

*De betekenis van
chemische en fysische
wateranalyses*

G I E S S E N & G E U R T S



Biologische Projekten

De betekenis van chemische en fysische wateranalyses



Giesen & Geurts

Biologische Projekten

't Goor 9, 7071 PC Uft.

Tel 0315-640 460

Fax 640 252

© 2002. Giesen & Geurts, Ulf.

De inhoud van deze brochure (in het geheel of in delen) mag zonder schriftelijke toestemming van Giesen & Geurts niet door fotocopie, druk of andere middelen worden gereproduceerd.

In opdracht van Staatsbosbeheer, Regio Gelderland, Arnhem.

Citaten zijn toegestaan met volledige bronvermelding:

Giesen & Geurts, 2002. De betekenis van chemische en fysieke wateranalyses. Ulf.

Inhoud

| | |
|---|----|
| Inleiding | 1 |
| Algemeen..... | 1 |
| Parameters..... | 1 |
| Verwevenheid van parameters..... | 1 |
| Bespreking van de parameters | 2 |
| E.G.V..... | 2 |
| pH..... | 3 |
| Bicarbonaat..... | 4 |
| Kooldioxide..... | 5 |
| Zuurstof..... | 6 |
| Calcium, magnesium, kalium, natrium..... | 6 |
| IJzer..... | 8 |
| Aluminium..... | 9 |
| Ammonium..... | 10 |
| Nitraat..... | 11 |
| Nitriet..... | 11 |
| Fosfaat..... | 12 |
| Totaal stikstof en fosfor..... | 13 |
| Opgelost Organisch Koolstof..... | 13 |
| Sulfaat..... | 14 |
| Chloride..... | 15 |
| Totaal gesuspendeerde vaste stof..... | 15 |
| Vervuiling | 16 |
| Stuyfzand..... | 16 |
| Chloride..... | 16 |
| Ratio Ca/Mg..... | 16 |
| Kalium..... | 16 |
| Natrium..... | 16 |
| Nitraat..... | 17 |
| Ammonium..... | 17 |
| Fosfaat..... | 17 |
| Sulfaat..... | 17 |
| Grafische weergave | 18 |
| E.G.V.-IR diagram..... | 18 |
| Maucha diagram..... | 19 |
| Richtwaarden en voorbeelden | 21 |
| Wat moeten we meten? | 25 |
| Literatuur | 26 |



Inleiding

Algemeen

Voor grondwaterafhankelijke vegetatie is naast de kwantiteit van het (grond)water, ook de kwaliteit van groot belang. Enerzijds is de voedselrijkdom (stikstof in de vorm van nitraat, nitriet, ammonium en N-totaal en fosfor in de vorm van fosfaat en P-totaal) van belang, anderzijds zijn de mineralenrijkdom (calcium, magnesium, kalium, natrium, ijzer) en de buffering (bicarbonaat, carbonaat, aluminium) belangrijk. Daarnaast geven parameters informatie over verzuring (aluminium), brakwaterinvloed (chloride en natrium) en kwel (bicarbonaat en ijzer). Verder kan met parameterverhoudingen worden vastgesteld of het water vervuild is of niet (Ca/Mg en Fe/SO₄). Informatie over totaal-hoeveelheden geven o.a. E.G.V. (totale hoeveelheid opgeloste ionen), DOC (Dissolved Organic Carbon=opgeloste hoeveelheid organische stof, waarin P en N kan zitten), N- en P-totaal (totale hoeveelheid P en N die in het water is opgelost; ook hetgene dat aan organisch stof gebonden is).

Om de resultaten van wateranalyses of hun onderlinge verhoudingen te kunnen interpreteren, wordt in deze flyer per parameter de betekenis aangegeven voor de kwaliteit van het water en, zo mogelijk, de gevolgen voor de vegetatie. Analyses van watermonsters uit Staatsbosbeheereservaten dienen als voorbeeld.

Parameters

Met parameters worden hier de chemische stoffen bedoeld die in het water worden gemeten.

Veel parameters hangen onderling sterk samen; CO₂, bicarbonaat, calcium e.d. vormen een belangrijk evenwicht, en daardoor een bufferend vermogen, tegen verzuring. Hierop wordt bij de parameters verder ingegaan.

Verwevenheid van parameters

Om te laten zien hoe parameters verweven zijn, is als voorbeeld de nitrificatie van organische stof gebruikt. Bij de nitrificatie van organische stof wordt eerst ammonium gevormd, dat via nitriet tot nitraat geoxideerd wordt en waarbij zuur vrij komt. Dit proces heeft daardoor gevolgen voor minstens zes parameters waaronder o.a.: zuurstof, nitraat, nitriet, koolzuur, bicarbonaat en pH. In de lijst hiernaast met chemische reactievergelijkingen blijkt de afhankelijkheid tussen de parameters onderling en is aangegeven voor welke parameter een reactie gevolgen heeft.

Verwevenheid van parameters

In chemische vergelijkingen:

- 1 $R-NH_2 + H_2O \rightarrow NH_3 + R-OH$
- 2 $NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$
- 3 $NH_4^+ + 1,5 O_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+$
- 4 $NO_2^- + 0,5 O_2 \rightarrow NO_3^-$
- 5 $H^+ + HCO_3^- \rightarrow CO_2 + H_2O$
- 6 $5FeS_2 + 14NO_3^- + 4H^+ \rightarrow 5Fe^{2+} + 7N_2 + 10SO_4^{2-} + 2H_2O$

Of vereenvoudigd in woorden met gevolg (⇒):

- 1 organische stof + water → ammoniak ⇒ NH₃ stijgt.
- 2 ammoniak + water → ammonium ⇒ pH daalt;
- 3 ammonium + zuurstof → nitriet + zuur ⇒ zuurstof daalt; ⇒ nitriet stijgt.
- 4 nitriet + zuurstof → nitraat ⇒ NO₃ stijgt; ⇒ zuurstof daalt.
- 5 zuur + bicarbonaat → koolzuur ⇒ HCO₃⁻ daalt.
- 6 pyriet+nitraat+zuur→ijzer+stikstof+sulfaat ⇒ pH stijgt.

Voedselrijkdom

nitraat

nitriet

ammonium

fosfaat

N- en P-totaal

Mineralen

calcium

magnesium

kalium

natrium

ijzer

Bufferstoffen

bicarbonaat

carbonaat

aluminium

Kwel

ijzer

bicarbonaat

Brakwater

natrium

chloride

Verzuring

aluminium



Bespreking van de parameters

E.G.V.

Algemeen

Het E.G.V. (Electrisch Geleiding Vermogen) van het water geeft een algemene indicatie over de hoeveelheid in het water opgeloste stoffen. Hoewel deze parameter niets zegt over de aard van de stoffen, geeft het wel aanwijzingen over de herkomst van het water.

Aanwijzingen voor de herkomst van het water

| | | |
|---|----------|------------------|
| Regenwater | 10-100 | $\mu\text{S/cm}$ |
| Grondwater met korte verblijftijd | 50-200 | $\mu\text{S/cm}$ |
| Grondwater met matig lange verblijftijd | 200-500 | $\mu\text{S/cm}$ |
| Grondwater met lange verblijftijd | 500-2000 | $\mu\text{S/cm}$ |

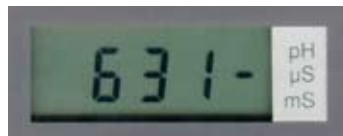
E.G.V.

Hoeveelheid in het water opgeloste stoffen.

Herkomst van het water.

IonRatio.

1 mS/m = 10 $\mu\text{S/cm}$.



Het display van een EGV meter geeft 631 $\mu\text{S/cm}$ aan. Het water van deze meting behoort dus bij: 'grondwater met lange verblijftijd'.

Samen met de IonRatio (pag. 18) kan het monster in een E.G.V.-IR diagram (fig. 1) worden geplaatst, hieruit blijkt of we met grondwater, regenwater of zeewater (of een mix van deze) te maken hebben. De verbindinglijnen tussen de drie referentiepunten in fig. 1 geven globaal de grenzen aan waarbinnen grondwater in Nederland in de figuur zal komen te liggen. Grondwater uit brakwatergebieden of voormalige brakwatergebieden (b.v. de IJsselmeerpolders) vallen vaak buiten deze referentielijnen, door een hogere E.G.V. ten opzichte van de IonRatio. Als een hoge E.G.V. niet geologisch te verklaren is, kan sprake zijn van verontreiniging met anorganische stoffen. Er bestaat een sterke correlatie tussen de E.G.V. en het chloridegehalte, hetgeen van belang is bij de monitoring van (grond)waterkwaliteit in brakwatervegetatie.

Aanwijzingen

De E.G.V. kan gebruikt worden bij het achterhalen van de herkomst van het water (zie boven). Door de E.G.V. te plotten tegen de IonRatio wordt ook duidelijk of de hoge E.G.V. is toe te schrijven aan brakwaterinvloed. Zoals al gezegd, duiden hoge E.G.V. waarden op de aanwezigheid van veel opgeloste stoffen (totale hoeveelheid opgeloste ionen), maar zeggen niets over de aard ervan. Zo kan een hoge E.G.V. veroorzaakt worden door calcium, maar ook door sulfaat, nitraat, natrium of chloride, waarvan de laatste twee te wijten zijn aan vervuiling of brakwaterinvloed.

Vegetatie

Relatie van de E.G.V. met de vegetatie kan gegeven worden vanuit de preferenties voor zout en een bepaald watertype. Hierdoor zal grond- en oppervlaktewater van zoutminnende vegetatie een hoge E.G.V. laten zien. B.v. E.G.V.=200 mS/m in combinatie met een lage IR (22%), zoals in Arkemheen bij de Gemeenschap van Gesteelde zannichellia (W15; *Zannichellion pedicellatae*) en G90 (Gemeenschap van Zilte rus

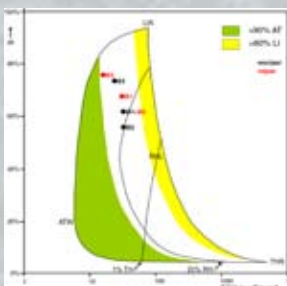


Fig. 1. Voorbeeld van een E.G.V.-IR diagram.



en Fioringras=*Trifolio fragifera-Agrostietum stoloniferae*; met een hoge zouttolerantie).

pH

Algemeen

De pH of zuurgraad van het water bepaalt o.a. of gebonden koolzuur (CO_2) vooral als bicarbonaat (pH ligt rond het neutrale bereik) of als carbonaat (pH hoog) aanwezig is; als de CO_2 alleen ongebonden aanwezig is, zal de pH lager dan 4,3 zijn. Welke pH een water heeft hangt voornamelijk af van de verhouding CO_2 /bicarbonaat. Bij goed gebufferd grondwater ligt de pH meestal in de buurt van het neutrale bereik (pH=6,5-7,5), terwijl in zacht, CO_2 -rijk water de pH waarden aanneemt van 5-6 of zelfs tot 4. Daarentegen kan de pH in carbonaatrijk water een waarde van 9 bereiken.

In oppervlaktewater varieert de pH zowel over de dag als door de seizoenen. Door algengroei, en de daarmee gepaard gaande CO_2 behoefte c.q. onttrekking, stijgt of daalt de pH. Een vergelijkbaar fenomeen treedt op gedurende een etmaal; waterplanten verbruiken CO_2 en verhogen de pH (zie ook pag 5 onder Kooldioxide).

Aanwijzingen

Bij een pH>5,5 kan pas een substantiële hoeveelheid bicarbonaat worden verwacht, terwijl bij een pH<4,3 alleen nog CO_2 aanwezig is. Deze cijfers zijn zowel van belang voor de kennis over de mate van buffering als voor de te verwachten waterplantensoorten; sommige kunnen alleen CO_2 of bicarbonaat assimileren (gebruiken als koolstof-bron) en kunnen dus niet groeien als de geschikte C-bron ontbreekt. Een lage pH kan duiden op bijmenging van regenwater, hetgeen ook te zien is in een E.G.V.-IR diagram. Een lage pH kan ook veroorzaakt worden als in de grond pyriet (FeS_2) aanwezig is, dat door in het grondwater aanwezig nitraat (NO_3^-) wordt geoxideerd; daarbij komt H^+ vrij (zie pag. 1: 'Verwevenheid van parameeters').

Niet verzuurd regenwater heeft een pH=5,6 terwijl verzuurd regenwater een pH<5 heeft.

Vegetatie

Typische vegetaties van zure omstandigheden (met pH<4,5) zijn b.v. het Berken-Eikenbos (*Betulo-Quercetum*) en de Associatie van Struikhei en Stekelbrem (*Genisto angelicae-Callunetum*). Van neutrale-zwak basische omstandigheden (met pH>6,5) zijn b.v. Elzenzegge-Elzenbroek (*Carici elongatae-Alnetum*) en Essen-Iepenbos (*Fraxino-Ulmetum*). *Calthion*-gemeenschappen geven de voorkeur aan een pH-traject van 4,5-5,5 (matig zuur).

pH
Zuurgraad.
 H^+ concentratie.

De indeling van de pH.

| | |
|------------|----------------|
| Basisch | pH > 7,5 |
| Neutraal | 6,5 < pH < 7,5 |
| Zwak zuur | 5,5 < pH < 6,5 |
| Matig zuur | 4,5 < pH < 5,5 |
| Zuur | pH < 4,5 |

Het gemiddelde van de pH
De pH is de negatieve logaritme van de H^+ concentratie. Een pH=3 betekent dat de H^+ concentratie 10^{-3} mol/l bedraagt en bij pH=7 is dat 10^{-7} , dus een factor 10.000 minder! Deze manier van berekenen van de pH waarde heeft tot gevolg dat pH waarden niet zomaar gemiddeld mogen worden. Foutief zou daarom zijn b.v. een pH=3 en een pH=7 te middelen ($(3+7)/2=5$). Bij een juiste berekening komen we op een gemiddelde van 3,3. In het geval pH=7 en 11 komen we dan (i.p.v. op een gemiddelde van $[7+11]/2=6$) op een juist gemiddelde van 10,7. Deze juiste berekening moet worden gedaan via de antilogaritme van de pH-waarden, deze te middelen en het gemiddelde weer om te zetten via logaritme in pH.



HCO₃⁻ Bicarbonaat (HCO₃⁻)

Algemeen

Bicarbonaat of alkaliniteit of het zuurbindend vermogen, geeft de bufferende werking van het water aan en wordt bepaald door in water opgelost bicarbonaat, carbonaat en hydroxiden (welke ionen daarvan domineren is pH-afhankelijk; zie bij pH en CO₂). In de meeste wateren is echter voornamelijk bicarbonaat aanwezig.

Bicarbonaat ontstaat doordat CO₂ uit de lucht of uit regenwater met kalk uit de grond reageert, waardoor calcium in oplossing gaat in het grondwater. De stoffen CO₂, bicarbonaat en calcium vormen een evenwicht, dat afhankelijk is van de pH. Dit evenwicht kan een bepaalde aanvoer aan verzurende stoffen verdragen, waardoor zo'n systeem gebufferd is tegen zuur; het gehalte aan bufferende stoffen is bepalend voor de hoeveelheid zuur dat het systeem kan verdragen. Als er geen bicarbonaat aanwezig is (en dus alleen CO₂) bedraagt de pH < 4,3; bij toenemend gehalte bicarbonaat kan de pH stijgen tot pH = 8,2 (bij 100% bicarbonaat).

Aanwijzingen

Een hoog gehalte bicarbonaat wijst op goede buffering van grond- en oppervlaktewater; een vereiste voor sommige vegetatietypen. Een bicarbonaatgehalte lager dan 2,0 mmol/l is voor bicarbonaat-C (koolstof) gebruikende water-

planten te laag om succesvol te kunnen concurreren met CO₂ gebruikende waterplanten (De Lyon & Roelofs, 1986).

Hoge bicarbonaatwaarden kunnen ontstaan als het watervoerende pakket (aquifer) kalk bevat dat in het doorstromende grondwater oplost.

Bicarbonaat kan de verzurende werking van pyriet-oxidatie door nitraat, weer neutraliseren.

Vegetatie

- Zachte tot zeer zachte wateren (bicarbonaat < 0,5 mmol/l). In deze wateren groeit een vegetatie met *Sphagnum*soorten (Hoogveenverbond; *Oxycocco-Ericion*), Klein blaasjeskruid, Knolrus, Waterlobelia (Heidenhoeksevlode), Oeverkruid (Beekvliet), Drijvende waterweegbree, Moerashertshooi (Hartertse vennen), Veenpluis, Snavelzegge en Veelstengelige waterbies (Oeverkruidverbond; *Littorellion uniflorae*).
- Zachte tot matig harde wateren (bicarbonaat = 1-2 mmol/l). Vooral CO₂ gebruikers: Glanswier (Glanswierverbond; *Nitellion flexilis*), Naaldwaterbies, Stompbladig fonteinkruid (*Parvopotamion*; Verbond der kleine fonteinkruiden).
- Hard water (bicarbonaat = 2-4 mmol/l). Soorten als Brede waterpest, Stompbladig, Spits, Rossig en Glanzig fonteinkruid, Krabbescheer, Kikkerbeet, Kransvederkruid, Kranswieren,

De indeling van de alkaliniteit

| | |
|----------------|----------------|
| Laag | < 0,5 mmol/l |
| Laag-gemiddeld | 0,5-2,0 mmol/l |
| Gemiddeld-hoog | 2,0-4,5 mmol/l |
| Hoog | > 4,5 mmol/l |

De indeling van de alkaliniteit volgens Lyon & Roelofs (1986):

| | |
|-----------------------------------|----------------|
| Ongebufferde wateren | < 0,1 mmol/l |
| Zeer zachte wateren | 0,1-0,5 mmol/l |
| Zachte wateren | 0,5-1,0 mmol/l |
| Zachte tot matig harde wateren | 1,0-2,0 mmol/l |
| Harde wateren | 2,0-4,0 mmol/l |
| Zeer harde wateren | > 4,0 mmol/l |

Bicarbonaat

Bufferstof.

Neutralisatie van zuur.



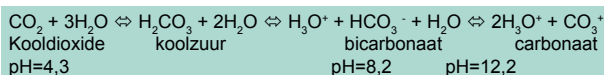
Water- en Pijptorkruid, Pijlkruid, Kalmoes en Zwanebloem (*Potametea*, *Nymphaeon*, Waterlelieverbond).

- Zeer harde wateren (bicarbonaat > 4 mmol/l). Soorten als Paarbladig fonteinkruid, Puntig fonteinkruid en Schedefonteinkruid, Lidsteng, Zannichellia, Stomphoekig sterrekroos en Ongedoornd hoornblad (Fonteinkruidklasse; *Potametea*).

CO₂ Kooldioxide (CO₂)

Algemeen

In water opgelost koolzuur (CO₂) is in evenwicht met bicarbonaat en carbonaat. Het gehalte koolzuur stijgt wanneer het onderstaande



evenwicht door zuur naar links wordt verschoven.

Dit 'carbonaatevenwicht' is een belangrijke factor bij de pH-buftering in natuurlijke wateren en bepaalt de beschikbaarheid van koolzuur en bicarbonaat in b.v. oppervlaktewater. Bij sterke verzuring van oppervlaktewater tot pH < 4,3 is daarom alleen CO₂ meetbaar (zie evenwicht in kader hierboven). Er zijn waterplanten die of alleen koolzuur (Waterviolier) of alleen bicarbonaat (Schedefonteinkruid) als C-bron hebben. Verder zijn er aanwijzingen dat de toestand van het carbonaatevenwicht indicatief is voor de beschikbaarheid van bepaalde vormen fosfaat.

Als er meer CO₂ aanwezig is dan nodig voor de instandhouding van bovenstaand evenwicht, spreekt men van agressief water: het tast metaal en beton aan.

Aanwijzingen

Hoge CO₂ concentraties wijzen op een lage pH. Als gevolg van de fotosynthese-activiteit van planten en algen kunnen grote dagschommelingen plaats vinden.

Vegetatie

Vegetatie met Knolrus (*Litorellion*; die o.a. in de Hatertse vennen voorkomt) groeit in zuur en zacht water, zolang er maar voldoende CO₂ aanwezig is. Oorspronkelijk komt Knolrus voor in wateren met CO₂-rijke kwel.

In zure wateren is het grootste deel van de opgeloste koolstof als CO₂ aanwezig; de meeste waterplanten kunnen in zulk water niet leven. Veenmos kan daarin wel leven, maar is voor de CO₂ verzorging afhankelijk van lucht-CO₂. Contact met de lucht is daarom noodzakelijk.

CO₂
Carbonaatevenwicht
Hoge CO₂ waarden duiden op
sterke verzuring.
Koolstof=C.



O_2
Zuurstofverzadigingper-
centage.

O Zuurstof (O_2)

Algemeen

Zuurstof wordt door het water uit de lucht opgenomen en in het water door o.a. micro-organismen en waterplanten geproduceerd. Zuurstofconsumptie vindt plaats door fauna (insecten, slakken en vissen) en door chemische afbraakprocessen.

Meestal wordt als norm aangehouden dat in stilstaande wateren het zuurstofgehalte niet beneden 5 mg/l O_2 mag liggen.

Naast het gehalte in mg/l wordt vaak het zuurstof verzadigingpercentage opgegeven; dit is het percentage zuurstof dat in het water aanwezig is, berekend over de hoeveelheid die op een bepaald moment aanwezig kan zijn (het water kan bij hogere temperatuur minder zuurstof bevatten; het verzadigingpercentage kan dan even goed 100% zijn).

Het zuurstofgehalte varieert over de dag; het laagste gehalte wordt kort voor zonsopgang gemeten. Ook door het jaar treden grote variaties op; incidentele waarnemingen hebben daarom weinig zeggingskracht.

Zuurstof is nodig voor de nitrificatie van organische stof (zie kader op pag. 1: 'Verwevenheid van parameters').

Aanwijzingen

Voor karperachtigen wordt een waarde aangehouden van >5 mg/l en voor forelachtigen van >10 mg/l O_2 .

Plotselinge daling van de zuurstofconcentratie kan het gevolg zijn van:

- Opwerpen van sediment.
- Samenvallen van hoge temperatuur en lage waterstanden in de zomer.
- Aanvoer van vervuild water vanuit regenwateroverstort.
- Afsterven van algen na algenbloei.

Vegetatie

Er zijn geen relaties bekend met de vegetatie.

Ca, Mg, K, Na

Calcium, magnesium, kalium en natrium.

Algemeen

Van deze vier kationen komt calcium het meest voor in zoet grond- en oppervlaktewater. Afwijkingen op de dominantie van calcium duiden of op brakwaterinvloed of op vervuiling door bemesting. De zouten van calcium zijn vaak slecht oplosbaar (met uitzondering van calciumsulfaat). Desondanks is toch meestal een grotere hoeveelheid calcium in water opgelost tengevolge van de vorming van calciumbicarbonaat uit calciumcarbonaat met CO_2 uit de lucht en uit infiltrerend regenwater. Dat magnesium in lagere concentraties

Calcium, magnesium, kalium en natrium

(resp. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)

Kationen (positief geladen ionen):

Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ etc.

Anionen (negatief geladen ionen):

NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} etc.

Calcium oplosbaar als calcium-
bicarbonaat.



dan calcium in water gemeten wordt, vindt zijn oorzaak in het feit dat magnesiumcarbonaat in de grond slechter oplost met CO_2 dan calciumcarbonaat. De hoeveelheid calciumbicarbonaat bepaalt de mate van buffering van het water tegen verzuring.

Aanwijzingen

De verhouding calcium/magnesium kan verstoord zijn door invloed van gier en afvalwater; in niet verontreinigd water bedraagt de verhouding $\text{Ca:Mg}=4:1$. In vervuild water is de verhouding kleiner dan

4. Het gehalte van kationen kan verhoogd zijn ten gevolge van het oplossen ervan door zure neerslag en de verzurende werking van gierbemesting. Alle kationen (vooral natrium) kunnen verhoogde concentraties vertonen door brakwaterinvloed. Verhoogde kaliumgehalten ($>5 \text{ mg/l}$) en natriumgehalten ($>50 \text{ mg/l}$) kunnen op vervuiling wijzen en zijn terug te voeren op uitspoelen van meststoffen uit de bodem.

Door het meten van calcium en chloride is de $\text{IR}=\text{IonRatio}$ te berekenen. De hoogte hiervan geeft aan of we met grondwater, regenwater of zeewater te maken hebben (fig. 1 en 6).

Als zowel calcium als sulfaat in hogere concentraties voorkomen, kan dat ook het gevolg zijn van gipsafzettingen. Verzadigde gipsoplossing bevat 2400 mg/l CaSO_4 , hetgeen overeenkomt met 580 mg/l calcium en 1340 mg/l sulfaat.

Kalium wordt door kleideeltjes sterk gebonden en bij volledige verzadiging niet meer opgenomen; het kalium blijft dan in oplossing in het grondwater en laat hogere concentraties zien (vervuiling).

Vegetatie

Over de relatie tussen calciumgehalte en vegetatie zijn moeilijk richtwaarden te geven. Over het algemeen kan worden gezegd dat voor basenafhankelijke vegetatie, het grondwater een substantiële hoeveelheid calcium moet bevatten, maar zeker zo belangrijk is de voortdurende of regelmatige aanvoer van calcium via het grondwater naar het absorptiecomplex van de bodem. Hierdoor kan, ook bij verzuring, de basenbezetting voldoende hoog worden gehouden. De calciumbezetting van de bodem, samen met de aanwezigheid van calcium in het grondwater, is daarom een nauwkeurigere indicatie voor het inschatten van kansen van bepaalde vegetaties.

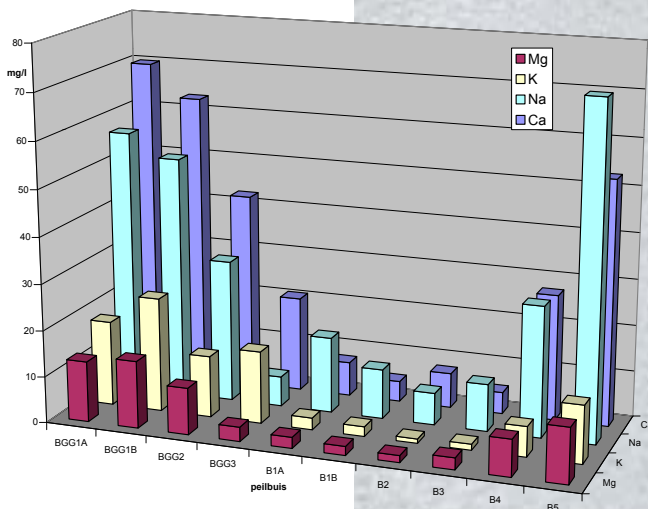


Fig. 2.

Staafdiagram met de gemeten hoeveelheid calcium, magnesium, kalium en natrium in peilbuizen in het Lievelderveld (1998).

In deze figuur is te zien dat in de meeste buizen calcium en natrium de dominerende kationen zijn. De buizen B1, B2 en B3 liggen in het reservaat en bevatten veel minder kationen dan de overige buizen die buiten het reservaat liggen, hetgeen correspondeert met de zuurminnende vegetatie in het reservaat. De hogere waarden in de buizen buiten het reservaat zijn toe te schrijven aan uitspoeling van landbouwgrond en vooral de hoge natriumwaarden duiden op vervuiling.

Basenbezetting
 Basenafhankelijke vegetatie.
 Regelmatige aanvoer basen.
 Opladen absorptiecomplex.
 Calciumbezetting.



Voor de aanwezigheid van *Parnassia* in subdoeltypen 8.2 en 10.1 (*Cirsio dissecta-Molinietum parnassietosum*) is een calciumbezetting c.q. calciumverzadigingpercentage van >80% van de bodem noodzakelijk. Als in de eerste helft van de lente basenrijk (Ca, Mg) grondwater tot in het maaiveld komt en de basenbezetting voldoende aanvult, kan dit vegetatietype zich ontwikkelen.

In 1978 was de calciumbezetting van de grond in het reservaat Koolmansdijk nog 89%, in 2000 nog slechts 32%. De oorzaak hiervan is de grondwaterstanddaling: basenrijk grondwater kan hierdoor de basenbezetting niet meer aanvullen en de bovengrond (wortelzone) verzuurd.

Fe IJzer (Fe)

Algemeen

Eigenlijk mag ijzer in opgeloste vorm niet in de natuur voorkomen. Onder reducerende (zuurstofloze) omstandigheden is de stabiele vorm waarin ijzer voorkomt pyriet en in oxiderende omstandigheden ijzer(III)oxiden (Fe^{3+}), beide praktisch onoplosbaar in water. Als er toch (verhoogde concentraties) ijzer gemeten wordt, komt dat omdat menselijke invloed evenwichten verstoren. Lage ijzerconcentraties komen in natuurlijke omstandigheden voor ten gevolge van transport (oplossen pyriet \Rightarrow afzetten ijzerhydroxide).

In oppervlaktewater is de ijzerconcentratie meestal laag en in grondwater kan het gehalte hoog zijn. Dit is vooral zo wanneer het grondwater anaëroob is (zuurstofloos; reducerend); ijzer is dan in tweewaardige vorm, Fe^{2+} , aanwezig en daardoor goed oplosbaar. Als dit grondwater aan de oppervlakte of in oppervlaktewater terecht komt, ontstaat door de aanwezige lucht driewaardig ijzer, Fe^{3+} , waarvan de meeste zouten slecht oplosbaar zijn. Hierdoor ontstaat de kenmerkende rode neerslag in oppervlaktewater: ijzerhydroxiden en ijzerfosfaat. Het ijzerfosfaat wordt gevormd uit ijzer in het grondwater en/of fosfaat uit het oppervlaktewater; het oppervlaktewater wordt hierdoor ijzer- en fosfaatarm.

Aanwijzingen

Wanneer grotere hoeveelheden ijzer (totaal) in grondwater worden gemeten is dat meestal Fe^{2+} (alleen aparte meting hiervan geeft zekerheid, omdat het ook Fe^{3+} kan zijn), waardoor wordt aangegeven dat we met zuurstofloze omstandigheden (anaëroob) te maken hebben. In geval van kwel kan fosfaat worden gebonden en kan het systeem voedselarm worden. Grote hoeveelheden ijzer in het grondwater duiden op de aanwezigheid van pyriet in de grond en het oplossen hiervan onder invloed van nitraatreductie.

Hoge ijzerconcentraties kunnen ontstaan door:

- Wisselende waterstanden, waardoor de grond doorlucht wordt en pyriet wordt geoxideerd



Een vlies met ijzerbacteriën wijst op kwel met ijzerrijk grondwater. De bacteriën leven van de energie die beschikbaar komt door de oxidatie van $\text{Fe}^{2+} \Rightarrow \text{Fe}^{3+}$. Het grondwater bevat dus Fe^{2+} , dat vermoedelijk afkomstig is van de denitrificatie van nitraat (in het grondwater) door pyriet (in de grond).



- De denitrificatie door pyriet; nitraat oxideert pyriet tot opgelost ijzer en sulfaat. Verdere oxidatie verloopt tot onoplosbaar ijzer en zuur (H^+). Micro-organismen regelen deze oxidatie en houden zelf de zuurgraad hoog genoeg om te kunnen overleven. Dit systeem is een effectieve pH-buffering tussen 6,0 en 7,2.
- Oplossen van ijzerverbindingen (ijzercarbonaat, ijzerhydroxiden, pyriet) door zuur bij $pH < 5$, waardoor H_2S ontstaat (rotte eiergas). Het H_2S ontstaat hier niet door sulfaatreductie; in deze gevallen kan zuurstofmeting bevestigen dat er sprake is van oxidatieve omstandigheden.

Hoge ijzerconcentraties in grondwater zijn meestal het gevolg van vervuiling met nitraat; over lage concentraties ijzer kan alleen iets gezegd worden als ook andere parameters gemeten worden (H_2S , sulfaat, alkaliniteit).

Vegetatie

Er zijn geen relaties bekend tussen het ijzergehalte en de vegetatie. Hogere concentraties Fe^{2+} in kwelwater maken het oppervlaktewater voedselarmer, waardoor in voedselrijk water (bij de aanwezigheid van ijzerrijke kwel) toch vegetatie aanwezig kan zijn die typisch is voor voedselarme omstandigheden.

Als een hoge ijzerconcentratie gemeten wordt is dit een aanwijzing dat nitraat uit het grondwater geëlimineerd is (via pyrietoxidatie).

Aluminium (Al)

Algemeen

Aluminium komt pas in grote hoeveelheden opgelost in het water voor bij lage $pH < 4,2$ (en $pH > 10$); dan komt het vrij van de bodem. Het element heeft een toxische werking op planten en is in oppervlaktewater al met een gehalte van 0,1 mg/l toxisch voor vissen en doodt het plankton. In veenwater kan aluminium humuszuren neerslaan en daardoor de kenmerken van dit biotoop teniet doen.

Aanwijzingen

Grote hoeveelheden aluminium lossen op uit de bodem bij een $pH < 4,2$. Bij deze pH neemt aluminium de buffering van de bodem over, hetgeen oplossen tot gevolg heeft.

De EEG-drinkwaterrichtlijn is 0,2 mg/l Al. In zuur, ondiep grondwater wordt in normale gevallen ongeveer 10 mg/l aluminium gemeten.

Vegetatie

Er zijn geen relaties bekend tussen het aluminium gehalte en de vegetatie. Wel is een hoog aluminium gehalte indicatief voor zuur water en de daaraan verbonden vegetatie.

IJzer

Hoge concentraties wijzen op menselijke invloed.

Fosfaatbinding.

Kwel.

Denitrificatie van nitraat.

Aluminium

Hoge concentraties bij $pH < 4,2$.

Toxisch.



NH₄⁺ Ammonium (NH₄⁺)

Algemeen

Ammonium (hier steeds als NH₄⁺-N opgegeven) wordt gevormd als tussenproduct bij de afbraak van organisch materiaal. Dit organisch materiaal kan echter ook van menselijke of dierlijke oorsprong (mest) zijn.

Ammonium in oppervlaktewater wordt microbiologisch afgebroken tot nitraat, waarbij grote hoeveelheden zuurstof verbruikt worden. Ammonium wordt door de intensieve veehouderij aangevoerd en wordt door oxidatie omgezet in nitraat.

Hoewel ammonium (NH₄⁺) nauwelijks giftig is, kan dat van ammoniak (NH₃) niet gezegd worden; voor karpers is de grenswaarde 0,02 mg/l NH₃ en voor forelachtigen 0,01 mg/l NH₃. Op korte termijn zijn gehalten van 0,1 mg/l NH₃ voor broedsel en 1,0 mg/l NH₃ zelfs voor volwassen karpers dodelijk. Ammoniak is gelukkig alleen bij hogere pH aanwezig; bij pH=7 is 1% van het aanwezige ammonium als ammoniak aanwezig en bij pH=9 al 30%. Een pH verschuiving in met ammonium belaste wateren kan dus snel dodelijk worden voor de daarin aanwezige fauna. Zo is een gehalte van 5 mg/l NH₄⁺-N bij een pH=6 onschadelijk voor vis, maar stijgt de pH naar 10, door b.v. bekalking van water of inspoeling van kalk, dan zullen vrij snel alle vissen sterven.

Aanwijzingen

Onbelast oppervlaktewater zou gedurende het gehele jaar niet meer dan 0,1 mg/l NH₄⁺-N mogen bevatten. Oppervlaktewater mag volgens de EEG niet meer dan 0,8 mg/l NH₄⁺-N bevatten. De EEG drinkwaterrichtlijn is 0,5 mg/l NH₃.

Verhoogde waarden duiden tegenwoordig meestal op uitspoeling van meststoffen, hetgeen vaak gepaard gaat met hogere chloride en sulfaat gehalten.

Meetbare hoeveelheden ammonium duiden op afwezigheid van zuurstof en nitraat; bij aanwezigheid van zuurstof worden waarden <0,039 mg/l NH₄⁺-N gemeten.

Enkele hogere waarden in grondwater in het Aaltense Goor bedroegen 6-9 mg/l NH₄⁺-N en in de Bennekomse Meent 10-12 mg/l NH₄⁺-N.

Vegetatie

Er zijn geen relaties bekend tussen het ammonium gehalte en vegetatie. Uiteraard duidt een hoog gehalte wel op bemestinginvloed.

Vanuit het onderzoek van De Lyon & Roelofs (1986) kunnen wel waterplanten worden genoemd met een tolerantie voor hoge of lage ammonium/ammoniak concentraties in het water. Bij lage concentraties (< 0,005 mg/l NH₄⁺-N) worden genoemd: Bronmos, Spits fonteinkruid, Stijve waterranonkel e.a.; bij hoge concentraties (>0,02 mg/l) soorten als: Fijn hoornblad, Zilte waterranonkel, Krui-

Ammonium

Afbraak organisch materiaal.

Verbruik zuurstof.

Ammoniak is giftig.

Uitspoeling meststoffen.

Ammonium=NH₄⁺ (opgelost).

Ammoniak=NH₃ (gas).



pende moerasweegbree, Grote kroosvaren e.a. (o.a. gemeenschappen uit het Verbond van Gesteelde zannichellia; deze gemeenschappen hebben een goede tolerantie voor ammoniak; Schaminée et al., 1995)

NO₃⁻ Nitraat (NO₃⁻)

Algemeen

Nitraat ontstaat door de oxidatie van ammonium (via nitriet). Nitraat wordt o.a. aangevoerd door (gier)bemesting. In drinkwater mag maximaal 11,3 mg/l NO₃-N (=50 mg/l NO₃) aanwezig zijn.

Aanwijzingen

In oppervlaktewater worden meestal waarden gevonden tussen 0,1 en 2 mg/l NO₃-N en in vervuilde wateren tussen 11,3 en 34 mg/l. In grondwater komt nitraat meestal terecht door mestuitspoeling. Als er een verhoogd nitraat gehalte aanwezig is bij afwezigheid van nitriet en ammonium, kan ervan worden uitgegaan dat wel verontreiniging aanwezig is geweest, maar dat de zelfreinigende werking van het water voldoende was. Hiervoor is wel een flinke hoeveelheid zuurstof nodig, dat dan aan het systeem onttrokken wordt.

In grondwater komen meestal lage concentraties nitraat voor, maar hoge zijn ook geen uitzondering (een hogere nitraatwaarde in grondwater in het Aaltense Goor bedroeg 40 mg/l NO₃-N (=177 mg/l NO₃). Grondwater dat veel nitraat bevat kan gedenitrificeerd worden door in de grond aanwezig pyriet (FeS₂).

Vegetatie

Hoge concentraties nitraat zullen, indien genoeg fosfaat aanwezig is, leiden tot explosieve groei van nitrofiële planten (Grote brandnetel, Gedoornid hoornblad, Klein kroos e.a.). Nitraat zal sterke verruiging van de vegetatie tot gevolg hebben. Nitrofiële zoomgemeenschappen kunnen ontstaan (*Galio-Urticetea*) en zich te sterk uitbreiden; op nattere standplaatsen ontstaan natte strooiselruigten (*Convolvulo-Filipenduletea*).

NO₂⁻ Nitriet (NO₂⁻)

Algemeen

Nitriet wordt gevormd als tussenproduct bij de oxidatie van ammonium naar nitraat. Het is veel giftiger dan nitraat. Hierdoor is nitriet een vervuilingindicator, die een nog niet afgesloten nitrificatie van organische stof aantoonst. Enkele dagen lang een nitriet gehalte van 0,061 mg/l NO₂-N blijkt al giftig te zijn voor forelachtigen.

Aanwijzingen

Zeer hoge nitriet concentraties kunnen ontstaan door inlaat van gebufferd water in gebieden met een ongestoorde veenlaag. Hoge

Pyriet maakt nitraat onschadelijk

In het reducerende bereik (constant grondwater bevattende grondlaag=aquifer) is meestal wel pyriet (FeS₂) aanwezig (lage waarden zijn 200 g/ton, in vloeivelden is door ons gemiddeld 3000 g/ton gemeten). Uitgaande van enkele eenvoudig te verkrijgen gegevens kan berekend worden hoeveel jaar lang deze grondlaag het grondwater kan ontdoen van nitraat (denitrificatie).



Nitraat

Eutrofiëring.

Denitrificatie door pyriet.

Galio-Urticetea; Klasse der Nitrofiële Zomen.

Convolvulo-Filipenduletea; Klasse der Natte Strooiselruigten.

Nitriet

Giftig.

**Trofie indeling van fosfaatgehalte in oppervlaktewater***(mg/l PO₄³⁻P)**Schoon <0,016**Licht belast 0,016 – 0,03**Belast 0,03 – 0,16**Sterk belast 0,16 – 0,32**Zeer sterk belast >0,32***Fosfaat***Fosfaatbinding met ijzer en calcium uit kwelwater.**Verrijking met fosfaat door afbraak van organische stof.*

piekbelasting met nitriet is van tijdelijke duur, omdat nitriet ontstaat uit ammonium en weer wordt omgezet in nitraat. Hierdoor kunnen gevolgen (b.v. vissterfte) van hoge nitriet gehalten, later niet meer (aantoonbaar) toegeschreven worden aan nitriet.

Extreme waarden van 0,8 mg/l NO₂-N (=2,6 mg/l NO₂=56 µmol/l NO₂) zijn gemeten in peilbuizen in de Heidenhoekse Vloed en zijn waarschijnlijk een gevolg van afbraak van organische stof door aanvoer van sterk gebufferd water (op die plaats was de alkaliniteit 7,4 mmol/l) of als tussenproduct bij de pyrietoxidatie met nitraat.

Vegetatie

Relaties met de vegetatie zijn niet bekend.

Fosfaat (PO₄³⁻)**Algemeen**

Fosfaat vormt verbindingen met ijzer, calcium en aluminium, b.v. als ijzerrijk kwelwater aan de oppervlakte komt of terecht komt in zuurstofhoudend oppervlaktewater. In de bodem kunnen zich deze verbindingen ook afzetten, hetgeen gemeten kan worden door zuur-extractie van de grond. Door ijzerrijke kwel kan fosfaatrijk oppervlaktewater dus fosfaatarm worden.

Verrijking met fosfaat kan veroorzaakt worden door afbraak van organische stof (b.v. van veen ten gevolge van aanvoer van gebufferd water) en aanvoer van meststoffen uit agrarische gebieden.

Aanwijzingen

Algenbloei in oppervlaktewater kan een aanwijzing zijn voor een hoog gehalte fosfaat. De fosfaatrijkdom van oppervlaktewater kan geplaatst worden in een trofie klassificatiesysteem (zie kader).

In schoon grondwater kunnen we een fosfaatgehalte verwachten van: 0,03 – 0,16 mg/l P.

In oppervlaktewater: 0,16 mg/l P.

In vervuild water: 0,06 – 0,48 mg/l P.

Drinkwater mag ca. 0,0065 mg/l P bevatten.

De waarde van ca. 1 mg/l P in Formerhoek kan als extreme waarde gezien worden en is vermoedelijk het gevolg van mineralisatie van organische stof.

Vegetatie

Verhoogde fosfaat gehalten hebben dezelfde gevolgen voor de vegetatie als hoge nitraat gehalten.

In voedselarme wateren (laag fosfaatgehalte) komen we vegetaties tegen uit het Oeverkruidverbond, maar ook uit het Verbond der kleine Fonteinkruiden (met o.a. Klein fonteinkruid).

Onder zeer voedselarme (zeer laag fosfaatgehalte en tegelijk zure) omstandigheden groeien vegetaties uit het Dophei- en Hoogveenverbond.



N-P-totaal

Algemeen

Met deze bepaling wordt de totale hoeveelheid stikstof (N) en fosfor (P) gemeten die in het water is opgelost. Deze bestaat dan in het geval van fosfor uit orthofosfaat (PO_4^{3-}) en in water opgeloste organische stof (humus, afbraakproducten van planten en dieren). In het geval van stikstof bestaat totaal-N uit nitraat, nitriet, ammonium en stikstof in organische stof (humus, afbraakproducten van planten en dieren).

Aanwijzingen

De hoogte van deze parameters geven (samen met de meting van fosfaat, nitraat, nitriet en ammonium) aan hoeveel stikstof/fosfor in het water aanwezig is en hoeveel stikstof/fosfor nog voor planten beschikbaar kan komen.

In de bodem kunnen grote hoeveelheden stikstof en fosfor opgeslagen liggen in de humus/organische stof. Door mineralisatie komt hieruit N en P vrij. Omploegen van landbouwgrond heeft tot gevolg dat de organische stof in de grond door luchtzuurstof wordt afgebroken, waardoor grote hoeveelheden N en P gemobiliseerd worden. Dit N en P kan uitspoelen naar beken en sloten.

Vegetatie

Vegetatie wordt sterk beïnvloed door de hoeveelheid beschikbaar N en P. Hoe meer van deze stoffen beschikbaar is, hoe voedselrijker het systeem, hetgeen tot verzuuring kan leiden. Wanneer één van deze twee stoffen, b.v. P, in dermate kleine hoeveelheden aanwezig is dat ze groeibeperkend werken, kan het zijn dat de aanwezigheid van veel N geen negatieve invloed meer heeft op de vegetatie. De groeibeperkende factor van een vegetatie kan worden bepaald door de meting van N- en P-totaal van het vegetatiemateriaal. Als de ratio N/P van de begroeiing groter is dan 16, is P groeibeperkend.

DOC

Algemeen

De afkorting DOC verwijst naar de Engelse versie van de term 'opgelost organisch koolstof' (Dissolved Organic Carbon).

In het water opgelost koolstof is te verdelen in een anorganisch (koolzuur, bicarbonaat en carbonaat) en organisch deel (humuszuren, afbraakproducten van planten en dieren, maar ook stoffen als ligninesulfonzuren die afkomstig zijn van de papierindustrie). Om de humuszuren te onderscheiden kan de absorptie in UV-licht gemeten worden; hoge waarden duiden er, in niet vervuilde wateren, op dat een groot deel van de DOC veroorzaakt wordt door humuszuren van natuurlijke oorsprong.

N- en P-totaal
N-totaal bestaat uit:
 nitraat.
 nitriet.
 ammonium.
organische stof gebonden N.

P-totaal bestaat uit:
 fosfaat.
organische stof gebonden P.

Opgeloste organische stof is:
 humuszuren.
afbraakproducten planten en
dieren.
fecaliën.

Groeibeperkende factor:
N/P ratio van gewas.



DOC

*Belasting met organische stof.
Donker gekleurde wateren.
Humuszuren.*

Aanwijzingen

De DOC geldt als een betrouwbare parameter voor de mate van vervuiling van water (belasting met organische stoffen).

Bij de Bodensee heeft de Rijn nog slechts een belasting van 1,4 mg/l DOC, bij Keulen is dit al 4,3 mg/l (afvalstoffen toevoer).

In drinkwater kunnen we verwachten: 0,5-2 mg/l, in stromende wateren: 2-10 mg/l en in industrieloosingswater: 10-10.000 mg/l.

Als onbelast gelden waarden tussen 0-1 mg/l; als sterk belast waarden boven 100 mg/l DOC.

Donker gekleurde wateren duiden op een hoge concentratie humuszuren; hierdoor meten we een hoge DOC die niet het gevolg is van vervuiling, maar van natuurlijke oorsprong.

Vegetatie

Opgelost organisch koolstof (DOC) veroorzaakt een hogere voedselrijkdom (trofiegraad) van het water en beïnvloed daardoor de vegetatie negatief.

Sulfaat (SO₄²⁻)

Algemeen

Het sulfaat gehalte bedraagt meestal enkele tientallen milligrammen per liter. Bij de aanwezigheid van gips kan het sulfaat gehalte echter oplopen tot maximaal 1340 mg/l.

Oxidatie van sulfiden en H₂S in de grond kan ook verhoogde sulfaatconcentraties in het grondwater tot gevolg hebben. Onder anaërobe (zuurstofloze) omstandigheden kan sulfaat door bacteriën gereduceerd worden tot sulfide en H₂S.

Ook door verontreinigingen t.g.v. gierlozingen kan sulfaat in hogere concentraties in het grondwater aanwezig zijn.

Aanwijzingen

Als maat voor de denitrificatie (met pyriet) kan de sulfaatconcentratie gebruikt worden. Hiertoe wordt van de gemeten sulfaatconcentratie een blindwaarde van 50 mg/l afgetrokken. Reducerende omstandigheden in het grondwater zouden uiteindelijk moeten leiden tot het ontbreken van sulfaat, H₂S en Fe²⁺; zolang deze parameters wel meetbaar zijn is de denitrificatie niet afgesloten of er is geen organisch koolstof (meer) aanwezig.

Vegetatie

Vegetatie met soorten als Klein, Loos en Groot blaasjeskruid, Bronmos, Plat en Klein fonteinkruid wijzen op lage sulfaatconcentraties (<50 mg/l; Fonteinkruidklasse, *Potametea*).

Water met het *Potametum obtusifolii* (Gemeenschap van Stomp fonteinkruid, met soorten als Drijvend en Stomp fonteinkruid, Brede en Smalle waterpest en kroossoorten) behoort daarentegen juist tot het sulfaattype; veroorzaakt door brakwaterinvloed.

Sulfaat

*Product van denitrificatie.
Gipsafzettingen.
Gierlozingen.*



Cl Chloride (Cl⁻)

Algemeen

Het chloridegehalte van het grondwater is o.a. afhankelijk van de geologische geschiedenis van de bodem (mariene herkomst) en van afvalwaterlozingen. Normaal bevat oppervlaktewater en grondwater niet meer dan ca. 100 mg/l Cl. Chloride is sterk gerelateerd aan het E.G.V. en de (molaire) verhouding tussen chloride en natrium+kalium is 1.

Chloride kan niet door zelfreiniging uit het water verdwijnen.

Aanwijzingen

Kemmers & Van Wirdum (1988) geven een vervuilingindeling op basis van de chlorideconcentratie (niet toepasbaar voor situaties met brakwaterinvloed).

Vegetatie

Hoge chlorideconcentraties zijn waar te nemen bij vegetaties uit het *Zannichellion pedicellatae* (Verbond van gesteelde zannichellia) en *Trifolio fragifera-Agrostietum stoloniferae* (Associatie van Aardbeiklaver en Fioringras) in Arnhemheen (zie ook onder E.G.V.).

Indeling van het chloridegehalte

| | |
|----------------|------------|
| schoon | <18 mg/l |
| matig vervuild | 18-35 mg/l |
| vervuild | >35 mg/l |

Chloride

Sterke relatie met E.G.V.

$$\frac{\text{chloride}}{\text{natrium+kalium}} = 1$$

TSS Totaal gesuspendeerde vaste stof (TSS)

Algemeen

De troebelheid van het watermonster geeft een indicatie van de hoeveelheid gesuspendeerde vaste stof. Gesuspendeerde vaste stof bezinkt zeer moeilijk of helemaal niet, waardoor dit van invloed is op de helderheid of het doorzicht van het water en dus ook op de hoeveelheid licht dat onderwaterplanten bereikt. Gesuspendeerde vaste stof bestaat uit zeer fijne deeltjes organische stof of klei. In oppervlaktewater wordt troebelheid ook uitgedrukt als doorzicht.

Aanwijzingen

Troebelheid ontstaat door opwerveling van bodemmateriaal door menselijke activiteiten (schepen, sterke golfslag), versterkte kwel en inspoeling na sterke regenval (troebelheid met bodemdeeltjes), neerslag van in kwelwater opgelost ijzer door oxidatie.

Vegetatie

Soorten uit brakke vegetatie (Fijn hoornblad, Gesteelde zannichellia, Zilte watterranonkel, Darmwier) kunnen voorkomen bij hoge troebelheid (>16 mg/l). Dit betreffen dan vegetaties uit het Verbond van Gesteelde zannichellia (*Zannichellion pedicellatae*; *Potamogeton*). Voor de meeste waterplantengemeenschappen is troebelheid een negatieve factor, omdat de plantengroei van invallend licht afhankelijk is.



Vervuiling

Met de resultaten van chemische wateranalyses kunnen met behulp van indices aanwijzingen gegeven worden over de mate van vervuiling van het water. De ingangspunten kunnen daarbij worden afgestemd op de beschikbare parameters en het doel van de waardering. Door verschillende auteurs zijn indices opgesteld. In tabel 1 is aangegeven voor welke omstandigheden een bepaalde index geschikt (☑) is.

Tabel 1.
Toepasbaarheid van vervuilingindices (geschikt: ☑)

| Index | Over-Bemesting | Brakwater-gebied | Gips afzetting | Opp. water | Grondwater |
|-------------------------|----------------|------------------|----------------|------------|------------|
| Stuyfzand | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ |
| Chloride | ☑ | | ☑ | ☑ | ☑ |
| Calcium/magnesium ratio | ☑ | | | ☑ | ☑ |
| Kalium >5 | ☑ | | ☑ | ☑ | ☑ |
| Natrium >20 | ☑ | | ☑ | ☑ | ☑ |
| Nitraat >50 | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ |
| Fosfaat | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ |
| Sulfaat/calcium ratio | ☑ | | | ☑ | ☑ |

Vervuilingindex volgens Stuyfzand

| | |
|------------------|---------|
| zeer zuiver | <0,1 |
| aanvaardbaar | 0,1-0,3 |
| licht vervuild | 0,3-1,0 |
| vervuild | 1,0-2,0 |
| zwaar vervuild | 2,0-4,5 |
| extreem vervuild | 4,5-9,0 |
| dood | >9,0 |

Chloride vervuilingindex

| | |
|----------------|----------------------------|
| Schoon | 0-18 mg/l Cl ⁻ |
| Matig vervuild | 18-35 mg/l Cl ⁻ |
| Vervuild | >35 mg/l Cl ⁻ |

De vervuilingindex volgens Stuyfzand

Stuyfzand ontwikkelde in 1988 een nieuwe verontreinigingindex (voor grondwater) op basis van verschillende parameters (gecorrigeerd voor zeezout). Het deel dat is gebaseerd op sulfaat, nitraat en chloride, is een maat voor de effecten van overbemesting.

Chloride vervuilingindex

Het chloride-ion staat bekend als conservatief en is goed te gebruiken voor de mate van vervuiling van het grondwater. Deze chloride-vervuilingindex volgens Kemmers & van Wirdum (1988), kan niet gebruikt worden als er sprake is van brak- of zoutwaterinvloed.

De ratio Ca/Mg

Als de (molair) verhouding tussen het gehalte calcium en magnesium kleiner is dan vier, wordt verondersteld dat er invloed van gierbemesting is (Hütter, 1994).

Hoog kaliumgehalte

Een verhoogd kalium gehalte ($[K] > 5$ mg/l) wijst op gierbemesting (Hütter, 1994).

Hoog natriumgehalte

Als het gehalte natrium hoger is dan 50 mg/l, wordt verondersteld dat overbemesting met gier plaatsvindt (Hütter, 1994). Deze indicatie is niet toepasbaar als er sprake is van zoutwaterinvloed.



Hoog nitraatgehalte

Het nitraatgehalte van grond- en oppervlaktewater is meestal erg laag ($< 0,05$ mg/l). De drinkwaternorm is 50 mg/l nitraat (d.i. 11,2 mg/l nitraat-N).

Hoog ammoniumgehalte

Oppervlaktewater zou gedurende het gehele jaar minder dan 0,1 mg/l ammonium-N moeten bevatten om problemen met waterfauna te voorkomen.

Fosfaat

Fosfaat is volgens de literatuur in de meeste oppervlaktewateren een limiterende voedingstof, en komt dan nog maar in concentraties kleiner dan 0,033 mg/l fosfaat-P ($0,1$ mg/l PO_4^{3-}) voor. In meren kan een concentratie van 0,01 mg/l fosfaat-P al kritisch worden. Komt fosfaat in lage concentraties voor, dan kan het door de voortdurende aanvoer vanuit de onderwaterbodem toch voor problemen zorgen. Het is daarom belangrijk om te weten wat de beschikbaarheid is van fosfaat in de bodem.

Indeling trofieklassen met fosfaatgehalte

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| <i>Ultra-oligotroof</i> | 0-0,008 mg/l fosfaat-P |
| <i>Oligotroof-mesotroof</i> | 0,008-0,018 mg/l fosfaat-P |
| <i>Mesotroof-eutroof</i> | 0,018-0,084 mg/l fosfaat-P |
| <i>Eutroof-hypertroof</i> | $>0,084$ mg/l fosfaat-P |

Sulfaat/calcium ratio

In de meeste oppervlaktewateren komt sulfaat met concentraties tussen 10 en 30 mg/l voor. Verhoogde concentraties kunnen duiden op oxidatie van aanwezig sulfide of menselijke invloed (gier). Overtreft het sulfaatgehalte dat van calcium (als mmol⁺ sulfaat/calcium >1), dan is ook dit een aanwijzing voor invloed door gierbemesting (Hütter, 1994).

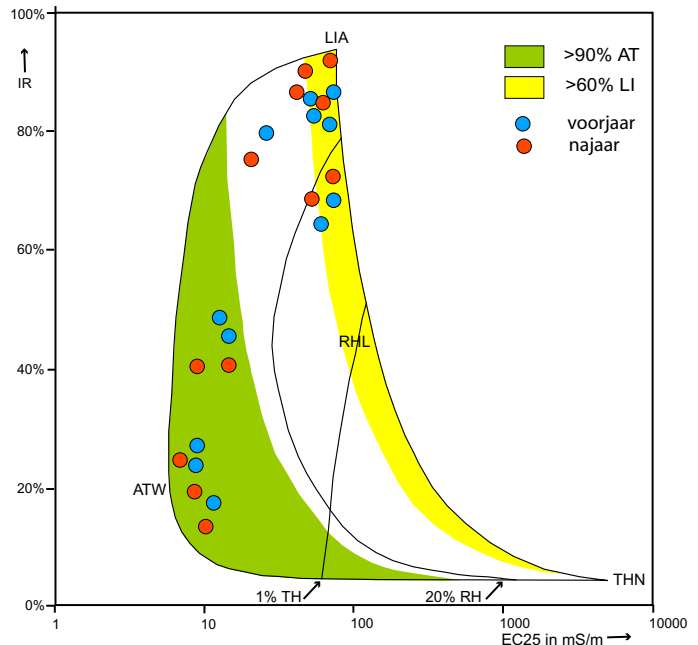


Grafische weergave

$$\text{IonRatio} = \frac{\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+}}{(\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+} + \text{Cl})}$$

concentratie in mmol^{+/l}

*Fig. 3.
Een willekeurig
voorbeeld van een
E.G.V.-IR diagram.
De horizontale
schaal is logarit-
misch.*



*Welke parameters zijn voor
grafische weergave nodig (☞)
en wat levert het op (✓)?*

E.G.V.-IR diagram:

- ☞ Calcium, chloride en E.G.V.
- ✓ Herkomst van het water.
- ✓ aandeel van een watertype.
- ✓ vervuilingindicatie.

Maucha diagram:

- ☞ Calcium, magnesium, kalium, natrium, pH, bicarbonaat, chloride en sulfaat.
- ✓ Hydrochemische classificatie.
- ✓ vervuiling per parameter.
- ✓ totale ionensom.
- ✓ gemakkelijke herkenning van watertype.

In het diagram is een LAT-frame geplaatst met drie referenties (Van Wirdum, 1991):

LIA: chemische karakter van een type grondwater (LI: lithosfeer) met een E.G.V. van 65,1 mS/m en een hoge IR (94,9).

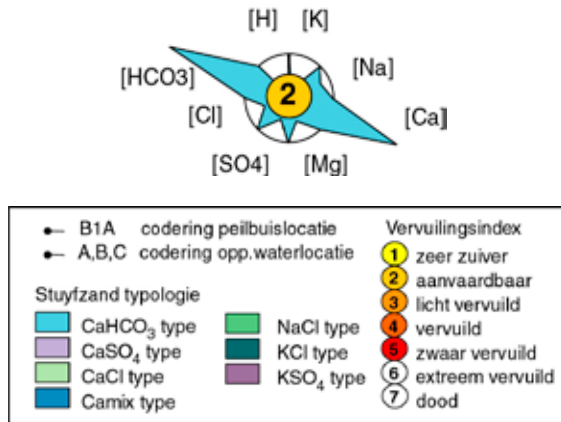
ATW: chemische karakter van regenwater (AT: atmosfeer) met een laag E.G.V. (5,01 mS/m) en een lage IR (20).

THN: chemische karakter van zeewater (TH: thalassa = zee; E.G.V.=5200 en IR=3,7).

Binnen dit LAT-frame wordt ook het gemiddelde chemische karakter van Rijnwater weergegeven (RHL, dat voor vervuild water staat). De zogenaamde menglijnen in het diagram vergemakkelijken het aflezen van het karakter van de verschillende monsters en de mate van overeenkomst met de referentiepunten.

De monsters uit de Grift in bovenstaande figuur zijn dus vervuild (alsof ze gemengd zijn met meer dan 20% Rijnwater-RHL), de

De betekenis van chemische en fysische wateranalyses



monsters B4 (vj+nj) zijn schoon en lijken erg veel op standaard grondwater en de monsters 1, 2, 3 en 4 bestaan voor een belangrijk deel (meer dan 90%) uit regenwater.

Maucha diagram

In een Maucha diagram worden de concentraties van Ca, Mg, K, Na, SO₄, Cl, HCO₃ en H van een monster uitgezet, waardoor een stervormige figuur ontstaat. Op basis van de hydrochemische classificatie van watertypen door Stuyfzand, zijn de verschillende subtypen voorzien van een kleurcodering en een graad uit de vervuilingindex (Stuyfzand, 1986).

In fig. 4, een voorbeeld van een Maucha diagram, is te zien dat we te maken hebben met grondwater van het calciumbicarbonaattypen, met licht verhoogde chloride-, sulfaat- en natriumgehalten (vervuiling; vergelijk met het typische Maucha diagram voor grondwater). De vervuilingindex valt in klasse 2 met aanvaardbare vervuiling.

De typische maucha diagrammen die horen bij de punten LIA, ATW, THN en RHL in fig. 3 zijn te zien in fig. 5.

Met een Maucha diagram kunnen we dus op eenvoudige wijze zien met wat voor watertype we te maken hebben, welke ionen overheersen en of er sprake is van vervuiling. De verschillen tussen meerdere wateren is door de visualisering snel duidelijk. In het Maucha diagram staan alle 8 belangrijkste ionen weergegeven.

Fig. 4.
Voorbeeld van een Maucha diagram met legenda.
Het water is van het 'CaHCO₃'-type.
De vervuiling van het monster is 'aanvaardbaar'.

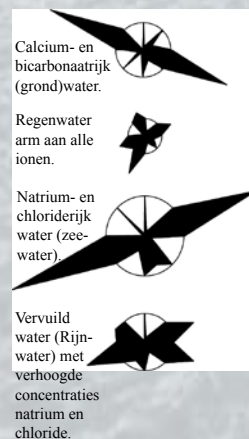


Fig. 5.
Typische Maucha diagrammen, die horen bij de referentiepunten in het E.G.V.-IR diagram (LIA, ATW, THN en RHL).



Tabel 2.

Tabel met analyseresultaten (meestal gemiddelden van een aantal jaren) van typen wateren in verschillende Staatsbosbeheer reservaten.

| Parameter | eenheid | oppervlakte water | | | | grondwater | | opp. water | | grondwater | |
|-------------------|---------|-------------------|------------------------|--------------|-----------|------------|-------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | zuur | | zwak zuur | neutraal | zuur | | neutraal | | | |
| | | Hatertse Vennen | Formerhoeken Zwolsebos | Hallse heide | Oude Waal | Ruurlo | Slangenburg | Heidenhoekse vloed | Boezem van Brakel | Heidenhoekse vloed | Boezem van Brakel |
| E.G.V. | mS/m | 16 | 11 | 5 | 69 | 46 | 54 | 10 | 72 | 61 | 106 |
| pH | | 3,8 | 4,4 | 5,5 | 7,2 | 4,0 | 4,1 | 6,8 | 7,0 | 6,7 | 6,7 |
| Bicarbonaat | mmol/ | <0,05 | 0,01 | 0,1 | 7,1 | <0,05 | <0,05 | 0,5 | 8,4 | 4,1 | 13,4 |
| Koolzuur | mmol/ | 2,1 | 0,5 | 0,25 | - | - | - | - | - | - | - |
| Calcium | mg/l | 5 | 4 | 2 | 102 | 23 | 83 | 13 | 116 | 15 | 176 |
| Magnesium | mg/l | 2 | 1 | 1 | 14 | 7 | 5 | 2 | 15 | 10 | 23 |
| Kalium | mg/l | 1 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 12 | 2 |
| Natrium | mg/l | 7 | 7 | 3 | 25 | 23 | 18 | 4 | 22 | 26 | 34 |
| IJzer | mg/l | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 6 | 0,16 | 0,14 | 0,2 | 9 | 0,5 | 18 |
| Aluminium | mg/l | 2,2 | 0,7 | - | - | 32 | 31 | - | - | - | - |
| Ammonium-N | mg/l | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,7 |
| Nitraat-N | mg/l | 0,04 | 0,48 | 0,03 | 0,03 | 22 | 14 | 0,06 | 0,03 | 2,12 | 0,04 |
| Nitriet-N | mg/l | 0,005 | 0,020 | 0,002 | <0,0001 | <0,0001 | 0,005 | <0,0001 | <0,0001 | 0,040 | 0,010 |
| Fosfaat-P | mg/l | 0,03 | 0,29 | 0,01 | 0,07 | 0,03 | 0,036 | <0,01 | 0,04 | 0,07 | 0,05 |
| P-totaal | mg/l | 0,12 | 0,30 | 0,05 | 0,13 | - | - | 0,10 | 0,06 | - | - |
| N-totaal | mg/l | 1,00 | 1,60 | 1,00 | 0,70 | - | - | 0,50 | 0,80 | - | - |
| Sulfaat | mg/l | 22 | 12 | 2 | 5 | 78 | 192 | 7 | 0,4 | 100 | 0,2 |
| Chloride | mg/l | 19 | 18 | 8 | 45 | 47 | 43 | 14 | 30 | 34 | 33 |
| TSS | mg/l | 9 | 25 | 21 | 38 | - | - | 37 | 52 | - | 108 |
| nummer in diagram | | 8 | 1 | 6 | 7 | 9 | 10 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Tabel 3.

Beoordeling van de waarden uit tabel 2 met kwaliteitindices.

| Parameter | oppervlakte water | | | | grondwater | | opp. water | | grondwater | |
|--------------------|-------------------|------------------------|--------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | zuur | | zwak zuur | neutraal | zuur | | neutraal | | | |
| | Hatertse Vennen | Formerhoeken Zwolsebos | Hallse heide | Oude Waal | Ruurlo | Slangenburg | Heidenhoekse vloed | Boezem van Brakel | Heidenhoekse vloed | Boezem van Brakel |
| Stuifzand | 0,138 | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 2,07 | 2,3 | 0,04 | 0,02 | 0,82 | 0,03 |
| Stuifzand | aanvaardbaar | aanvaardbaar | zeer zuiver | zeer zuiver | zwaar vervuild | zwaar vervuild | zeer zuiver | zeer zuiver | licht vervuild | zeer zuiver |
| Chloride | matig vervuild | schoon | schoon | vervuild | vervuild | vervuild | schoon | matig vervuild | matig vervuild | matig vervuild |
| Ca/Mg<4 | 2 | 2 | 1 | - | 2 | - | - | - | 1 | - |
| K>5 | - | - | - | - | 5 | - | - | - | 12 | - |
| Na>50 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Nitraat >50 | - | - | - | - | 98 | 63 | - | - | - | - |
| Ammonium-N >0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | - | - | - | 0,4 | 0,2 | 0,7 |
| Fosfaat-P (trofie) | meso-eu | eu-hyper | meso-eu | oligo-meso | meso-eu | meso-eu | ultra-oligo | meso-eu | meso-eu | meso-eu |
| SO4/Ca>1 | 4 | 3 | - | - | 3 | 2 | - | - | 6 | - |
| nummer in diagram | 8 | 1 | 6 | 7 | 9 | 10 | 2 | 3 | 4 | 5 |



Richtwaarden en voorbeelden

In tabel 2 zijn uit verschillende Staatsbosbeheerreservaten analysesresultaten opgesomd, als voorbeeld van enkele typen wateren. Bij de bespreking van de parameters vanaf pag. 2 kunnen de waarden in deze tabel in relevante gevallen als richtwaarden gebruikt worden. In fig. 8 t/m 15 zijn Maucha diagrammen geplaatst, om de herkenning van watertypen met die manier van grafische weergave te illustreren. Tevens zijn de 'monsters' uit tabel 2 in een E.G.V.-IR diagram geplaatst (fig. 6).

In fig. 6 zijn vier groepen te herkennen:

- 1 Grondwater of grondwaterachtig oppervlaktewater (meer dan 60% grondwater).
Groep met nummers 3, 5, 7 en 10. Deze punten liggen zo dicht bij het referentiepunt voor grondwater (LIA) dat ze het predicaat grondwater krijgen. Soms is een klein aandeel regenwater te registreren (7 en 10), met ook een lichte verontreiniging omdat ze wat in de richting van het RHL referentiepunt liggen. De Maucha's die daarbij horen zijn te zien in fig. 10, 11 en 14.
- 2 Oppervlaktewater met een flink aandeel, meer dan 90%, regenwater (nummer 2; Heidenhoekse Vloed).
Het oppervlaktewater wordt gevoed door grondwater maar ook door regenwater. De daarbij horende Maucha diagrammen

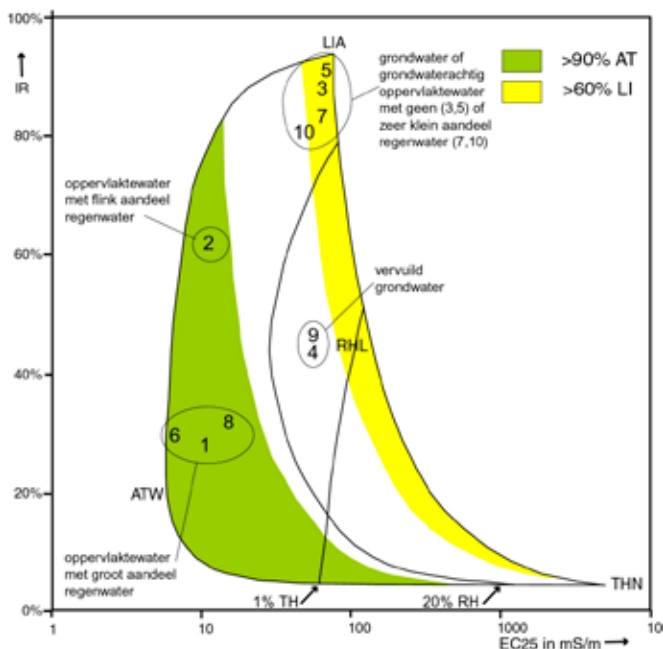


Fig. 6.
E.G.V.-IR diagram met de gemiddelden uit tabel 2. Bij de groepen is enige uitleg gegeven. De nummers verwijzen naar die in tabel 2 en 3. De groepering vindt plaats op basis van de E.G.V. en de IR (calcium en chloride).

Verklaring van de nummers in fig. 6.

| | | |
|----|--------------------|------------------|
| 1 | Formerhoek | oppervlaktewater |
| 2 | Heidenhoekse Vloed | oppervlaktewater |
| 3 | Boezem van Brakel | oppervlaktewater |
| 4 | Heidenhoekse Vloed | grondwater |
| 5 | Boezem van Brakel | grondwater |
| 6 | Halls Heide | oppervlaktewater |
| 7 | Oude Waal | oppervlaktewater |
| 8 | Hartertse Vennen | oppervlaktewater |
| 9 | Ruurlo | grondwater |
| 10 | Slangenburg | grondwater |

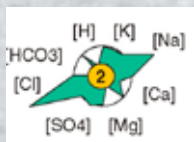


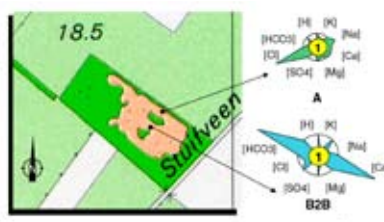
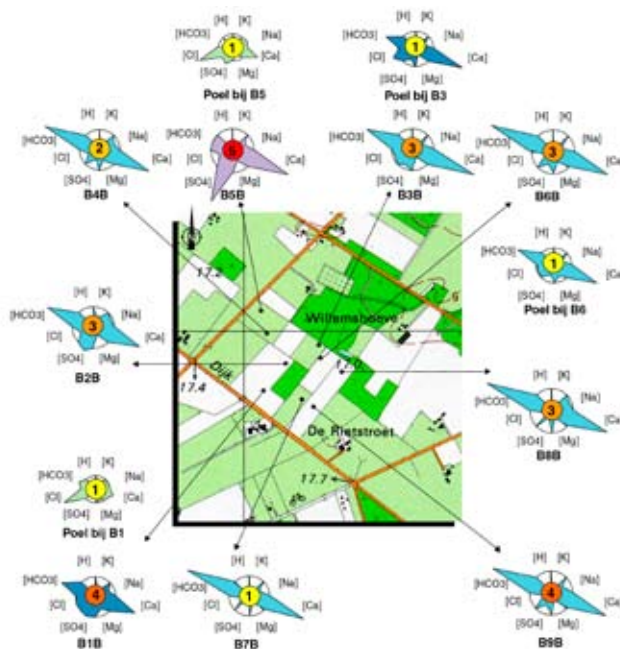
Fig. 7.
Maucha diagram van de Formerhoek. Zuur oppervlaktewater.

Fig. 8.
Maucha diagrammen van oppervlaktewater (poelen) en grondwater (B: diepe buizen) in het recent geplagde/afgegraven reservaat de Heidenhoekse Vloed. De poelen zijn als schoon, door regenwater beïnvloed, oppervlaktewater te bestempelen. Het grondwater is in de meeste gevallen van het calcium-bicarbonaattype, maar in meerdere gevallen vervuild door natrium (B8B), chloride (B1B) of sulfaat (B5B). Deze vervuiling is ook te zien aan de hogere vervuilingindex (cijfer 1-5) bij meerdere buizen.

Fig. 9.
Maucha diagrammen in de Hallse heide. A=poel met regenwater. Het verschil met grondwater in de buis B2B is duidelijk te zien.

staan in fig. 8.

- 3 Groep met vervuild grondwater (4 en 9).
Grondwater dat beïnvloed wordt door landbouwwater. Het chloride-aandeel in de IR is te hoog, waardoor de IR omstreeks 40% bedraagt i.p.v. 80-100%, zoals op basis van de E.G.V. van 50-60 mS/m verwacht zou mogen worden. Maucha's van deze nummers staan in fig. 8 en 13.
- 4 Oppervlaktewater met een groot aandeel regenwater.
Groep met nummers 1, 6 en 8. Deze nummers betreffen vennen met zuur regenwater. De betreffende Maucha's staan in fig. 7, 9 en 12



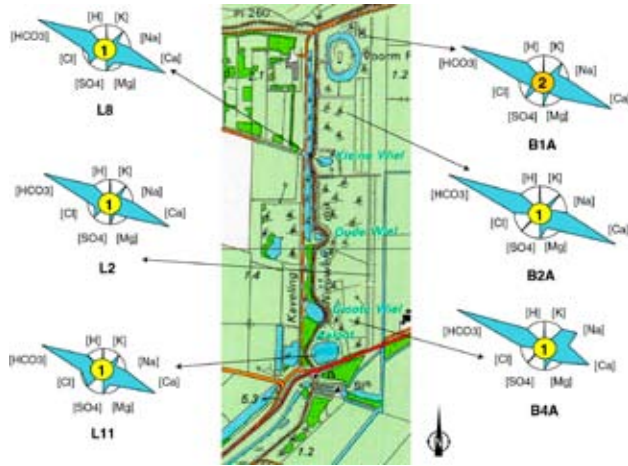


Fig. 10.
Oppervlaktewater (L) en
grondwater (B) in de Boezem
van Brakel (3 en 5).
Er is nauwelijks verschil te con-
stateren tussen beide typen wate-
ren.



Fig. 11.
Neutraal oppervlaktewater in
de Oude Waal (7). Het water
is licht vervuild met chloride
en natrium. De iets verhoogde
index (2) wijst ook op vervuiling
met nitraat.

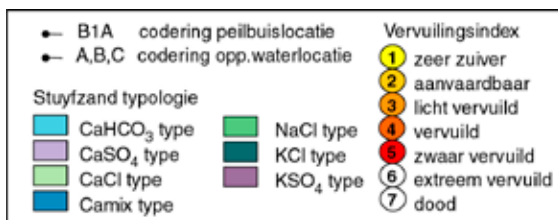


fig. 12.
Oppervlaktewater in twee Ha-
ttertse Vennen. L8 is van het cal-
ciumchloride type, L43 van het cal-
ciumbicarbonaat type. Beide
wateren zijn verontreinigd met
kalium en/of natrium, sulfaat
en chloride. Het betreft vervuild
regenwater (zie daarvoor de lig-
ging van punt 8 richting RHL in
fig. 6).

Legenda bij de Maucha figuren.
De gekleurde blokjes geven het
watertype aan.
De geel-rode cirkels geven de
vervuilingindex aan.



Fig. 13. Ruurlo (9). Grondwater van het calciumsulfaattype, dat zwaar vervuild is (index 5) door agrarische invloed (daarop wijzen de hoge waarden van kalium, natrium, chloride en sulfaat). Het water is zeer bicarbonaat arm (verzuurd).



Fig. 14. Slangenburg (10). Grondwater van het calciumsulfaattype, dat sterk vervuild is met sulfaat en in mindere mate ook met chloride en natrium. Het water is zeer bicarbonaat arm (verzuurd).

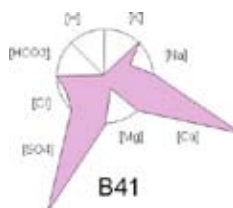


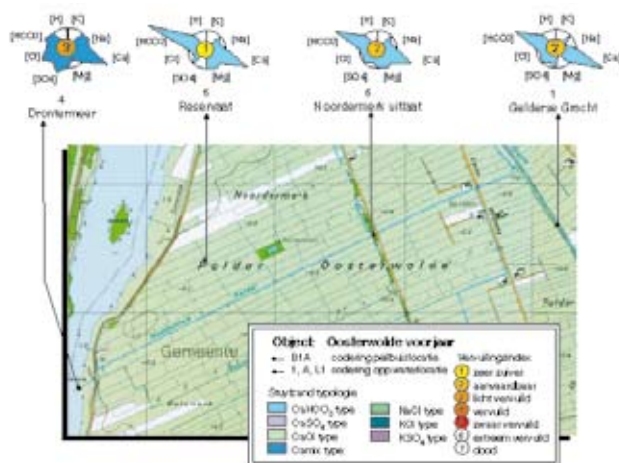
Fig. 15. Oosterwolde. Voorbeeld waarbij te zien is hoe de kwaliteit van het oppervlaktewater verbetert, door een lange weg dat het aflegt door het reservaat; met andere woorden het illustreert de reinigende werking van de vegetatie.

Bij het inlaatpunt (Geldersche Gracht, 1) is de vervuilingindex 2 (aanvaardbaar), terwijl die bij het Reservaat (5) een waarde van 1 (zeer zuiver) heeft bereikt.

Het nitraatgehalte neemt van punt 1 naar 5 met een factor 17 af.

Hoewel de verlaging van de vervuilingindex bij dit voorbeeld niet spectaculair is te noemen, laat het toch het nut van wateranalyses zien.

Het naastgelegen Drontermeer heeft een brak karakter, maar is wel licht vervuild.





Wat moeten we meten?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden, zullen we ons eerst moeten afvragen met welk doel we water willen analyseren. Hoewel hier geen lijst met kant en klare oplossingen kan worden gegeven, willen we aan de hand van enkele voorbeelden laten zien dat soms met enkele parameters kan worden volstaan.

Welk watertype staat aan het maaiveld?

Hiervoor zijn metingen nodig van calcium, chloride en E.G.V. en plaatsing van de monsters in een E.G.V.-IR diagram (fig. 6). Aan de hand van de ligging in het diagram kan worden aangegeven uit hoeveel procent grondwater (LIA) het water aan het maaiveld bestaat. We kunnen dan bepalen wat het aandeel regenwater en grondwater is, of het water vervuild is (aandeel RHL) en of het water voldoende calcium bevat voor het herstel van de basenbezetting van de grond.

Is dit water geschikt voor basenafhankelijke vegetatie?

Om na te gaan of er sprake is van baserijk water, b.v. in geval van kwel, zullen minimaal gemeten moeten worden: pH, EGV, calcium en bicarbonaat. Willen we het watertype eveneens bepalen, dan zullen ook magnesium, kalium, natrium, chloride en sulfaat gemeten moeten worden. Daarna kan het Stuyfzandtype worden bepaald en een Maucha diagram gemaakt worden.

Is dit water voedselrijk?

Direct voor planten beschikbare voedingstoffen zijn fosfaat en nitraat. Door meting van fosfaat en nitraat komen we dus de direct beschikbare hoeveelheid voedingstoffen te weten. Minder makkelijk beschikbare voedingstoffen zijn te meten door de analyse van ammonium, nitriet, totaal stikstof, totaal fosfor en opgelost organisch koolstof (DOC). Deze tweede serie parameters geeft de potentieel beschikbare hoeveelheid aan; ze komen pas na bepaalde processen beschikbaar voor planten.

Een probleem bij oppervlaktewater is de hoeveelheid voedingstoffen die aan de onderwaterbodem zijn gehecht. Om ook deze waarde te weten te komen is het nodig fosfaat aan de onderwaterbodem te meten.

Maatwerk

Hoewel in veel gevallen met een vaste serie metingen kan worden volstaan, is het (ook in verband met de kosten), beter om per geval te bekijken welke gerichte informatie we uit het meten van een bepaalde serie parameters willen halen. Te veel parameters verhogen de kosten, terwijl met te weinig parameters de gestelde vragen niet beantwoord kunnen worden. Advies per geval, voorafgaand aan de bemonstering en de analyse, kan veel geld besparen en de gestelde vragen nauwkeurig beantwoorden.



Literatuur

- Bloemendaal, F.H.J.L. & J.G.M. Roelofs (Red.), 1988.* Waterplanten en waterkwaliteit. Natuurhistorische Bibl. K.N.N.V., 45.
- Both, J.C. & G. van Wirdum, 1981.* Waterhuishouding, bodem en vegetatie van enkele Gelderse natuurgebieden. RIN-rapport 81/18, Leersum.
- Giesen & Geurts, 2000.* Bodemkartering Koolmansdijk met uitvoeringsadvies en kansrijkdom voor natuurherstel. Ulft.
- Giesen, Th.G. & M.M.A. Oonk, 2000.* Lievelderveld 1999, vegetatie, hydrologie en ontwikkeling. Ulft.
- Giesen & Geurts, 1998, 2000, 2001.* Bemonstering en chemische analyse van grond- en oppervlaktewater uit Staatsbosbeheereservaten in 1997, 1999 en 2000. Ulft.
- Hütter, L.A., 1994.* Wasser und Wasseruntersuchung. Salle-Sauerländer Verlag.
- Kemmers, R.H. & G. van Wirdum, 1988.* De betekenis van de chemische samenstelling van het grondwater voor het milieu van wilde planten. Biovisie magazine, 2 (1988): 2-6.
- Kölle, W., 2001.* Wasseranalysen - richtig beurteilt. Wiley-VCH, Weinheim.
- Lyon, M.J.H. de & J.G.M. Roelofs, 1986.* Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid. deel 1 en 2. Lab. voor Aquatische Oecologie, K.U.Nijmegen.
- Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff, 1995.* De vegetatie van Nederland. Deel 2. Oplis Press, Leiden.
- Stuyfzand, P.J., 1986.* Een nieuwe hydrochemisch classificatie van watertypen, met Nederlandse voorbeelden van toepassing. H2O, 19 (23).
- Stuyfzand, P.J., 1988.* De alkaliniteit, het redoxniveau en de verontreinigingsindex als parameters en keuzemogelijkheden in een hydrochemisch classificatie van watertypen. H2O (21) 22: 640-643.
- Wirdum, G. van, 1991.* Vegetation and hydrology of floating rich-fens. Dissertatie Amsterdam.

