

Sieralgen gevoeliger voor buffercapaciteit van het water dan voor trofiegraad

Ronald Bijkerk & Bart van Tooren

r.bijkerk@aebeheer.eu & bartvantooren@xs4all.nl

Abstract

In the Netherlands desmids are usually classified into three ecological groups based on their preference for the degree of nutrient richness (trophic level) of the water in which they occur. Species are oligotrophic (O), mesotrophic (M) or eutrophic (E). This suggests that they prefer nutrient-poor, moderately nutrient-rich and nutrient-rich waters, respectively. In this article we show that the presence of these O, M, and E species in Dutch waters is not directly determined by trophic levels when it comes to the levels of nitrogen and phosphorus. O species, for example, can also be found in waters enriched with the nutrients ammonium, nitrate, and phosphate. The groups of O, M and E species do differ significantly in the alkalinity (buffering capacity) of the water in which they occur: O species are found in non- to very weakly buffered waters, M species in weakly to moderately buffered waters and E species in strongly to very strongly buffered waters. Therefore, we propose to name these groups according to their preferred degree of buffering (alkalinity) rather than trophicity. The use of trophy indications may lead to incorrect characterization of the nitrogen and phosphate richness of the water and we therefore advise against using it.

Samenvatting

Sieralgen worden veelal ingedeeld in drie ecologische groepen op basis van hun voorkeur voor de mate van voedselrijkdom (trofiegraad) van het water waar ze in voorkomen. Soorten zijn oligotrafent (O), mesotrafent (M) of eutrafent (E). Dit suggereert dat zij de voorkeur geven aan respectievelijk voedselarme, matig voedselrijke en voedselrijke wateren. In dit artikel laten we zien dat de aanwezigheid van deze O-, M-, en E-soorten in Nederlandse wateren niet primair bepaald wordt door de trofiegraad als het gaat om de gehalten van stikstof en fosfor. O-soorten bijvoorbeeld, zijn ook te vinden in wateren die verrijkt zijn met de voedingsstoffen ammonium, nitraat en fosfaat. De groepen O-, M- en E-soorten verschillen wel significant in de alkaliniteit (buffercapaciteit) van het water waarin zij voorkomen: O-soorten vinden we in niet tot zeer zwak gebufferde wateren, M-soorten in zwak tot matig gebufferde wateren en E-soorten in sterk tot zeer sterk gebufferde wateren. Daarom stellen wij voor om deze groepen te benoemen op grond van hun voorkeur voor de mate van buffering (alkaliniteit) en niet de mate van trofie. Het gebruik van trofie-indicaties kan leiden tot een onjuiste typering van de rijkdom aan stikstof en fosfaat van het water en raden wij daarom af.

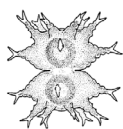
Trofiegraad als indicatiewaarde: de O-, M- en E-soorten

In 1998 presenteert Coesel indicaties voor sieralgen op basis van de zuurgraad en de trofiegraad van het waterlichaam waarin de soorten gevonden worden (Coesel, 1998). Naast deze abiotische milieufactoren noemt hij ook de ionenrijkdom en het volume van het water bepalend voor de soortensamenstelling van sieralggemeenschappen. Wat de trofiegraad betreft noemt Coesel (1998, p. 8) 'met name het belang van fosfor- en stikstofverbindingen'. Hij onderscheidt sieralgsoorten met een voorkeur voor een oligotroof (voedselarm), een mesotroof (matig voedselrijk) of een eutroof (voedselrijk) milieu. Deze duiden we in dit artikel aan als respectievelijk O-, M- en E-soorten. Coesel (1998) onderscheidt daarnaast ook soorten die in twee of soms drie trofietypen water gevonden worden: oligo-mesotroof, meso-eutroof en oligo-eutroof. De begrenzing van de ecologische soortgroepen is heel goed gekozen: in regenwatervennen vinden we (vrijwel) uitsluitend soorten die een voorkeur zouden hebben voor een oligotroof milieu en in vennen met wat invloed van grondwater juist soorten die een mesotroof water prefereren. Deze indicatiewaarden voor trofie worden regelmatig gebruikt voor de interpretatie van sieralgwaarnemingen. Zo treffen we in de verslagen van de jaarlijkse sieralgenexcursies vaak per monster de frequentieverdeling van oligotrafente, mesotrafente en eutrafente soorten. Daarmee typeert men impliciet de trofiegraad van het water van herkomst.

De trofiegraad als basis voor de indeling van sieralggemeenschappen komt niet uit de lucht vallen. Al in 1975 stelt Coesel voor om drie series van 'sieralggemeenschappen' te onderscheiden, één voor een oligotroof, één voor een mesotroof en één voor een eutroof milieu (Coesel, 1975). Op grond van de soortenrijkdom worden binnen elke serie drie stadia onderscheiden. Dit systeem kan toegepast worden in een kwaliteitsbeoordeling. Ook deze gezelschappen zijn altijd zeer herkenbaar al wordt er helaas maar weinig aan gerefereerd.

Intermezzo: het begrip trofiegraad

Het begrip trofiegraad vraagt een nadere toelichting. De term verwijst naar de rijkdom aan voedingsstoffen (nutriënten) voor algen en waterplanten. Daarbij gaat het vooral om de voedingsstof die de groei van deze organismen beperkt. In het Nederlandse zoete oppervlaktewater is dat meestal fosfaat. Uit het gehalte van fosfaat in het water kan men dan ook de potentieel maximale biomassa van algen berekenen (Portielje & van der Molen, 1998). In brede zin wordt de term 'nutriënten' gebruikt voor alle anorganische plantenvoedingsstoffen. De belangrijkste zijn stikstof, kalium, calcium, magnesium, fosfor en zwavel, die daarom wel als 'macronutriënten' worden aangeduid (OBN natuurkennis, thema Biogeochemie, 2025). In een beschrijving van de waterkwaliteit wordt onder trofiegraad in het algemeen de nadruk gelegd op de nutriënten stikstof en fosfor en gebruikt men de term 'eutrofiëring' voor de toename van de gehalten van deze stoffen ten opzichte van de natuurlijke concentraties.



Macro-ionen en buffercapaciteit

Joosten (1996) heeft het O, M, en E systeem geactualiseerd voor de toenmalige situatie, kenmerkende soorten voor de verschillende stadia toegevoegd en een beschrijving gegeven van het watertype waarin de series en stadia voorkomen, met voorbeeldwateren. Joosten merkt ook op dat de macro-ionensamenstelling waarschijnlijk minstens zo belangrijk is als de trofiegraad, waarbij hij wat trofie betreft, vermoedelijk denkt aan stikstof en fosfaat. Dat zien we bij uitstek in onze vennen. Hierin vinden we meestal vnl. de O-soorten. Vennen zijn van nature voedselarm omdat zij grotendeels door regenwater gevoed worden. Maar door menselijke activiteiten is het water van onze vennen al decennialang verrijkt met stikstof (ammonium en nitraat) en fosfaat. In Nederland behoren de vennen van de Kampina tot de zwaarst met stikstof belaste vennen. Wat deze vennen nog wel bezitten, is een lage ionenrijkdom en daardoor een lage buffercapaciteit. In dit artikel laten we zien dat deze buffercapaciteit wel en de trofiegraad in termen van de beschikbare hoeveelheid stikstof en fosfaat, niet de soortensamenstelling van sieraalgemeenschappen bepaalt. Coesel heeft goede indicatiewaarden opgesteld maar helaas een terminologie gebruikt die in elk geval tegenwoordig niet juist meer is. Heel concreet: de sieraalgen reageren niet primair op de trofiegraad van het water maar op de buffercapaciteit van het water.

Onderzoek naar de indicaties voor alkaliniteit en trofie van sieraalgen

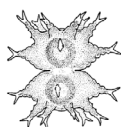
In de periode 2000 tot en met 2008 hebben we met een 30 µm of 50 µm planktonnet 310 sieraalmonsters genomen in 261 wateren verspreid over Nederland en

van uiteenlopende mate van buffering (tabel 1). Van vrijwel alle wateren hebben we fysisch-chemische gegevens verzameld uit het jaar van bemonstering en beschikbaar gesteld door de waterbeheerders. Voor de fysisch-chemische beschrijving hebben we zomergemiddelden berekend. De sieraalgenmonsters zijn geanalyseerd op soortensamenstelling, waarbij van elk monster minimaal 0,3 ml onderzocht is met een omkeermicroscoop, bij een vergroting van 200× en 600×. Van elk aangetroffen taxon hebben we de dichtheid bepaald in cellen per ml monster. Determinaties voerden we uit met de literatuur vermeld in het Handboek Hydrobiologie (Bijkerk, 2010). De aangetroffen soorten hebben we ingedeeld in de O-, M- of E-groep, hoofdzakelijk op basis van hun trofie-indicatie in Coesel (1998). Een aantal soorten die Coesel (1998) had ingedeeld bij de M-groep, hebben wij verplaatst naar de E-groep, op grond van hun voorkomen in sterker gebufferde wateren. Bijvoorbeeld *Cosmarium klebsii*, *C. subprotumidum*, *C. turpinii*, *Euastrum germanicum* en *Staurastrum gladiusum*. Oligo-mesotrafente soorten hebben we gerekend tot de O-soorten, meso-oligotrafente en meso-eutrafente soorten tot de M-soorten en eu-mesotrafente soorten tot de E-soorten. De indifferente taxa, *Closterium acutum* var. *acutum*, *C. pronum* en *Cosmarium regnelli*, hebben we buiten beschouwing gelaten. Het databestand omvat 183 soorten, 54 O-soorten, 61 M-soorten en 68 E-soorten.

Intermezzo: de buffercapaciteit van oppervlaktewater

In oppervlaktewater bepaalt de mate van buffering welke planten- en algensoorten kunnen voorkomen. In niet tot zeer zwak gebufferde vennen is de soortensamenstelling van sieraalgen en kiezelwieren totaal anders dan in sterker gebufferde wateren. Veel informatie over buffering is te vinden op de onvolprezen website van het OBN over vennen (www.natuurkennis.nl). Buffering is het zuurneutraliserende vermogen van het water en wordt ook wel buffercapaciteit of alkaliniteit genoemd. In oppervlaktewater en grondwater wordt de buffercapaciteit vrijwel geheel bepaald door de hoeveelheid opgelost bicarbonaat (HCO_3^-) en carbonaat (CO_3^{2-}). Wanneer geen of zeer weinig van deze carbonaten aanwezig zijn, is het water niet gebufferd. Regenwater bevat vrijwel geen bicarbonaat en vennen die uitsluitend door neerslag worden gevoed, zijn dus niet gebufferd. Omdat er in regenwater een klein beetje koolzuurgas (CO_2) oplost, is regenwater zwak zuur (pH circa 5,5). De zuurgraad in niet gebufferde vennen is echter veel hoger (pH 4,2 of lager). Dat komt van nature door de groei van veenmos. Veenmos neemt calcium en magnesium op en compenseert deze opname van kationen door de afgifte van waterstofionen (H^+). Hierdoor wordt het water van niet gebufferde vennen zuur. Grondwater is wel gebufferd door het oplossen van calciumcarbonaat, vooral als het in contact is geweest met kalkrijke bodemlagen, zoals leem. Wanneer grondwater uit de omgeving naar het ven kan toestromen, is dit een belangrijke bron van buffering. Hierdoor kan de zuurgraad dalen en de pH stijgen tot omstreeks 5,5. Ook de inlaat van gebufferd oppervlaktewater in vennen, verhoogt de alkaliniteit en de pH.

Het bicarbonaatgehalte van grondwater neemt toe met de ouderdom van het grondwater: is het jong, oppervlakkig en lokaal grondwater of heeft het al een lange weg door de bodem afgelegd. De hoeveelheid grondwater in een ven is afhankelijk van zijn hoogteligging. Hooggelegen vennen, bijvoorbeeld die bovenop het Drents plateau, ontvangen hooguit maar weinig grondwater, door laterale toestroming vanuit een beperkte omgeving. Lager gelegen vennen ontvangen meer grondwater dat ook nog eens een langere reis door de bodem heeft gemaakt vanuit de hoger gelegen omgeving. De ligging van vennen in het landschap heeft dus invloed op de mate van buffering van hun water.



Buffercapaciteit	Klasserange meq/l	Aantal monsters in de database			
		Wateren	Sieralgen	P	DIN
Niet gebufferd	< 0,05	47	53	51	51
Zeer zwak gebufferd	> 0,05 - 0,2	46	69	68	68
Zwak gebufferd	> 0,2 - 1,0	33	43	42	42
Matig gebufferd	> 1,0 - 2,0	45	48	46	44
Sterk gebufferd	> 2,0 - 4,0	78	84	75	71
Zeer sterk gebufferd	> 4,0	12	13	11	11
Totaal		261	310	293	287

Tabel 1 Aantal wateren, sieralgonsters en monsters met nutriëntengegevens in ons onderzoek; P = totaal fosfaat, DIN = opgeloste anorganische stikstof (ammonium, nitraat en nitriet).

Bepaling indicaties volgens Brettum

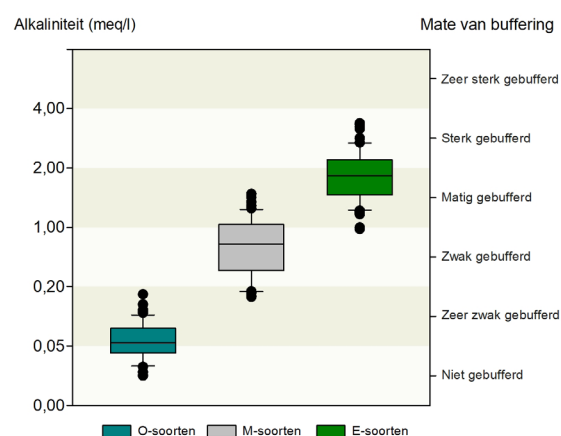
Voor de factoren alkaliniteit, totaal-P gehalte en DIN-gehalte, hebben we een indicatiewaarde bepaald voor elk van de 183 aangetroffen soorten. DIN staat voor Dissolved Inorganic Nitrogen en is de som van ammonium, nitriet en nitraat. Ammonium en nitraat kunnen direct door algen opgenomen worden. Dat geldt niet voor totaal-stikstof omdat een groot deel daarvan, doorgaans tussen de 1 en 2 mg N/l, bestaat uit organisch gebonden stikstof dat niet direct beschikbaar is voor algen. Deze indicatiewaarde hebben we berekend volgens de methode van Brettum (1989), uit de chemische gegevens van de monsters waarin de soort is aangetroffen. Hierbij onderscheidt men meerdere grootteklassen voor de factor en telt men het aantal waarnemingen van de soort in elke klasse. Vervolgens berekent men de indicatiewaarde van de soort uit het relatieve voorkomen in elke klasse en het rangordnummer van die klasse (bijlage I). Uit het vóórkomen in elke klasse kan men ook de gevoeligheid van de soort als indicator berekenen. Dat hebben wij in dit artikel niet gedaan. Statistische analyses hebben we uitgevoerd met het programma Past 2.0 (Hammer et al., 2001).

Indicatiewaarden voor alkaliniteit

Voor alkaliniteit hebben we zes klassen onderscheiden op grond van de typering volgens Arts et al. (2002), uiteenlopend van niet gebufferd tot zeer sterk gebufferd (fig. 1).

Tussen de mediane waarden van de alkaliniteits-indicaties zien we een significant verschil tussen de O-, M en E-groepen (Mann-Whitney, $p < 0,0001$). Hieruit kunnen we concluderen dat deze drie ecologische groepen goed onderscheiden kunnen worden op grond van hun vóórkomen in relatie tot de alkaliniteit van het water. Alle door ons gevonden O-soorten komen voor in niet tot zeer zwak gebufferde wateren. Van de M-soorten heeft 89 procent een indicatiewaarde voor zwak tot matig gebufferde wateren en 11 procent voor zeer zwak gebufferde plassen. De aangetroffen E-soorten hebben vrijwel alle, 97 procent, een indicatie in de klasse matig tot sterk gebufferde wateren en 3 procent een waarde in de klasse zwak gebufferde wateren. Soorten met een indicatie in de klasse zeer sterk gebufferd zijn niet door

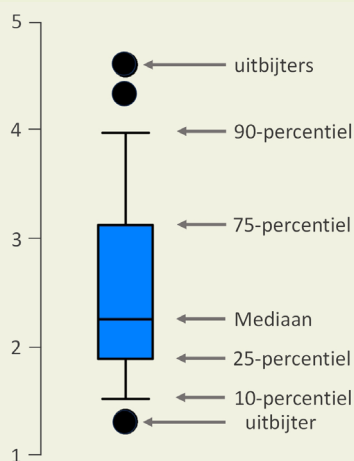
ons gevonden (fig. 1), al komen er wel soorten in dit type water voor.



Figuur 1. Boxplots van de indicatiewaarden voor alkaliniteit van de drie ecologische groepen van sieralgen; de drie groepen verschillen onderling significant in hun mediane indicatiewaarde (Mann-Whitney, $p < 0,0001$).

Voor nutriëntenrijkdom onderscheiden we vijf klassen naar de typering volgens Arts et al. (2002), uiteenlopend van zeer voedselarm tot extreem voedselrijk (zie fig. 2 en 3). Een probleem bij de routinematige fosfaatmonitoring door de waterbeheerders is, dat fosfaatgehalten in de klasse 'zeer voedselarm' niet betrouwbaar genoeg gemeten worden. De rapportagegrens van deze bepaling had tot 2003 een waarde van 0,04 mg P/l en daarna één van 0,03 mg P/l. Waarden lager dan de rapportagegrens hebben we, zoals gebruikelijk, gesteld op de helft van deze grens, respectievelijk 0,02 en 0,015 mg P/l. Deze waarden zijn hoger dan de bovengrens van de klasse 'zeer voedselarm' die ligt op 0,01 mg P/l.

Voor DIN speelt dit probleem niet. De rapportagegrens ligt op 0,2 mg N/l en omgerekend naar de helft, 0,1 mg N/l, ligt de rekenwaarde onder de klassegrens voor 'zeer voedselarm' water. De bestaande klassengrenzen voor ammonium zijn omgerekend naar DIN door vermenigvuldiging met een factor 1,4 (Bijkerk et al., 2025). Deze grenzen sluiten aan op de klassegrenzen voor DIN in de Vennensleutel (Kennisnetwerk OBN, 2021).



Intermezzo: box plots

In dit artikel presenteren we onze meetgegevens in de vorm van box plots. Deze geven een goed beeld van de spreiding van de gegevens en van de mediaan.

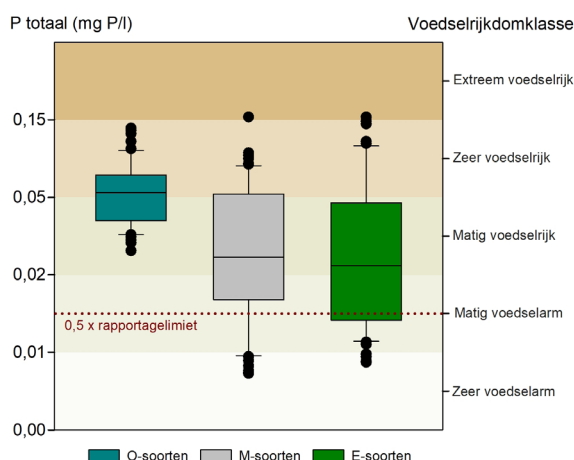
De box wordt begrensd door het 25- en 75-percentiel. De horizontale lijn in de box is de mediane waarde.

De horizontale lijnen boven en onder de box zijn het 10- en 90-percentiel en omvatten dus 80% van de meetwaarden. De zwarte cirkels zijn de uitbijters, de waarden die buiten deze range vallen.

Statistische verschillen tussen meerdere gegevenssets kunnen beoordeeld worden aan de ligging van de mediaan en de grootte van de spreiding.

Indicatiewaarde fosfaat

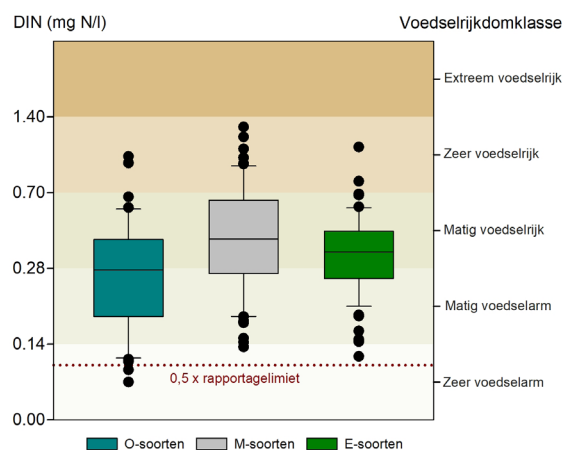
De mediane indicatiewaarde voor fosfaat is van de groep O-soorten in onze dataset significant hoger dan van de groepen M- en E-soorten (Mann-Whitney, $p < 0,0001$; fig. 2). Tussen de M- en E-groep is geen verschil in mediane waarde aantoonbaar. Alle indicatiewaarden van de O-soorten liggen in de klasse matig tot zeer voedselrijk. Bij de M- en E-soorten is dat aandeel veel lager, namelijk 67 en 50 procent. Daarbij komt dat slechts een enkele soort uit de M- en E-groepen een indicatiewaarde heeft die net in de hoogste voedselrijkdomklasse valt, de klasse extreem voedselrijk. Dit zijn *Closterium lineatum* en *Cosmarium micronoides*. De overige M- en E-soorten hebben een indicatiewaarde voor een lagere voedselrijkdom, de klasse zeer tot matig voedselarm (respectievelijk 31 en 49 procent).



Figuur 2. Boxplots van de indicatiewaarden voor fosfaat van de drie ecologische groepen van sieralgen; de groep O-soorten verschilt significant met de groepen M en E in hun mediane indicatiewaarde (Mann-Whitney, $p < 0,0001$); de groepen M en E verschillen niet.

Indicatiewaarde DIN

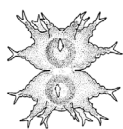
In hun mediane indicatiewaarde voor opgeloste anorganische stikstof (DIN) verschillen de drie ecologische groepen significant (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Voor deze voedingsstof is de mediaan van de O-groep het laagst en van de M-groep het hoogst (fig. 3). De meeste indicatiewaarden liggen in de klassen matig voedselarm tot matig voedselrijk (79 tot 96 procent). Van de O-soorten ligt 15 procent in de klasse zeer voedselarm, bij de M- en E-soorten is dat percentage 2 respectievelijk 1 procent. De klasse zeer voedselrijk is het best vertegenwoordigd onder de M-soorten (18 procent), voor de O- en E-groep is dit aantal respectievelijk 6 en 3 procent. Indicatiewaarden voor extreem voedselrijke wateren hebben we niet gevonden.



Figuur 3. Boxplots van de indicatiewaarden voor DIN van de drie ecologische groepen van sieralgen; de drie groepen verschillen significant in hun mediane indicatiewaarde (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Toepassing indicatiewaarden voor voedingsstoffen

De analyse laat zien dat de als oligotrafent geclassificeerde sieralgen in minstens de helft van hun vindplaatsen gevonden zijn onder matig (DIN) tot zeer voedselrijke (P) omstandigheden. Op grond van deze waarneming leidt het toepassen van sieralgen in een typering van de



trofiegraad van wateren, niet tot een juist beeld van de aanwezige voedselrijkdom aan fosfaat en opgeloste anorganische stikstof. De door ons berekende indicatiewaarden voor deze voedingsstoffen weerspiegelen de verrijking met fosfaat en stikstof in de recente historie. Gesteld dat de rijkdom aan deze nutriënten de komende jaren afneemt, zal een nieuwe berekening leiden tot een daling van de indicatiewaarden voor deze voedingsstoffen voor de aanwezige sieraal-soorten. De typering van de alkaliniteit geeft wel een reëel beeld van het watertype, qua buffercapaciteit en rijkdom aan macronutriënten in het algemeen.

Buffercapaciteit en natuurlijke voedselrijkdom

Het veronderstelde verband tussen trofiegraad en buffercapaciteit is wel begrijpelijk, althans voor fosfaat. In zoete wateren is fosfaat de voedingsstof die op jaarbasis de productie van algen en waterplanten bepaalt. Onder natuurlijke omstandigheden komen fosfaat en calciumcarbonaat (de belangrijkste bron van alkaliniteit) hoofdzakelijk vanuit de bodem in het oppervlaktewater terecht, via het grondwater. Daardoor kan de natuurlijke achtergrondconcentratie van totaal fosfaat (in $\mu\text{g P/l}$) in plassen en meren berekend worden uit de alkaliniteit (alk in meq/l) en de gemiddelde diepte van het water (z in m). Door Vighi en Chiaudani (1985) is daartoe de volgende regressie afgeleid:

$$\text{Log P} = 1,48 + 0,33 \times \text{Log (alk/z)} + \epsilon$$

De term ϵ is een statistische ruisterm die de afwijking beschrijft van de punten van de door lineaire regressie verkregen lijn. Die ruis ontstaat vooral door verschillen in fosfaatgehalte tussen zand-, klei- en veenbodems (Verdonschot & Verdonschot, 2020). Het natuurlijke gehalte van fosfaat kunnen we voor niet tot zeer zwak gebufferde, ondiepe vennen van gemiddeld een meter diep, begroten op 0,006 tot 0,022 mg P/l (tab. 2). Bij een kleinere gemiddelde diepte neemt het gehalte toe, bij een grotere neemt het gehalte af.

Huidige voedselrijkdom

Ten opzichte van de natuurlijke waarden zijn de fosfaat- en stikstofgehalten in oppervlaktewater in de afgelopen tijd sterk toegenomen, door menselijke activiteiten sinds omstreeks 1970. Ook eerder droeg de mens bij aan de

eutrofiëring van sommige vennen, bijvoorbeeld door het wassen van schapen in het ven Kliplo tot aan het eind van de 19e eeuw en het spoelen van mestkarren in het ven Schurenberg (van Dam & Arts, 1993). Daarnaast zorgden broedende Kokmeeuwen in sommige vennen voor een verhoging van de voedselrijkdom.

Bronnen van fosfaat

De huidige belangrijkste bronnen van fosfaat voor het oppervlaktewater in Nederland zijn volgens Groenendijk c.s. (2016) in Verdonschot & Verdonschot (2020):

- uit- en afspoeling van de landbouw en overige landbouwactiviteiten (64%);
- lozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties (15%);
- uit- en afspoeling van de natuur (8%).

Een natuurlijke bron van voedingsstoffen voor oppervlaktewater is bijvoorbeeld de inwaai van boombladeren in de herfst. Daarnaast zien we de laatste jaren een toename van het aantal overwinterende ganzen, die op sommige plassen en grotere vennen een rustplaats zoeken. Atmosferische depositie van fosfaat is verwaarloosbaar.

In Tabel 3 staan de zomergemiddelde van de gemeten fosfaatgehalten in de bemonsterde wateren. Deze gehalten zijn het resultaat van de interne (vanuit de waterbodem) en externe fosfaatbelasting (vanuit de omgeving). In de tabel hebben we onderscheid gemaakt tussen de qua buffercapaciteit (alkaliniteit) verschillende watertypen. Hieruit blijkt dat de niet gebufferde wateren in ons bestand een hoger gemiddeld fosfaatgehalte hebben dan zeer zwak tot sterk gebufferde wateren en ook een relatief hoog mediaan fosfaatgehalte.

Bronnen van stikstof

De belangrijkste bronnen van stikstof in oppervlaktewateren zijn (naar van Geest et al., 2021):

- huidige bemesting door de landbouw en daaruit voorkomende belasting (66%);
- inlaat van gebiedsvreemd water en toestroom vanuit buitenland (14%);
- atmosferische depositie (5%).

Buffercapaciteit	Alkaliniteit (meq/l)	Achtergrondgehalte P (mg/l)	
		Ondergrens	Bovengrens
Niet gebufferd	0,025	0,006	0,013
Zeer zwak gebufferd	0,125	0,011	0,022
Zwak gebufferd	0,600	0,018	0,037
Matig gebufferd	1,500	0,024	0,049
Sterk gebufferd	3,000	0,031	0,062
Zeer sterk gebufferd	4,600	0,035	0,072

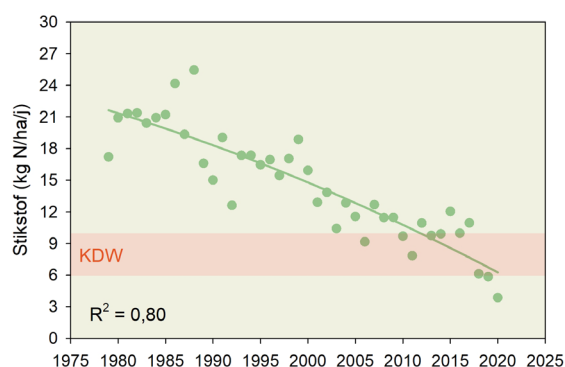
Tabel 2. Natuurlijke gehalte van totaal fosfaat berekend uit de alkaliniteit voor plassen met een gemiddelde diepte van één meter. Met een kleinere diepte neemt het gehalte toe.

Buffercapaciteit	Alkaliniteit (meq/l)		Gemeten gehalte P (mg/l)				
	N	Gemiddelde	N	5-Percentiel	95-Percentiel	Gemiddeld	Mediaan
Niet gebufferd	52	0,029	51	0,030	0,604	0,192	0,093
Zeer zwak gebufferd	68	0,100	68	0,046	0,498	0,131	0,083
Zwak gebufferd	40	0,588	42	0,072	0,484	0,161	0,072
Matig gebufferd	41	1,572	46	0,085	0,376	0,125	0,085
Sterk gebufferd	78	2,737	75	0,094	0,578	0,181	0,094
Zeer sterk gebufferd	11	4,596	11	0,060	1,000	0,267	0,060

Tabel 3. Gemiddelde alkaliniteit en range in totaal-fosfaatgehalte per watertype in ons databestand van 293 monsters uit 261 wateren; het aantal monsters per parameter is weergegeven onder N.

Belangrijk is dat voor geïsoleerde wateren in natuurgebieden de atmosferische depositie de voornaamste stikstofbron is, inclusief de uit- en afspoeling daarvan uit de omgeving. Deze depositie is na 1980 gedaald en heeft rond 2020 in Noord-Nederland de Kritische Depositie Waarde (KDW) vaak al bereikt (fig. 4). In Zuid-Nederland ligt de depositie van stikstof nog royaal boven de KDW. In 2021 was de totale stikstofdepositie in Noord-Brabant en Limburg ongeveer dertig procent hoger dan die in Drenthe (Hoogerbrugge et al., 2022).

De KDW is de hoeveelheid depositie die een intact ecosysteem over langere tijd kan verdragen zonder dat significante schade optreedt aan de structuur of het functioneren van dat systeem (de Vries et al., 2021). De aangegeven grenzen voor stikstof zijn voor Nederland ontleend aan Nilsson & Grennfelt (1988). Voor vennen bedraagt de KDW 6 tot 10 kg N per hectare per jaar, afhankelijk van de buffercapaciteit (Wamelink et al., 2023). Volgens Loeb en Verdonchot (2010) krijgt een stikstofdepositie van niet meer dan 5 kg N per hectare per jaar het oordeel 'goed' voor het beheertype ven. Daar zit dus nog een verschil tussen. Daarbij komt dat de uit- en afspoeling van neergeslagen stikstofverbindingen nog wel enige tijd voor de aanvoer van stikstof naar vennen zal zorgen.



Figuur 4. Jaargemiddelde totale depositie van stikstof (som van ammonium en nitraat) te Witteveen (1978-1999) en Valthermond (2000-2020), met de kritische depositiewaarden (KDW) voor vennen. De lijn is de niet-lineaire regressie die laat zien dat de afname van de stikstofdepositie in de periode 1980-2020, 80% van de variatie verklaart (uit Bijkerk et al., 2025). De totale stikstofdepositie is berekend uit de gemeten natte depositie door deze met een factor 1,2 te vermenigvuldigen (Arts et al. 2002).

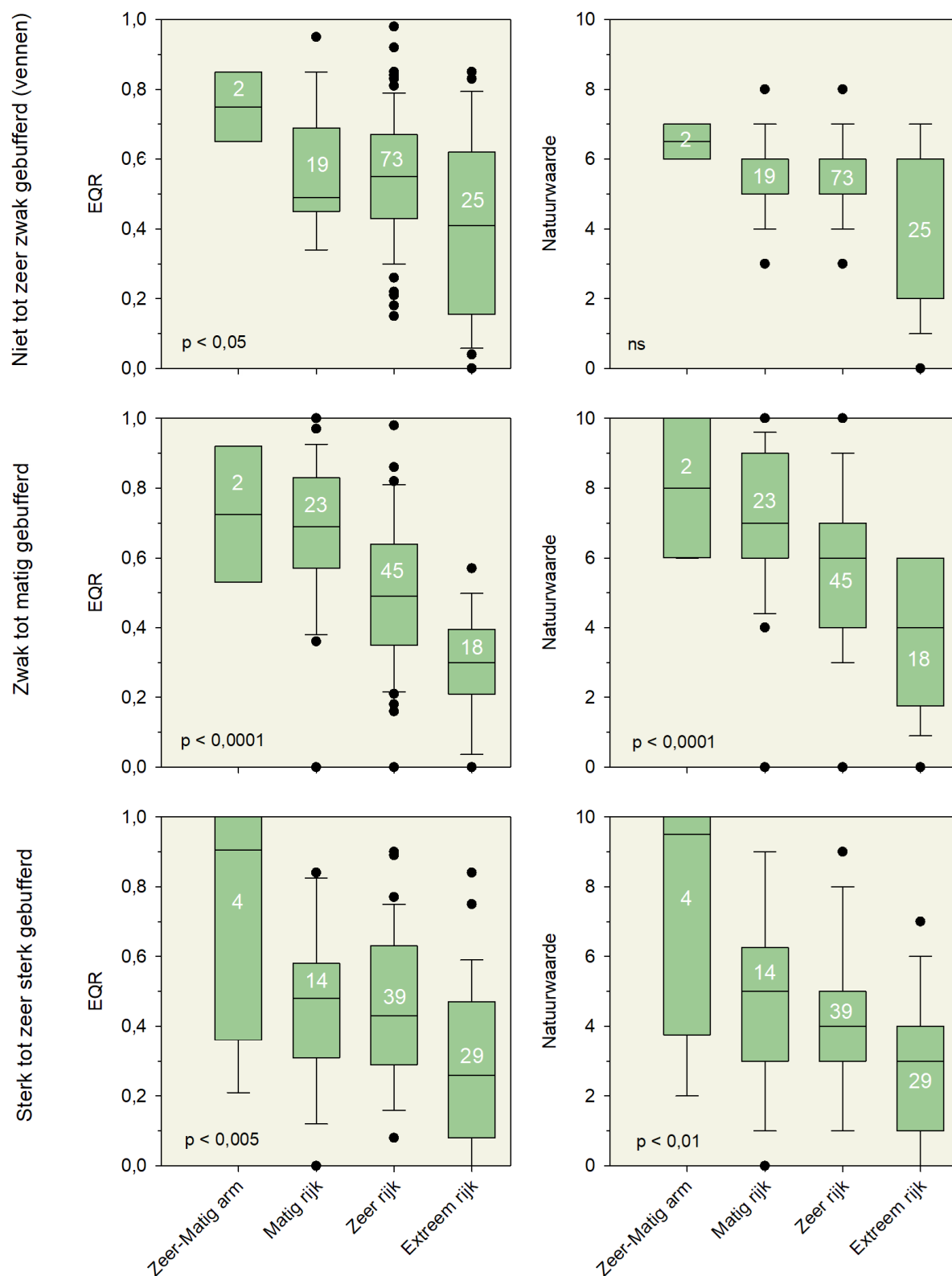
Invloed van nutriëntenrijkdom op kwaliteitsbeoordeling

De mate van buffering bepaalt de soortensamenstelling van sieraalgemeenschappen maar de gehalten van de nutriënten stikstof en fosfor lijken geen directe invloed hierop te hebben. Indirecte effecten van een toename van het nutriëntengehalte, met name van fosfaat, zijn een verslechtering van het lichtklimaat in de waterkolom door een toename van planktonalgen, een toename van de fluctuaties in de zuurgraad en een vergroting van het verschil in het zuurstofgehalte over een etmaal, met een daling van de minimale zuurstofgehalten in de vroege ochtend. Wanneer het water troebeler begint te worden, kan de aanwezigheid van waterplanten de sieraalgen nog helpen aan een positie hoger in de waterkolom, totdat ook deze planten door lichtbeperking verdwijnen.

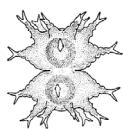
Er zijn daarom redenen om aan te nemen dat de kwaliteit van sieraalgemeenschappen negatief gerelateerd is aan de hoogte van de voedselrijkdom. Om dit te onderzoeken hebben we de EQR (Mulderij et al., 2010) en de Natuurwaarde (Coesel, 1998) uitgezet tegen de mate van voedselrijkdom. Dit hebben we gedaan voor de drie wat buffercapaciteit betreft onderscheiden watertypen: de niet tot zeer zwak gebufferde (de vennen), de zwak tot matig gebufferde (de mesotrofe poelen en plassen) en de sterk tot zeer sterk gebufferde wateren (de eutrofe plassen en meren). We hebben dit gedaan vanuit de gedachte dat vennen van nature veel minder voedselrijk zijn dan mesotrofe en zeker eutrofe wateren. Het effect van de mate van voedselrijkdom op de mediaan van de beoordelingsresultaten is onderzocht op significantie met behulp van de Kruskal-Wallis test.

Kwaliteitsbeoordeling en fosfaatgehalte

De mate van voedselrijkdom, uitgedrukt in het gehalte totaal-fosfaat, heeft in de meeste gevallen een significant effect op de mediaan van de beoordelingsresultaten. Alleen op de natuurwaarde van sieraalgen in niet tot zeer zwak gebufferde wateren (vennen) is dit effect niet aantoonbaar (fig. 5). Waar dit effect wel significant is, neemt de mediaan van de EQR en natuurwaarden vrijwel steeds af met toenemende mate van fosfaatrijkdom. Ook in de sterk tot zeer sterk gebufferde wateren. Alleen in zeer rijke vennen is de mediaan wat hoger dan in



Figuur 5. Kwaliteit van de sieralgengemeenschap in verschillende klassen van rijkdom aan totaal fosfaat voor drie qua buffercapaciteit verschillende groepen wateren. De overschrijdingskansen in de linkeronderhoek van elke figuur geven aan of de mate van voedselrijkdom wel ($p < 0,05$ of lager) of geen (ns) significant effect heeft op de mediaan van de beoordelingsresultaten (Kruskal-Wallis). Het aantal waarnemingen per box staat met witte getallen in de box weergegeven.



Intermezzo: de Ecologische Kwaliteits Ratio (EQR) en de Natuurwaarde

De EQR staat voor Ecological Quality Ratio, in het Nederlands: Ecologische Kwaliteits Ratio (EKR). Dit is een getal op een schaal van 0 tot 1 dat aangeeft in welke mate de ecologische toestand van een water afwijkt van de niet tot nauwelijks door mensen beïnvloede toestand. Een water met een EQR van 0,6 of hoger, heeft een goede tot zeer goede ecologische toestand. EQR's worden bepaald uit de aanwezige flora en fauna, met behulp van maatlaten die ontwikkeld zijn tijdens de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water. Voor sialgalen is een maatlat afgeleid op basis van de soortenrijkdom (zie Mulderij et al., 2010).

De Natuurwaarde is een maat ontwikkeld door Coesel (1998). Deze maat geeft aan wat de kwaliteit is van de sialalggemeenschap op een schaal van 0 tot 10: 0 is de Natuurwaarde bij afwezigheid van sialgalen, 10 is de waarde van een optimaal ontwikkelde sialalggemeenschap (de natuurlijke referentie). De waarde wordt berekend uit de soortenrijkdom, de zeldzaamheid van de aanwezige soorten en hun signaalwaarde (hun verbondenheid met ongestoorde, rijk geschakeerde habitats).

matig rijke vennen. Voor fosfaat hebben we de klassen zeer arm en matig arm bij elkaar gevoegd, omdat de gehalten uit de klasse zeer arm in het algemeen niet betrouwbaar gemeten worden.

Kwaliteitsbeoordeling en stikstofgehalte

Het gehalte opgeloste anorganische stikstof (DIN) heeft in alle gevallen een significant effect op de mediaan van de beoordelingsresultaten. Deze neemt in niet tot matig gebufferde wateren af met toenemende voedselrijkdom (fig. 6). In sterk tot zeer sterk gebufferde wateren is de mediaan in zeer stikstofarme wateren lager dan in matig arme tot matig rijke.

Heeft de rijkdom aan stikstof en fosfaat invloed op de soortensamenstelling?

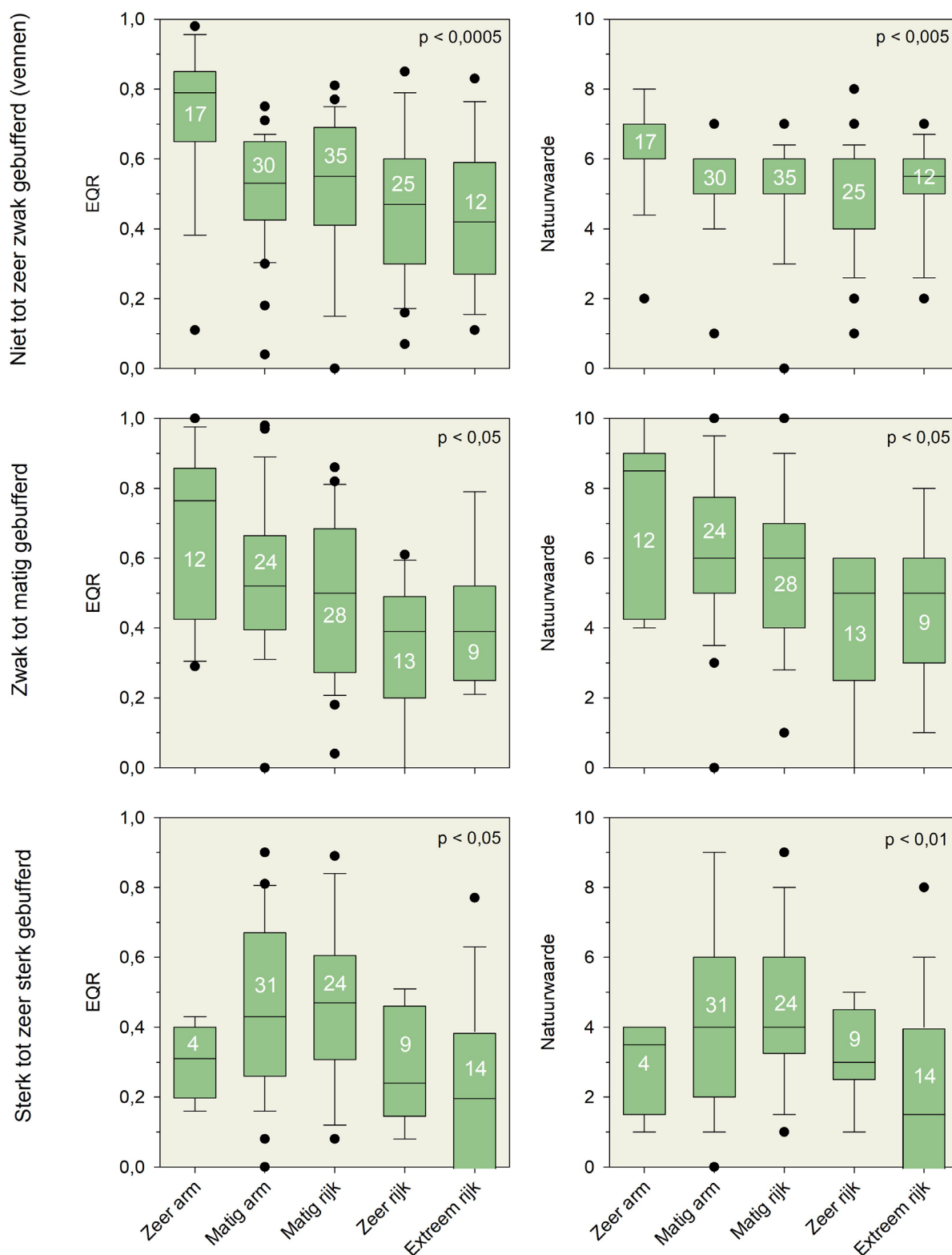
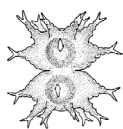
In de tweede helft van de vorige eeuw zorgde 'zure regen' voor een sterke verzuring van niet tot zeer zwak gebufferde vennen. De zure regen kwam vooral door de uitstoot van zwaveldioxide en daarnaast van stikstofoxiden en ammoniak. De extreem zure pH's in de meeste vennen gingen rond 1980 gepaard met een dieptepunt in de kwaliteit van sialalggemeenschappen in Drenthe: een lage soortenrijkdom (EQR) en een lage natuurwaarde (Bijkerk et al., 2025). Door maatregelen daalde de zwaveldepositie in de periode 1980-2020 met 95% en de stikstofdepositie met 75% (zie fig. 4). In 2003 was de kwaliteit van de sialalggemeenschappen weer sterk gestegen en in de daaropvolgende twee decennia is hun kwaliteit min of meer op dit niveau gebleven. De gehalten totaal-fosfaat en opgeloste anorganische stikstof in deze vennen zijn in de periode 1980-2022 in het algemeen niet significant veranderd. In twee zandbodenvennen, de Davidsplas en het Elpermeer, zien we vanaf 2011 wel een sterke stijging van deze gehalten van matig rijk tot verrijkt. De oorzaak is een toename van het aantal overwinterende ganzen.

Het aantal soorten sialgalen is in de Davidsplas in de afgelopen tien jaar iets afgenomen en in het Elpermeer wat gestegen. De natuurwaarde van sialgalen is in beide vennen gelijk gebleven. In beide vennen is de soortensamenstelling in 2022 wel opvallend veranderd. Er zijn nieuwe soorten gekomen van een wat voedselrijker en minder zuur milieu, bijvoorbeeld *Staurastrum micron*

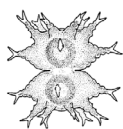
en *S. teliferum* in de Davidsplas en *Desmidium swartzii* en *Staurodesmus dejectus* in het Elpermeer. In dit ven is het merendeel van de in 2022 aangetroffen soorten hier niet eerder waargenomen. In de Davidsplas kunnen we een aantal gewone vennensoorten in 2022 ook niet meer vinden, maar wel de zeldzame vennensoorten *Cosmarium quinarium* en *C. sphaeroideum* die hier voor het laatst in 1929 werd gevonden.

Aan deze twee voorbeelden zien we dat verrijking met stikstof en fosfaat niet gepaard hoeft te gaan met een afname van de soortenrijkdom of de natuurwaarde van de sialalg-gemeenschap, zoals we wel hebben gezien tijdens de periode van verzuring. Wel kan er een verandering in de soortensamenstelling optreden. Is dit een gevolg van de toename van voedingsstoffen of van een verandering in de samenstelling van macro-ionen en een toename van de alkaliniteit? Na 1980/1991 zijn ook de gehalten van calcium, magnesium en zwavel in de Drentse vennen sterk gedaald en de gehalten van ijzer gestegen (Bijkerk et al., 2025).

Het gebruik van de termen oligotroof, mesotroof en eutroof suggereert dat we een maat hebben voor de preferenties van sialgalen voor een bepaalde voedselrijkdom. En beperken we ons tot de voedingsstoffen stikstof en fosfaat, dan lijkt een directe relatie met de gehalten van deze stoffen afwezig. Onderzoek naar de voorkeuren van sialgalen voor de mate van voedselrijkdom, waarbij we ook kijken naar de andere macronutriënten dan N en P, ontbreekt in Nederland. Anders gezegd: we hebben tot nu toe geen idee wat in vennen de soorten zijn die profiteren van de huidige overmaat aan stikstof en fosfaat en welke niet. En evenmin, of er soorten verdwenen zijn door deze verrijking. Zoals *Docidium baculum* en *Euastrum ampullaceum*. Het zou interessant zijn om de soortensamenstelling te vergelijken van ongebufferde vennen tussen regio's met veel en vrijwel geen stikstofdepositie. Dat zelfde geldt ook voor zwak gebufferde vennen. Hoe wordt in herstelde zwak gebufferde vennen, maar ook in door natuurontwikkeling ontstane vennen, de soortensamenstelling beïnvloed door stikstofdepositie en verrijking met fosfaat? Waarom komen de vele uit Nederland verdwenen



Figuur 6. Kwaliteit van de sieraalgemeenschap in verschillende klassen van rijkdom aan DIN voor drie qua buffercapaciteit verschillende groepen wateren. De overschrijdingskansen in de rechterbovenhoek van elke figuur geven aan of de mate van voedselrijkdom wel ($p < 0,05$ of lager) of geen (ns) significant effect heeft op de mediaan van de beoordelingsresultaten (Kruskal-Wallis). Het aantal waarnemingen per box staat met witte getallen in de box weergegeven.



soorten in dit type vennen niet terug? Bij andere algen-groepen zien we ecologische aanpassingen aan de beschikbaarheid van stikstof en fosfaat, zoals een snelle groei bij rijkdom versus tolerantie voor begrazing bij schaarste, of het vermogen om moleculaire stikstof te fixeren bij uitputting van nitraat. Er is bij sialgalen wel labonderzoek uitgevoerd naar de opnamekinetiek van fosfaat en de daaraan gerelateerde groeisnelheden van *Cosmarium plancticum* en *Staurastrum chaetoceras*, die hun voorkomen in wateren met een verschillende algenbiomassa konden verklaren (Spijckerman & Coesel, 1998). Of dit de enige verklarende factor is, is voor ons nog een vraag. Hoge algenbiomassa's gaan in het veld ook gepaard met een hogere troebelheid van het water en grotere dagelijkse fluctuaties in zuurgraad en zuurstofgehalte, waar je als sialgalsoort mee om moet kunnen gaan. Voor we het voorkomen van sialgalen in natuurlijke wateren kunnen verklaren, zijn er nog vele uitdagingen voor toekomstig onderzoek aan sialgalen.

Naar een andere terminologie

Toen Coesel in 1975 en 1998 de indicatiewaarden opstelde was onze kennis over de ecologie van vennen veel minder dan nu. En dat gold al helemaal toen hij in 1975 de drie O-, M- en E-series opstelde met de negen sialgalengemeenschappen. De terminologie was toen nog heel logisch. Immers, regenwatervennen golden als extreem voedselarm en waren dus oligotroof. En met de toevoer van grondwater of met enige invloed van oppervlaktewater kwamen natuurlijk ook wel wat voedingsstoffen mee. Het is juist de enorme stikstofdepositie die deze terminologie 'verstoord heeft'. Die stikstofdepositie was er ook al in de jaren '90 van de vorige eeuw, maar het is begrijpelijk dat het begrip over de ecologische positie van sialgalen toen nog sterk beïnvloed werd door het eerdere onderzoek aan vennen van bijvoorbeeld Beijerinck en Heimans. Zeker is dat het voor een goed begrip van de ecologie van sialgalen beter zou zijn om de huidige termen oligotroof, mesotroof en eutroof te vervangen door de termen ongebufferd, matig gebufferd, respectievelijk sterk gebufferd, of een andere term, die ondubbelzinnig en herleidbaar aangeeft hoe de gemeenschapstypen onderscheiden kunnen worden.

Conclusies en aanbevelingen

De indeling in O-, M- en E-groepen van sialgalen volgens Coesel (1975, 1998) biedt een prima houvast om de verspreiding van sialgalsoorten in oppervlaktewater te verklaren en te voorspellen. De juiste indeling blijkt ook uit een (ongepubliceerde) variantieanalyse van Herman van Dam op data uit de Kampina en de Oisterwijkse vennen. Door het feit dat de trofiegraad in het algemeen gezien en gebruikt wordt om de beschikbare gehalten van fosfaat en stikstof aan te duiden en door de enorme toename van de rijkdom aan deze nutriënten in ons oppervlaktewater, is een nadere nuancering op zijn plaats.

We bevelen aan om de benaming van de ecologische groepen te veranderen in ongebufferd voor O ($\leq 0,2$ meq/l), matig gebufferd voor M ($> 0,2-2,0$ meq/l) en sterk gebufferd voor E ($> 2,0$ meq/l). Van veel sialgalen, uit wateren van verschillende mate van buffering, hebben we de indicatorwaarden voor alkaliniteit kunnen berekenen. In de komende jaren kunnen we deze berekening uitbreiden met de data die we sinds 2008 verzameld hebben, rekening houdend met taxonomische veranderingen die voortkomen uit het *Cosmarium*-werk van Frans Kouwets. Daarbij kunnen we ook meer aandacht besteden aan bijzondere watertypen, zoals vrijwel niet geëutrofiëerde, sterker gebufferde meren, kalkmoerassen en duinplassen. De saltspray in duinplassen geeft ook in de kalkarme duinen een wat afwijkende soortensamenstelling. In een dergelijk onderzoek kunnen we ook indicatiewaarden berekenen voor andere macronutriënten, zoals calcium, magnesium, kalium en zwavel. We stellen ons voor om de indicatorlijsten te publiceren in Desmidiologische Mededelingen.

Dankwoord

Wij danken Peter Coesel, Herman van Dam en Marien van Westen, voor hun kritische opmerkingen op een eerdere versie van dit artikel.

Literatuur

- Arts G.H.P., H. van Dam, F.G. Wortelboer, P.W.M. van Beers & J.D.M. Belgers, 2002. De toestand van het Nederlandse ven. Rapport 542, Alterra, Wageningen / Rapport 02.1715, AquaSense, Amsterdam / RIVM, Bilthoven.
- Bijkerk R. (red.). 2010. Handboek Hydrobiologie. Biologisch onderzoek voor de ecologische beoordeling van Nederlandse zoete en brakke oppervlaktewateren. Rapport 2010-28, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort. Losbladig.
- Bijkerk R., H. van Dam, G.H.P. Arts, C.A. Bultstra, A. Mertens & G.L. Verweij, 2025. Drentse vennen, hoe staan ze ervoor... Een eeuw ecologische veranderingen beschreven. Rapport 23-119, Waardenburg Ecology, Culemborg. Adviseur Water en Natuur, Amsterdam. Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Brettum, P., 1989. Alger som indikator på vannkvalitet i norske innsjøer. Planteplankton. Norsk Institutt for vannforskning. NIVA-rapport 2344.
- Coesel, P.F.M., 1975. The relevance of desmids in the biological typology and evaluation of fresh waters. Hydrobiol. Bull. 9 (3): 93-101.
- Coesel, P.F.M., 1998. Sialgalen en natuurwaarden. Wetensch. Meded. KNNV 224, Utrecht.
- de Vries F, R. Bobbink, A. van den Burg, R. Beunen & S. Turnhout, 2021. Het belang van kritische depositiewaarden in het stikstofbeleid. Nature Today, 2 november 2021.
- Groenendijk P., E. van Boekel, L. Renaud, A. Greijdanus, R. Michels & T. de Koeijer, 2016. Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren: het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op uit- en afspoeling uit landbouwgronden. Rapport 2749, Wageningen Environmental Research.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper & P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4(1). http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Hoogerbrugge R., G.P. Geilenkirchen, S. Hazelhorst, H.A. den Hollander, M. Huitema, W. Marra, K. Siteur, W.J. de Vries & R.J. Wichink Kruit, 2022. Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland. Rapportage 2022. RIVM-rapport 2022-0059, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Joosten A.M.T., 1996. Documentatie van Desmidiaceeën uit Nederlandse binnenwateren. Rapport 96-01/B, Koeman en Bijkerk bv, Haren.

Loeb, R. & P.F.M. Verdonshot, 2010. Milieucondities van aquatische beheertypen. Alterra-rapport 2090, Alterra, Wageningen.

Mulderij G., R. Bijkerk, I. Bultstra, G. Wolters, B. Ibelings & E. van Donk, 2010. Sieralgen en biodiversiteit: bijdrage, functioneren en beheer. Eindrapporten onderzoekresultaten 2008 – 2009. Rapport DKI nr. 2010/dk136-O, Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van LNV, Ede / Rapport 2009-044, Koeman en Bijkerk bv, Haren.

Nilsson J. & P. Grennfelt, 1988 (eds). Reprint of the workshop report on critical loads for sulphur and nitrogen. Miljørapport 1988:16. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

OBN natuurkennis, thema Biogeochemie. 2025. <https://natuurkennis.nl/themas/biogeochemie> (geraadpleegd op 24 april 2025).

Portielje R. & D.T. van der Molen, 1998. Relaties tussen eutrofiëeringsvariabelen en systeemkenmerken van de Nederlandse meren en plassen. Deelrapport II voor de Vierde Eutrofiëeringsenquête. RIZA rapport 98.007, Lelystad.

Spijkerman E. & P.F.M. Coesel, 1998. Ecophysiological characteristics of two planktonic desmid species originating from trophically different lakes. *Hydrobiologia* 369/370: 109-116.

van Dam H. & G.H.P. Arts, 1993. Ecologische veranderingen in Drentse vennen sinds 1900 door menselijke beïnvloeding en beheer. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Leersum/Grontmij Advies en Techniek, De Bilt/Provincie Drenthe, Assen.

van Geest G.J., P.F.M. Verdonshot, P.N.M. Schipper, A.J. Veraart, J.G.M. Roelofs & H.B.M. Tomassen, 2021. Ecologische effecten van stikstof op Nederlandse oppervlaktewateren. Notitie Kennisimpuls Waterkwaliteit.

Verdonshot P.F.M. & R.C.M. Verdonshot, 2020. Factsheet: Fosforbelasting. Kennisimpuls Waterkwaliteit. Notitie Kennisimpuls Waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.

Vighi M. & H. Ghiaudani, 1985. A simple method to estimate lake phosphorus concentrations resulting from natural, background, loadings. *Wat. Res.* 19: 987-991.

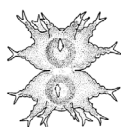
Wamelink W., H. van Dobben, F. van der Zee, A. van Hinsberg & R. Bobbink, 2023. Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op de habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Herziening 2023. Rapport 3272, Wageningen Environmental Research, Wageningen.



Foto 1. *Cosmarium amoenum*, een O-soort van ongebufferde tot zeer zwak gebufferde milieus. Foto © Marien van Westen.



Foto 2. *Closterium calosporum*, een M-soort van zwak gebufferde milieus. Foto © Marien van Westen.



Bijlage I. Voorbeeld berekening indicatiewaarden voor alkaliniteit volgens Brettum (1989)

Mate van buffering	Alkaliniteit (meq/l)	Klasse nummer i	Aantal wateren M_i	<i>Cosmarium amoenum</i> $N_i Ca$	<i>Closterium calosporum</i> $N_i Cc$	<i>Staurastrum pingue</i> $N_i Sp$
Niet	$\leq 0,05$	1	54	27	0	0
Zeer zwak	$> 0,05 - 0,2$	2	68	22	11	0
Zwak	$> 0,2 - 1,0$	3	40	1	14	5
Matig	$> 1,0 - 2,0$	4	43	0	2	20
Sterk	$> 2,0 - 4,0$	5	79	0	4	23
Zeer sterk	$> 4,0$	6	11	0	0	2

N_i / M_i ($i = 1-6$)	M_i	$N_i Ca / M_i$	$N_i Cc / M_i$	$N_i Sp / M_i$
	54	0,50	0,00	0,00
	68	0,32	0,16	0,00
	40	0,03	0,35	0,13
	43	0,00	0,05	0,47
	79	0,00	0,05	0,29
	11	0,00	0,00	0,18
$A = \sum N_i / M_i$ ($i = 1-6$)		0,85	0,61	1,06

$N_i / M_i \times i$ ($i = 1-6$)	i	$N_i Ca / M_i \times i$	$N_i Cc / M_i \times i$	$N_i Sp / M_i \times i$
	1	0,50	0,00	0,00
	2	0,65	0,32	0,00
	3	0,08	1,05	0,38
	4	0,00	0,19	1,86
	5	0,00	0,25	1,46
	6	0,00	0,00	1,09
$B = \sum N_i / M_i \times i$ ($i = 1-6$)		1,22	1,81	4,78

Indicatiewaarde = B / A	1,4	3,0	4,5
Bufferingsklasse	1(-2)	3	4(-5)

Toelichting

Deze voorbeeldberekening is gemaakt met onze waarnemingen aan de O-soort *Cosmarium amoenum* (foto 1), de M-soort *Closterium calosporum* (foto 2) en de E-soort *Staurastrum pingue*. De alkaliniteit is opgedeeld in zes klassen volgens Arts *et al.* (2002). Eerst tellen we het aantal bemonsterde wateren in elke klasse i , M_i , en het aantal waarnemingen van elke soort in elke klasse, N_i . Vervolgens berekenen we van elke soort de verhouding N_i / M_i voor elke klasse i . De som van deze verhoudingen is de grootte A. Daarna vermenigvuldigen we voor elke klasse i deze verhouding met het nummer van de alkaliniteitsklasse, $N_i / M_i \times i$. De som van deze producten is de grootte B. De indicatiewaarde is het quotiënt B/A.

Voor *C. amoenum* is de indicatiewaarde 1,4. Vergelijken we deze waarde met het nummer van de alkaliniteitsklassen, dan komt deze soort het meest voor in niet gebufferde, tot hooguit zeer zwak gebufferde wateren. *C. calosporum* is volgens deze berekening een soort van zwak gebufferde wateren en *S. pingue* een soort van matig tot sterk gebufferde wateren.