewichten en indicatiewaarden levert de volgende relatie op tussen gemeten en geïndiceerde pH's. De hoge R^2 is voornamelijk het gevolg van de specifieke aanpak van het toekennen van indicaties en gewichten, regionalisatie en de specifieke statistiek van ITERATIO. Aan de grafiek (Figuur 2.1) is goed te zien dat er heel weinig 'middeling naar het midden' plaatsvindt: de punten aan de uiteinden van de as liggen vlak bij de regressielijn.



Figuur 2.2 Horizontaal zijn de berekende indicaties met ITERATIO uitgezet, verticaal de gemeten pH's.

Het voordeel van deze berekening is dat de smalle soorten met hun grote gewicht ervoor zorgen dat er geen sterke 'middeling naar het midden' plaatsvindt. Soorten met een brede amplitude hebben een (zeer) laag gewicht gekregen in de standaard indicatielijst, waardoor er ook minder 'middeling naar het midden' plaatsvindt. Eigenlijk behandelt ITERATIO de opnametabel als een super-vegetatieopname. Het gebiedseigen karakter van het betreffende natuurgebied of FGR wordt op deze manier zo goed mogelijk tot expressie gebracht.

De werking van de iteratief verkregen indicatiewaarden van brede soorten is getoetst door de range in indicatiewaarden voor GVG van vegetatieopnamen te vergelijken met de range in de hoogteligging van deze opnamen. Bij de voorjaarsgrondwaterstand (GVG) is dat goed te testen aan de hand van het AHN. Op een gradiënt van hoog naar laag komen de indicatiewaarden van de opnamen op een logische volgorde te liggen, ook de opnamen met alleen brede soorten. Dat laat zien dat voor de GVG het werken met gewichten goed werkt. Voor trofie is dat niet op die manier te controleren, maar er is ook geen reden aan te voeren waarom het daar niet net zo goed zou werken. Omdat bij de opzet van ITERATIO de berekende indicatiewaarden zo direct mogelijk aansluiten op de ecologische vereisten van zowel de Natura 2000-habitattypen als de SNL-beheertypen, zijn de uitkomsten voor trofie direct bruikbaar voor N2000- en SNL-analyses en -evaluaties. Er is geen vertaalslag nodig zoals bij de andere indicatiesystemen.

Voor een nauwkeurige en betrouwbare werking van ITERATIO is het van belang dat soorten op een geobjectiverende wijze indicatiegetallen en gewichten krijgen op basis van metingen, echter dit laatste is dus maar beperkt mogelijk voor trofie. Samen met veel verzamelde expertkennis is er toch een benadering ontstaan waarmee de veranderingen van een standplaats zo objectief mogelijk benaderd kunnen worden.

2.2.4 Regionalisatie

ITERATIO is in eerste instantie gemaakt voor een analyse op gebiedsniveau. Het gebiedseigen karakter van het betreffende natuurgebied wordt met ITERATIO zo goed mogelijk tot expressie gebracht. Voor regionale en nationale analyses zijn enige aanpassingen mogelijk, omdat plantensoorten in verschillende regio's met een ander bodemtype een andere range van voorkomen kunnen hebben. Om de nauwkeurigheid van de uitkomsten van ITERATIO te verbeteren, is er daarom in het geval van pH voor gekozen afzonderlijke indicatielijsten te maken voor verschillende delen van Nederland, in dit geval de Fysisch Geografische Regio's. Voor trofie is dat nog niet gedaan, maar het lijkt voor de analyse van bijvoorbeeld opnamen die verspreid zijn verzameld, zoals de LMF-data, wel een verbetering van de uitkomsten op te kunnen leveren. Voor de smalle soorten maakt het niet uit – die zijn landelijk smal –, maar juist de soorten met een landelijk gemiddelde breedte of breder kunnen in specifieke FGR's wel duidelijk smaller zijn. In de duinen is het gemiddelde trofische niveau van een brede soort duidelijk lager dan in de kleiregio's. Om in dit stadium toch ITERATIO te kunnen gebruiken, zijn voor de verschillende FGR's grote referentie-opnamensets gemaakt die mee geanalyseerd worden door CBS bij de analyse van de LMF-data. Hiermee komt het gebiedseigen karakter per FGR toch zo goed mogelijk tot uitdrukking in de uitkomsten.

2.3 WW-indicatiewaarden

2.3.1 Inleiding

Het meest gebruikte concept van inschatting van standplaatsfactoren zijn de Ellenberg-indicaties zoals die door Ellenberg in 1974 en 1979 zijn gepubliceerd (zie Ellenberg et al., 1991). Volgens Wamelink et al. (2002) is het nadeel van de Ellenberg-indicatiewaarden echter dat ze alleen maar voor sommige milieucondities vertaald kunnen worden naar meetbare veldwaarden, bijvoorbeeld Ellenberg F (vocht) naar grondwaterstand (GVG of GLG). Vertaling naar meetbare veldwaarden, bijvoorbeeld GVG, is belangrijk voor de beoordeling welke maatregelen genomen moeten worden om de milieucondities te verbeteren voor de gewenste natuurkwaliteit.

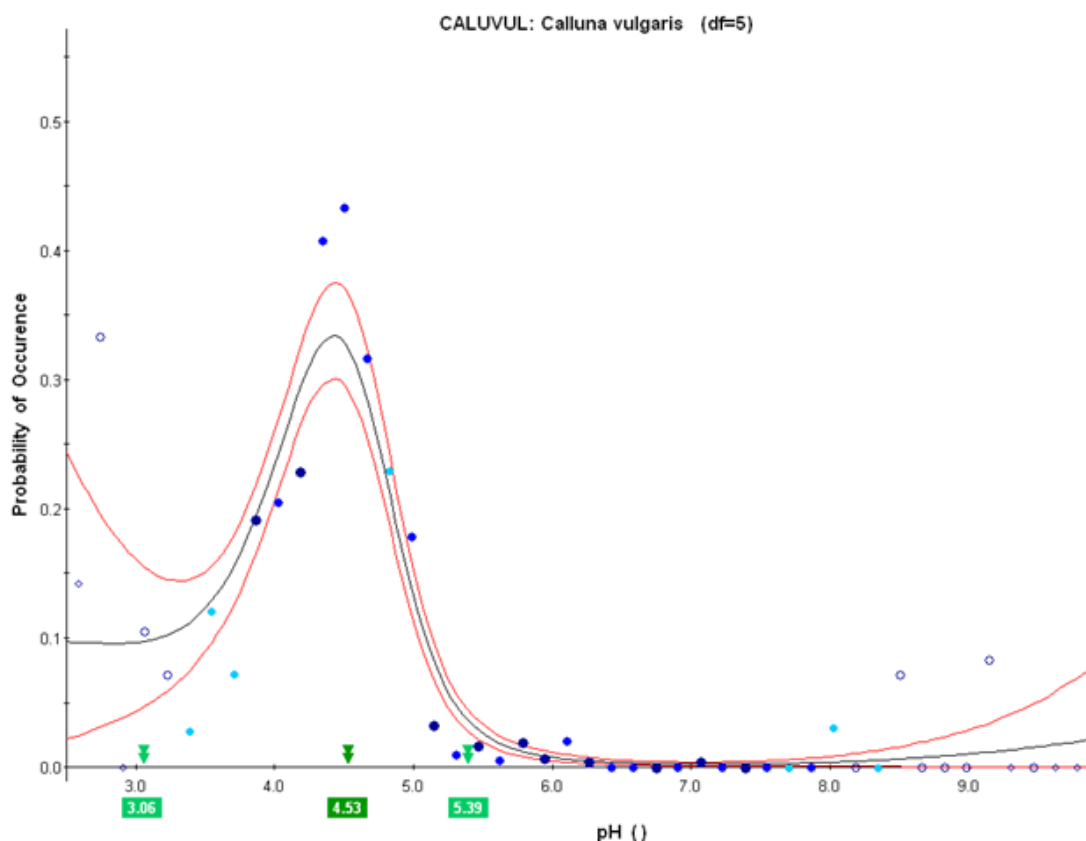
Voor Ellenberg N (trofie), staand voor voedselbeschikbaarheid voor planten in de bodem, is dit ingewikkelder, omdat deze bestaat uit een indicatiewaarde voor een complex van macronutriënten stikstof, fosfaat, kalium, calciumbeschikbaarheid of zelfs naar biomassa-productie. Om deze vertaling overbodig te maken, zijn de zogenaamde WW-indicatiewaarden ontwikkeld. Zij zijn rechtstreeks gebaseerd op metingen in het veld, bijvoorbeeld pH, NO₃ in de bodem, totaal P in de bodem, GVG of gemiddelde jaartemperatuur.

2.3.2 Opstellen indicatiewaarden

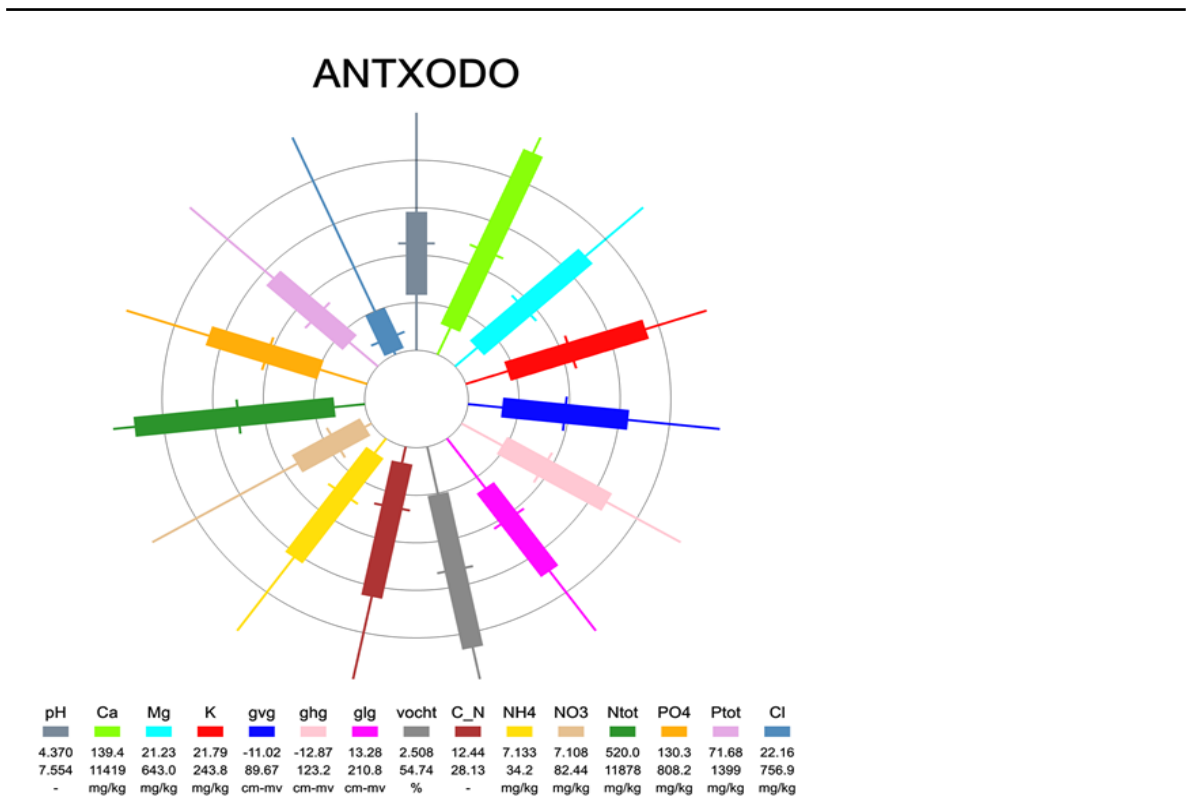
De eerste stap in het berekenen van de WW-indicatiegetallen was het opzetten van een database en het verzamelen van gegevens (abiotische randvoorwaarden; Wamelink et al., 2012). De database bevat ruim 10.000 vegetatieopnamen met een analyse van de bovenste bodemlaag (meestal de bovenste 10 cm) en grondwaterstanden. Het meest is de pH gemeten (bijna 6000 opnamen), voor nutriënten als nitraat, fosfaat of totaal-fosfor zijn minder opnamen beschikbaar (tussen de 1500 en 3000). De vegetatieopnamen en metingen zijn gemaakt voor heel Nederland en over de periode 1934 tot heden, met de meeste opnamen sinds 1980. Dit maakt ook duidelijk dat niet in elke opname alle randvoorwaarden zijn gemeten; voor een set van ongeveer 1500 opnamen zijn de belangrijkste nutriënten en de pH gemeten, waarvan een groot deel van de bodemonmonstername en analyses door WENR volgens een gestandaardiseerde methode zijn uitgevoerd en waarvan de vegetatieopnamen zijn gemaakt voor het Landelijk Meetnet Flora (LMF). Deze 1500 opnamen zijn gebruikt voor het afleiden van responscurven van plantensoorten. Voor de andere ca. 9000 opnamen geldt dat ze niet in het kader van het afleiden van de *responscurven* zijn uitgevoerd, maar voor de verschillende doelen waarvoor ze zijn verzameld. Dit geeft een variatie in zowel vegetatieopnamen als analyses (die in verschillende laboratoria zijn uitgevoerd). Voor het schatten van een responscurve (Figuur 2.3) voor een soort per abiotische randvoorwaarde (zoals bodem-pH of NO₃), is de meting in de bodem gekoppeld aan elke soort in de opname. Vervolgens is per soort op basis van alle vegetatieopnamen

en bodemmetingen een *responscurve* geschat, waarbij de opnamen waarin de soort niet voorkomt als nul-waarnemingen dienen. Voor elk type abiotische randvoorwaarde is een responscurve geschat voor zover er genoeg waarnemingen beschikbaar waren. Voor elke responscurve is het optimum bepaald en dat is de indicatiewaarde (Wamelink et al., 2005). De indicatiewaarden zijn vervolgens gekalibreerd op een grote vegetatiedataset met opnamen, maar zonder abiotische metingen. Voor elke opname in de dataset van de *Vegetatie van Nederland* is de abiotiek berekend. De berekende abiotiek is vervolgens gekoppeld aan de soorten in de opnamen en is er opnieuw een responscurve per soort geschat. Het optimum van de curve is bepaald en de daaruit volgende indicatiewaarden worden gebruikt als de WW-getallen (zie ook Wamelink et al., 2005). De kalibratie is uitgevoerd om meer informatie te kunnen gebruiken voor het schatten van de indicatiewaarden (uit de grote set opnamen) en om voor meer soorten indicatiewaarden te schatten. Op basis van de set met meetwaarden konden, afhankelijk van de indicatiewaarden, ongeveer 300-400 soortresponsies direct geschat worden, voor de andere soorten werden ze dus bijgeschat. Voor pH is dat aandeel hoger (556), maar ook hier werden dus de meeste soorten bijgeschat. Door de kalibratie was het mogelijk om voor het grootste deel van de Nederlandse hogere plantensoorten en een groot deel van de mossen en korstmossen een indicatiewaarde te schatten, in totaal meer dan 1500 soorten. Er is voor een hele reeks aan abiotische randvoorwaarden responscurven geschat, waarvan de belangrijkste te zien zijn in Figuur 2.4.

De indicatiewaarden kunnen analoog aan de Ellenberg-indicatiewaarden worden gebruikt in bijvoorbeeld Turboveg en SynBioSys. Voor een opname wordt het gemiddelde berekend van de indicatiewaarden op basis van de samenstellende soorten. Eventueel kan rekening worden gehouden met de bedekking van de soorten en zo een gewicht toe te kennen aan de indicatiewaarden per soort. Dit is voor de eerdere LMF-berekeningen ook gebeurd.



Figuur 2.3 Responscurve van *Calluna vulgaris* (Struikheide) voor bodem-pH. Voor bijvoorbeeld nitraat- of fosfaatconcentratie in de bodem geldt hetzelfde principe. De zwarte lijn geeft de responscurve, de rode lijnen de onzekerheid in de curve (95%). De cirkels geven de kans op voorkomen van struikheide per pH-segment (open cirkels de minste waarnemingen en donkerblauw de meeste waarnemingen per pH-interval). Gegeven wordt de kans op voorkomen van de soort in de kalibratiestap. De indicatiewaarde wordt in donkergroen gegeven, het 5- en 95-percentiel in lichtgroen, inclusief de pH-waarden. De range tussen en het 5- en 95-percentiel kan als de amplitude van de soort worden beschouwd: de range waarbinnen de soort kan voorkomen.



Figuur 2.4 Randvoorwaarden voor *Anthoxanthum odoratum* (Gewoon reukgras, ANTXODO). Gegeven worden de indicatiewaarde, dwarsstreepje in de balk, het - en 95-percentiel (dikke balk) en de minimum- en maximumwaarde voor de range van waarden per randvoorwaarde (dunne balk). De randvoorwaarden worden proportioneel ten opzichte van elkaar gegeven. Onder de legenda van de randvoorwaarden staan de minimumwaarde en maximumwaarde van de range van de randvoorwaarde gegeven.

2.3.3 Nutriëntenbeschikbaarheid

Nutriëntengehaltes en nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem worden bepaald middels een bodemonmonsternamen en een analyse in het laboratorium. De gehalten zijn echter slechts een momentopname en voor meer stabiele bodemparameters, zoals de C/N-verhouding of totaal stikstofgehalte in de bodem, zal dit voldoende zijn. Voor meer variabele nutriënten, bijvoorbeeld het nitraat- of fosfaatgehalte, is dit echter anders. De concentraties kunnen van dag tot dag verschillen door snelheid van mineralisatie (afhankelijk van o.a. temperatuur en vochtgehalte) en opname door de vegetatie. Deze variatie is alleen in beeld te krijgen door regelmatig metingen te doen, wat zeer zelden wordt gedaan, of door de mineralisatiesnelheid te bepalen over een lange(re) periode. Metingen aan mineralisatiesnelheden zijn echter ook zeer schaars en niet voldoende beschikbaar om voor soorten responscurven te schatten. In de WW-getallen wordt dit gepoogd te ondervangen door zo veel mogelijk metingen in het groeiseizoen te verzamelen en zo toch een beeld van de variatie te krijgen. Ook hier geldt dat er eigenlijk nog niet voldoende metingen beschikbaar zijn, wat tot onzekerheid leidt, hetgeen ook terugkomt in validatieresultaten (in eerder onderzoek, zie bijvoorbeeld Wamelink et al., 2009).

Een tweede punt is dat het lastig is om het voorkomen van soorten aan één bodemparameter te koppelen, bijvoorbeeld fosfaat- of nitraatbeschikbaarheid in de bodem. Het voorkomen van soorten wordt door een set van bodemparameters bepaald, waarbij op verschillende plekken verschillende bodemparameters bepalend kunnen zijn. Vaak wordt gedacht dat de limiterende bodemparameter (of parameters) bepalend is (zijn), maar in het geval van stikstof (door depositie) of fosfor zou ook een teveel bepalend kunnen zijn. Het gaat waarschijnlijk eerder om een set van bodemparameters die onderling interactie kan vertonen en per plantensoort verschillend kan zijn. Dit kan een van de redenen zijn dat validaties van de voorspellingen van nutriëntenparameters op basis van plantensoorten vaak minder goed zijn in vergelijking met bijvoorbeeld de bodem-pH en grondwaterstand (zoals te zien is in Wamelink et al., 2009).

3 Analyses

3.1 Inleiding

In dit project zijn drie indicatiesystemen met elkaar vergeleken: de indicatiewaarden van Wieger Wameling (WW, meerdere factoren), ITERATIO-trofie en Ellenberg-trofie. De beoordeling van de drie indicatiesystemen is uitgevoerd in drie stappen.

- In de eerste plaats is gekeken naar de onderlinge samenhang tussen de drie indicatiesystemen. Hierbij is bepaald in hoeverre de indicatiewaarden van de *soorten* onderling gecorreleerd zijn (Pearson correlatiecoëfficiënt). Vervolgens is een vergelijking uitgevoerd voor de gemiddelde indicatiewaarden van vegetatieopnamen. (Zie paragraaf 4.1.)
- De onderlinge vergelijking uit de eerste stap levert echter nog geen informatie op over de mate waarin de drie indicatiesystemen geschikt zijn als indicator voor nutriëntenbeschikbaarheid. Om dit te beoordelen zijn, voor een brede set aan plantengemeenschappen diagrammen opgesteld met boxplots van de indicatiewaarden. Deze zijn onderling vergeleken en beoordeeld op hun ecologische relevantie door twee experts. (Zie paragraaf 4.2.)
- Om een meer direct verband tussen trofie-indicatie en vegetatie te vinden, is een drietal opnamensets doorgerekend, waarbij voor elke opname ook informatie beschikbaar was over de biomassaproductie of de mestgift. (Zie paragraaf 4.3.)
- Ten slotte is van een elftal PQ's (Permanent kwadranten), die over een periode van veertig jaar ieder jaar zijn opgenomen op de Strabrechtse heide, de trend in trofie bepaald.

Ten behoeve van de leesbaarheid worden de methode en de resultaten voor deze drie stappen in hoofdstuk 4 geïntegreerd besproken. Dit hoofdstuk gaat kort in op de voorbereiding van de vegetatiegegevens en aansluitend worden de achtergronden van deze drie indicatiesystemen beschreven in hoofdstuk 3.

3.2 Dataselectie

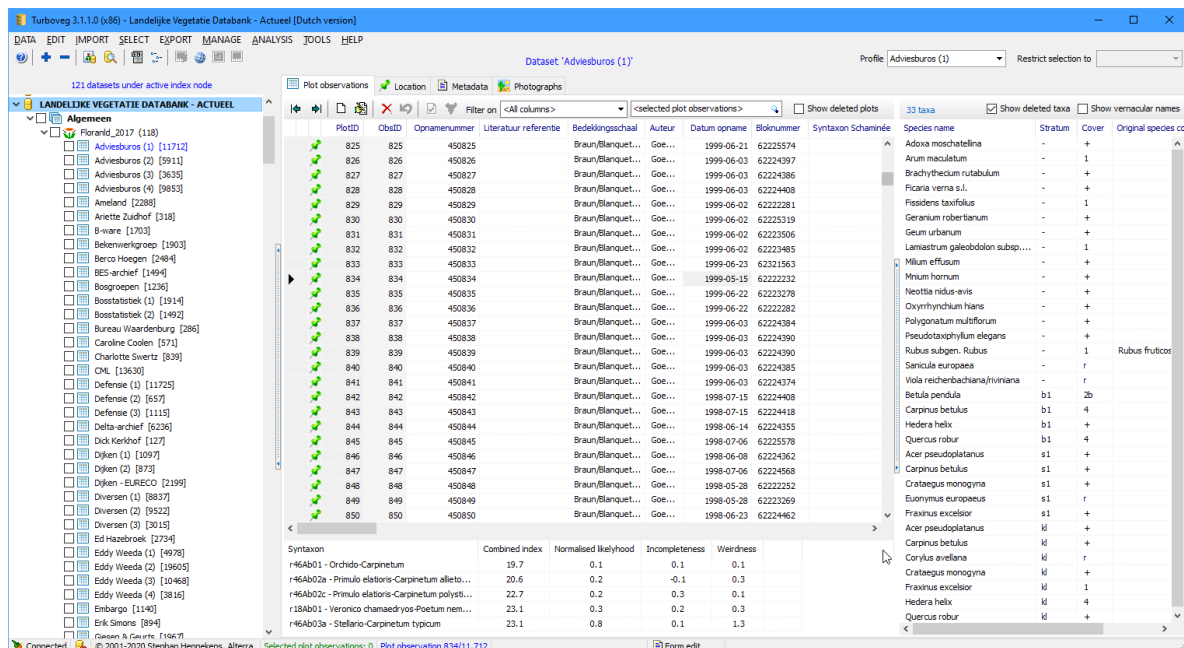
De basis voor een belangrijk deel van de in deze studie uitgevoerde analyses zijn de vele duizenden vegetatieopnamen uit de Landelijke Vegetatie Databank (verder aangeduid als LVD; <https://www.synbiosys.alterra.nl/lvd>). Van de in totaal 675.000 opnamen zijn er zo'n 505.000 geselecteerd. In onderstaand Figuur 3.1 is aangegeven welke opnameschalen zijn uitgesloten voor de selectie.

Pick list			
<input type="checkbox"/> 4de Bosstatistiek	<input type="checkbox"/> Doing	<input type="checkbox"/> Londo (2) verkort	<input checked="" type="checkbox"/> Sbb_aantalsklasse
<input checked="" type="checkbox"/> Aantal indiv. (SBB)	<input type="checkbox"/> Domin	<input type="checkbox"/> Londo (decimaal)	<input checked="" type="checkbox"/> SBB_karteer
<input checked="" type="checkbox"/> Aq. terreinopn. schaal	<input checked="" type="checkbox"/> Drenthe soortlijst	<input type="checkbox"/> Maes schaal	<input checked="" type="checkbox"/> Sortspatronen
<input checked="" type="checkbox"/> Barkman (ongepubl.)	<input checked="" type="checkbox"/> Drenthe Tansley-compleet	<input checked="" type="checkbox"/> Maes-Tansley	<input checked="" type="checkbox"/> Synoptische schaal
<input type="checkbox"/> Barkman, Doing & Segal	<input checked="" type="checkbox"/> Drenthe Tansley-onvolledig	<input checked="" type="checkbox"/> Monitoringschaal	<input checked="" type="checkbox"/> Tansley
<input type="checkbox"/> Bos	<input checked="" type="checkbox"/> Floron aantal schaal	<input type="checkbox"/> Ordinale schaal	<input checked="" type="checkbox"/> Tansley Plus
<input type="checkbox"/> Braun/Blanquet	<input checked="" type="checkbox"/> FLORON-aantalsklassen	<input type="checkbox"/> Ordinale schaal (vd Maarel)	<input checked="" type="checkbox"/> Tansley-decimaal
<input type="checkbox"/> Braun/Blanquet (B,D&S)	<input checked="" type="checkbox"/> FLORON-oppervlakteklassen	<input type="checkbox"/> PNI-karteer	
<input type="checkbox"/> Braun/Blanquet (origineel)	<input checked="" type="checkbox"/> FLORON-schaal	<input checked="" type="checkbox"/> Presentie/Absentie	
<input type="checkbox"/> CABO-schaal	<input type="checkbox"/> Hult-Sernander-DuRietz	<input type="checkbox"/> Procentueel	
<input type="checkbox"/> De Vries	<input type="checkbox"/> IAWM-V	<input type="checkbox"/> RWS-MD schaal	
<input type="checkbox"/> Dijkgrasland	<input type="checkbox"/> Londo (1) volledig	<input type="checkbox"/> RWS-RIZA schaal	

Figuur 3.1 Tabel met geselecteerde bedekkingsschalen in de LVD die zijn uitgesloten voor de selectie.

Verder zijn ook opnamen uitgesloten die geen coördinaten hebben. Aan alle overgebleven opnamen is vervolgens een Fysisch Geografische Regio (FGR) toegekend. Dit heeft uiteindelijk tot de volgende aantallen opnamen per FGR geleid:

- AZ (Afgesloten Zeearmen) 56.984
- DU (Duinen) 68.740
- GG (Getijdengebied) 12.738
- HL (Heuvelland) 9.458
- HZ (Hogere Zandgronden) 130.407
- LV (Laagveen) 70.553
- RI (Rivierengebied) 65.876
- ZK (Zeekleigebied) 91.130
- **Totaal 505.886**



Figuur 3.2 Het programma Turboveg3 (Hennekens, 2015) waarmee de Landelijke Vegetatie Databank wordt beheerd en analyses kunnen worden uitgevoerd.

Wat betreft trofie heeft ITERATIO maar voor een beperkt aantal soorten (248) een vaste waarde. Aangezien voor de onderlinge vergelijking met de andere twee indicatiesystemen (Ellenberg en WW) voor zo veel mogelijk soorten indicatiewaarden bekend moeten zijn, is als voorbereiding voor de soorten in ITERATIO zonder vaste waarde op de volgende manier één indicatiewaarde voor heel Nederland berekend.

Om *sampling bias* te voorkomen in de verdeling van de plots over de FGR's, is een selectie van plots gemaakt, afhankelijk van het oppervlak van de FGR. Per FGR zijn de oppervlakten van de afzonderlijke deelgebieden gesommeerd en teruggebracht tot km². Vervolgens is de oppervlakte in km² gedeeld door 509 (is de kleinste oppervlakte, namelijk die van Heuvelland). Om tot schaalbare aantallen te komen, is daarover is een log-transformatie uitgevoerd die vervolgens met 3000 is vermenigvuldigd. Het aantal van 3000 opnamen is een arbitraire keuze en is beschouwd als een geschikt aantal random gekozen opnamen op een totaal van 9.458 voor het Heuvelland beschikbare opnamen. Op basis van deze query zijn voor alle FGR's de volgende aantallen random te selecteren opnamen berekend:

Duinen	3.000
Heuvelland	3.000
Afgesloten Zeearmen	6.000
Getijdengebied	6.000
Laagveengebied	6.000
Rivierengebied	6.000
Zeekleigebied	9.000
Hogere Zandgronden	12.000

Het totale aantal opnamen voor één random selectie komt daarmee op 51.000. Dit aantal betreft ongeveer 10% van de totale dataset van 505.886 opnamen. In totaal zijn tien van dergelijke random selecties van ieder 51.000 opnamen gemaakt en doorgerekend met ITERATIO. Op basis van de tien berekeningen is voor iedere plantensoort die geen vaste waarde heeft binnen ITERATIO, een gemiddelde berekend. Op deze manier is er één landelijke lijst opgesteld voor ITERATIO-trofie. Hierbij dient opgemerkt te worden dat ITERATIO eigenlijk een instrument is voor het gebiedsniveau en dat voor hogere schaalniveaus het eigenlijk per landschapstype (bijv. een FGR) zou moeten worden ingezet. ITERATIO is met name bedoeld om vegetatiekarteringen van een gebied door te rekenen (zie ook paragraaf 3.2).

De totaallijst met indicatiewaarden is ten slotte opgenomen in de LVD, naast de Ellenberg- en WW-indicaties. Deze lijst is als elektronische bijlage beschikbaar (*CorrelatiesIndicatoren.xlsx*).

Hoe ITERATIO de trofiewaarde uitrekent voor niet-vaste soorten, is beschreven in paragraaf 3.2.

ITERATIO als instrument om mee te rekenen, kan worden opgehaald via de website <https://www.synbiosys.alterra.nl/iteratio>.

3.3 Correlaties tussen indicatoren

3.3.1 Correlaties op basis van soortindicaties

We veronderstellen dat er een direct verband is tussen de drie indicatiesystemen. Om te onderzoeken hoe sterk die verbanden zijn, hebben we correlaties berekend tussen de indicatiewaarden van soorten van steeds twee indicatorsystemen Ellenberg-trofie, ITERATIO-trofie en alle WW-indicatoren. In totaal gaat het om 2697 soorten waarbij het per indicatiesysteem kan verschillen hoeveel soorten daadwerkelijk een indicatiewaarde hebben. Alle indicatiewaarden van soorten alsook de uitkomsten van de correlatieberekeningen (Pearson) zijn opgenomen in de elektronische bijlage *CorrelatiesIndicatoren.xlsx*.

In Tabel 3.1 zijn de correlaties opgenomen tussen de verschillende indicatiesystemen. De correlatie tussen Ellenberg en ITERATIO is sterk ($r = 0.63$)¹. Wat betreft de Wamelink-indicatoren in relatie tot ITERATIO-trofie en Ellenberg-trofie komt alleen WW-NO3 in de buurt van een acceptabele, zij het matige correlatie¹ (0.57 met Ellenberg en 0.51 met ITERATIO). Overigens is er tussen de verschillende WW-indicatoren een behoorlijk aantal dat sterk met elkaar gecorreleerd is. Waar dit het geval is, kan dit de interpretatie van individuele indicatoren bemoeilijken. Zoals in paragraaf 3.3.3 al is aangegeven, kan nutriëntenbeschikbaarheid met WW-indicatiewaarden alleen bepaald worden door een combinatie van WW-indicatoren. Uit welke macronutriënten en in welke verhouding die combinatie het best trofie benadert, is nog onbekend. Bovendien kan het aandeel van de macronutriënten voor een optimale combinatie in ruimte en tijd verschillen. Gezien de complexiteit daarvan lijkt het vooralsnog geen haalbaar scenario om trofiegraad door te vertalen naar één of elke component en/of op basis van metingen te komen tot een nieuw WW-indicatiegetal. Derhalve wordt in verdere analyses, die in hoofdstuk 5 en 6 aan de orde komen, naast ITERATIO-trofie en Ellenberg-trofie alleen WW-NO3 meegenomen.

¹ Er zijn geen eenduidige criteria over hoe Pearson-correlaties (R) beoordeeld moeten worden. In dit rapport beschouwen we waarden onder 0,4 als verwaarloosbaar tot zwak, tussen 0,4 en 0,6 als matig correlerend, tussen 0,6 en 0,8 als sterk correlerend en vanaf 0,8 als zeer sterk correlerend.

Tabel 3.1 Pivot-tabel met Pierson-correlaties tussen reeksen met indicaties van soorten. Waarden boven 0.50 of onder -0.50 zijn met een kleur gemarkeerd.

	Ellenberg	Iteratio	WW_C_N	WW_CA	WW_CL	WW_K	WW_MG	WW_NH4	WW_NO3	WW_NTOT	WW_PH	WW_PO4	WW_PTOT
ITERATIO	0.63												
WW_C_N	-0.20	-0.39											
WW_CA	0.16	0.36	-0.25										
WW_CL	0.13	0.08	-0.29	0.40									
WW_K	0.39	0.52	-0.35	0.86	0.57								
WW_MG	0.11	0.26	-0.15	0.87	0.46	0.75							
WW_NH4	-0.04	-0.07	0.71	0.24	-0.08	0.07	0.41						
WW_NO3	0.57	0.51	0.09	0.11	-0.01	0.23	0.16	0.27					
WW_NTOT	0.20	0.37	-0.03	0.87	0.23	0.76	0.84	0.47	0.25				
WW_PH_H2O	0.30	0.38	-0.92	0.22	0.45	0.41	0.15	-0.69	0.01	0.00			
WW_PO4	0.07	0.07	-0.03	0.08	0.05	0.08	0.08	0.01	0.10	0.12	0.04		
WW_PTOT	0.28	0.40	0.13	0.72	0.16	0.65	0.74	0.55	0.31	0.83	-0.14	0.08	
WW_VOCHT	0.21	0.40	-0.21	0.88	0.37	0.81	0.86	0.34	0.27	0.89	0.20	0.08	0.69

3.3.2 Correlaties op basis van gemiddelde indicatiewaarden van opnamen

Van alle in de LVD geselecteerde opnamen (505.886) is met behulp van Turboveg3 voor iedere opname een gemiddelde indicatiewaarde berekend. Bij de berekening is de bedekking van soorten niet meegenomen. Käfer & Witte (2004) hebben aangetoond dat het meenemen van al dan niet getransformeerde bedekkingen weinig invloed heeft op de uitkomst van de berekening.

Uit de pool van opnamen zijn 10 random selecties van telkens 500 opnamen gemaakt. Bij iedere selectie zijn vervolgens de correlaties berekend tussen de verschillende indicatoren. Ten slotte zijn de correlaties gemiddeld over de 10 selecties. De resultaten daarvan zijn opgenomen in Tabel 3.2. (De basisgegevens (10 Exceltabellen en een Exceltabel) met de gemiddelden is opgenomen als elektronische bijlage; *Random_opnamen.zip*.)

De pivot-tabel laat op hoofdlijnen eenzelfde patroon zien als bij de pivot-tabel van de correlaties tussen soorten, alleen liggen nu de R-waarden een stuk hoger. Tussen de waarden van ITERATIO-trofie en Ellenberg-trofie is een zeer sterke correlatie (0,91) en er is een sterke correlatie tussen WW-NO3 en de twee andere systemen (0,76 met Ellenberg en 0,73 met ITERATIO).

Tabel 3.2 Pivot-tabel met Pierson-correlaties tussen reeksen met indicaties van opnamen. Waarden boven 0,70 of onder -0,70 zijn groen gemarkeerd.

	Ellenberg	Iteratio	WW_C_N	WW_CA	WW_CL	WW_K	WW_MG	WW_NH4	WW_NO3	WW_NTOT	WW_PH_H2O	WW_PO4	WW_PTOT
Ellenberg													
Iteratio	0.91												
WW_C_N	-0.58	-0.61											
WW_CA	0.46	0.62	-0.41										
WW_CL	0.27	0.18	-0.46	0.44									
WW_K	0.61	0.68	-0.55	0.93	0.66								
WW_MG	0.40	0.53	-0.32	0.96	0.49	0.89							
WW_NH4	-0.17	-0.08	0.70	0.24	-0.20	0.04	0.37						
WW_NO3	0.76	0.73	-0.23	0.59	0.22	0.60	0.62	0.32					
WW_NTOT	0.40	0.56	-0.20	0.96	0.26	0.83	0.94	0.44	0.63				
WW_PH_H2O	0.58	0.53	-0.94	0.42	0.69	0.63	0.37	-0.65	0.29	0.20			
WW_PO4	0.15	0.15	-0.08	0.31	0.12	0.28	0.30	0.10	0.29	0.34	0.09		
WW_PTOT	0.48	0.62	-0.17	0.93	0.26	0.82	0.93	0.50	0.70	0.97	0.17	0.31	
WW_VOCHT	0.49	0.64	-0.39	0.97	0.44	0.92	0.95	0.29	0.63	0.93	0.42	0.28	0.91

3.3.3 Conclusie

De enige conclusie die valt te trekken uit bovenstaande berekeningen is dat ITERATIO- en Ellenberg-indicatiewaarden sterk aan elkaar gecorreleerd zijn en beide in wat minder mate met WW-NO3. Verder valt op dat een behoorlijk aantal WW-indicatoren onderling sterk aan elkaar gecorreleerd is.

3.4 Vergelijking boxplots van indicatiewaarden van plantengemeenschappen

3.4.1 Inleiding

In paragraaf 3.2 waren de correlaties berekend met indicatiewaarden van plantensoorten en met gemiddelde indicatiewaarden van vegetatieopnamen. Vegetatieopnamen kunnen geassocieerd worden tot associaties. Een associatie is een plantengemeenschap met een nauw omschreven plantensoorten-samenstelling en wordt gekenmerkt door specifieke milieucondities van een standplaats en een uniforme vegetatiestructuur. De associatie vormt de basiseenheid uit het classificatiesysteem van plantengemeenschappen (Schaminée et al., 1995-1999). Door deze specifieke milieucondities kunnen de associaties van de *Vegetatie van Nederland* in volgorde op een milieugradiënt van bijvoorbeeld voedselarm tot voedselrijk worden geplaatst. De vraag is welk van de drie indicatiesystemen de associaties het best op deze (nog niet nader geduide) milieugradiënt plaatst.

Met behulp van het programma EXPERT (syntaxonisch classificatiesysteem in ontwikkeling en geïntegreerd in Turboveg3) zijn de eerder geselecteerde 505.886 vegetatieopnamen geassocieerd tot associaties. Daarnaast zijn ook alle opnamen geassocieerd met het al bestaande syntaxonisch classificatiesysteem ASSOCIA. Vervolgens zijn er 86.300 opnamen geselecteerd waarbij de uitkomst van EXPERT én ASSOCIA op associatieniveau identiek was. Op basis van deze selectie is van een groot aantal associaties van uiteenlopende vegetatieklassen (wateren, graslanden, venen, heiden en bossen) boxplot-diagrammen gemaakt van de indicatiewaarden. Het R-script dat hiervoor is gemaakt, is als elektronische bijlage beschikbaar (*TrofieindicatorBoxplots.R*).

Hieronder een voorbeeld van associaties van graslandgemeenschappen, met diagrammen voor Ellenberg-trofie. Behalve van graslandassociaties zijn ook diagrammen gemaakt van waterplantgemeenschappen, venen, heiden en bossen. Behalve Ellenberg-trofie zijn ook diagrammen gemaakt van ITERATIO-trofie en WW-NO₃. WW-NO₃ is gekozen omdat deze indicator het sterkst gecorreleerd is met Ellenberg-trofie en ITERATIO-trofie. Bovendien is nitraat een voor de planten direct beschikbare stikstofbron (in tegenstelling tot N-totaal). In totaal zijn 12 diagrammen beoordeeld die als elektronische appendix beschikbaar zijn. Deze 12 diagrammen (4 vegetatiegroepen x 3 indicatorsystemen) zijn voorgelegd aan twee vegetatie-experts (Joop Schaminée en John Janssen), die onafhankelijk van elkaar de diagrammen hebben beoordeeld op hun plausibiliteit zonder dat hun bekend was welke set diagrammen welk indicatiesysteem vertegenwoordigde. Zij hebben gekeken hoe de verschillende associaties ten opzichte van elkaar zijn gepositioneerd op de y-as, die loopt van lage naar hoge trofie, en in het geval van WW-NO₃ van een lage NO₃-waarde naar een hoge NO₃-waarde in de bodem.

In de volgende paragrafen worden per vegetatiegroep de gezamenlijke bevindingen van de experts, die het in het algemeen zeer met elkaar eens waren, opgenomen. Alle diagrammen en de gegevens waarop ze gebaseerd zijn, zijn als elektronische bijlage beschikbaar (*Boxplots_associaties.zip*).

Verschillen tussen associaties van de klasse r10, r11, r19 en r20 worden door zowel bij **ITERATIO** als **Ellenberg** goed weergegeven.

r19AA04 (heischraal grasland in Zuid-Limburg) scoort bij **ITERATIO** het hoogst ten opzichte van de andere associaties van klasse r19. Het is echter lastig te beoordelen of dit correct is.

3.4.2.3 Graslanden

Deze groep betreft associaties uit de vegetatieklasse r12 (*Plantaginetea majoris*), r14 (*Koeleria-Corynepherea*), r15 (*Festuco-Brometea*) en r16 (*Molinio-Arrhenatheretea*).

WW: De associaties van klasse r14 zijn te veel in elkaar gedrukt; er is te weinig nuanceverschil.

Associaties van klasse r12 en zeker r12BA02 zitten te laag op de trofie-as in vergelijking met klasse 16.

In tegenstelling tot **ITERATIO** zitten r12BA02 en r12BA04 bij **Ellenberg** lager op de as dan r12BA03.

Volgens de experts geeft **Ellenberg** hier het juiste beeld.

r14AA01 (grasland op stuifzand) komt op meest schrale gronden voor en wordt door zowel **Ellenberg** als **ITERATIO** goed geplaatst.

r14BC01 (stroomdalgrasland) wordt door **Ellenberg** beter geplaatst dan **ITERATIO**, die de associatie te hoog op de trofie-as plaatst.

r16BC02, een door koeien beweide kalkgrasland, wordt door zowel **Ellenberg** als **ITERATIO** binnen klasse r16 het laagst op de trofie-as geplaatst, hetgeen volgens de experts correct is.

3.4.2.4 Bossen

Deze groep betreft associaties uit de vegetatieklasse r42 (*Alnetea glutinosae*), r43 (*Vaccinio-Betuletea*), r44 (*Vaccinio-Piceetea*) en r45 (*Quercetea robori-petraeae*) en r46 (*Quercu-Fagetea*).

WW doet het aardig bij de arme bossen (klassen r43, r44, r45) wat betreft de plaatsing op de trofie-as, maar laat te weinig verschillen zien tussen de associaties. Bij de rijke bossen (klasse r46) kloppen de verhoudingen echter niet. Zo moeten r46AA01 en r46AA02 hoger op de trofie-as liggen ten opzichte van de andere associaties van de klasse. Bij **Ellenberg** en **ITERATIO** wordt dit wel goed weergegeven.

Overigens plaatsen **Ellenberg** en **ITERATIO** de bosgemeenschappen goed op de trofie-as en worden de onderlinge verschillen correct weergegeven.

3.4.3 Conclusie

Beide experts concluderen dat WW-NO3 niet voldoet als het gaat om relatieve verschillen in trofie tussen associaties onderling goed weer te geven, terwijl **Ellenberg**-trofie en **ITERATIO**-trofie dat wel goed doen en elkaar weinig ontlopen. WW-NO3 geeft over het algemeen te weinig nuance (laat te weinig verschillen zien tussen associaties) en soms zijn gerelateerde associaties in een verkeerde ranking geplaatst.

Let op! Deze expertbeoordeling doet geen uitspraak over de kwaliteit van de WW-NO3 als indicator voor de beschikbaarheid van NO₃ voor planten. Zoals al elders in dit rapport is benadrukt, wordt de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten niet alleen door NO₃ (of door een ander macronutriënt) bepaald, maar door een combinatie van macronutriënten. Probleem is echter dat die combinatie in ruimte en tijd kan verschillen.

3.5 Trofie-indicaties in relatie tot biomassa en mestgift

3.5.1 Inleiding

Zoals in de inleiding van dit rapport al is aangegeven, geeft de bovengrondse biomassa, aangemaakt tijdens één groeiseizoen, een *proxy* voor de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten. Helaas is het zo dat vegetatieopnamen met daaraan gerelateerde biomassabepalingen maar weinig voorhanden zijn. Bovendien zijn dergelijke datasets nagenoeg alleen beschikbaar voor graslanden. Het is bijvoorbeeld moeilijk om voor bosvegetatie te bepalen wat er tijdens één groeiseizoen aan biomassa is bijgekomen, tenzij er een beperking is tot alleen de kruiden in de ondergroei. Bovendien moet voor ogen worden gehouden dat het bepalen van biomassa veel tijd kost.

Voor deze rapportage hebben we de hand kunnen leggen op drie datasets. Eén dataset betreft een bemestingsexperiment in Polen, waarover gepubliceerd is door Van Dobben et al. in 2017, één dataset met gegevens over mestgiften in graslanden op veen in Zuid-Holland en Utrecht (Van Strien et al. 1988) en als derde dataset 127 vegetatieopnamen met biomassabepaling geselecteerd uit de *Ecological Condition Database* (<https://www.givd.info/ID/EU-00-006>).

Bij de dataset van Van Strien (et al.) zijn geen biomassabepalingen uitgevoerd, maar zijn de mestgiften per opname bekend. We veronderstellen dat er een direct verband is tussen de mate van mestgift en de gemiddelde trofie/NO₃-indicatie van de vegetatieopnamen.

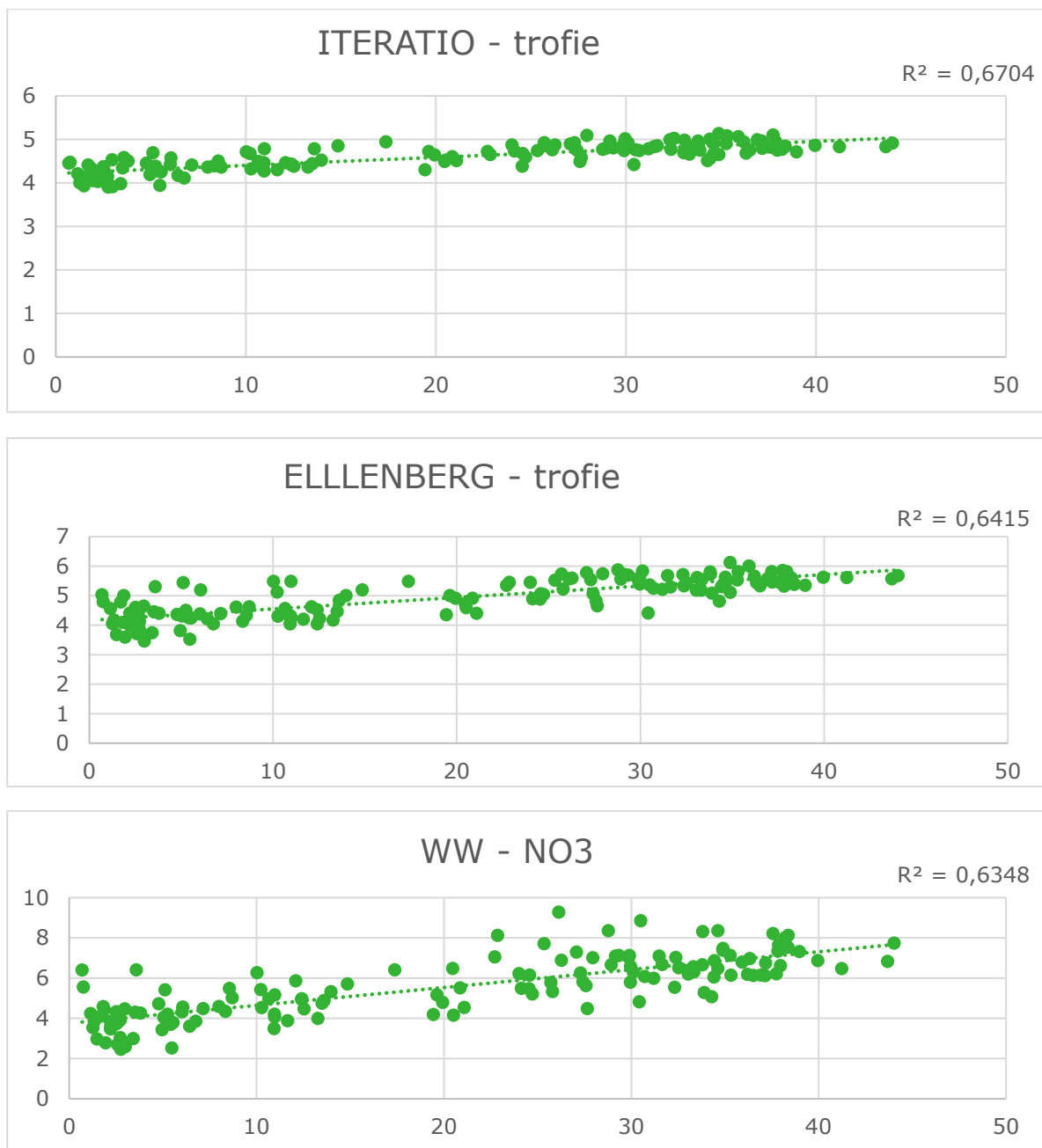
3.5.2 Het Poolse bemestingsexperiment

Het Poolse experiment (Van Dobben et al., 2017) betreft een meerjarige proef (opgezet in de jaren 1957-1959) waarbij in 144 PQ's jarenlang verschillende bemestingsregimes werden toegepast. Door Pieter Slim zijn de PQ's in 1996 en 2003 opgenomen, echter alleen in 1996 is de biomassa van alle PQ's bepaald. Dit heeft geresulteerd in 144 opnamen met gegevens over vers en drooggewicht. Van alle 144 opnamen zijn met behulp van Turboveg3 gemiddelde indicatiewaarden berekend, zonder meeweging van de bedekking van de soorten. Vervolgens zijn correlaties uitgerekend tussen vers en drooggewicht enerzijds en alle indicatoren anderzijds. De resultaten zijn opgenomen in onderstaande Tabel 3.3 en Figuur 3.4. De gemiddelde indicatie en vers en drooggewicht per opname en de berekende correlaties zijn te vinden in elektronische bijlage *BemestingsExperimentPolen.xlsx*.

Tabel 3.3 Correlaties tussen indicatoren en vers gewicht en drooggewicht van biomassa

	Vers gewicht	Drooggewicht
ELLENBERG-trofie	0.81	0.80
ITERATIO-trofie	0.84	0.82
SOIL_DRY	-0.24	-0.22
N_TOT	0.05	0.04
P_TOT	0.45	0.52
PH_KCL	0.73	0.74
NA	0.14	0.21
K_TOT	-0.31	-0.32
CA	0.47	0.48
MG	0.01	0.01
WW_C_N	-0.51	-0.52
WW_CA	0.16	0.02
WW_CL	-0.20	-0.36
WW_K	0.50	0.36
WW_MG	-0.09	-0.21
WW_NH4	-0.47	-0.45
WW_NO3	0.74	0.80
WW_NTOT	0.21	0.08
WW_PH_H2O	0.64	0.61
WW_PH_KCL	0.64	0.68
WW_PO4	0.74	0.74
WW_PTOT	0.64	0.54
WW_VOCHT	0.02	-0.09

Uit de tabel blijkt dat Ellenberg-trofie, ITERATIO-trofie en WW-NO3 goed correleren met zowel vers gewicht als ook drooggewicht van de biomassa (met zeer lage p-waarden; < 0.01). Dit geldt overigens ook voor WW-PO4 en in iets mindere mate voor WW-PTOT.



Figuur 3.4 Grafieken met de relatie tussen drooggewicht (ton droge stof/ha/jaar) op de x-as en trofie (ITERATIO en Ellenberg) en mg/kg NO₃ (WW-NO₃) op de y-as.

3.5.3 Graslanden in Zuid-Holland en Utrecht

Van Strien (Van Strien et al., 1988) heeft in 1983 en 1984 op verschillende locaties vegetatieopnamen gemaakt in graslanden op veen in de provincies Zuid-Holland en Utrecht. Van deze graslanden was bekend welke mestgift (kunstmest in de vorm van clacium ammonium nitraat, drijfmest en stalmest) in kg N/ha/jaar in de loop van de tijd was toegepast. In tegenstelling tot het in de vorige paragraaf genoemde experiment zijn hier geen biomassa-bepalingen uitgevoerd, en is daarom getracht een verband te leggen tussen de mate van mestgift en de gemiddelde trofie/NO₃-indicatie van de vegetatieopnamen. Dit in de veronderstelling dat verschillende maten van mestgift leiden tot verschillen in soortensamenstelling en als proxy kan dienen voor nutriëntenbeschikbaarheid. In de elektronische bijlage *VegetatiedataVanStrien.xlsx* zijn de gemiddelde indicatiewaarden van de drie indicatiesystemen en de mestgift per opname opgenomen alsook de berekende correlaties tussen mestgift en de indicatiesystemen. De berekeningen zijn per jaartal uitgevoerd, omdat de invloed per jaar kan verschillen en het weer invloed kan hebben op de soortensamenstelling van de opnamen (zie Tabel 3.4). De resultaten in de tabel laten zien dat er geen hele sterke correlatie bestaat tussen

mestgift en indicatiesystemen (geen waarden > 0.8). De hoogste en sterkste correlaties zijn er met ITERATIO-trofie, met 0.63 voor 1983 en 0.65 voor 1984. Met 0.28 en 0.33 scoort WW-NO3 niet goed, terwijl WW-PO4 het wel beter doet, zij het dat het matige correlaties betreft. WW-NH4 is merkwaardig genoeg negatief correlerend, ook hier wordt een positieve correlatie verwacht. De Ellenberg-trofie-indicatiewaarde zit dicht bij die van ITERATIO, maar de correlaties zijn matig met waarden onder de 0.6. De p-waarden voor zowel ITERATIO en Ellenberg zijn voor beide jaren veel kleiner dan 0.01 (zie elektronische bijlage *VegetatiedataVanStrien.xlsx*).

Tabel 3.4 Correlaties tussen mestgift en de verschillende indicatoren, berekend per jaartal.

	1983	1984
Ellenberg-trofie	0.51	0.58
ITERATIO-trofie	0.63	0.65
WW_C_N	-0.45	-0.49
WW_CA	-0.18	-0.42
WW_CL	-0.05	0.07
WW_K	0.26	0.26
WW_MG	-0.25	-0.41
WW_NH4	-0.43	-0.54
WW_NO3	0.28	0.33
WW_NTOT	-0.20	-0.35
WW_PH_H2O	0.32	0.44
WW_PO4	0.50	0.54
WW_PTOT	-0.05	-0.15
WW_VOCHT	-0.39	-0.57

3.5.4 Ecological Condition Database

In de door Wieger Wamelink opgezette *Ecological Condition Database* zijn ruim 8000 vegetatieopnamen ondergebracht met per opname diverse bodemmetingen. Van 213 opnamen is tevens de biomassa bepaling opgenomen. Deze zijn voor de onderhavige studie gebruikt. De gemiddelde indicatiewaarden per opname alsook de berekende correlaties zijn opgenomen in de elektronische bijlage *VegetatiedataWamelink.xlsx*. Jammer genoeg zijn de 213 opnamen in verschillende jaren gemaakt, zodat per jaar de correlatieberekening moest worden uitgevoerd op beperkte sets van opnamen. De uitkomsten, opgenomen in Tabel 3.5, zijn opmerkelijk, omdat alleen de opnamenset van 1992 acceptabele en enigszins voorspelbare correlaties laat zien. Ellenberg-trofie, ITERATIO-trofie en WW-NO3 laten een redelijk goede correlatie zien met biomassa. Ook andere WW-indicatoren laten een goede correlatie zien met biomassa. Wat betreft de andere jaren zijn de correlaties onverklaarbaar en doen vermoeden dat de data van productiviteit niet representatief zijn voor onze doeleinden (bijv. onder invloed van begrazing). Een uitzondering vormt wellicht het jaar 1998, waarbij een aantal WW-indicatoren nog matig correleert met biomassa. Al met al een dataset waar, wat betreft biomassagegevens, meer informatie nodig is voor gebruik in deze analyses.

Tabel 3.5 Correlaties tussen indicatoren en biomassa, uitgesplitst naar jaartal.

	1992 (n=39)	1998 (n=77)	2003 (n=31)	2008 (n=39)
Ellenberg-trofie	0.71	0.17	0.00	-0.01
ITERATIO-trofie	0.69	0.46	-0.15	0.13
WW_C_N	-0.25	-0.66	0.14	0.03
WW_CA	0.66	0.24	0.08	0.18
WW_CL	0.46	0.31	-0.02	-0.03
WW_K	0.70	0.50	-0.03	0.16
WW_MG	0.59	-0.17	0.12	0.19
WW_NH4	0.48	-0.60	0.22	0.12
WW_NO3	0.73	-0.15	-0.08	0.20
WW_NTOT	0.68	-0.36	0.11	0.19
WW_PH_H2O	0.42	0.66	-0.14	0.02
WW_PH_KCL	0.47	0.65	-0.14	0.00
WW_PO4	0.00	0.64	-0.14	-0.10
WW_PTOT	0.68	-0.35	0.08	0.18
WW_VOCHT	0.60	-0.15	0.14	0.18

3.5.5 Conclusie

In relatie tot biomassa (het Poolse experiment) lijkt er een sterke correlatie te bestaan met ITERATIO (zeer sterk), Ellenberg en WW-NO₃. De graslanden van Zuid-Holland en Utrecht laten een sterke correlatie zien tussen mestgift en ITERATIO-indicatiewaarden, een matige correlatie met Ellenberg en met WW-NO₃ een zwakke correlatie. De derde analyse, met de opnamen van Ecological Condition Database laten (althans wat betreft de opnamen van 1992) een sterke correlatie zien bij alle drie de indicatiesystemen.

Geconcludeerd kan worden dat, binnen de context van deze beperkte analyse en alleen gericht op graslanden, zowel ITERATIO als Ellenberg prima voldoet als indicatorsysteem voor trofie.

3.6 Veertig jaar PQ-onderzoek Strabrechtse heide

3.6.1 Inleiding

De heidespecialist Jacques de Smidt is in 1954 begonnen met het opnemen van een veertiental PQ's op de Strabrechtse heide. In de jaren negentig van de vorige eeuw is dat werk overgenomen door Jap Smits, die als boswachter Ecologie van Staatsbosbeheer werkzaam is op onder andere de Strabrechtse heide. In totaal zijn 11 van de 14 PQ's nagenoeg ieder jaar zo'n 40 keer opgenomen. Dit maakt deze reeks van permanente kwadraten tot een zeer unieke set van vegetatiegegevens. De PQ-reeksen die zijn geanalyseerd, lopen van 1954 tot en met 1997, maar zijn blijkbaar ook nog na die tijd opgenomen, tot ongeveer 2005 (persoonlijke mededeling Jap Smits).

De berekende indicatiewaarden van de 11 PQ's zijn opgenomen in de elektronische bijlage (*PQsStrabrecht.zip*), inclusief vegetatietabellen van een paar PQ's. Op basis van wat de vegetatietabellen laten zien, verwachten we in deze PQ-reeks over het algemeen een langzame toename in trofie waar te nemen. Zo'n toename in trofie kan worden veroorzaakt door een natuurlijke bodenvorming in relatie tot de vegetatie (strooisel opbouw en afbraak), maar ook bijvoorbeeld door stikstofdepositie. Op de causaliteit van de veranderingen in trofie zal hier verder niet worden ingegaan.

3.6.2 PQ-analyse

Hoewel Käfer & Witte (2004) stellen dat het niet uitmaakt of de bedekking van soorten wordt meegenomen in de berekening van gemiddelde indicaties van opnamen, is daar in deze analyse echter wel voor gekozen. Het betreft immers soortenarme vegetaties waarbij verschillen tussen opeenvolgende jaren vooral optreden door veranderende bedekkingen van soorten. De bedekking van de soorten in procenten is door een worteltransformatie meegenomen voor de berekening met Ellenberg- en de WW-NO₃-indicaties. Bij ITERATIO wordt sowieso de bedekking op een nagenoeg eenzelfde manier meegenomen in de berekeningen (percentages worden teruggebracht naar een ordinale schaal die zeer vergelijkbaar met een worteltransformatie). Verder heeft bij ITERATIO ook nog iedere soort een vast weeggetal dat bij berekeningen wordt meegenomen.

Ter illustratie van de resultaten worden hier alleen PQ1 en PQ12 uitgelicht. PQ1 is illustratief voor de meeste PQ's in de set. Zoals uit de vegetatietabellen blijkt, kenmerkt PQ1 zich door een toename aan Pijpenstrootje in de loop van de tijd en PQ12 door een toename van Dopheide ten koste van Struikheide. Pijpenstrootje is een van de soorten die een rol speelt bij de vergrassing van heidevelden. De soort kan groeien in voedselarme omstandigheden, maar kan snel reageren bij een toename in voedselrijkdom en zich vlot uitbreiden. We veronderstellen daarom dat een toename in Pijpenstrootje indicatief is voor een toename in trofie.

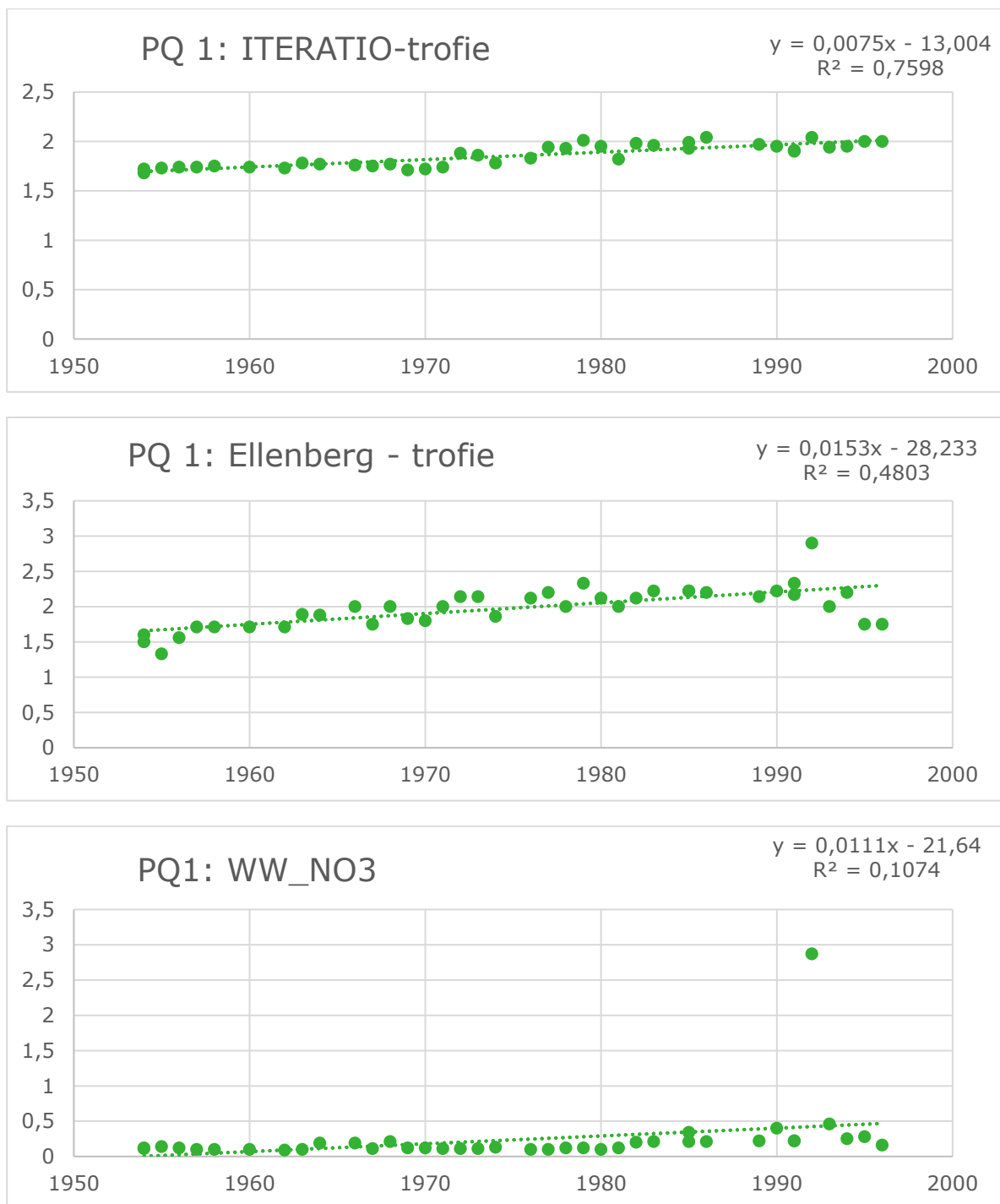
De statische uitkomsten van alle 11 PQ's zijn opgenomen in de elektronische bijlage *PQsStrabrecht.zip*.

Onderstaande grafieken met betrekking tot PQ1 (Figuur 3.5) laten een geringe toename van trofie in de tijd zien, waarbij ITERATIO-trofie de hoogste R^2 heeft (zeer sterk correlerend, met een zeer lage p-waarde van $1.19E-10$). Opvallend is dat er zowel bij Ellenberg als bij WW-NO3 een uitschieter naar boven is in 1992. Deze wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van de nitrofiële soort *Urtica dioica* (Grote brandnetel), die trouwens in de vegetatieopname (slechts) met een 'r' (= 1 individu) voorkomt. ITERATIO is minder gevoelig voor het voorkomen van incidentele soorten, omdat slechts een deel van de soorten een vast waarde heeft en de overige soorten daaraan worden opgehangen.

De trendlijnen van alle drie de indicatoren laten zien dat de trofie in de loop van de tijd in geringe mate toeneemt, zij het dat bij Ellenberg-trofie en WW-NO3 er naar het einde van de reeks toe sprake is van lagere waarden ten opzichte van het gemiddelde. Dit is opmerkelijk, omdat de bedekking van *Molinea caerulea* (Pijpenstrootje) alleen maar toeneemt in de loop van de tijd. De vegetatietabel van PQ-1 (*PQ-1-vegetatietabel.xlsx*) laat zien dat de bedekking van *Molinea* van 3% in 1954 in de loop van de tijd toeneemt naar 80% in 1996. *Molinea* is een te verwachten soort in heidevegetatie, die in bedekking normaal gesproken zal toenemen als de voedselbeschikbaarheid van de bodem toeneemt, zoals uit bemestingsexperimenten is gebleken.

Een verklaring van de afname van de trofie bij bijvoorbeeld Ellenberg valt te verklaren uit het feit dat hier *Molinea* de laagst mogelijke waarde, namelijk 1, heeft. Een toename in bedekking van *Molinea* zal daardoor de gemiddelde indicatiewaarde alleen maar omlaaghalen. Bij ITERATIO daarentegen heeft *Molinea* als indicatiewaarde 3.5 (en een lage weegwaarde van 0.1). Op een schaal van 1 tot 6.5 ligt deze waarde daarmee ongeveer in het midden en zal bij een toenemende bedekking van *Molinea* de gemiddelde indicatiewaarde van een opname alleen maar toenemen, gegeven het feit dat de gemiddelde indicatie van de opnamen onder de 3.5 ligt. Wat verder van invloed is op de uitkomsten, is het feit dat korstmossen geen indicatiegetal hebben binnen het systeem van Ellenberg en Wamelink en bij ITERATIO wel.

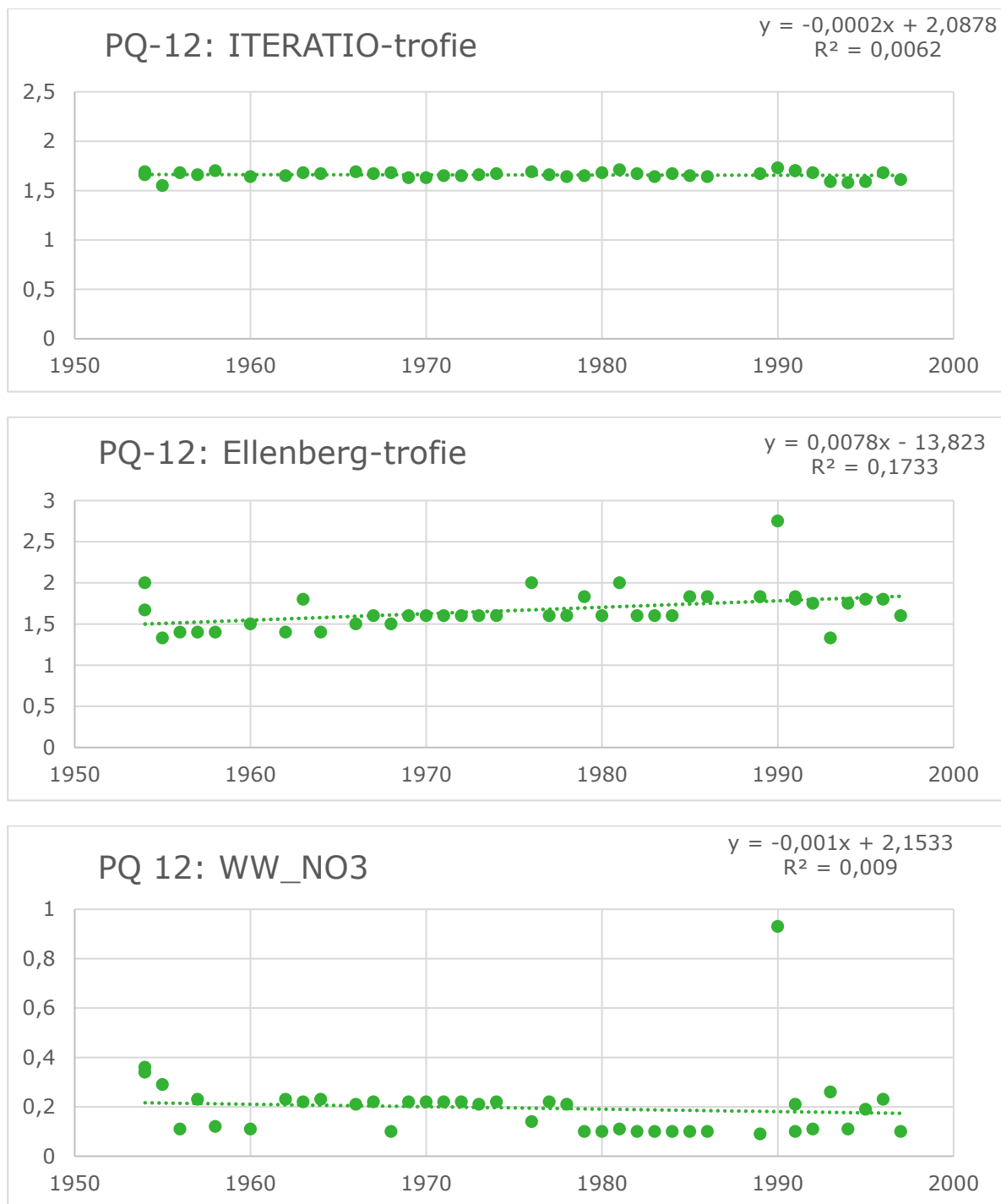
De toename van trofie in de loop der jaren, zij het gering, kan verschillende oorzaken hebben. Het hoeft niet alleen N-depositie te zijn, maar ook verdroging en brand kunnen hieraan ten grondslag liggen. Ook invasies van het Heidehaantje waar de Strabrechtse heide veel door te lijden heeft gehad, kunnen een groot effect hebben op de vegetatie. Het valt echter buiten de scope van dit onderzoek om hier verder op in te gaan.



Figuur 3.5 Trends in PQ1 bepaald met ITERATIO-trofie, Ellenberg-trofie en WW-NO3-trofie.

Nemen we PQ12 in beschouwing, dan valt op dat ITERATIO-trofie nauwelijks verandering in de tijd laat zien, althans gelet op de trendlijn (Figuur 3.6). Ellenberg-trofie daarentegen geeft een heel lichte toename van trofie in de tijd aan en WW-NO3 juist een zeer lichte daling. De vegetatietabel ([PQ-12-vegetatietabel.aspx](#)) laat zien dat er een duidelijke verandering in de bedekkingen van soorten is, *Calluna vulgaris* (Struikhei) neemt fors in bedekking af in de tijd, terwijl *Erica tetralix* (Gewone dophei) in bedekking fors toeneemt. Uit het rapport van Bouwman & Horsthuis (2011) blijkt dat deze omslag te wijten is aan een sterke aantasting door het Heidehaantje. Deze kever heeft Struikhei in het opnamevlak gedecimeerd, waarna Dophei de lege plekken heeft kunnen innemen. Aangezien beide soorten ongeveer dezelfde trofiewaarde in alle drie de indicatiesystemen hebben, verandert er netto niet of nauwelijks iets, hetgeen een verklaring kan zijn dat de richtingscoëfficiënten zeer laag zijn.

De uitschieter bij Ellenberg en WW in 1990 wordt veroorzaakt door de invasieve soort *Campylopus introflexus*.



Figuur 3.6 Trends in PQ12 bepaald met ITERATIO-trofie, Ellenberg-trofie en WW-NO3-trofie.

3.6.3 Conclusie

Op basis van de analyses van de elf PQ's van de Strabrechtse heide lijken van alle drie de indicatorsystemen ITERATIO en Ellenberg op basis van de relatief hoge correlatiecoëfficiënten het beste trends aan te geven. Beide systemen geven in de meeste gevallen eenzelfde signaal, namelijk een toename (zij het gering) van trofie in de tijd. De toename wil echter nog niet per definitie zeggen dat in het geval van de Strabrechtse heide trofie van de bodem is toegenomen in de loop van de tijd. Het gaat uiteindelijk om gemiddelden van indicatiewaarden van soorten die in de PQ's zijn aangetroffen die een mogelijke indicatie geven over de toestand van de bodem. De toename in trofie is vooral het gevolg van verandering in bedekking van een paar soorten, een verandering die het gevolg kan zijn door bijvoorbeeld invasie van het Heidehaantje, waardoor de aantasting van de ene soort in het voordeel werkt van de andere soort.

ITERATIO lijkt minder gevoelig voor het incidenteel voorkomen van soorten met een lage bedekking, omdat veel van deze soorten in het ITERATIO-systeem geen vaste waarde hebben of een laag gewicht hebben (zoals geldt voor *Urtica dioica*). Het zijn voornamelijk de plantensoorten met een nauwe ecologische amplitudo die een vaste waarde hebben en tevens een hoge weegwaarde. Dit vertaalt zich in een over het algemeen hogere R^2 -waarde ten opzichte van Ellenberg. Binnen ITERATIO heeft de brandnetel een hoge trofiewaarde maar een lage weegwaarde, waardoor het voorkomen van deze soort uiteindelijk weinig effect heeft op de gemiddelde indicatie van de opname waarin ze voorkomt (zie PQ1).

WW-NO3 laat bij meeste PQ's zeer lage correlatiecoëfficiënten zien en is onzes inziens het minst geschikt om trends mee te bepalen.

4 Eindconclusie

4.1 Vergelijking van de drie indicatiesystemen

In het vorige hoofdstuk zijn de drie indicatiesystemen op vier manieren met elkaar vergeleken. De belangrijkste conclusies van deze vergelijking zijn:

Correlaties tussen de indicatiesystemen met indicatiewaarden per soort en een gemiddelde waarde per opname

- ITERATIO-trofie en Ellenberg-trofie zijn sterk aan elkaar gecorreleerd en beide in wat mindere mate met WW-NO₃.
- Een behoorlijk aantal WW-indicatoren is onderling sterk aan elkaar gecorreleerd. Waar dit het geval is, kan dit de interpretatie van individuele indicatoren bemoeilijken.

Vergelijking boxplots-diagrammen van indicatiewaarden van plantengemeenschappen

- Beide experts concluderen dat WW-NO₃ geen goede weergave geeft van de plaatsing van plantengemeenschappen langs de trofie-as en van de onderlinge verhoudingen tussen de associaties. Ellenberg-trofie en ITERATIO-trofie geven een veel beter beeld en ontlopen elkaar weinig.

Vergelijking met opnamen met informatie over biomassa of bemesting

- In relatie tot biomassa lijkt er een sterke correlatie te bestaan met ITERATIO, Ellenberg en WW-NO₃. Gelet op het mestgiftonderzoek van Van Strien et al. (1988) lijkt er een middelmatige correlatie te bestaan met ITERATIO en Ellenberg en met WW-NO₃ nauwelijks. De beschikbaarheid van geschikte datasets is echter zeer beperkt en omvat alleen graslanden, zodat de resultaten van dit onderdeel met enige terughoudendheid geïnterpreteerd moeten worden.

Analyse van veertig jaar PQ-onderzoek op de Strabrechtse heide

- Een analyse van een elftal PQ's die veertig jaar lang zijn gemonitord op de Strabrechtse heide laat zien dat zowel ITERATIO als Ellenberg de trend in trofie goed weergeeft, waarbij opgemerkt wordt dat dit om een trend van gemiddelde trofie-indicaties van vegetatieopnamen gaat en geen directe indicatie is voor veranderingen van de trofie van de bodem, omdat in het geval van de Straberechtse heide ook andere factoren dan verandering van trofie in de bodem vegetatieverandering kunnen verklaren.

Op basis van deze bevindingen kan geconcludeerd worden dat het indicatiesysteem van Wamelink een minder goede en robuuste weergave geeft van de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten (trofie). Ellenberg-trofie en ITERATIO-trofie geven een veel beter beeld en ontlopen elkaar weinig. Daarbij moet worden opgemerkt dat bij de vergelijking tussen de indicatiesystemen gekeken is naar trofie en dat er geen uitspraak wordt gedaan over de kwaliteit van de WW-NO₃-indicaties voor de daadwerkelijke beschikbaarheid van NO₃. Zoals al elders in dit rapport is genoemd, wordt de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten niet alleen door NO₃ (of door een ander macronutriënt) bepaald, maar door een combinatie van macronutriënten. Toch hebben we in deze studie voor WW-NO₃ gekozen, omdat dit macronutriënt het sterkst gecorreleerd is met Ellenberg-trofie en Iteratio-trofie. Bovendien is nitraat een voor de planten direct beschikbare stikstofbron.

Er zijn echter meer theoretische bezwaren tegen het gebruik van indicatiewaarden voor individuele nutriënten, alleen of in combinatie, op basis van bodemchemische analyses (zie volgende paragraaf).

4.2 Discussie over indicatiewaarden voor nutriënten op basis van bodemchemische metingen

Er is al tientallen jaren discussie over de vraag in hoeverre en hoe het mogelijk is om vanuit de vegetatie betrouwbare indicaties af te leiden voor de beschikbaarheid van individuele nutriënten in de bodem. Zo wordt het indicatiesysteem van Heinz Ellenberg (zie paragraaf 3.1) vaak bekritiseerd vanwege het feit dat het grotendeels gebaseerd is op expertkennis en niet op veldmetingen. Diverse auteurs suggereren dat het gebruik van biochemische analyses kan leiden tot indicatiewaarden met een kwantitatieve schaal die een directe vergelijking met veldmetingen mogelijk maakt (zie Wamelink et al., 2005 en paragraaf 3.3). Andere auteurs suggereren echter dat bodemmetingen vaak niet representatief zijn voor de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten (zie volgende paragraaf), waardoor de betrouwbaarheid en robuustheid van de hiermee afgeleide indicatiewaarden veel geringer zijn dan vaak wordt verondersteld en waardoor een directe vergelijking met veldmetingen vaak niet goed mogelijk is. Hieronder beschrijven we beknopt deze argumenten, die we gebruiken bij de onderbouwing van de conclusies.

Bodemmetingen vaak niet representatief voor nutriëntenbeschikbaarheid voor planten

Veel bodemchemische metingen geven geen representatief beeld van de beschikbaarheid van een bepaald nutriënt voor de plant gedurende het groeiseizoen (Pegtel, 1987; Stark, 1994; Marschner, 1995; Ozinga et al., 1997; Shipley et al., 2017). Dit geldt in elk geval voor stikstof en fosfaat. Voor een deel hangt dit samen met de vaak sterke ruimtelijke heterogeniteit van nutriëntengehaltes in de bodem, in combinatie met sterke verschillen tussen plantensoorten (en individuen) in de mate van doorworteling van de verschillende bodemlagen. Bovendien is van het totale gehalte aan N en P in de bodem vaak maar een kleine fractie beschikbaar voor opname door de plant. De omvang van deze fractie kan bovendien in de tijd sterk fluctueren, mede onder invloed van het weer (o.a. regenbuien en temperatuurvariatie) en seizoensgebonden variatie in de activiteit van bodemorganismen. Bodemmetingen leveren slechts een momentopname van deze variatie, terwijl de biomassaproductie van planten gebaseerd is op de variatie gedurende het gehele groeiseizoen (Pegtel, 1987; Shipley et al., 2017). Daarnaast zijn er ook grote verschillen tussen plantensoorten in de fractie die ze kunnen benutten. Er zijn diverse methoden om de verschillende fracties te meten en de ecologisch relevantste methode hangt mede af van het bodemtype. Deze aspecten zorgen ervoor dat bodemchemische metingen vaak slechts een globale indicatie geven van de nutriëntenbeschikbaarheid.

De effecten van nutriëntbeschikbaarheid zijn indirect en contextafhankelijk

Een tweede probleem hangt samen met het feit dat de effecten van nutriëntbeschikbaarheid voor een deel indirect zijn. Zo worden negatieve effecten van een hogere beschikbaarheid van een bepaald nutriënt in veel gevallen niet zozeer veroorzaakt door een teveel van dit nutriënt, maar doordat de soort de concurrentie niet aankan met naburige plantensoorten die (onder de gegeven milieucondities) een hogere biomassaproductie hebben. De nutriëntenbeschikbaarheid waarbij dergelijke negatieve effecten optreden (het dalende deel van de responscurve), is daardoor mede afhankelijk van de andere soorten die aanwezig zijn en daardoor ook van andere milieufactoren die invloed hebben op de groei van deze soorten, zoals de beschikbaarheid van andere nutriënten, hydrologie en beheer. Bij de nutriënten gaat het bovendien niet alleen om de absolute beschikbaarheid, maar ook om de relatieve beschikbaarheid: dit bepaalt welk nutriënt(en) limiterend is voor de biomassaproductie van de vegetatie. Bij een tekort aan een nutriënt bijvoorbeeld kunnen planten geen gebruikmaken van de andere nutriënten, zelfs als deze overvloedig beschikbaar zijn. Het is hierdoor discutabel om het niche-optimum van plantensoorten nauwkeurig te beschrijven op basis van absolute waarden van specifieke nutriënten. Wel is eenduidiger en eenvoudiger om een relatieve waarde te geven voor de trofie waarbij de soort optimaal voorkomt, dat wil zeggen relatief ten opzichte van andere soorten.

4.3 Conclusie en aanbeveling

De trofie van een bepaalde locatie wordt bepaald door verschillende macronutriënten en hun onderlinge verhouding en het is afhankelijk van de context welke van deze nutriënten beperkend is voor de plantengroei. Het is daarom lastig om de beschikbaarheid van individuele nutriënten op basis van de vegetatie in te schatten.

Op basis van de in dit rapport beschreven vergelijking tussen drie indicatiesystemen wordt geconcludeerd dat ITERATIO en Ellenberg een duidelijker beter beeld geven van de nutriëntenbeschikbaarheid dan WW-indicatiewaarden. Als trofie-indicator lijkt WW-NO₃ het minst geschikt, omdat dit systeem relatief slecht uit de boxplot-diagramvergelijkingen kwam. Hoewel NO₃ bekendstaat als een belangrijk macronutriënt in plantenvoeding, blijkt dat het gebruik van slechts één macronutriënt niet voldoende is om de complexiteit van nutriëntenbeschikbaarheid die gezamenlijk de voedselrijkdom bepalen, te beschrijven. Hoewel WW-NO₃, en soms WW-P-totaal, in een aantal analyses redelijk tot goed is, zijn er ook andere waar dat niet het geval is. Een combinatie van macronutriënten zou mogelijk beter scoren, bijvoorbeeld NO₃ samen met C/N of P-totaal, maar hiervoor is door de vele combinatiemogelijkheden en de locatieafhankelijkheid nadere onderzoek noodzakelijk.

Verder onderzoek is nodig om met het gebruik van ITERATIO of Ellenberg plausibele trends van het Landelijk Meetnet Flora te berekenen, waarmee de indicatoren voor voedselbeschikbaarheid op het CLO en in de Digitale Balans kunnen worden herzien. Daarnaast is de wijze van toepassing voor ITERATIO nog niet helder. In deze beoordeling hebben de brede soorten van ITERATIO een landelijke indicatiewaarde gekregen om vergelijking met WW-NO₃ en Ellenberg mogelijk te maken. Bij toepassing van ITERATIO kunnen deze brede soorten, afhankelijk van hun plek, een andere indicatiewaarde krijgen. Tot nu toe is ITERATIO toegepast op gebiedsniveau. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen hoe ITERATIO het best toegepast kan worden op nationale schaal en of ITERATIO gevoelig genoeg is om verandering van nutriëntenbeschikbaarheid te duiden.

Literatuur

- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink (1998). Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in hoogvenen. Deel 4. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink & A.J.M. Jansen (1998). Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in vennen. Deel 5. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink (1995). Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in duinvalleien van het Waddendistrict. Deel 6. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink (1999). Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in droge duinen. Deel 8. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Aggenbach, C.J.S. & M.H. Jalink (2005). Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in boezemlanden. Deel 9. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Böhling, N., Greuter, W. & Raus, T. (2002). Zeigerwerte der Gefäßpflanzen der Südägäis (Griekenland). *Braun-Blanquetia* 32: 1–108.
- Borhidi, A. (1995). Social behaviour types, the naturalness and relative ecological values of the higher plants in the Hungarian flora. *Acta Botanica Hungarica* 39: 97–181.
- Bouwman, J.H & M.A.P. Horsthuis (2011). Permanente kwadraten in de heide. Overzicht en analyse van de door J.T. Smidt & J. Smits verzamelde vegetatieopnamen (periode 1949–2008). Unie van Bosgroepen.
- Chytrý, M., Hejčman, M., Hennekens, S.M. & Schellberg, J. (2009). Changes in vegetation types and Ellenberg indicator values after 65 years of fertilizer application in the Rengen Grassland Experiment, Germany. *Applied Vegetation Science* 12: 167–176.
- Chytrý, M., Tichý, L., Dřevojan, P., Sádlo, J. & Zelený, D. (2018). Ellenberg-type indicator values for the Czech flora. *Preslia* 90.
- Diekmann, M. (2003). Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review. *Basic and Applied Ecology* 4: 493–506.
- Diekmann, M. (1995). Use and improvement of Ellenberg's indicator values in deciduous forests in the Boreo-nemoral zone in Sweden. *Ecography* 18: 178–189.
- Diekmann M, Lawesson J.E. (1999) Shifts in ecological behaviour of herbaceous forest species along a transect from northern Central to North Europe. *Folia Geobotanica* 34: 127–141.
- Dierssen, K. (1990). Einführung in die Pflanzensociologie (Vegetationskunde). Akademie Verlag, Berlin.
- Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010). Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer, Stuttgart.
- 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. (1950). Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. *Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie I*. Stuttgart-Ludwigsburg (Ulmer), 141 pp.
- Ellenberg, H. (1952). Auswirkungen der Grundwasserabsenkung auf die Wiesengesellschaften am Seitenkanal westlich Braunschweig. *Angew. Pflanzensoz.* 6, 46 pp.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulsen, D. (1991). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1–248.
- Frank, D. & Klotz, S. (1990). Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR. 2nd ed. Martin-Luther University Halle-Wittenberg [Wissenschaftliche Beiträge no. P41], Halle (Saale), DE.
- Guarino, R., Domina, G. & Pignatti, S. (2012). Ellenberg's indicator values for the Flora of Italy –first update: Pteridophyta, Gymnospermae and Monocotyledoneae. *Flora Mediterranea* 22: 197 – 209.
- Hennekens, S.M. (2015). Turboveg v.3 - A gateway to EVA and other databases. In: Chytrý, M., Zelený, D. & Hettenbergerová, E. 58th Annual Symposium of the International Association for Vegetation Science: Understanding broad-scale vegetation patterns – Abstracts. Masaryk University (p. 152). CZ: Brno.

- Hennekens, S.M. & Schaminée, J.H.J. (2001). TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12: 589-591.
- Hennekens, S.M., Schaminée, J.H.J. & Stortelder, A.H.F. (2001). SynBioSys, een biologisch kennissysteem ten behoeve van natuurbeheer, natuurbeleid en natuurontwikkeling. Alterra, Wageningen.
- Hill, M.O. & Carey, P.D. (1997). Prediction of yield in the Rothamsted Park Grass Experiment by Ellenberg indicator values. *Journal of Vegetation Science* 8: 579-586.
- Hill, M.O., Roy, D.B., Mountford, O. & Bunce, R.G.H. (2000). Extending Ellenberg's indicator values to a new area: an algorithmic approach. *Journal of Applied Ecology* 37: 3-15.
- Holtland, W. J., ter Braak, C. J. F., & Schouten, M. G. C. (2010). Iteratio: Calculating environmental indicator values for species and relevés. *Applied Vegetation Science*, 13(3), 369-377.
- Jalink, M.H. & A.J.M. Jansen (1995). Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van grondwaterafhankelijke beekdalgemeenschappen. Deel 2. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Jalink, M.H. (1996). Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring in laagveenmoerassen. Deel 3. Staatsbosbeheer, Driebergen.
- Käfer, J., & J.-P. M. Witte (2004). Cover-Weighted Averaging of Indicator Values in Vegetation Analyses. *Journal of Vegetation Science* 15:647-652.
- Kleinebecker, T., Busch, V., Holzel, N., Hamer, U., Schafer, D., Prati, D., Fischer, M., Hemp, A., Lauterbach, R. & Klaus, V.H. (2018). And the winner is ...! A test of simple predictors of plant species richness in agricultural grasslands. *Ecological Indicators* 87: 296-301.
- Kojić, M., Popović, R. & Karadžić, B. (1997). Vaskularne biljke Srbije kao indikatori staništa. Institut za istraživanja u poljoprivredi, Srbija", Beograd, RS.
- Landolt, E. (1977). Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Technischen Hochschule, Stiftung Rubel in Zürich 68: 1-208.
- Lawesson, J.E., Fosaa, A.M. & Olsen, E. (2003). Calibration of Ellenberg indicator values for the Faroe Islands. *Applied Vegetation Science* 6: 53-62.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- Mayor, M. (1999). Ecología de la flora y vegetación del Principado de Asturias. Real Instituto de Estudios Asturianos, Oviedo.
- Økland, R.H. (1990) Vegetation ecology: theory, methods and applications with reference to Scandinavia. *Sommerfeltia Supplement* 1: 1-233.
- Ozinga, W.A., Van Andel, J. & McDonnellAlexander, M.P. 1997. Nutritional soil heterogeneity and Mycorrhiza as determinants of plant species diversity. *Acta Botanica Neerlandica* 46: 237-254.
- Ozinga, W.A., Colles, A., Bartish, I.V., Hennion, F., Hennekens, S.M., Pavoine, S., Poschlod, P., Hermant, M., Schaminee, J.H.J. & Prinzing, A. (2013). Specialists leave fewer descendants within a region than generalists. *Global Ecology and Biogeography* 22: 213-222.
- Pegtel, D.M. 1987. Soil fertility and the composition of semi-natural grassland. In: Van Andel, J., Bakker, J.P. & Snaydon, R.W. (eds.) *Disturbance in Grasslands: Causes, effects and processes*, pp. 51-66. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Pignatti, S. (2005). Bioindicator values of vascular plants of the Flora of Italy. *Braun-Blanquetia* 39: 1-97.
- Runhaar, J., M.H. Jalink, H. Hunneman, J.P.M. Witte & S.M. Hennekens, 2009. Ecologische vereisten habitattypen. Rapport KWR 09.018. KWR, Nieuwegein. (is uit de literatuurlijst gevallen)
- Schaffers, A.P. & Sykora, K.V. (2000). Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements. *Journal of Vegetation Science* 11: 225-244.
- Schaminée, J.H.J., Stortelder, A.H.F. & Grootjans, A.P. (1995). Vegetatie als object van onderzoek. In: Schaminée, J.H.J. et al. (red.), *De Vegetatie van Nederland 1. Inleiding tot de plantensociologie: grondslagen, methoden en toepassingen*. Opulus, Uppsala/Leiden: 15-32.
- Schaminée, J.H.J., Hennekens, S.M., Ozinga, W.A. (2007). Use of the ecological information system SynBioSys for the analysis of large databases. *Journal of Vegetation Science* 18: 463-470.
- Shipley, B., Belluau, M., Kühn, I., Soudzilovskaia, N.A., Bahn, M., Penuelas, J., Kattge, J., Sack, L., Cavender-Bares, J., Ozinga, W.A., Blonder, B., van Bodegom, P.M., Manning, P., Hickler, T., Sosinski, E., Pillar, V.D.P. & Onipchenko, V. (2017). Predicting habitat affinities of plant species using commonly measured functional traits. *Journal of Vegetation Science* 28: 1082-1095.
- Siebel, H.N. (1993). Indicatiegetallen voor blad- en levermossen. IBN-rapport 047. Instituut voor bos- en natuuronderzoek, Wageningen.

-
- Stark, J.M. (1994). Causes of soil nutrient heterogeneity at different scales. In: Caldwell, M.M. & Pearcy, R.W. (eds): *Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants*, pp. 255-284. Academic Press, London.
- Ter Braak, C.J.F. & J.M. Gremmen. (1987). Ecological amplitudes of plant species and the internal consistency of Ellenberg indicator values for moisture. *Vegetatio* 69: 79-87.
- Thompson, K., Hodgson, J.G., Grime, J.P., Rorison, I.H., Band, S.R. & Spencer, R.E. (1993). Ellenberg numbers revisited. *Phytocoenologia* 23: 277-289.
- Van Dobben, H.F., G. W. W. Wamelink, P.A. Slim, J. Kamiński & H. Piórkowski (2017). Species-rich grassland can persist under nitrogen-rich but phosphorus-limited conditions. *Plant Soil* 411: 451-466.
- Van Raam, J.C. & E.X. Maier (1992). Overzicht van de Nederlandse kranswieren. *Gorteria* 18: 112-116.
- Van Strien, A.J., Th.C.P. Melman & J.L.H. de Heiden (1988). Extensification of dairy farming and floristic richness of peat grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 36: 339-355.
- Wagner, M., Kahmen, A., Schlumprecht, H., Audorff, V., Perner, J., Buchmann, N. & Weisser, W.W. (2007). Prediction of herbage yield in grassland: How well do Ellenberg N-values perform? *Applied Vegetation Science* 10: 15-24.
- Wamelink, G.W.W., V. Joosten, H.F. van Dobben & F. Berendse (2002). Validity of Ellenberg indicator values judged from physico-chemical field measurements. *Journal of Vegetation science* 13: 269-278.
- Wamelink, G.W., Goedhart, P.W., Van Dobben, H.F. and Berendse, F. (2005). Plant species as predictors of soil pH: Replacing expert judgement with measurements. *Journal of Vegetation Science*, 16: 461-470. doi:10.1111/j.1654-1103.2005.tb02386.x
- Wamelink, G.W.W., M.H.C. van Adrichem & H.F. van Dobben (2009). Test voor het berekenen van de milieutekorten voor habitattypen in de provincie Gelderland. Alterra rapport 1836. Alterra, Wageningen.
- Wamelink, G. W. W., van Adrichem, M. H. C., van Dobben, H. F., Frissel, J. Y., den Held, M. E., Joosten, V., Wegman, R. M. A. (2012). Vegetation relevés and soil measurements in the Netherlands: the Ecological Conditions Database (EC). *Biodiversity & Ecology*, 4(17), 125-132. <https://doi.org/10.7809/b-e.00067>.
- Zarzycki, K., Trzcińska-Tacik, H., Róžański, W., Szeląg, Z., Wołek, J., Korzeniak, U. (2002). Ecological indicator values of vascular plants of Poland. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Warsaw.

Elektronische bijlagen

- [CorrelatiesIndicatoren.xlsx](#)
- [Random_opnamen.zip](#)
- [TrofieindicatorBoxplots.R](#)
- [Boxplots_associaties.zip](#)
- [BemestingsExperimentPolen.xlsx](#)
- [VegetatiedataVanStrien.xlsx](#)
- [VegetatiedataWamelink.xlsx](#)
- [PQsStrabrecht.zip](#)

Verantwoording

WOT-technical report: 191

BAPS-projectnummer: WOT-04-010-034.66

De auteurs bedanken allen voor hun bijdrage aan het tot stand komen van deze rapportage.

Veel dank aan Marlies Sanders (WOT) die het project op voortreffelijke wijze heeft begeleid en ook, samen met Marjon Hellegers (PBL), het rapport van grondig en constructief commentaar heeft voorzien.

Verder dank ook aan Han van Dobben voor het aanleveren van de Poolse vegetatiedata en Pieter Slim voor een toelichting daarop. Ook dank aan Arco van Strien voor het leveren en toelichten van zijn promotiedata over graslanden op veengrond met gegevens over mestgift.

Akkoord Extern contactpersoon

functie: Wetenschappelijk onderzoeker Ecologie

naam: Marjon Hellegers

datum: 2-12-2020

Akkoord Intern contactpersoon

naam: Marlies Sanders

datum: 1-12-2020

Verschenen documenten in de reeks Technical reports van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

168	Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2020). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2020.</i>	179	Knegt, de B., M. Pleijte, E. de Wit-de Vries, I. Bouwma, F. Kistenkas, W. Nieuwenhuizen (2020). <i>Samenhang Klimaatakkoord en natuurbeleid. Proces en implementatie van het Klimaatakkoord door provincies en maatschappelijke partijen en de potentiële effecten op biodiversiteitsdoelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn.</i>
169	Van Kraalingen, D., E.L. Wipfler, F. van den Berg, W.H.J. Beltman, M.M.S. ter Horst & J.A. te Roller (2020). <i>User manual for FOCUSSPIN version 3.3.</i>	180	Mattijssen T.J.M., M. Pleijte, J. Dengerink, T. Koster, M. Visscher (2020). <i>Indicatoren voor burgerbetrokkenheid bij natuur: een zoektocht naar nieuwe aanknopingspunten voor monitoring.</i>
170	Bos-Groenendijk, G.I., C.A.M van Swaay (2020). <i>Habitatrichtlijnrapportage 2019: Annex B Habitatrichtlijnsoorten; Achtergronddocument.</i>	181	Kamphorst, D.A., M. Pleijte, F. Kistenkas (2020). <i>Uitvoering van de Vogel- en Habitatrichtlijn in de praktijk: spanningen en mogelijke oplossingsrichtingen.</i>
171	Janssen, J.A.M. (red.), R.J. Bijlsma (red.), G.H.P. Arts, M.J. Baptist, S.M. Hennekens, B. de Knegt, T. van der Meij, J.H.J. Schaminée, A.J. van Strien, S. Wijnhoven, T.J.W. Ysebaert (2020). <i>Habitatrichtlijnrapportage 2019: Annex D Habitattypen. Achtergronddocument.</i>	182	Elschot K., M.E.B. Van Puijenbroek, D.D.G. Lagendijk, J-T. Van der Wal, C. Sonneveld (2020). <i>Lange-termijnontwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018).</i>
172	Van Kleunen, A., M. van Roomen, E. van Winden, M. Hornman, A. Boele, C. Kampichler, D. Zoetebier, H. Sierdema & C. van Turnhout (2020). <i>Vogelrichtlijnrapportage 2013-2018 van Nederland – status en trends van soorten.</i>	183	Koffijberg K., P. de Boer, S.C.V. Geelhoed, J. Nienhuis, K. Oosterbeek, J. Postma (2020). <i>Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2018.</i>
173	Glorius, S.T., A. Meijboom (2020). <i>Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage 13 jaar na sluiting (najaar 2018).</i>	184	Ijseldijk, L.L., M.J.L. Kik, L. van Schalkwijk & A. Gröne (2020). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2019. Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>
174	Kuindersma, W., D. van Doren, R. Arnouts, D.A. Kamphorst, J.G. Niesink, E. de Wit-de Vries (2020). <i>Realisatie Natuurnetwerk door provincies. Achtergrondstudie bij de Tweede Lerende Evaluatie Natuurpact.</i>	185	Os, J. van, L.J.J. Jeurissen, J.C. Verkaik (2020). <i>Rekenregels schapen en geiten voor de landbouwtelling; Verantwoording van het gebruik van het Identificatie & Registratiesysteem.</i>
175	Bouwma, I.M., D.A. Kamphorst, D. van Doren, T.A. de Boer, A.E. Buijs, C.M. Goossen, J.L.M. Donders, J.Y. Frissel, S. van Broekhoven (2020). <i>Provinciaal beleid voor maatschappelijke betrokkenheid bij natuur – het beleid nader bekeken in 8 casussen. Achtergrondstudie bij de Tweede Lerende Evaluatie Natuurpact.</i>	186	Bakker, G., M. Heinen, H.P.A. Gooren, W.J.M. de Groot, P.D. Peters (2020). <i>Hydrofysische gegevens van de bodem in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) en het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS); Update 2019.</i>
176	Gerritsen, A.L., H. Agricola, C. Aalbers, J. van Os (2020). <i>Natuur en landbouw verbinden. Achtergrondstudie bij de Tweede Lerende Evaluatie Natuurpact.</i>	187	Kuindersma, W., E. de Wit - de Vries, F.G. Boonstra, M. Pleijte, D.A. Kamphorst (2020). <i>Het Nederlandse natuurbeleid in zijn institutionele context. Beschrijving en analyse van de interne en externe congruentie van het Nederlandse natuurbeleidsarrangement in relatie tot landbouwbeleid, waterbeleid (voor de grote rivieren) en recreatiebeleid (1975-2018).</i>
177	Brouwer, F., D.J.J. Walvoort (2020). <i>Basisregistratie Ondergrond (BRO) Actualisatie bodemkaart. Herkartering van de veengebieden aan de flanken van de Utrechtse Heuvelrug.</i>	188	Kuiters, A.T., G.A. de Groot, D.R. Lammertsma, H.A.H. Jansman, J. Bovenschen (2020). <i>Genetische monitoring van de Nederlandse otterpopulatie; Ontwikkeling van populatieomvang en genetische status 2019/2020.</i>
178	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof & J. Vonk (2020). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2018; Emissies van ammoniak, stikstofdioxide, lachgas, methaan, niet-methaan vluchtige organische stoffen, fijnstof en koolstofdioxide uit kalkmeststoffen - Berekeningen met het model NEMA.</i>		

191	Hennekens, S., J. Holtland, N. van Rooijen, W. Wamelink & W. Ozinga (2020). <i>Indicatiewaarden voor voedselrijkdom van de bodem; een vergelijking tussen drie indicatiesystemen.</i>
192	Glorius, S.T. & A. Meijboom (2020). <i>Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; situatie 2019.</i>
193	Glorius, S.T. & A. Meijboom (2020). <i>Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage 14 jaar na sluiting (najaar 2019).</i>



Thema Periodieke
Evaluatie Natuurbeleid
Wettelijke Onderzoekstaken
Natuur & Milieu
P.O. Box 47
6700 AA Wageningen
T (0317) 48 54 71
E info.wnm@wur.nl

ISSN 2352-2739

www.wur.nl/wotnatuurenmilieu

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

