

Sieralgen herstellen niet van verzuring: een eeuw monitoring in drie vennen

Herman van Dam & Koos (J.) Meesters

herman.vandam@waternatuur.nl & meesters.j@gmail.com

Inleiding

In de jaren 1971 – 1973 was de eerste auteur de eerste student van Peter Coesel, die toentertijd als beginnend docent voor de lagere planten was verbonden aan het Hugo de Vries-laboratorium van de Universiteit van Amsterdam. Na een kort uitstapje naar de kranswieren besloot Peter zich te richten op de studie van sieralgen, waarmee hij de traditie van de sieralgenspecialist prof. dr. Jacob Heimans voortzette.

Sieralgen zijn fijnzinnige indicatoren voor de kwaliteit van zoete, stilstaande wateren. Nog tijdens zijn studie verdiepte de eerste auteur zich echter in de kiezelwieren, ook vaak prachtig van vorm en ornamentatie, hoewel natuurlijk net iets minder dan de sieralgen. Daar staat tegenover dat in de doorgaans voedselrijke Nederlandse wateren veel meer soorten kiezelwieren dan sieralgen voorkomen. Als student van Peter kreeg de eerste auteur alle gelegenheid om zich daarin te verdiepen.

Na zijn aanstelling als hydrobioloog bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN) richtte zijn eerste project zich toevallig op de vennen van Midden-Brabant en hij kreeg de kans om de toestand van de Oisterwijkse vennen in kaart te brengen. Ongeveer tegelijkertijd beschreef Peter met twee studentes de ontwikkelingen in de sieralgen van die vennen sinds de inventarisaties van 1919-1925 en 1950-1955 door Heimans (1925, 1960) en ontdekte daarbij als eerste dat verzuring door luchtverontreiniging een grote invloed heeft op de biota van de Nederlandse vennen (Coesel *et al.*, 1978).

Peter was zo ruimhartig om op verzoek van de eerste auteur zijn analiste, Hanny Kooyman, de kiezelwieren uit de oude en recente monsters te laten determineren en tellen, waaruit bleek dat de vroegere gradiënten in en tussen de vennen door eutrofiëring en verzuring goeddeels teloor waren gegaan (Van Dam & Kooyman-van Blokland, 1978). Omdat kiezelwieren toen al bekend stonden als uiterst gevoelige indicatoren voor de zuurgraad (Hustedt, 1957; Battarbee *et al.*, 1986) werden vanaf 1978 kiezelwieren bemonsterd in drie vennen, om het herstel te volgen dat werd verwacht op grond van de maatregelen ter reductie van de verzurende depositie door zwavel- en stikstofverbindingen. De resultaten zijn

vastgelegd in publicaties en rapporten, zoals Van Dam & Mertens (2008, 2014, 2019, 2020).

Als lid van het Nederlands Genootschap voor Microscopie hoorde de tweede auteur in 1998 over de plannen tot het oprichten van een Sieralgenwerkgroep. Bij de oprichtingsvergadering in 1999 leerde hij Peter Coesel kennen. Op verzoek van Bart van Tooren nam vrije-tijds-sieralgenexpert Adri van Tooren, na zijn pensionering als biologiëleraar de gelegenheid om vanaf 1990 tot en met 2006 de sieralgen uit de oude monsters van Heimans (foto 1) en de latere monsters van de eerste auteur te bestuderen. De tweede auteur zette de monitoring van de sieralgen voort tot en met 2014 en verzamelde alle gegevens uit de monsters van 1916 tot en met 2014 in tabellen en voerde de berekeningen van de natuurwaarden uit.

Het doel van het onderzoek is om na te gaan in hoeverre de sieralgenflora zich herstelt van de vermindering van de verzurende atmosferische depositie. Alle basisgegevens over de waterchemie en de sieralgen zijn vermeld in Van Dam *et al.* (2021). Dit artikel is een samenvatting van de belangrijkste resultaten en inzichten.



Foto 1. Jacob Heimans neemt een planktonmonster. (Van Dieren & Scheygrond 1935)

De onderzochte vennen

Het *Achterste Goorven* bij Oisterwijk is een langgerekt, middelgroot ven (tabel 1) en ligt tussen stuifzandheuvelds, die in de 19^e eeuw met dennen zijn beplant. In 2004-2005 zijn deze tot 30 m uit de oever verwijderd. De oevers zijn in verhouding vlak en vallen in zeer droge zomers voor een groot deel droog. De voeding is grotendeels regenwater, maar met grondwater komt veel ammonium en sulfaat in het ven. Vanouds was er in het ven een west-oost-gradiënt (in foto 2 van de monsterpunten A naar E) van hogere naar lagere buffercapaciteit, nutriëntenconcentraties en pH, met planten uit het Oeverkruidverbond en het hoogveen.

Tegenwoordig is er een gagelstruweel langs de oever met in het water regelmatig Waterlelie en planten uit zure vennen, zoals Knolrus en Geoord veenmos. Monsterpunt E is gekozen voor een verdere bespreking in dit artikel omdat dit het enige van de drie punten is waar sialalgenmonsters zijn verzameld vóór en na de extreme droogte van 1921. De depositie van zwavel- en stikstofverbindingen is in de onderzoeksperiode sterk afgenomen, maar die van stikstof ligt nog steeds circa drie maal hoger dan de kritische belasting (tabel 1).

De *Gerritsfles* bij Kootwijk was rond 1800 een heideveentje. Door inwaaiend stuifzand uit het Harskamperzand steeg de waterstand in het veentje en werd tevens veel ijzer(oxide) aangevoerd. Zo kon door reductie- en oxidatieprocessen zich een hoge, opstaande en stagnerende ijzerlaag in de bodem vormen, boven het grondwater. In droge zomers valt een kleiner deel van de oever droog dan in het vorige ven. Het wassen van schapen in de 19^e eeuw stimuleerde het vrijkomen van bufferstoffen, waardoor er Waterlobelia kon groeien. Later sloegen dennen langs een deel van de oever op. De bodem was tot voor kort bedekt met Waterveenmos, maar dit lijkt achteruit te gaan. Langs de oevers groeit veel Knolrus, plaatselijk ook Drijvende egelskop, maar

dan wel slechts vegetatief. In de onderzoeksperiode is de zwaveldepositie tot beneden het kritische niveau gedaald; met de stikstofdepositie is dit niet het geval (tabel 1).

Kliplo bij Dwingeloo is een klein ven, omgeven door berken, kaal zand en een trilveentje, in een dennenbos. Het ligt door reliëfomkering hoger dan zijn omgeving en blijft nat doordat regenwater op een slecht doorlatende laag stagneert. De oevers zijn steiler dan in de andere twee vennen en vallen dan in zeer droge zomers maar voor een klein deel droog. Vanouds is het ven, dat ooit als eendenkooi is gebruikt, zeer zwak gebufferd. De Drijvende egelskop, een Rode-Lijstsoort, gaat de laatste decennia achteruit. Het oorspronkelijk door humusstoffen helder bruin gekleurde water werd in de periode 1989-1991 en vanaf 2008 vaak door algenbloei groen vertroebeld. Drijvend fonteinkruid is de aspectbepalende waterplant. De totale zwaveldepositie lag in de onderzoeksperiode beneden het kritische niveau, terwijl die van stikstof dit niveau overschrijdt, maar minder dan in de andere vennen.

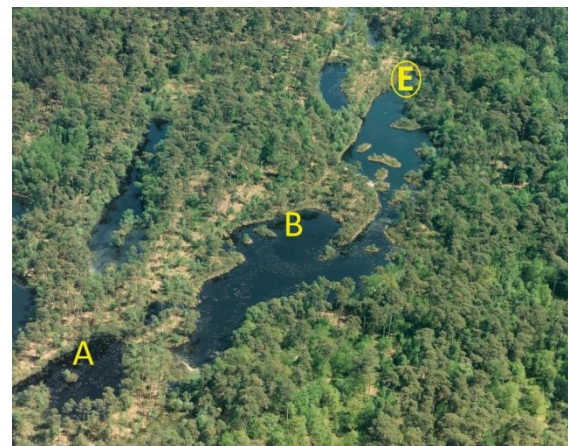


Foto 2. Het Achterste Goorven in mei 1992 met de drie bemonsteringspunten A, B en E. (KLM Luchtfotografie)

Ven	Oppervl. (ha)	Diepte (m)	Zwaveldepositie				Stikstofdepositie			
			1997	2010	2020	kritisch	1997	2010	2020	kritisch
Achterste Goorven bij Oisterwijk	2,4	1,9	0,50	0,30	0,30	0,40	2,72	2,07	1,94	0,4 - 0,7
Gerritsfles bij Apeldoorn	6,8	1,2	0,45	0,28	0,28	0,40	1,43	1,04	0,99	0,4 - 0,7
Kliplo bij Dwingeloo	0,5	1,1	0,35	0,22	0,22	0,40	1,16	0,86	0,81	0,4 - 0,7

Tabel 1. Morfologie van en verzurende depositie (kmol ha⁻¹ j⁻¹) op de vennen (Van Dam, 1987; Arts et al., 2002; Van Dobben et al., 2012).



Methoden

Monsters voor chemische analyse werden vanaf 1978 steeds in februari, mei, augustus en september genomen. Sieralgenmonsters werden steeds in mei en november genomen met een planktonnet dat door eventueel aanwezige water- en oeverplanten (veenmossen, Knolrus, Snavelzegge, Drijvend fonteinkruid, Gewone waterbies, Kikkerdrilwier) en lichtjes over de bodem werd getrokken (foto 3). Daarnaast werden historische planktonmonsters bekeken.

De determinatieliteratuur is vermeld in Van Dam *et al.* (2021). Er is geen onderscheid gemaakt tussen vitale en dode cellen. Het gemiddelde aantal cellen per preparaat werd berekend en omgerekend naar de abundantie: 1 voor ≤ 1 , 2 voor 1,1 – 100 en 3 voor > 100 .



Foto 3. Planktonbemonstering van de Gerritsfles in mei 2006. Foto © Rita Hagen

Coesel (1998) publiceerde een lijst van Nederlandse sieralgen met o.a. de volgende indicatiewaarden: H = *habitat* met de categorieën 1 = atmofytisch – bentisch, 2 = bentisch, 3 = bentisch – planktonisch, 4 = planktonisch, r = *zeldzaamheid* met de categorieën 1 = tamelijk zeldzaam, 2 = zeldzaam, 3 = zeer zeldzaam, RL = *Rode Lijst* met de categorie * (aanwezig). Voor al onze monsters zijn deze indicatiewaarden en vervolgens de natuurwaarden volgens het

algoritme van Coesel (1978) berekend. De natuurwaarden zijn gebaseerd op de aantallen soorten, de zeldzaamheid en de 'signaalwaarden' van de soorten. Pals (2007) berekende de optimumwaarden voor pH en totaal-fosfaat van sieralgsorten uit Vlaamse vennen. Per monster berekende wij de gemiddelden van deze optimumwaarden voor de daarin voorkomende soorten, waarbij een soort zwaarder meetelde, naar mate de abundantie hoger was. Per monster werden ook de percentages atmofytisch-benthische soorten berekend.

Om de gegevens van de 225 monsters enigszins overzichtelijk te presenteren zijn de monsters vanaf 1978 per ven samengenomen in perioden van zeven tot tien jaar. De oudere monsters werden per ven ingedeeld in twee tot drie perioden. Bij het trekken van de grenzen is rekening gehouden met het voorkomen van extreem droge zomers, zoals die van 1921 (in augustus 1922 was het volgens de aantekeningen van Heimans mogelijk om dwars door het Achterste Goorven te lopen), 1947, 1959, 1976 (toen liep een van ons dwars door dit ven) en 2003. Per ven per periode is voor elke soort de frequentie berekend. Dat is het percentage monsters waarin de soort voorkomt. Daarnaast is per ven per periode aangegeven of de soort in één of meer monsters met hoge abundantie (klasse 3) voorkomt.

De stabiliteit is berekend als de gemiddelde frequentie per periode van de daarin voorkomende soorten. Als alle monsters in een periode verschillend zijn is de stabiliteit 0%, indien ze identiek zijn 100%.

Veranderingen in het abiotisch milieu

In de afgelopen eeuw hebben zich in de drie vennen grote veranderingen voorgedaan. Vooral het Achterste Goorven en de Gerritsfles zijn sterk verzuurd door atmosferische depositie van zwavel- en stikstofverbindingen. De zwaveldepositie zakte de laatste decennia beneden het kritische niveau, maar de stikstofdepositie ligt daar nog aanzienlijk boven. De verzuring is versterkt door droogvallen van de bodem in extreem droge zomers, zoals 1976, waardoor mineralisatie van de in de bodem opgeslagen gereduceerde zwavelverbindingen plaatsvond. Naderhand zakten de concentraties van verzurende stoffen als sulfaat en ammonium, door uitspoeling en door vermindering van de depositie (tabel 2).



Locatie	Achterste Goorven E						Gerritsfles								Kliplo					
	Van	19	24	78	86	95	05	16	30	64	78	86	95	05	24	48	78	86	98	5
	Tot	22	25	85	94	03	14	18	58	74	85	94	04	14	29	72	85	97	04	14
Variabele	n*	5	2	14	18	17	16	2	3	5	14	18	17	16	3	5	13	24	10	16
natuurwaarde		10	9	5	8	6	5	10	7	4	5	6	5	5	8	7	8	6	5	7
aantal soorten		57	40	8	28	15	11	59	24	9	13	21	14	13	47	33	45	30	11	19
Rode-Lijstsoorten		15	8	2	6	2	1	7	3	0,2	0,0	0,3	0,0	0,5	6	3	7	4	0,4	2
stabiliteit (%)		64	66	21	36	34	23	78	59	44	45	42	36	28	58	52	51	30	32	34
% atmofytisch-benthisch		11	10	22	9	9	9	8	11	17	17	11	12	12	7	8	7	4	4	7
pH-berekend		5,4	5,4	4,3	4,7	5,1	5,0	5,1	4,7	4,5	4,5	4,8	5,2	5,1	5,1	5,3	5,1	5,1	5,2	5,1
fosfaat berekend (µg/l P)		27	28	16	19	25	25	24	19	18	17	20	24	24	24	27	24	25	27	26
pH-gemeten		5,7		4,2	4,7	5,2	5,4	5,6			4,6	4,3	5,1	5,1	6,2		5,3	5,2	5,2	6,5
totaal-fosfaat (µg/l P)				16	51	48					19	32	31				32	46	49	
kooldioxide (mg/l)				17	10	8	4				7	5	3				9	6	2	
sulfaat (mg/l)				30	23	11	7	18			15	9	7	4			5	8	4	3
ammonium (mg/l N)				2,4	3,1	1,8	0,8	0,1			1,3	1,1	0,7	0,2			0,5	1,3	0,2	0,1

* voor de gemeten chemische waarden van 1978 tot 2015 is het aantal waarnemingen tweemaal zo groot als vermeld.

Tabel 2. Gemiddelde waarden van geselecteerde sieraalindicatoren en chemische variabelen per periode. Waarden van incidentele, colorimetrische pH-metingen zijn grijs gedrukt.

Bij de mineralisatie kwam uit het organisch materiaal ook veel kooldioxide (CO₂) vrij, dat in het water oploste toen de vennen zich weer vulden. In de decennia daarna nam het gehalte aan CO₂voortdurend af. Vooral in het Achterste Goorven is er toevoer van CO₂ met grondwater, waardoor het CO₂-gehalte hier hoger is dan in de andere twee vennen. In Kliplo waren deze veranderingen minder uitgesproken, omdat hier in 1976 slechts een klein deel van de bodem droog viel. Hier zitten nog steeds veel (gereduceerde) zwavel- en stikstofverbindingen in de zuurstofarme bodem. De ijzerfosfaten worden hierdoor omgezet in ijzersulfiden en de vrijkomende fosfaten stimuleren de planktongroei, waardoor het water vaak groen is gekleurd. In dergelijke gereduceerde bodems is ook altijd veel zwavelwaterstof aanwezig, dat giftig is voor waterorganismen.

Soortensamenstelling

Er zijn in totaal 179 soorten sieraalgen aangetroffen. Van Kliplo is het grootste aantal soorten gemeld (143), van het Achterste Goorven een iets kleiner aantal (137) en van de Gerritsfles het kleinste (103). Van alle soorten zijn er 25 alleen gevonden in de periode 1916-1958 en 53 alleen in de jaren na 1958; 101 soorten zijn in beide perioden aangetroffen. In tabel 3 zijn 54 soorten vermeld. De keuze voor deze soorten is niet helemaal aselekt, er is enige prioriteit gegeven aan bijzondere soorten met bekende pH- en fosfaat-optima. Er is echter voor gezorgd dat de verschillende verspreidingspatronen in de verschillende vennen en perioden in tabel 3 tot hun recht komen.

Closterium intermedium, een acidobionte soort van oligo-mesotrofe wateren, komt het meest voor. Ook *Bambusina borneri*, een acidofiele soort van oligotrofe wateren komt op alle drie locaties in alle perioden voor, regelmatig ook met grotere aantallen. Andere soorten die in meer dan de helft van de 218 monsters en in vrijwel alle perioden voorkomen zijn gewone soorten uit zure vennen en hoogvenen als *Actinotaenium cucurbita*, *Staurodesmus omeae*, *Cylindrocystis brebissonii*, *Micrasterias truncata*, *Closterium abruptum*, *Cl. directum* en *Tetmemorus granulatus*. *Micrasterias thomasiana* is een iets minder algemene soort van mesotrofe wateren en komt, met toenemende frequentie, in de drie vennen vooral voor in de monsters ná 1980.

De mesotrafente *Micrasterias rotata* blijkt zich vooral te ontwikkelen in Kliplo monsters uit de periode 1986-2004 en komt in Achterste Goorven en Gerritsfles alleen in de periode 2005-2014 voor: waarschijnlijk een teken van eutrofiëring. Enkele soorten zijn slechts in de meest recente periode gevonden, zoals de uiterst zeldzame *Euastrum crassicolle* en *E. luetkemuellerei* in Kliplo (foto 4). *Staurostrum punctulatum* is naast *Cylindrocystis brebissonii* een van de weinige soorten die in de periode van zeer sterke verzuring (1978-1985) massaal in het Achterste Goorven voorkomt. *S. punctulatum* lijkt sterk positief op stikstof te reageren (B. van Tooren, pers. med.). In die periode komen er in dit ven slechts 14 soorten voor, die dan ook nog een lage frequentie hebben.



	Achterste Goorven E (131)						Gerritsfles (103)						Kliplo (143)												
Van	19	24	78	86	95	05	16	30	64	78	86	95	05	24	48	78	86	98	05	aantal					
Tot	22	25	85	94	3	14	18	58	74	85	94	04	14	29	72	85	97	04	14	mon-					
Aantal monsters	5	2	14	18	17	16	2	3	5	14	18	17	16	3	5	13	24	10	16	sters					
Totaal aantal soorten	89	61	38	77	45	48	75	40	21	28	50	39	47	81	76	88	100	34	58	218	H	r	RL	pH-opt	tP-opt
<i>Closterium incurvum</i>																				1	3			6,8	46
<i>Cosmarium canaliculatum</i>																				1	2	3			
<i>Cosmarium margaritatum</i>																				3	2	3	*		
<i>Staurastrum elongatum</i>																				1	2	3	*		
<i>Closterium turgidum</i>																				2	2	2	*		
<i>Cosmarium bioculatum</i>																				4	2				
<i>Actinotaenium subtile</i>																				1	1	3			
<i>Micrasterias denticulata</i>																				1	2	2			
<i>Cosmarium tinctum</i>																				10	2	1		5,9	31
<i>Cosmarium punctulatum</i>																				14	2			7,2	56
<i>Docidium undulatum</i>																				8	2	3	*		
<i>Staurastrum hystrix</i>																				19	2	3	*		
<i>Cosmarium quadrifarium</i>																				13	2	3	*		
<i>Actinotaenium cucurbitinum</i>																				5	1	3	*		
<i>Cosmarium reniforme</i>																				1	2			6,6	53
<i>Euastrum denticulatum</i>																				47	2				
<i>Closterium praelongum</i>																				1	4			5,8	6
<i>Closterium setaceum</i>																				46	3	2			
<i>Euastrum binale</i>																				74	2			4,0	12
<i>Hyalotheca dissiliens</i>																				61	3				
<i>Cosmarium cucumis</i>																				1	2	3	*		
<i>Staurodesmus dejectus</i>																				31	2	1		5,6	31
<i>Cosmarium regnellii</i>																				17	2			6,5	62
<i>Euastrum ampullaceum</i>																				62	2	2	*		
<i>Staurodesmus extensus</i>																				90	3			5,2	20
<i>Haplotaenium minutum</i>																				101	2	1		4,7	19
<i>Cosm. pseudopyramidatum</i>																				70	2				
<i>Tetmemorus granulatus</i>																				122	2			5,4	27
<i>Actinotaenium cucurbita</i>																				116	1				
<i>Staurodesmus omearae</i>																				126	3			4,0	15
<i>Cylindrocystis brebissonii</i>																				114	1				
<i>Bambusina borrii</i>																				127	2			4,2	16
<i>Micrasterias truncata</i>																				121	2			5,0	27
<i>Closterium abruptum</i>																				167	2			6,5	39
<i>Closterium intermedium</i>																				188	2				
<i>Staurastrum punctulatum</i>																				70	2			4,2	14
<i>Spondylosium pulchellum</i>																				66	2				
<i>Euastrum humerosum</i>																				85	2	1			
<i>Closterium directum</i>																				112	2	1		4,4	18
<i>Staurastrum cerastes</i>																				20	2	3	*		
<i>Closterium idiosporum</i>																				75	2			3,9	12
<i>Docidium baculum</i>																				5	2	3	*		
<i>Micrasterias thomassiana</i>																				117	2	1		4,9	24
<i>Closterium moniliferum</i>																				1	2			6,7	76
<i>Micrasterias jenneri</i>																				2	2	3	*		
<i>Micrasterias rotata</i>																				51	2	1			
<i>Closterium ralfsii</i>																				3	2	2	*		
<i>Staurastrum ophiura</i>																				1	3	3	*		
<i>Closterium acerosum</i>																				2	2				
<i>Penium spirostriolatum</i>																				22	2	2	*		
<i>Euastrum crassicolle</i>																				1	2	3			
<i>Euastrum luetkemuellerei</i>																				4	2	3			
<i>Pleurotaenium trabecula</i>																				2	2			6,7	57
<i>Staurastrum alternans</i>																				1	2			7,2	48

Tabel 3. Frequenties per periode per ven tussen 1916 en 2014 van geselecteerde soorten.

○ 1-20%, ◐ 20-40%, ◑ 40-60%, ◒ 60-80%, ◓ 80-100%.

Symbolen van soorten met hoge abundanties (klasse 3) in één of meer monsters van een periode zijn met een donkerder achtergrond weergegeven. Achter de locatienamen zijn de totale aantallen soorten uit de netmonsters door waterplanten en over bodem vermeld. H, r en RL zijn indicaties voor habitat, zeldzaamheid en Rode Lijst volgens Coesel (1998), zoals uitgelegd in de tekst. Optima voor pH en totaal-fosfaat uit Pals (2007).

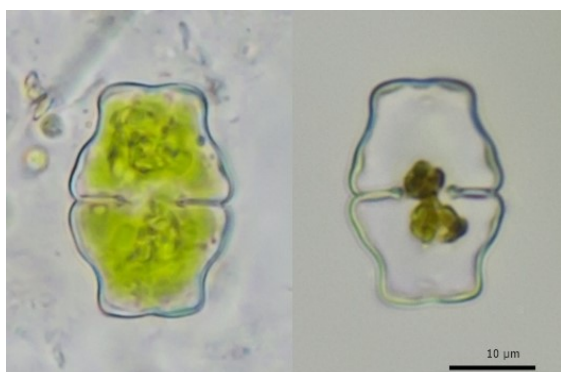


Foto 4. *Euastrum luetkemuellerei* var. *carniolicum*, in november 2014 in Kliplo. Foto © Koos Meesters

De sialgalen reageren overduidelijk op de veranderende omstandigheden in de vennen. Indicatoren als het aantal soorten en de natuurwaarde (tabel 2) vertonen voor het Achterste Goorven en de Gerritsfles grofweg hetzelfde patroon: de hoogste waarden in het begin van de 20^e eeuw, minima in de jaren tachtig en daarna een beperkte stijging.

De uit de sialgalen berekende en de gemeten pH-waarden stemmen goed met elkaar overeen, voor het fosfaatgehalte is dit minder het geval, mogelijk omdat de fosfaatmetingen vaak beneden de aantoonbaarheidsgrens liggen. Het percentage atmofytisch-benthische soorten ligt in Kliplo consequent lager dan in de andere twee vennen, waarschijnlijk doordat Kliplo nauwelijks droogvalt (tabel 2).

In vergelijking met de extreme droogte van 1976 had die van 1921 weinig invloed op de sialgalen samenstelling (tabel 3) en de indicatiewaarden (tabel 2), hoewel er in de periode 1924-1925 gemiddeld wel minder soorten werden gevonden dan in de periode 1919-1922. Een sterke verzuring met een toename van een soort als *Staurastrum punctulatum* deed zich toen echter niet voor. De invloeden van de droogte van 1976 werkten veel langer door dan de incidentele droogte in enkele (niet-verzuurde) Tsjechische vennen, waarvan de sialgalen zich al na enkele maanden herstelden (Neustupa et al., 2011).

In Kliplo blijft het aantal soorten hoog tot in de jaren tachtig, maar neemt daarna plotseling af. Dat geldt ook voor de stabiliteit van de sialgalen in dit ven. De afname van de stabiliteit in de periode 1986-1994 (fig. 2D) gaat samen met verhoogde concentraties van ammonium en sulfaat (tabel 2). Mogelijk is er sprake van in de tijd wisselende toxiciteit van sulfiden, ammonium of nitriet, waardoor ook de algensamenstelling steeds verandert.

Oorzaken van de veranderingen

Vast staat dat sialgalen koolstof nodig hebben voor hun groei en dat de meeste soorten dit opnemen in de vorm van CO₂ (de meest voorkomende vorm beneden pH = 6). Een beperkt aantal soorten is in staat om HCO₃⁻ op te nemen (Moss 1973, Spijkerman et al., 2005). Fytoplankton (waaronder sialgalen) in voedselarme meren komt eigenlijk niet voor beneden CO₂-concentraties van 2 mg/l, ongeveer overeenkomend met de meest recente concentraties in onze vennen (Fig. 1B). Het is niet ondenkbaar dat veranderingen in de soortensamenstelling van de sialgalen in onze vennen zijn veroorzaakt door afname van de CO₂-concentraties. Goodyer (2014) merkt hierover op: 'There are currently no studies looking at desmid growth which disentangle whether the cells respond to pH, CO₂ availability or perhaps other related factors'.

Misschien nog wel belangrijker dan de genoemde chemische variabelen is de aanwezige structuur in het water. De meeste sialgalensoorten leven tussen waterplanten als blaasjeskruiden en veenmossen, vaak tussen draadwieren, het zogenaamde metafyton (Brook, 1981; Mulderij et al., 2007; Pals 2007). In het Achterste Goorven waren in het begin van de 20^e eeuw veel meer waterplanten, waaronder veel veenmossen, aanwezig dan aan het eind van die eeuw. Destijds groeide veenmos in de buurt van ons monsterpunt 'van oever tot oever', tegenwoordig komt het alleen langs de randen nog wel voor. (Thijsse, 1927; Van Dam, 1987). Veenmossen hebben veel kooldioxide nodig (Patberg et al., 2013), net als de sialgalen. Ongetwijfeld heeft de toegenomen beschaduwning door bebossing rond het Achterste Goorven bijgedragen aan een verminderde groei van zowel de water- en oeverplanten als de sialgalen (Coesel et al., 1978). Bebossing leidt ook tot verhoogde verdamping en daardoor verminderde toevoer van CO₂-rijk grondwater naar het ven.

Vergelijking met literatuur

In de literatuur hebben wij geen voorbeelden kunnen vinden van continue sialgalenmonitoring over zo'n lange periode als die hier is beschouwd: bijna een eeuw met incidentele waarnemingen over de eerste 60 jaar en halfjaarlijkse waarnemingen gedurende de 36 daaropvolgende jaren. Wel zijn er voorbeelden van herhaling van bemonsteringen in de jaren 1976-2008 van vroegere inventarisaties uit de periode 1906-1954 in diverse hoogveenwatertjes in Zwitserland (Werner, 1977), Berlijn (Weddegen & Geißler,



1980), Servië (Cvijan & Laušević, 1991), Polen (Wayda, 2004), Litouwen (Koreivienė & Kasperovičienė, 2017), de Tsjechische republiek (Štastný, 2009) en uiteraard de Oisterwijkse vennen (Coesel et al., 1978, Van Tooren 2018). Genoemde auteurs vergeleken hun 'recente' monsters met de resultaten uit oude publicaties en niet met die van hernieuwd onderzoek van oude monsters, zoals wij dat hebben gedaan. Ondanks de hierdoor aanwezige onzekerheden in de taxonomie zijn de trends wel duidelijk: door ontwatering (met bijbehorende interne eutrofiëring en stijging van de pH), afgraven van veen of juist overstrooming nam het aantal sialgalen in meerdere of mindere mate af en verdwenen juist de zeldzame soorten. Weddigen & Geißler (1980) geven een lijst van de aantallen soorten sialgalen van 21 gebieden in Noord-Duitsland tussen 1925 en 1976. Mediaan waren er 33 soorten, minimaal 5 en maximaal 146. Dat laatste werd gehaald in de gradiëntrijke Hechtgiebel bij Berlijn (Donat 1926). Štastný (2009) vond in gradiëntrijke Tsjechische veengebieden 203 – 319 taxa. Coesel et al. (1978) vonden in het Achterste Goorven en de drie Centrale Vennen bij Oisterwijk in de periode 1916 – 1975 in totaal 201 soorten. In vergelijking daarmee zijn de soortenaantallen op onze locaties hoog met minimaal 21, mediaan 50 en maximaal 100 per ven per periode en tot 143 in Kliplo over alle perioden (tabel 3).

Sterktes en zwaktes van sialgalen

Van de drie locaties zijn behalve van de sialgalen ook veel gegevens over de water- en oeverplanten (macrofyten) en kiezelwieren beschikbaar (tabel 4). In totaal zijn hier in de periode 1912-2014 49 soorten macrofyten, 124 soorten kiezelwieren en 179 soorten sialgalen aangetroffen. Dat maakt de microscopische algen en in het bijzonder de sialgalen in principe tot krachtiger instrumenten dan de macrofyten voor de beoordeling van de natuur- en waterkwaliteit van de vennen. Het voordeel van de microscopische planten is ook dat ze, anders dan macrofyten, niet door de mens worden ingebracht en daarom een betere signaalfunctie hebben (Verkaar & Van Wirdum, 1991; Van Tooren, 2021). Het is echter de vraag of de kracht van de sialgalen volledig kan worden uitgebuit. Hoewel door Peter Coesel al veel kennis over de ecologie van sialgalen operationeel is gemaakt, wordt in de praktijk van de beoordeling van de natuur- en waterkwaliteit nog weinig gebruik gemaakt van de sialgalen. Het specialistische karakter van het microscopisch

onderzoek zal daar mede een oorzaak van zijn. Voor kiezelwieren is er een verschuiving van microscopische naar genetische determinatie. Er is al een internationale databank met 'barcodes' van kiezelwieren (Rimet et al., 2018) en voor Nederland is er een in ontwikkeling (DNA Diatom Biosensor). Waarschijnlijk zal zo'n databank er voor sialgalen niet spoedig komen. Weliswaar zijn daartoe al pogingen gedaan, maar daar er voor de sialgalen nog geen samenhangende, op fylogenie gebaseerde, systematiek bestaat is de weg naar snelle identificatie met barcoding nog lang (Gontcharov & Melkonian, 2010; Hoef-Emden, 2012, zie ook Kouwets, dit nummer), maar zie Bestová (2019). Voorlopig zal uitbreiding van de ecologische kennis van sialgalen dan ook gebaseerd zijn op de morfologische soortconcepten, zoals o.a. vastgelegd in de flora van Coesel & Meesters (2007).

	Aantal monsters		Aantal soorten		
	Kiezelwieren	Sialgalen	Macrofyten	Kiezelwieren	Sialgalen
Achterste Goorven E	83	72	23	78	131
Gerritsfles	88	75	34	77	103
Kliplo	86	71	31	75	143
Drie vennen	257	218	49	124	180

Tabel 4. Aantallen monsters en soorten van de drie locaties in de periode 1912-2014. Gegevens kiezelwieren uit Van Dam & Mertens (2019). Gegevens macrofyten (water- en oeverplanten) uit vele verschillende bronnen.

Conclusies

Tussen 1916 en 2014 hebben zich grote veranderingen voorgedaan in de samenstelling van de sialgalenflora van de drie onderzochte vennen, door veranderingen in de verzurende atmosferische depositie. Het sterkst zijn de veranderingen in vennen met relatief vlakke oevers, die in extreem droge zomers geëxponeerd worden aan de lucht. Na de droge zomer van 1921 waren de veranderingen nog gering, maar na de droge zomer van 1976 waren de veranderingen dramatisch, doordat de in de venbodem opgeslagen gereduceerde zwavel- en stikstofverbindingen zich verbonden met zuurstof en het water verzuurden. De natuurwaarde nam hierdoor sterk af, maar nam tot in de jaren negentig weer toe, mede door de afname van de verzurende depositie, die rond 1980 maximaal was. Tot in de eerste jaren van de huidige eeuw nam de depositie verder af, maar dat vertaalde zich niet in verder herstel van de sialgalenflora; integendeel: de natuurwaarde nam weer af. De



precieze oorzaken van deze blokkade zijn niet goed vast te stellen. In aanmerking komen: interne eutrofiëring (nutriënten), aanwezigheid van toxische stoffen (zoals zwavelwaterstof), achteruitgang van waterplanten (substraat), beschaduwning door bebossing (licht) en verminderde CO₂-toevoer (koolstofbron) door afname van lokale kwel. Deze factoren hangen onderling samen. In het bijzonder de chemische dynamiek door de grote voorraad van zwavel- en stikstofverbindingen zal de ontwikkeling van zeldzame sialgen, die juist gebonden zijn aan stabiele milieuomstandigheden, niet bevorderen.

Dankwoord

Adri van Tooren† voerde de determinaties en tellingen uit van de tot en met 2005 genomen monsters. Er is gebruik gemaakt van historische monsters uit de collecties van Naturalis en het voormalige Rijksinstituut voor Natuurbeheer (thans in de Plantentuin Meise). Dank is vooral verschuldigd aan Jos Sinkeldam en Adrienne Mertens voor het nemen van monsters. Chemische gegevens vanaf 1995 werden beschikbaar gesteld door de waterschappen Drents-Overijsselse Delta, Vallei en Veluwe en De Dommel en hun laboratoria. Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer verleenden toestemming voor terreinbezoek.

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. In opdracht van: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Klimaatverandering en Industrie. Alterra-rapport 02.1715, AquaSense-rapport 542. Alterra, Wageningen / AquaSense, Amsterdam / RIVM, Bilthoven. 123p.
- Battarbee, R.W., J.P. Smol & J. Meriläinen, 1986.** Diatoms as indicators of pH: an historical review. In: J.P. Smol, R.W. Battarbee & J. Meriläinen (Eds.) Diatoms and lake acidity. Dr W. Junk Publishers, Dordrecht. p. 5-14.
- Bestová, H., 2019.** Patterns and processes in desmid communities: Insights from functional and phylogenetic approaches. Ph.D. thesis. Charles University, Faculty of Science, Prague. 109p.
- Coesel, P.F.M., 1998.** Sialgen en natuurwaarden. Wetenschappelijke Mededeling KNNV 224: 56p.
- Coesel, P.F.M. & J. Meesters, 2007.** Desmids of the lowlands: Mesotaeniaceae and Desmidiaceae of the European lowlands. KNNV Publishing, Zeist. 352p. + CD-ROM.
- Coesel, P.F.M., R. Kwakkestein & A. Verschoor, 1978.** Oligotrophication and eutrophication tendencies in some Dutch moorland pools, as reflected in their desmid flora. *Hydrobiologia* 61: 21-31.
- Cvijan, M. & R. Laušević, 1991.** Desmids of Vlasinsko Lake - from peat bog to lake. *Archiv für Protistenkunde* 139: 21-37.
- Dam, H. van, 1987.** Monitoring of chemistry, macrophytes, and diatoms in acidifying moorland pools. RIN report 87/19. Research Institute for Nature Management, Leersum. 91p. + ann.
- Dam, H. van & H. Kooyman-van Blokland, 1978.** Man-made changes in some Dutch moorland pools, as reflected by historical and recent data about diatoms and macrophytes. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 63: 587-607.
- Dam, H. van & A. Mertens, 2008.** Vennen minder zuur maar warmer. *H₂O* 41 (12): 36-39.
- Dam, H. van & A. Mertens, 2014.** Vennen herstellen gedeeltelijk van verzuring: het gevaar van interne eutrofiëring. *Landschap* 31: 91-100.
- Dam, H. van & A. Mertens, 2019.** Monitoring herstel verzuring en klimaatverandering vennen 1978-2018: temperatuur, hydrologie, chemie, kiezelwieren. Rapport 1702. Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam. 135p.
- Dam, H. van & A. Mertens, 2020.** Kiezelwieren geven aan: zwavel en stikstof houden vennen in de greep. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 17(170): 14-17.
- Dam, H. van, C.J. Meesters & A.J. van Tooren, 2021.** Herstellen sialgen zich van verzuring? Een eeuw monitoring van drie vennen. Rapport 813. Herman van Dam, Adviseur Water en natuur, Amsterdam. 47p.
- Dieren, J.W. van & A. Scheygrond, 1935.** Veertig jaren natuurstudie: een woord ter inleiding. In: J.W. van Dieren & A. Scheygrond (red.) Gedenkboek Dr. Jac. P. Thijssse: uitgegeven op 25 Juli 1935 als speciaal nummer van het tijdschrift "De Levende Natuur" ter gelegenheid van den 70sten verjaardag van Dr. Jac. P. Thijssse en het veertigjarig bestaan van het tijdschrift. Versluys, Amsterdam. p. 7-14.
- Dobben, H.F. van, R. Bobbink, D. Bal & A. van Hinsberg, 2012.** Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Rapport 2397. Alterra, Wageningen. 68p.
- Donat, A., 1926.** Zur Kenntnis der Desmidiaceen des norddeutsche Flachlandes, eine soziologisch-geographische Studie. *Pflanzenforschung* 5: 1-51.
- Gontcharov, A. & M. Melkonian, 2010.** A study of conflict between molecular phylogeny and taxonomy in the Desmidiaceae (Streptophyta, Viridiplantae): Analyses of 291 rbcL sequences. *Protist* 162: 253-267.
- Goodyer, E., 2014.** Quantifying the desmid diversity of Scottish blanket mires. Ph.D. thesis. University of Aberdeen, Aberdeen. 243p.
- Heimans, J., 1925.** De desmidiaceënfloora van de Oisterwijkse Vennen. *Nederlandsch Kruidkundig Archief* 34: 245-262.
- Heimans, J., 1960.** Desmidiaceënen van het natuurreservaat Oisterwijk. Publicatie van de Hydrobiologische Vereniging 5: 25-42.
- Hoef-Emden, K., 2012.** Pitfalls of establishing DNA barcoding systems in protists: The Cryptophyceae as a test case. *Plos One* 7(8), e43652. 1-24.



- Hustedt, F., 1957.** Die Diatomeenflora des Flußsystems der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen 34: 181-440.
- Koreivienė, J. & J. Kasperovičienė, 2017.** Diversity of green algae in Kamanos raised bog (NW Lithuania) with the aspect of long-term changes in desmids. *Botanica Lithuanica* 23: 130-138.
- Moss, B., 1973.** The influence of environmental factors on the distribution of freshwater algae: an experimental study II. The role of pH and the carbon dioxide-bicarbonate system. *Journal of Ecology* 61: 157-177.
- Mulderij, G., B.W. Ibelings & R. Bijkerk, 2007.** Sieralgen en biodiversiteit: bijdrage, functioneren en beheer: state of the art rapportage. Rapport DK 2007/dk081-O: Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede. 61p.
- Pals, A., 2007.** Ecology of desmids in Flemish softwater lakes. Proefschrift Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Wetenschappen. 147p.
- Patberg, W., G.J. Baaijens, A.J.P. Smolders, A.P. Grootjans & J.T.M. Elzenga, 2013.** The importance of groundwater-derived carbon dioxide in the restoration of small *Sphagnum* bogs. *Preslia* 85: 389-403.
- Rimet, F., E. Gusev, M. Kahlert, M. Kelly, M. Kulikovskiy, Y. Maltsev, D. Mann, M. Pfannkuchen, R. Trobajo, V. Vasselon, J. Zimmermann & A. Bouchez, 2018.** Diat.barcode, an open-access barcode library for diatoms. *Scientific Reports* 9(15116). 12p.
- Spijkerman, E., S.C. Maberly & P.F.M. Coesel, 2005.** Carbon acquisition mechanisms by planktonic desmids and their link to ecological distribution. *Canadian Journal of Botany* 83: 850-858.
- Štastný, J. 2009.** The desmids of the Swamp Nature Reserve (North Bohemia, Czech Republic) and a small neighbouring bog: species composition and ecological condition of both sites. *Fottea* 9: 135-148.
- Thijssse, J.P., 1927.** In Oisterwijk. *De Levende Natuur* 32: 69-72.
- Tooren, B. van, 2018.** Sieralgen in de vennen van de Kampina en Oisterwijk. *De Levende Natuur* 119: 60-63.
- Tooren, B. van, 2021.** 'Wie kan er tegen grasland zijn dat weer volstaat met margrietten?'. *De Levende Natuur* 122: 8-9.
- Verkaar, H.J.P.A. & G. van Wirdum, 1991.** (Her-)introductie: redding of face-lift van de natuur?. *De Levende Natuur* 92: 196-200.
- Wayda, M., 2004.** Changes in species composition of desmids in the "Błoto" peat bog (the Niepołomice Forest) from 1954 to 2001. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 73: 239-246.
- Weddigen, U. & U. Geißler, 1980.** Vergleichende Untersuchungen zur Algenflora zweier Berliner Naturschutzgebiete (Pech- und Barssee) unter besonderer Berücksichtigung der Desmidiaceen. *Nova Hedwigia* 33: 95-144.
- Werner, E., 1977.** Ein Beitrag zur Kenntnis der Desmidiaceen im Hudelmoos. *Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft* 42: 7-98.