



**Herman van Dam &
Emiel Brouwer**

Vennen worden geheel of grotendeels door regenwater gevoed en zijn daardoor van nature arm aan voedingsstoffen (nutriënten) en opgeloste zouten (macro-ionen). Ze zijn daardoor ook erg gevoelig voor veranderingen in de chemie van het water, met name door de toevoer van meststoffen en verzurende stoffen.

Welke veranderingen zijn er opgetreden in de waterchemie gedurende de laatste decennia?

Kader 1. De betekenis van enkele chemische variabelen

De zuurgraad van het water, uitgedrukt in pH (waarbij pH = 7 duidt op neutraal water en een pH tussen 5 en 6 op zwak zuur water) is een belangrijke milieuvariabele voor veel organismen. In zuur water leeft slechts een beperkt aantal specifieke organismen. Water kan sterk zuur en bruin worden door de vorming van humuszuren bij de afbraak van humus (foto 1). Daarnaast treedt verzuring op door uitscheiding van zuur door veenmossen of door aanvoer van zure (zwavelzuur) of verzurende (ammonium) neerslag, of zuur grondwater. Het voor

veel organismen toxische aluminium gaat daarbij in oplossing. Ammonium (meestal van agrarische herkomst) heeft een dubbelfunctie: enerzijds is het een plantenvoedingsstof (nutriënt), anderzijds is het een verzurende stof omdat het omgezet kan worden in nitraat, waarbij zuur wordt gevormd. Een buffer tegen deze verzuring vormt de aanwezigheid van met name bicarbonaat, uitgedrukt als alkaliniteit. Zuur kan worden geneutraliseerd door splitsing van bicarbonaat, waarbij koolzuur ontstaat, wat tevens een essentiële voedingsstof voor

planten is. Bij grotere hoeveelheden toegevoegd zuur wordt deze buffercapaciteit geheel verbruikt en verzuurt het water, soms wel tot pH-waarden tussen 3 en 4. Fosfaten worden nauwelijks door de neerslag aangevoerd: ze zijn meestal afkomstig van inspoeling van landbouw- of rioolwater, veenaafbraak, bladinvlieg en het strooien van visvoer. Algen en waterplanten nemen dit fosfaat op, wat na afsterven in de waterbodem belandt. Met name de hoeveelheid ijzer en zwavel in de waterbodem bepaalt of dit fosfaat aan de bodem gebonden blijft.

Foto 1. Het water van veel vennen (hier het Klein Glasven) is door de aanwezigheid van humusverbindingen bruin gekleurd. Humus vormt complexen met o.a. ijzer, aluminium en zware metalen en vermindert de toxiciteit daarvan (foto: David Tempelman).

4. Trends in de chemische samenstelling van het venwater van Midden-Brabant

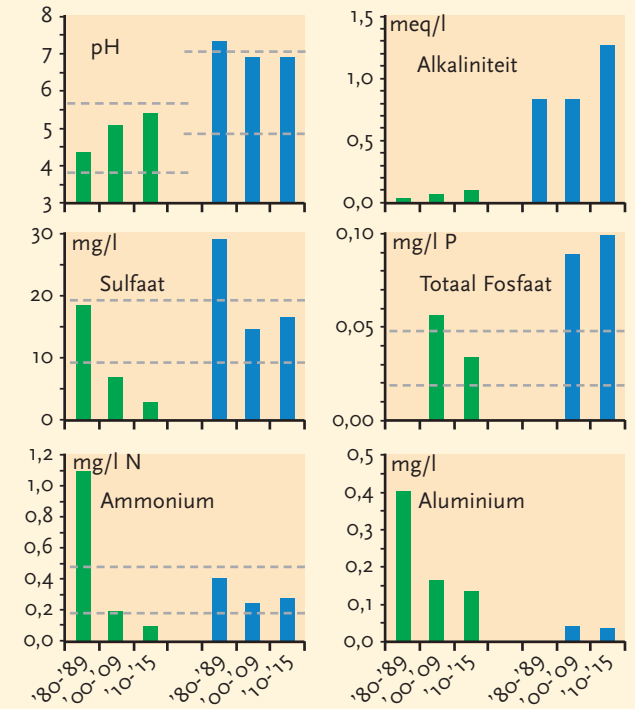
De eerste wateranalyses van enkele Oisterwijkse vennen (kaart achteromslag) dateren van 1919 en 1920 (Redeke, 1948). Van Heusden & Meijer (1948) bepaalden enkele malen enige hoofdcomponenten in het water van elf vennen en een paar toevoersloten. Daardoor hebben we een bijzonder historisch perspectief van de ven-

waterkwaliteit. Dit artikel concentreert zich echter op de veel frequentere analyses vanaf het midden van de jaren zeventig, toen de invloed van verzuring manifest werd, en beoogt inzicht te geven in de veranderingen van de chemische samenstelling van het venwater die de laatste decennia zijn opgetreden.

Basisgegevens

Door diverse auteurs en instanties zijn de afgelopen veertig jaar chemische analyses verricht, voornamelijk in de laboratoria van de Radbouduniversiteit / B-WARE, het toenmalige Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (thans Vitens) en AQUON (met ambtsvoorgangers) volgens de aldaar gebruikelijke methoden (o.a. AquaSense, 2004; van Dam & Mertens, 2015; van Dam et al., 2017). In voorjaar en zomer van 2015 werden van alle 30 vennen in het laboratorium van B-WARE analyses verricht. De volledige methoden en alle analyseresultaten van 1919 tot 2015 zijn opgenomen in Van Dam et al. (2017; art. 1, dit nummer). Door de jaren heen zijn gegevens beschikbaar van 46 variabelen (kader 1), waarvan hier een selectie wordt besproken.

Fig. 1. Veranderingen tussen 1980 en 2015 van enkele chemische variabelen in 24 ongebufferde tot zeer zwak gebufferde vennen (groen) en 5 zwak tot matig gebufferde vennen (blauw). De zwak tot matig gebufferde vennen zijn sterk beïnvloed door inlaat van gebufferd beekwater (voornamelijk in het verleden). Dat is bij de ongebufferde en zeer zwak gebufferde vennen veel minder het geval. Weergegeven zijn medianen per periode. Voor de zuurgraad (pH) is met de grijze streepjeslijnen het interval aangegeven van vennen in een natuurlijke toestand. Voor sulfaat, ammonium en totaal-fosfaat zijn de onderste streepjeslijnen de bovengrenzen van een min of meer natuurlijke situatie en de bovenste streepjeslijnen de benedengrenzen van een sterk verstoorde situatie (Grontmij | AquaSense & Alterra, 2005).



Onderzoekperioden en watertypen

Om de gegevens te analyseren zijn ze ingedeeld naar onderzoekperiode en watertype. De onderzoekperioden zijn 1900 – '49, 1950 – '69, 1970 – '79, 1980 – '99, 2000 – '09 en 2010 – '15. Uit de eerste twee perioden zijn de waarnemingen schaars, vaak alleen pH-metingen uit 8 – 12 vennen. Vanaf 1980 zijn er echter veel analyses beschikbaar uit alle vennen: meer dan 2800 voor de pH en ruim 1500 voor o.a. macro-ionen en voedingsstoffen.

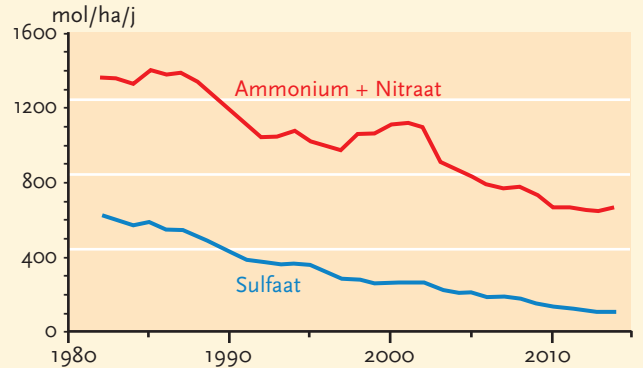
De watertypen zijn ingedeeld naar de alkaliniteit (buffercapaciteit, zuurbindend vermogen) volgens de classificatie van Bloemendaal & Roelofs (1988): niet gebufferd of zuur (0 – 0,1 meq/l), zeer zwak gebufferd (0,1 – 0,5 meq/l), zwak gebufferd (0,5 – 1,0) en matig gebufferd (1,0 – 2,0 meq/l). De vennen zijn ingedeeld op basis van de metingen sinds 2010 (kaart achteromslag). De ongebufferde vennen behoren meestal tot de hydrologische typen 1 en 2, de zeer zwak gebufferde tot de typen 2 en 3, de zwak gebufferde vennen tot de typen 3 en 4 en de matig gebufferde vennen tot type 4 van Hanhart & Brouwer (art. 3, dit nummer).

Voor elke variabele zijn per ven en per jaar gemiddelden berekend en hieruit weer gemiddelden van de bovengenoemde perioden, zodat een weging heeft plaatsgevonden. De periodegemiddelden tussen de vennen zijn vaak niet normaal verdeeld. Daarom zijn van groepen van watertypen medianen berekend.

Ongebufferde en zeer zwak gebufferde vennen

In vijf geïsoleerde nu ongebufferde tot zeer zwak gebufferde vennen (Schaapsven, Achterste Goorven, Staalbergven, Groot Huisven, Zandbergven) is de mediane pH tussen de perioden 1900 – '49 en 1970 – '79 (de periode met de hevigste verzuring) gedaald van 4,8 naar 4,1, terwijl de minimaal gemeten waarde 3,5 was, wat in Euro-

Fig. 2. Vijfjaars voortschrijdende gemiddelden van enkele componenten van de natte neerslag op het station Gilze-Rijen (1978-2013) en Biest-Houtakker (2013-2014) volgens gegevens van KNMI-RIVM (1981-1989), RIVM (ongepubliceerd 1989-1991) en www.lml.rivm.nl/gevalideerd (1992-2014).



pees kader uiterst laag is. In drie (deels) geëutrofeerde vennen met toevoer van gebufferd water daalde de mediane pH over hetzelfde tijdbestek van 6,5 naar 5,3. Figuur 1 vat de belangrijkste veranderingen sinds 1980 samen. In de niet- tot zeer zwak gebufferde vennen zijn alle trends uit de figuur, behalve voor totaal-fosfaat, significant ($p < 0,001$, Friedman toets). Er is een grote afname van sulfaat en ammonium en een sterke stijging van de pH en de alkaliniteit, waardoor de concentratie (toxisch) aluminium is gedaald. Dit syndroom van kenmerken geeft herstel van verzuring van deze vennen aan, dat is opgetreden na de sterke vermindering van de depositie van sulfaat en in mindere mate ammonium sinds de jaren tachtig (fig. 2).

De afname van sulfaat en ammonium in de vennen is verhoudingsgewijs groter dan in de atmosferische depositie. Dat komt doordat anorganisch gebonden zwavel en stikstof uit de waterfase verdwijnen door zwavelreductie, respectievelijk nitrificatie gevolgd door denitrificatie. Deze microbiële reductieprocessen gaan gepaard met de afbraak van organisch materiaal en worden bevorderd door de stijging van de pH en de temperatuur. Hierdoor komt fosfaat

vrij uit de waterbodem, waardoor eutrofiëring plaatsvindt (van Dam et al., 2014). De invloed van beheermaatregelen op de chemie van enkele zeer zwak gebufferde vennen komt in de artikelen over het Winkelsven (van Tooren, art.10), de Centrale vennen (Brouwer et al., art. 11), de Huisvennen (van Dam et al., art.12) en het Galgeven (van Dam et al., art. 13) in dit nummer aan de orde.

Zwak tot matig gebufferde vennen

In de vijf onderzochte zwak tot matig gebufferde vennen heeft zich al vóór 1950 een sliblaag ontwikkeld onder invloed van de toestroom van voedselrijk, sterk gebufferd beekwater. Na 1950 is door beeknormalisaties en peilverhogingen in de vennen de invloed van beekwater sterk afgenomen. In de twee zwak tot matig gebufferde vennen met voldoende waarnemingen (Belversven en Groot Kolkven) is de pH tussen de perioden 1900-'49 en 1970-'79 echter niet afgenomen, maar zelfs licht gestegen van 7,2 tot 7,9. Na 1980 zijn er alleen voor ammonium significante verschillen ($p < 0,05$) tussen de perioden (fig. 1). Het betreft vennen met invloed van grond- en (geëutrofeerd) beekwater. Daardoor zijn de gehalten van

Tabel 1. Samenvatting van enkele chemische en biologische variabelen vóór (2002-2005) en na (2006-2015) de herstelmaatregelen in het Belversven en in het Groot Kolkven (geen maatregelen).

Variabele	Eenh.	Belversven				Groot Kolkven	
		2002-2005		2006-2015		2006-2014	
		aantal	gem. (min.-max.)	aantal	gem. (min.-max.)	aantal	gem. (min.-max.)
pH	-	16	6,8 (5,8-9,4)	23	7,1 (5,5-7,9)	33	8,0 (7,1-9,3)
Alkaliniteit	meq/l	14	0,64	18	0,55	5	1,13
Totaal-stikstof	mg/l N	14	2,74	13	0,96	11	2,05
Totaal-fosfaat	mg/l P	14	0,14	15	0,03	11	0,14
Zuurstofverzadiging	%	14	92 (51-145)	13	95 (88-101)	33	90 (22-137)
Chlorofyl-a	µg/l	13	113	12	<3	4	32

de mineralen en fosfaat hier hoger dan in de niet tot zwak gebufferde vennen. Het Belversven was geëutrofeerd ten gevolge van de intensieve sportvisserij, waarbij visvoer werd toegediend en bodemwoelende vis werd bevorderd. In de winter van 2005-'06 zijn de vissen en de dikke baggerlaag verwijderd. In de jaren 2002 – 2005 (vóór de baggeroperatie) was de gemiddelde fosfaatconcentratie 0,14 mg/l en in de jaren 2006 – 2009 (na het baggeren) was deze gezakt tot gemiddeld minder dan 0,03. Ook de concentraties van totaal-stikstof zijn sterk gedaald (tabel 1). Door de vermindering van de nutriëntenconcentraties is de algengroei spectaculair verminderd: de chlorofyl-a-concentraties zijn gedaald van gemiddeld 113 naar gemiddeld minder dan 3 µg/l en is er weer helder water (zichtdiepte meer dan 1 m). De zuurstofhuishouding is tot rust gekomen: de minima zijn hoger geworden en de maxima juist lager. Ook bij de pH zijn de extremen verminderd (tabel 1). Het Groot Kolkven is nog steeds een geëutrofeerd ven, met hoge nutriëntenconcentraties, een dikke sliblaag en grote schommelingen in zuurgraad en zuurstofverzadiging (tabel 1).

Conclusies

1. De ongebufferde en zeer zwak gebufferde vennen zijn na 1950 sterk verzuurd door de hoge depositie van sulfaat en ammonium, in enkele gevallen ook doordat er geen water meer werd ingelaten.
2. Vanaf 1980 is atmosferische depositie van nutriënten verminderd, waardoor ook concentraties van sulfaat en ammonium in de waterlaag afnemen. De pH en de alkaliniteit nemen toe.
3. De afname van sulfaat en ammonium in het venwater is in de zomer verhoudingsgewijs groter dan in de atmosferische depositie. Processen als sulfaatreductie, nitrificatie en denitrificatie, die vooral in voorjaar en zomer plaatsvinden, zijn daarvoor verantwoordelijk. Daarbij vindt afbraak van organisch materiaal en dus eutrofiëring plaats.

4. De huidige chemische samenstelling van het oppervlaktewater van de ongebufferde en zwak gebufferde vennen voldoet op basis van de huidige kennis in principe aan de randvoorwaarden voor een goede ontwikkeling van flora en fauna, maar de in de waterbodem geaccumuleerde en in het grondwater aanwezige zwavel- en stikstofverbindingen vormen daarvoor een belemmering.
5. De matig gebufferde vennen met beekinvloeden en zonder beheermaatregelen, zoals het Groot Kolkven, zijn nog steeds sterk geëutrofeerd.
6. Door het verwijderen van vis en bagger uit het geëutrofeerde zwak gebufferde Belversven zijn de nutriënten- en chlorofylconcentraties sterk afgenomen, waardoor het doorzicht en de stabiliteit van de zuurstofhuishouding zijn toegenomen.

Literatuur

- AquaSense, 2004.** OBN-vooronderzoek Huisvennen: herstelmaatregelen ter bestrijding van verzuring en eutrofiëring. AquaSense, Amsterdam.
- Bloemendaal, F.H.J.L. & J.G.M. Roelofs (red.), 1988.** Waterplanten en waterkwaliteit. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht
- Dam, H. van & A. Mertens, 2015.** Monitoring herstel verzuring en klimaatverandering vennen 1978-2014: temperatuur, hydrologie, chemie, kiezelwieren Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam.
- Dam, H. van, G.H.P. Arts, R. Bijkerk, H. Boon-**

- stra, J.D.M. Belgers & A. Mertens, 2014.** Natuurkwaliteit Drentse vennen gaat vooruit. De Levende Natuur 115(5): 215-221.
- GrontmijAquaSense & Alterra, 2005.** Huidige toestand en vervolgaanpak Brabantse vennen. GrontmijAquaSense, Amsterdam / Alterra, Wageningen.
- Heusden, G.P.H. van & W. Meijer, 1948.** Een chemisch-botanisch onderzoek van vennen en veenplassen. Gemeentewaterleidingen, Amsterdam / Hugo de Vrieslaboratorium, Amsterdam.
- KNMI-RIV(M), 1981 - 1989.** Chemische samenstelling van de neerslag over Nederland. Jaarrapporten over 1980 - 1988. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt / Rijksinstituut voor Volksgezondheid (en Milieu), Bilthoven.
- Redeke, H.C., 1948.** Hydrobiologie van Nederland: de zoete wateren. De Boer, Amsterdam.

Summary

Long term changes of surface water chemistry in shallow soft water lakes in Central Brabant
Changes over the last century of surface water chemistry in thirty moorland pools near Oisterwijk and Boxtel were studied. From the first half of the 20th century until the 1970's the median pH in eight poorly to very weakly buffered pools dropped from 5,4 to 4,2, due to acid atmospheric deposition and isolation from other surface waters. Between 1980 and 2015 in 24 similar pools the median pH increased from 4,4 to 5,4, along with sharp decreases of sulphate, ammonium and aluminium, indicating a strong recovery from acidification. However, decomposition of organic matter during denitrification and sulphate reduction induces a risk of eutrophication. The scattered data from few weakly to moderately buffered (and eutrophicated) pools indicate no changes since 1980. Strong decreases of nutrients, chlorophyll-a and turbidity occurred after removal of fish and sediments from one of these pools.

Dr. H. van Dam
Herman.vandam@waternatuur.nl

Dr. E. Brouwer
e.brouwer@b-ware.eu



Emiel Brouwer neemt kwelwatermonster, maart 2016 (foto: Herman van Dam).