RESEARCH CENTRE

BIOGEOCHEMICAL WATER-MANAGEMENT & APPLIED RESEARCH ON ECOSYSTEMS

Onderzoek naar sturende biogeochemische processen in de IJzeren Man (Vught) a.h.v. metingen aan water en onderwaterbodem



Opdrachtgever: Waterschap De Dommel en Gemeente Vught • Projectnummer: PR 17.113 • Rapportnummer: RP-17.097.17.64 • Auteurs: Esther Lucassen, Yvon Verstijnen • Datum: 8 -12-2017

Titel: Onderzoek naar sturende biogeochemische processen in de IJzeren Man (Vught) a.h.v. metingen aan water en onderwaterbodem

Auteurs: Esther Lucassen, Yvon Verstijnen

Opdrachtgever: Waterschap De Dommel & Gemeente Vught

Rapportnummer: RP-17.097.17.64

Contactgegevens:

Onderzoekcentrum B-WARE BV
Radboud Universiteit Nijmegen
Mercator III, Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

Contactpersoon:
Dr. Esther Lucassen
Tel: 06-18942981/024-2122205
E.lucassen@b-ware.eu
www.b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, 2017.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....5

2. Methoden.....9
    2.1 Monstername.....7
    2.2 Chemische analysen.....8

3. Resultaten.....9
    3.1 Monitoringsdata 1985-2015.....9
    3.2 Oppervlaktewater en grondwater (juli 2017) 10
    3.3 Bodemanalysen (juli 2017) 12
    3.4 Fytoplankton (juli 2017) 15

4. Discussie.....17
    4.1 pH toenamen in relatie tot atmosf. N en S-depositie..17
    4.2 Alkaliniteit genererende processen in het slib.....17
    4.3 Risico's van de sliblaag.....18
    4.4 Fytoplankton.....19

5. Conclusies en aanbevelingen.....21

6. Literatuur.....23

7. Bijlage (rapport fytoplankton door R. Bijkerk (2017)).....25

1 Inleiding

De IJzeren Man is een zwak-gebufferde zoetwaterplas, die ontstaan is na zandwinning eind 1800. De plas ligt in een bosachtig gebied en is sinds de jaren twintig van de vorige eeuw in gebruik als zwem- en recreatielocatie. Het systeem wordt gevoed door neerslag en door grondwater (ondiepe kwel). De plas is geïsoleerd van overige oppervlaktewateren. In de winter van 2002/2003 heeft éénmalig een aanvoer plaatsgevonden via een plasoverstroom van de Broekleij naar de IJzeren Man. Dit gebeurde bij een piekafvoer en heeft toentertijd niet voor problemen gezorgd (Voorn, 2003).
Zwak-gebufferde wateren liggen doorgaans op kalkarme en voedselarme zandgronden en worden gekenmerkt door een lage alkaliniteit (0,1-1 mEq/l) (Van der Molen et al., 2004). De waterlaag is vaak helder, zacht, voedselarm en zuur tot zwak zuur. Door het kalkarme karakter van de bodem en de voeding met lokaal regenwater wordt er weinig bicarbonaat aangevoerd en is de koolstofbron hoofdzakelijk CO_2. Tevens hebben stilstaande wateren een lage concentratie aan CO_2 in de waterlaag doordat diffusie van CO_2 vanuit de atmosfeer zeer traag gaat en er geen evenwicht is tussen de concentraties in de waterlaag en de atmosfeer (Loeb en Verdonschot, 2008). Waterplanten hebben anorganisch koolstof nodig om te groeien en kunnen koolstof opnemen in de vorm van bicarbonaat of CO_2. De groei van ondergedoken waterplanten in dergelijke systemen wordt dan ook vaak gelimiteerd door koolstof.
In zwak-gebufferde plassen wordt de vegetatie vaak gekenmerkt door zogenaamde isoëtiden, zoals *Littorella uniflora*. Isoetiden soorten zijn kleine, langzaam groeiende, groene waterplanten met dikke stengels of blad (Smolders et al., 2002). Ze vormen basale rozetten en hebben een relatieve hoge wortelbiomassa. De soort heeft speciale aanpassingen aan leven in een nutriëntarm en koolstoflimiterend milieu (Spierenburg et al., 2010). Zo hebben ze een hoge ROL (radiaal zuurstofverlies door de wortels) waardoor de afbraak van organische stof wordt gestimuleerd, waarbij kooldioxide wordt gevormd. In het sediment van plassen kunnen kooldioxideconcentraties 100 keer hoger zijn dan in de waterlaag (Lucassen et al., 2016). Isoetiden kunnen, in tegenstelling tot vele andere waterplanten, kooldioxide opnemen uit de bodem en daardoor kunnen ze voorkomen in wateren met een extreem lage concentratie aan anorganisch koolstof in de waterlaag. Als de kooldioxide beschikbaarheid significant toeneemt (> 100 µmol/l) kunnen sneller groeiende soorten gaan domineren die efficiënt kooldioxide kunnen opnemen uit de waterlaag (o.a. knolrus, teer vederkuid) waardoor isoetiden door lichtgebrek zullen afnemen (Spierenburg et al., 2009, 2010).
Isoetiden zijn ook aangepast aan stikstof- en fosforarme (voedselarme) condities, zoals deze vaak voorkomen in zwak-gebufferde plassen. Door de zuurstofrijke condities in de wortelzone stimuleren ze nitrificatie van ammonium naar nitraat. In het anaerobe sediment onder de wortelzone vindt denitrificatie plaats, waardoor een nettoverlies van stikstof optreedt in isoetiden vegetaties (Smolders et al., 2002). Veel macrofyten gebruiken juist ammonium als stikstofbron en kunnen sterk toenemen als de concentratie hiervan in het porievocht stijgt. Verder zorgt de zuurstofrijkdom in de wortelzone voor oxidatie van ijzer in het sediment, resulterend in het binden van ijzer aan fosfaat (hier worden moeilijk oplosbare Fe(III)fosfaten gevormd). Dit resulteert een afnemende P-beschikbaarheid. De isoetiden houden zo hun omgeving oligotroof, wat ze een voordeel geeft in de competitie in het water met andere (sneller groeiende) soorten. Deze functionele macrofyten kunnen daarom gezien worden als eco-engineers/biobouwers (Lucassen et al., 2016). Een mogelijke bedreiging voor isoetiden vegatie is de accumulatie van organisch materiaal en nutriëntenbelasting wat uiteindelijk kan resulteren in een hogere nutriëntenbeschikbaarheid in het water. Ten eerste is het bekend dat isoetiden met een verhoogde scheut:wortel biomassa (ten gevolge van een toenemende voedselbeschikbaarheid in de bodem) gevoeliger zijn voor 'uprooting' ten gevolge van windwerking. Dit is met name het geval op meer organische gedegradeerde bodems (Brouwer et al., 2008; Pulido et al., 2011; Spierenburg et al., 2013; Lucassen et al., 2016). Ook zijn er sneller groeiende planten die kunnen profiteren van een verhoogde kooldioxide beschikbaarheid in de bodem,

doordat ze ook in staat zijn dit via de wortels op te nemen zoals drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*) (Lucassen et al., 2009). Als er meer nutriënten beschikbaar komen in de waterlaag, kunnen snelgroeiende macrofyten gaan domineren, die juist beter nutriënten uit de waterlaag kunnen opnemen ten opzichte van isoetiden zoals knolrus (*Juncus bulbosus*), haaksterrekroos (*Callitriche hamulata*) en teer vederkruid (*Myriophyllum alterniflorum*) (Spierenburg et al., 2010, Lucassen et al., 2016). Eerder al kunnen epifyten gaan groeien op de macrofyten en zo een groot deel van het licht wegvangen. Door de trage groei zijn isoetiden waarschijnlijk meer gevoelig voor beschaduwing door epifyten (Smolders et al., 2002).
In de IJzeren Man komen momenteel isoetiden-soorten voor. Een groot deel van de waterbodem is bedekt met oeverkruid (*L. uniflora*). Ook komen, weliswaar in mindere mate, groot biesvaren (*Isoëtes lacustris*), waterlobelia (*Lobelia dortmanna*) en Drijvende waterweegbree (*Luronium natans*) voor. Ten behoeve van de zwemwaterkwaliteit worden verschillende waterkwaliteitsparameters maandelijks gemeten op deze locaties in het zwemseizoen (april-september). De beoordeling van het water als zwemwater valt al geruime tijd in de categorie 'uitstekend'. De afgelopen jaren worden er echter veranderingen waargenomen door o.a. Waterschap de Dommel, Gemeente Vught en gebruikers, zoals onder andere een toename aan bepaalde ('sla-achtige') waterplanten, toegenomen algengroei op waterplanten, veranderde waterkwaliteit (o.a. verhoogde zuurgraad) en het voorkomen van een slijmalg (*Gonyostonum semen*) (mededeling Waterschap de Dommel). Waterschap de Dommel en de Gemeente Vught hebben Onderzoekcentrum B-WARE gevraagd om een onderzoek uit te voeren waarbij inzicht komt in de volgende vraagstellingen:

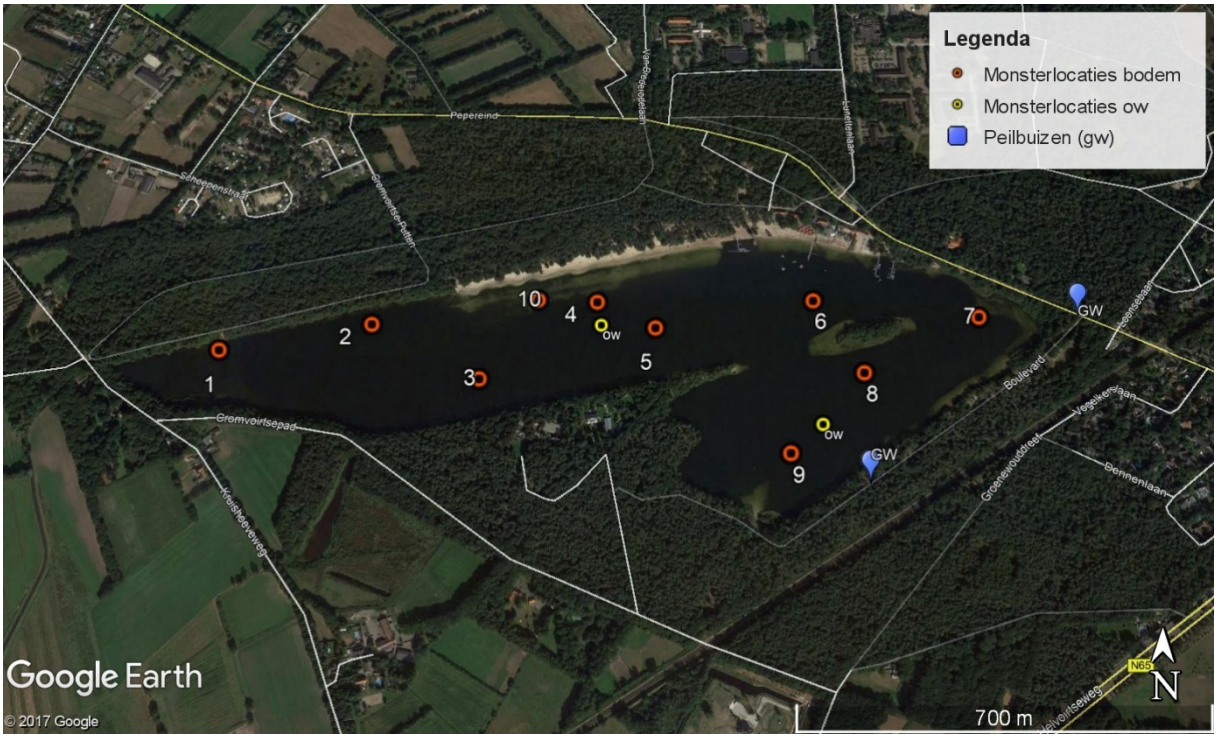
1. Wat is de oorzaak van de veranderingen in de waterkwaliteit (o.a hogere pH, sterkere algengroei tussen de vegetatie) die in de afgelopen jaren worden waargenomen in de IJzeren Man?
2. Kunnen de veranderingen in waterkwaliteit leiden tot het verdwijnen van de huidige waarden en/of tot problemen voor de gebruiksfuncties leiden?
3. Vormen de veranderingen in de waterkwaliteit aanleiding om maatregelen te nemen en zo ja, welke?

Er zijn verschillende componenten van het systeem, die van invloed zijn op de waterkwaliteit bemonsterd (o.a. grondwater en onderwaterbodem). Deze bemonstering zal, in combinatie met beschikbare monitoringsdata van de plas, waarschijnlijk antwoord kunnen geven op de vraagstellingen.

2 Methode

2.1 Monstername

De IJzeren Man is een ondiepe plas van circa 1 tot 2 meter diep. Op enkele plaatsen zijn diepere putten aanwezig tot circa 10 m diep. Op 19 juli 2017 werden verspreid over de plas monsters verzameld op tien verschillende locaties. Tevens werden op 26 juli 2017 twee peilbuizen bemonsterd om een indruk te krijgen van de grondwaterkwaliteit (Figuur 1). Locatie 4 was een diepere put.



Figuur 1: Monsterlocaties in de IJzeren Man, Vught. Rood = bemonstering onderwaterbodem; geel = bemonstering oppervlaktewater; blauw = bemonstering grondwater.

Op de tien monsterlocaties in de IJzeren Mans is met behulp van een zuigerboor en/of uwitec core sampler slib (toplaag) en de onderliggende vaste bodem (zand) verzameld. Per locatie werd het slib en het onderliggend zand apart verzameld en luchtdicht verpakt in plastic zakjes. Van de sliblaag werd de slibdikte geschat. Van vijf locaties werd het porievocht bemonsterd met teflon bodemwaterbemonsteraars (Rhizons, Eijkelkamp, Agrisearch Equipment) in de sliblaag en de zandlaag. Tevens is op twee locaties het oppervlaktewater bemonsterd in HDPE potten: aan de boulevard kant (tussen locatie 8 en 9) en nabij locatie 4. Alle bodem- en watermonsters werden getransporteerd naar het laboratorium en in de koelcel (bij 4°C) bewaard voorafgaand aan de analyses. De volgende analyses werden uitgevoerd op de bodem:

- Droge stofgehalte/Organische stofgehalte (gloeiverlies)
- Destructie (totaal concentraties)

Voor het phytoplankton onderzoek, uitgevoerd door Koeman en Bijkerk, werden twee glazen flessen gevuld met 1 liter oppervlaktewater. Eén fles werd gevuld nabij locatie 10 en één fles nabij de kano-aanlegplaatsen aan de noordkant. Het water in de flessen werd gefixeerd met alkalische lugol en opgestuurd naar Koeman en Bijkerk voor analyse (zie verdere methode rapport Koeman en Bijkerk).

2.2 Chemische analysen

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Destructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H_2O_2 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestrueerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. De destruaat werd bewaard bij 4°C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Oppervlaktewater-, grondwater- en porievochtmonsters

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl2 elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO_2 en HCO_3) werd bepaald met behulp van infrarood gasanalyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l-1 zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van –20 ºC tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 ºC.

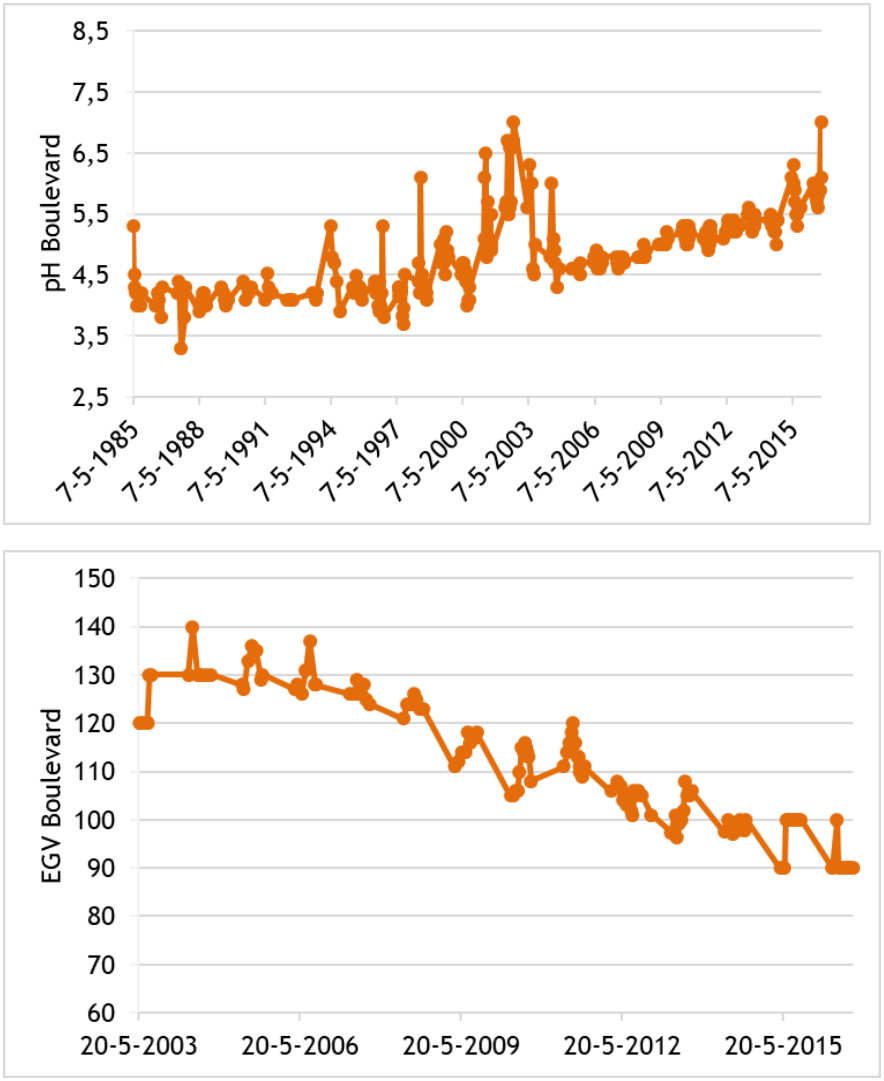
Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl^-) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na^+) en kalium (K^+) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3 Resultaten

3.1 Monitoringsdata 1985-2015 (bron: Waterschap de Dommel)

Voor de monitoring van de waterkwaliteit ten behoeve van de zwemfunctie van de IJzeren Man, is tweewekelijks tussen april en oktober het water gemeten op enkele variabelen gedurende de periode 1985-2017. Er zijn twee meetpunten hiervoor: aan de noordzijde (Bad) en aan de zuidzijde (boulevard). Zie in Figuur 2 de data van de pH en elektrisch geleidingsvermogen (EGV in µS/cm) van meetpunt boulevard. De zuurgraad is gemeten vanaf 1985 en de EGV vanaf 2003.



Figuur 2. pH en de EGV (µS/cm) van het oppervlaktewater van meetpunt Boulevard in de IJzeren Man.

Uit figuur 2 blijkt dat de pH van het water tussen 1985 en 2015 gemiddeld genomen is toegenomen van pH 3,7 naar pH 6,0. Voor het jaar 2000 ligt de pH in de meeste gevallen onder 4,5. Tussen 2001 en 2003 vertoont de pH een grillig patroon en is vaak hoger dan 5,5 waarna de zuurgraad weer daalt tot circa 4,5. Tussen 2003 en 2016 is er een trend zichtbaar waarbij de pH geleidelijk toeneemt van 4,5 tot 6. In deze laatste periode vertoont de EGV een gelijkwaardige daling. Vanaf begin jaren tachtig van de vorige eeuw is ook het zuurstofgehalte gemeten. Deze schommelt grotendeels tussen de 8 en 10 mg O_2/l. Op het meetpunt IJzeren Man Bad zijn vergelijkbare waarden en trends te zien.

Nutriëntenconcentraties zijn niet standaard gemeten tijdens de monitoring. De concentratie ortho-fosfaat was in de periode 2002-2012 kleiner dan 0,32 µmol/l hetgeen laag is. De concentratie ammonium schommelde en was soms in juli 2002 hoog (39 µmol/l) en in 2012 laag (<2,7 µmol/l). De concentratie nitraat schommelde ook en was in 2003 hoog (23 µmol/l) en in 2012 laag (<3,6 µmol/l). De concentratie sulfaat was in zowel 2003 en 2012 ongeveer 230 µmol/l.

3.2 Oppervlaktewater en grondwater (juli 2017)

Een uitgebreide analyse van de kwaliteit van het oppervlaktewater (ow) en het lokale grondwater (gw) bepaald in juli 2017 is gegeven in tabel 1. Het grondwater was gebufferd met lage nitraat- en sulfaatgehalten. Wel was het grondwater plaatselijk rijk aan ammonium (46 µmol/l), fosfor en ijzer hetgeen indiceert dat het zuurstofloos was. Het oppervlaktewater had een pH van circa 5,3 en was zeer zwak gebufferd en extreem arm aan anorganisch koolstof. De concentratie aan ortho-fosfaat, fosfor en nitraat waren laag. De concentratie ammonium was wat hoger. Het feit dat de waterlaag zo extreem weinig anorganisch koolstof bevat (CO_2 en HCO_3^-) maakt het mogelijk dat isoetiden de plas kunnen domineren zoals ook het geval bleek te zijn tijdens het veldbezoek (zie inleiding) (figuur 3).

Tabel 1. Gegevens van het oppervlaktewater en het grondwater in juli 2017. De concentraties worden gegeven in µmol/l, met uitzondering van de alkaliniteit (µeq/l) en EGV (µS/cm).

	Locatie	pH	Alk.	TIC	CO_2	HCO_3^-	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	Cl^-	Zn
OW	Bad	5,35	79	20	18	2	0,2	4,6	0,1	298	0,6
	Boulevard	5,34	82	10	9	1	0,3	12,0	0,1	360	0,6
GW	Boslaan	6,31	1548	2938	1592	1346	0,1	3,4	6,5	563	0,1
	Boulevard	6,05	539	1330	911	419	0,2	46,6	4,0	138	0,2
	Locatie	**Al**	**Ca**	**Fe**	**K**	**Mg**	**Mn**	**Na**	**P**	**SO_4**	**Si**
OW	Bad	2,4	126	1,1	33	68	1,0	323	0,5	180	3
	Boulevard	2,2	124	0,6	32	67	1,0	316	0,2	178	3
GW	Boslaan	4,0	629	45	31	77	1,7	573	15,9	131	69
	Boulevard	7,3	104	44	54	44	1,8	310	9,2	142	124



Figuur 3. Foto's van de onderwaterbegroeiing die gedomineerd wordt door oeverkruid zowel op locaties met zand als met slib.

3.3 Bodemanalysen (juli 2017)

De resultaten van de totaal-analysen van het slib en onderliggende zand zijn gegeven in tabel 2. Op alle bemonsterde locaties was oeverkruid aanwezig op het slib. De sliblaag was gemiddeld 6,7 cm dik en bevatte slechts 4% organisch stof. De zandlaag was kalkarm en fosforarm. De sliblaag was ook kalkarm maar was rijk aan aluminium en ijzer. Er was ook een sterke correlatie tussen de concentratie ijzer en aluminium (R^2=0,9098) in het slib hetgeen erop duidt dat in de sliblaag (maar ook in het zand) fijne lutum deeltjes aanwezig zijn (figuur 4c). Deze kunnen al aanwezig zijn geweest direct na aanleg van de plas bijvoorbeeld indien kleilagen aanwezig zijn geweest waarbij de fijnste deeltjes na het vullen van de plas als laatste bezonken zijn. De deeltjes zouden ook afkomstig kunnen zijn van erosie uit de omgeving. In de sliblaag was de concentratie fosfor tweemaal hoger dan in de zandlaag. De concentratie zwavel was viermaal hoger dan in de sliblaag. Fosfor en gereduceerd zwavel (sulfiden) kunnen sterk aan ijzer binden. Uit figuur 4 blijkt dat er in de onderwaterbodems uit de ijzeren man een sterke correlatie was tussen de concentratie ijzer en fosfor in de bodem (R^2= 0,9044) en een minder sterke correlatie tussen de concentratie ijzer en zwavel (R^2= 0,6265). Zowel de Fe:P als de Fe:S ratio zijn hoog (>>1) en laten zien dat nog een aanzienlijk deel van het ijzer in de vorm van vrije Fe(hyr)oxiden in de bodem aanwezig moet zijn. Dit ijzer is in staat om fosfor te immobiliseren.

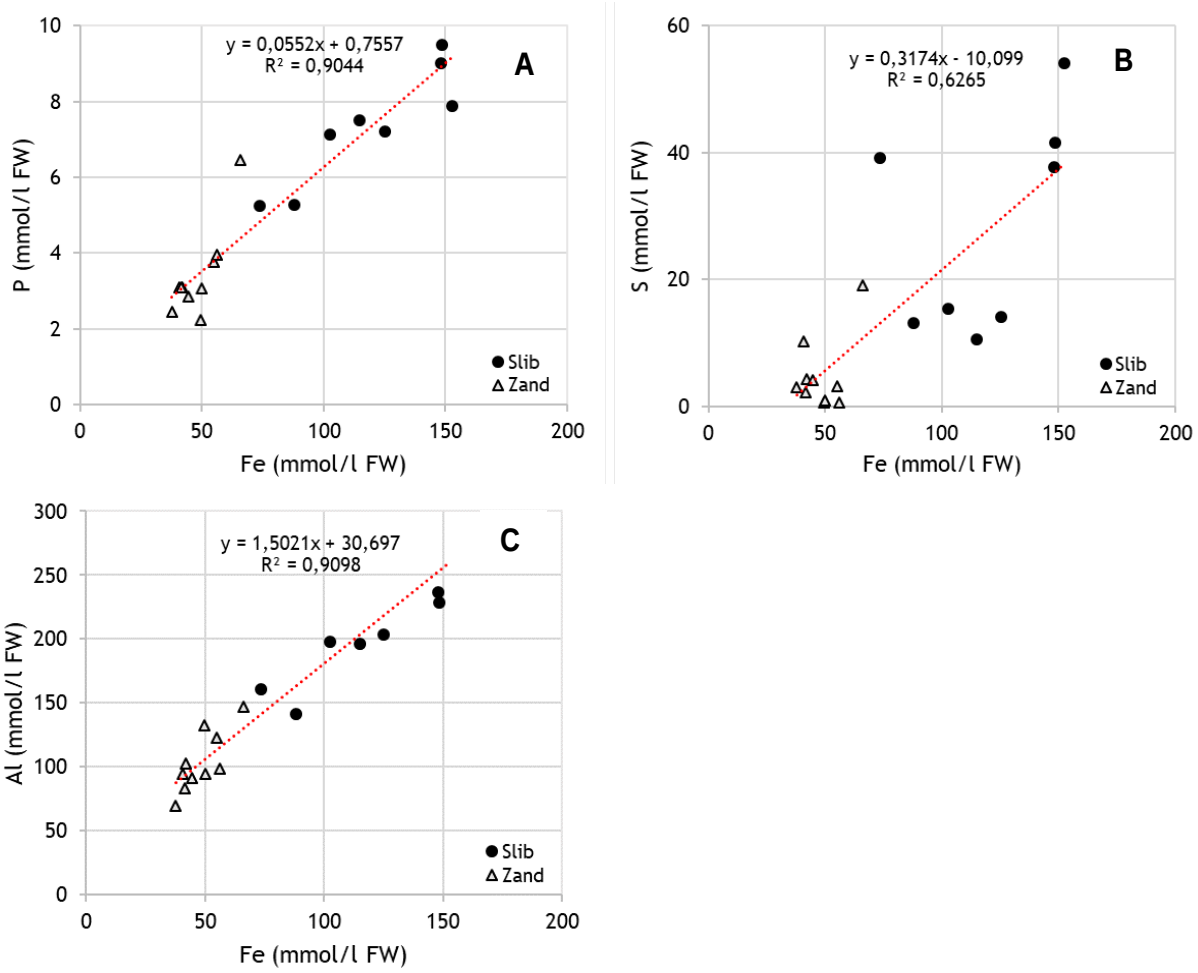
Tabel 2. Totale gehalten aan elementen in de sliblaag en onderliggende zandlaag bemonsterd in juli 2017. Alle locaties werden begroeid door oeverkruid. Het vochtgehalte en organisch stofgehalte zijn gegeven in %, de dikte van de sliblaag is gegeven in cm en de overige paramaters zijn gegeven in mmol/l bodem. De gemiddelde waarden (gem) en standaardfouten (sem) zijn cursief vermeld.

SLIB

Locatie	Dikte	Vocht	Org stof	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	Fe:P	Fe:S
2	10	52,5	7,5	307	16,6	153	20,3	66	0,8	7,9	54,1	9,5	1,4	19,4	2,8
3	5	43,7	2,9	142	4,4	88	9,1	26	0,3	5,3	13,1	9,5	0,4	16,7	6,7
4	0,5	46,7	6,2	161	22,2	74	11,5	34	0,6	5,2	39,1	12,0	0,7	14,0	1,9
5	10	51,0	4,4	204	6,8	125	14,5	38	0,5	7,2	14,0	10,9	0,6	17,3	8,9
6	5	32,3	2,0	198	9,9	103	13,7	41	0,5	7,1	15,5	15,3	0,6	14,4	6,6
7	5	42,6	3,0	196	8,3	115	11,0	44	0,5	7,5	10,5	10,7	0,5	15,3	10,9
8	5	43,5	2,6	237	9,0	148	14,0	49	0,6	9,0	37,7	9,1	1,0	16,4	3,9
9	13	43,9	3,6	228	9,3	148	13,5	50	0,6	9,5	41,6	9,5	1,3	15,6	3,6
gem	*6,7*	*44,5*	*4,0*	*209*	*10,8*	*119*	*13,5*	*43*	*0,5*	*7,3*	*28,2*	*10,8*	*0,8*	*16,1*	*5,7*
sem	*1,4*	*2,2*	*0,7*	*18*	*2,0*	*11*	*1,2*	*4*	*0,1*	*0,5*	*5,9*	*0,7*	*0,1*	*0,6*	*1,1*

ZAND

Locatie		Vocht	Org stof	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	Fe:P	Fe:S
1		21,6	1,2	103	6,9	42	7,8	18	0,2	3,1	4,3	13,2	0,3	13,6	9,8
2		15,2	0,2	133	7,3	50	10,3	21	0,4	2,2	0,7	18,4	0,3	22,1	75,2
3		18,3	0,4	123	6,3	55	9,4	21	0,3	3,8	3,2	15,2	0,4	14,6	17,4
4		29,2	1,5	94	8,9	41	8,7	18	0,2	3,1	10,3	28,5	0,5	13,1	3,9
5		17,3	0,6	95	5,1	50	8,7	16	0,3	3,1	0,8	15,1	0,3	16,2	59,6
6		15,4	0,3	69	6,7	38	6,2	15	0,3	2,4	3,1	12,5	0,2	15,4	12,3
7		17,7	0,4	84	4,3	42	5,0	14	0,2	3,1	2,1	11,3	0,2	13,5	19,6
8		15,0	0,7	99	7,7	56	8,3	27	1,1	3,9	0,7	16,1	0,3	14,2	84,7
9		16,7	0,3	91	6,2	44	8,0	17	0,2	2,9	4,1	13,3	0,3	15,5	10,8
10		17,4	1,0	147	18,2	66	10,5	43	0,5	6,4	19,0	18,9	0,6	10,2	3,5
gem		*18,4*	*0,7*	*104*	*7,8*	*48*	*8,3*	*21*	*0,4*	*3,4*	*4,8*	*16*	*0,3*	*14,8*	*29,7*
sem		*1,4*	*0,1*	*7*	*1,2*	*3*	*0,5*	*3*	*0,1*	*0,4*	*1,8*	*1,6*	*0,0*	*1,0*	*9,8*



Figuur 4. Correlaties tussen de concentratie ijzer en fosfor (A), de concentratie ijzer en zwavel (B) en de concentratie ijzer en aluminium (C) in de onderwaterbodem van de ijzeren man. Zowel de slib- als de zandlaag is gegeven. Concentraties zijn gegeven in mmol/l bodem.

De resultaten van de analysen aan het porievocht van het slib en onderliggende zand zijn gegeven in tabel 3. Het porievocht van de sliblaag is rijker aan anorganisch koolstof (TIC= CO_2 plus HCO_3^-) dan de zandlaag. TIC komt vrij bij afbraak van organisch materiaal. Microbiële afbraak kan plaatsvinden met behulp van zuurstof of andere alternatieve electronen acceptoren waaronder: nitraat, mangaan, sulfaat en geoxideerd ijzer (roest=Fe^{3+}). Sulfaat en nitraat waren, in tegenstelling tot nitraat en mangaan, in hoge concentraties aanwezig in de sliblaag. Uit figuur 5 blijkt dat er een sterk positief verband was tussen de concentratie gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) en de TIC (R^2= 0,9748) in de sliblaag hetgeen duidt op afbraak van organisch stof met geoxideerd ijzer (Fe^{3+}) als alternatieve electronen acceptor. Dit is een alkaliniteit genererend proces waarbij HCO_3^- gevormd wordt, dat achtereenvolgens onder invloed van de pH (indien lager dan 8,2) deels wordt omgezet tot CO_2. Er was geen verband tussen de reductie van sulfaat tot sulfide en de vorming van TIC in het porievocht. In dat geval zou er een negatief verband moeten zijn tussen de concentratie sulfaat en de TIC concentratie in het bodemvocht (figuur 5). Reductie van geoxideerd ijzer is thermodynamisch gunstiger dan reductie van sulfaat en omdat de bodem zeer ijzerrijk is wordt de anaerobe afbraak van organisch stof gestuurd dan ook hoofzakelijk gestuurd door geoxideerd ijzer. Bij de anaerobe afbraak komt naast koolstof ook stikstof vrij en dit verklaart waarom in het slib en onderliggende zand soms nog aanzienlijke concentraties ammonium gemeten werden (maximale waarde 54 µmol/l in het slib en 73 µmol/l in het onderliggende zand). Dit zal ook bijdragen aan de licht verhoogde concentratie ammonium in het oppervlaktewater van de IJzeren Man.

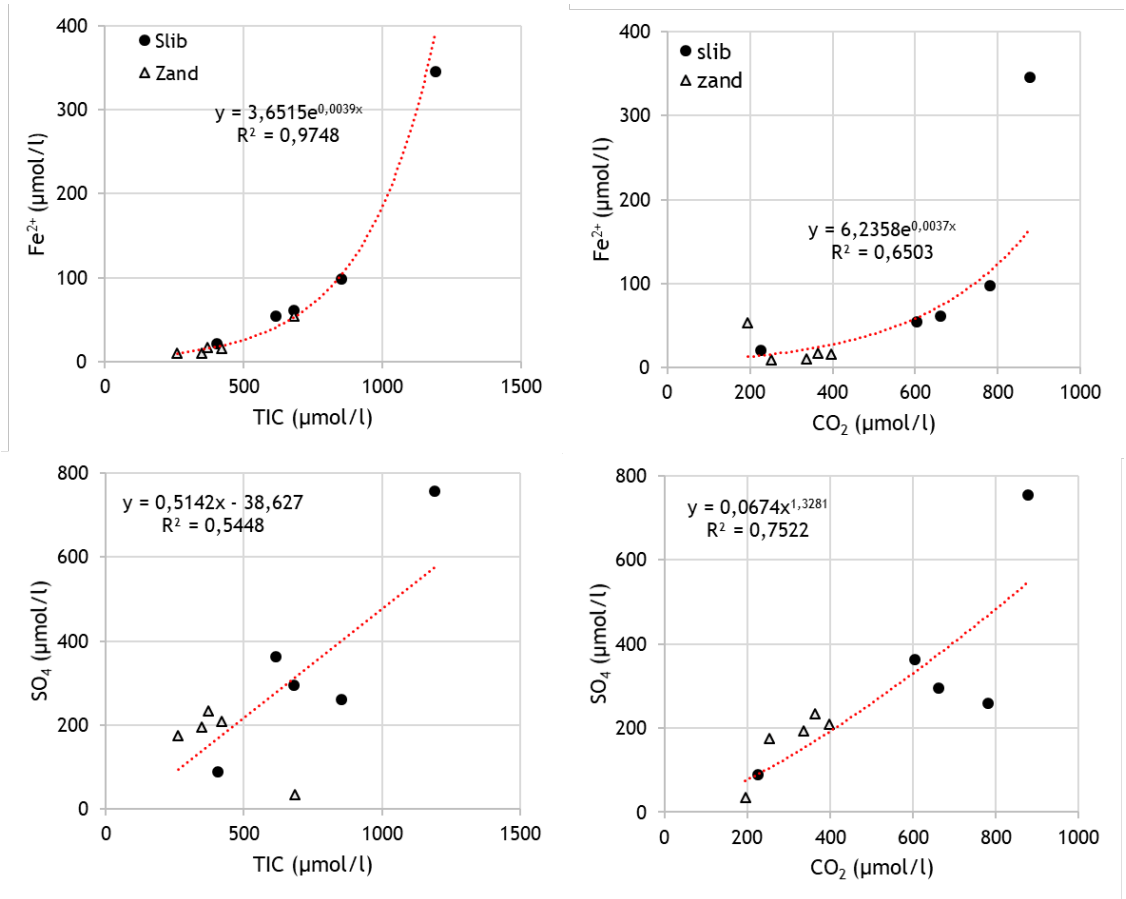
Tabel 3. Concentraties van elementen in het bodemvocht van de sliblaag en de onderliggende zandlaag. Concentraties zijn gegeven in µmol/l m.u.v. de alkaliniteit die gegeven is in µeq/l. Het slib is bemonsterd in juli 2017 en alle locaties waren begroeid met oeverkruid.

SLIB

Loc.	pH	Alk.	TIC	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	PO_4^3	Cl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	SO_4	Si	Zn
2	5,93	492	1191	878	313	0,5	15,0	0,5	343	1,8	291	345	63	157	7,8	608	5,0	756	367	1,1
4	6,28	305	404	226	178	0,7	54,4	0,9	460	1,5	96	21	54	51	1,9	339	3,9	89	40	0,5
6	5,35	174	854	781	72	1,2	11,8	0,3	302	3,2	102	98	67	54	3,3	313	1,0	260	271	2,9
8	4,84	120	680	661	19	0,4	11,4	0,2	248	7,8	129	61	30	72	4,4	261	0,4	296	311	7,6
9	4,71	94	617	604	13	1,4	10,5	0,3	215	11,3	157	54	29	90	5,2	282	0,5	362	344	3,3
gem	*5,42*	*237*	*749*	*630*	*119*	*0,9*	*20,6*	*0,4*	*314*	*5,1*	*155*	*116*	*48*	*85*	*4,5*	*360*	*2,2*	*353*	*267*	*3,1*
sem	*0,30*	*73*	*132*	*112*	*57*	*0,2*	*8,5*	*0,1*	*43*	*1,9*	*36*	*59*	*8*	*19*	*1,0*	*63*	*1,0*	*110*	*59*	*1,2*

ZAND

Loc.	pH	Alk.	TIC	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	PO_4^3	Cl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	SO_4	Si	Zn
2	5,14	131	420	397	22	6,8	9,9	0,3	237	2,7	125	16	52	55	3,4	246	1,1	209	77	2,1
4	6,78	633	683	195	488	0,8	72,9	0,4	362	1,7	134	54	55	66	1,6	355	6,1	36	106	0,4
6	4,94	103	261	252	9	2,8	7,7	0,1	333	6,4	93	10	25	59	2,5	248	0,6	175	123	3,8
8	4,90	115	348	337	11	8,1	8,8	0,3	284	9,7	109	10	21	69	5,1	264	0,8	194	140	3,1
9	4,75	90	372	363	8	3,6	11,1	0,2	294	11,8	114	17	25	77	3,1	296	0,4	234	141	3,7
gem	*5,30*	*214*	*417*	*309*	*108*	*4,4*	*22,1*	*0,3*	*302*	*6,5*	*115*	*21*	*36*	*65*	*3,1*	*282*	*1,8*	*170*	*118*	*2,6*
sem	*0,38*	*105*	*71*	*37*	*95*	*1,3*	*12,7*	*0,0*	*21*	*1,9*	*7*	*8*	*7*	*4*	*0,6*	*20*	*1,1*	*35*	*12*	*0,6*

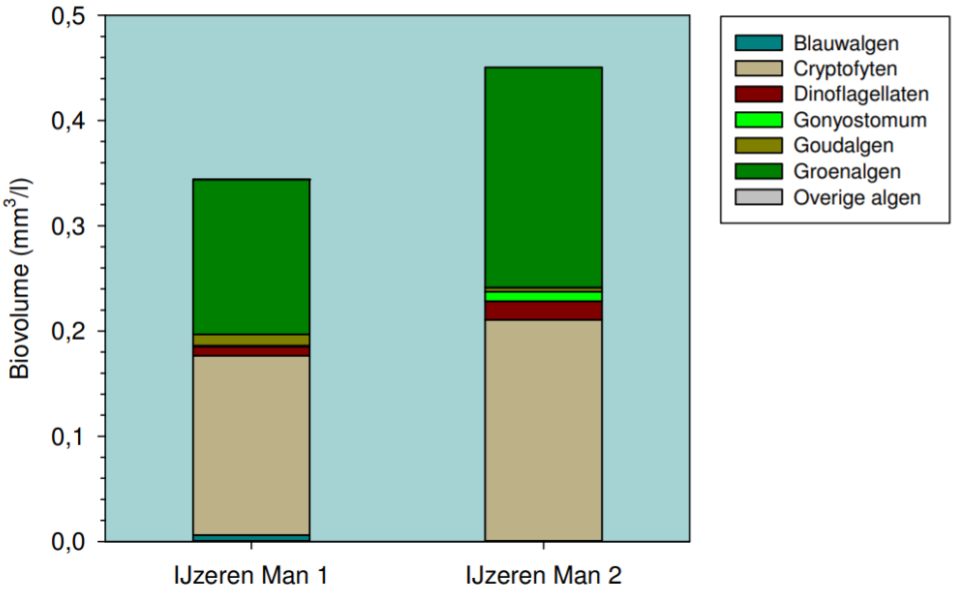


Figuur 5. Correlaties tussen de concentratie gereduceerd ijzer en sulfaat met de TIC en CO2 concentratie in het bodemvocht.

3.4 Fytoplankton (juli 2017)

Binnen enkele dagen na de monstername is het oppervlaktewater geanalyseerd op de fytoplanktonsamenstelling door Koeman en Bijkerk. De resultaten uit dit onderzoek geven weer dat de soortensamenstelling en relatieve abundantie van het fytoplankton wijzen op een zeer zwak gebufferde, zure en oligo- tot mesotrofe plas (Bijkerk, 2017). Deze typering komt met name door de gevonden soorten aan sieralgen (o.a. *Closterium juncidum*). Het chlorofyl-a gehalte is geschat op 3 à 4 µg/l en daarmee laag ten tijde van de bemonstering (juli 2017).

In beide genomen fytoplanktonmonsters zijn groenalgen het meest talrijk met *Elakatothrix gelatinosa* en *Botryococcus neglectus* als opvallende soorten. *Elakatothrix* en *Botryococcus* geven voorkeur aan heldere, goed gemengde mesotrofe tot eutrofe wateren, maar zijn bestand tegen (periodiek) tekort aan N en P. Tevens zijn ze gevoelig voor lichttekort. *B. Neglectus* komt veelal voor en zwak-zure wateren. Op basis van het geschatte biovolume is *Cryptomonas* het meest dominant (geslacht dat in uiteenlopende wateren voorkomt en is gevoelig voor zooplanktonbegrazing), zie figuur 6. Van *Gonyostomum semen* zijn slechts enkele exemplaren gevonden, voornamelijk in het monster nabij de kano-aanlegplaats. De soort is goed bestand tegen lichttekort door zijn vermogen tot verticale migratie. De gevonden dichtheid van *Gonyostomum semen* zal geen probleem vormen voor de waterkwaliteit.



Figuur 1. Taxonomische samenstelling op basis van biovolume (mm³/l) van het fytoplankton op het niveau van hoofdgroepen (Ijzeren Man 1: nabij locatie 10, Ijzeren Man 2: nabij kano-aanlegplaats). Uit: Bijkerk, 2017.

4 Discussie

4.1 pH toename in relatie tot N en S-depositie

De pH van het oppervlaktewater van de IJzeren Man is in de periode 1985-2016 gestegen van pH 4,5 tot 6,0. De vraag vanuit de opdrachtgever was of er sprake is van waterverharding door externe processen (verandering grondwaterkwaliteit) of interne processen (slibophoping). Metingen aan het oppervlaktewater in juli 2017 laten zien dat de totale concentratie anorganisch koolstof (TIC= CO_2 + HCO_3^-) extreem laag waren (<10 en <20 µmol/l). Dit zijn extreem zwak gebufferde condities die in Nederland sporadisch voorkomen en vergelijkbaar zijn met Noorse zwak gebufferde oligotrofe meren die gedomineerd worden door waterlobelia met oeverkruid en grote biesvaren (Lucassen et al., 2016). Door de (optimale) fosfaatarme en kooldioxide arme condities wordt de IJzeren Man gedomineerd door isoetiden (i.d.g. oeverkruid). Het grondwater in de bemonsterde grondwaterbuizen was wel gebufferd en bevatte een hoge concentratie bicarbonaat (HCO_3^-) van 400-1400 µmol/l. Dit in tegenstelling tot een concentratie HCO_3^- van < 2 µmol/l in de waterlaag. De IJzeren man wordt voornamelijk gevoed met (zeer lokaal) regenwater.

Het is bekend dat sinds het begin van de vorige eeuw vele wateren in Europa door de toegenomen atmosferische N en S-depositie (zure regen) op grote schaal verzuurd zijn. Vanaf de tweede wereldoorlog is de totale stikstofdepositie in Nederland sterk toegenomen door onder andere de intensieve veehouderij en het gebruik van fossiele brandstoffen in de industrie en verkeer (o.a. Bobbink et al., 2014). Door allerlei maatregelen laat de stikstofdepositie een dalende trend zien vanaf 1993 (30-40%). De N- en S-concentraties in het regenwater zijn door reducerende maatregelen landelijk echter weer sterk afgenomen. Zo bedroegen de N en S-concentraties in regenwater in 2010 nog maar 61% en 27% van de concentraties in 1988 (RIVM, 2012). Hierdoor is de pH van het regenwater toegenomen. Regenwater heeft onder "natuurlijke omstandigheden" een pH van 5,6 (licht zuur) die gestuurd wordt door het in oplossing gaan van atmosferisch kooldioxide. Vennen worden per definitie gevoed met (zeer lokaal) regenwater. Er is dan ook een trend waargenomen in ongebufferde tot (zeer) zwak gebufferde vennen in Nederland, waarbij de pH is gestegen in de periode 1980-2015 (Van Dam et al., 2017) en de EGV is afgenomen gepaard met afname in ammonium en sulfaat. In Noorwegen is de pH van meren uitgebreid gemonitord. Verzuring trad met name op in het zuidwestelijk deel door atmosferische S-depositie vanuit Engeland. Monitoring liet zien dat de S-depositie sinds 1970 met meer dan 50% is afgenomen gepaard gaande met een geleidelijke pH toename van 4,5 tot 5,5 (Lucassen et al., 2016). Thans komen in Noorwegen nog maar weinig meren voor die sterk verzuurd zijn (pH < 5) zoals mooi blijkt uit figuur 7. Aangezien de IJzeren Man een zeer zwak gebufferd meer is, is de toename in pH in de IJzeren Man goed verklaarbaar aan de hand van de landelijke en Europese trend in afgenomen N en S-depositie en toegenomen zuurgraad zoals heeft plaatsgevonden in veel voormalig verzuurde vennen en meren.

4.2 Alkaliniteit genererende bodemprocessen in de sliblaag

Onderwaterbodems zijn permanent waterverzadigd en hierdoor overwegend zuurstofarm. In permanent anaërobe bodems fungeren in plaats van zuurstof andere elektronenacceptoren (zoals nitraat, driewaardig ijzer en sulfaat) als alternatieve elektronenacceptor voor de afbraak van organisch materiaal waarbij bicarbonaat gevormd wordt dat, afhankelijk van de zuurgraad, ten dele wordt omgezet in kooldioxide (CO_2). Anaerobe afbraakprocessen zijn, in tegenstelling tot aerobe afbraakprocessen, per definitie dus alkaliniteit genererend. Deze processen treden ook op in zwak gebufferde meren (Baker et al., 1986; Cook et al., 1986; Schindler, 1986, 1988).

In de IJzeren Man is een sliblaag (gemiddeld 7 cm) aanwezig die bestaat uit fijne lutum (rijk aan aluminium, ijzer en fosfor) aangerijkt met organisch stof. Het slib bevatte dus hoge gehalten aan ijzer dat grotendeels aanwezig moet zijn geweest in geoxideerde vorm. Metingen aan het bodemvocht tonen dat de concentratie gereduceerd ijzer, sterk correleert met de concentratie TIC (R^2=0,97). Dit

toont aan dat in de IJzeren Man de anaerobe afbraak van organisch materiaal met behulp van geoxideerd ijzer (afkomstig van lutumdeeltjes) het belangrijkste proces is dat bijdraagt aan de vorming van alkaliniteit in de bodem. Dit proces bleek ook een belangrijke rol te spelen in de onderwaterbodem van de Noorse zwak gebufferde meren (Lucassen et al., 2009). Dit proces kan in enige mate hebben bijgedragen aan de waargenomen verhoging van de pH in de waterlaag van de IJzeren man.

4.3 Risico's van alkaliniteit genererende bodemprocessen in de sliblaag

De concentratie kooldioxide in de waterlaag van zwak gebufferde meren is te laag voor waterplanten om te kunnen groeien. In koolstof gelimiteerde voedselarme meren kunnen isoetiden voorkomen omdat deze planten kooldioxide kunnen vrijmaken uit de bodem (via ROL) en kunnen opnemen met hun wortels. Omdat het kleine langzaam groeiende planten zijn kunnen ze voorkomen bij relatief lage kooldioxide concentraties in het bodemvocht van 300-500 µmol/l). Door de anaerobe afbraak in de sliblaag van de IJzeren Man neemt de concentratie kooldioxide sterk toe. In de zandlaag bedraagt deze 200-400 µmol/l en in de sliblaag 600-900 µmol/l.

Het is bekend dat indien de concentratie kooldioxide in weke sedimenten toeneemt tot 500 µmol/l er een verhoogd risico bestaat dat isoetiden ontwortelen bij een toenemende hoeveelheid organisch stof in de bodem (> 30%). Bij een verhoogde kooldioxide concentratie ontwikkelen isoetiden meer scheutbiomassa. Omdat de scheuten van isoetiden typisch zeer poreus en met lucht gevuld zijn, neemt het drijfvermogen sterk toe terwijl de hechting van de plant in de wekere bodem juist minder wordt (Pulido et al., 2011; Lucassen et al., 2016). In het Beuven in Someren heeft ophoping van organische stof geleid tot een toename in scheutbiomassa van oeverkruid waardoor de afgelopen jaren regelmatig grootschalige ontwortelingen van de vegetatie hebben plaatsgevonden tijdens windstromen (Brouwer et al., 2008; Spierenburg et al., 2013). In de IJzeren Man speelt dit gevaar thans niet omdat de hoeveelheid organisch stof in de onderwaterbodem laag is (gemiddeld 4% en maximaal 7,5%). Het oeverkruid wordt dus wel groter door een hogere kooldioxide beschikbaarheid in de slibbodem, maar zal voldoende grip in de bodem behouden. Er is zeven jaar geleden sprake van zeer beperkte ontworteling van oeverkruid, waarbij over een oppervlakte van enkele vierkante meters planten zijn aangedreven (mondelinge mededeling H. Vermeer).

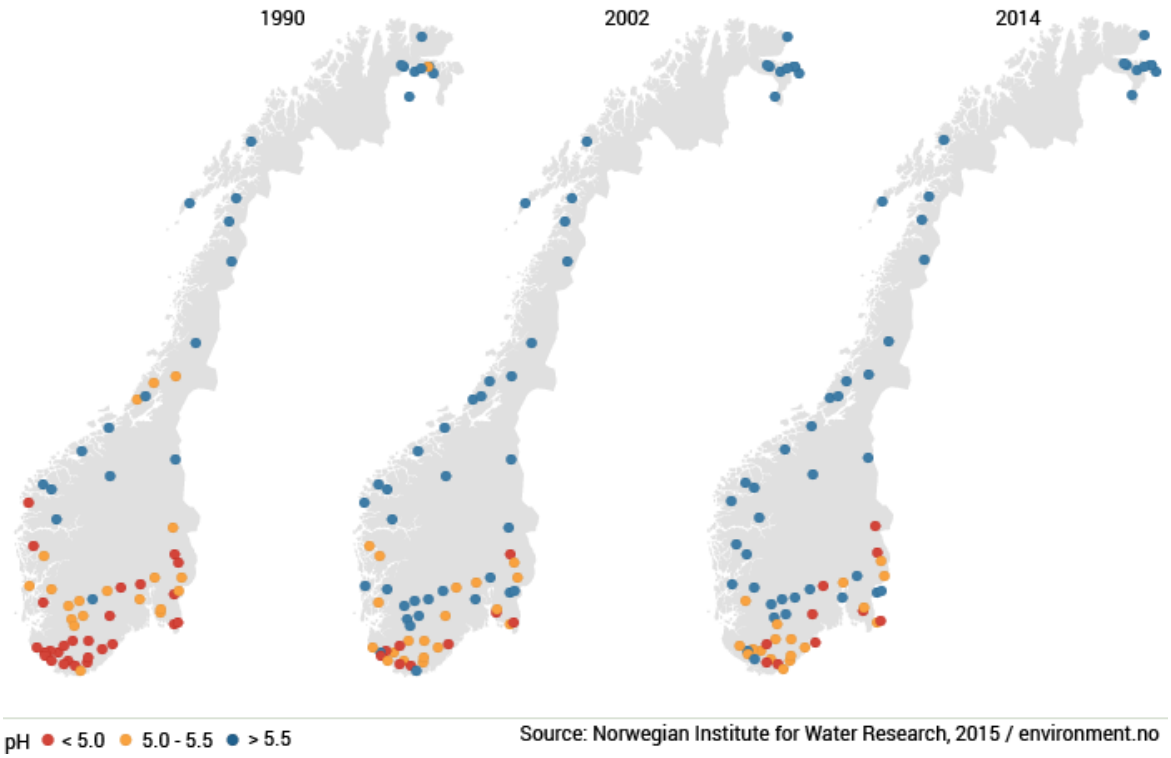
Indien de concentratie kooldioxide verder toeneemt kunnen sneller groeiende concurrentiekrachtigere waterplanten gaan woekeren die ook kooldioxide kunnen opnemen met hun wortels. Door gereduceerde lichtcondities kan de biomassa en uiteindelijk ook de bedekking van isoetiden sterk gaan afnemen (Smolders et al., in prep). Dit proces vindt doorgaans plaats bij een kooldioxide concentratie vanaf 1000 µmol/l (Lucassen et al., 2009; 2016; Smolders et al., in prep). Als de bedekking door isoetiden afneemt (door uprooting of verminderde lichtcondities) valt ook het positieve effect van deze planten (eco-engineerfunctie, zie inleiding) weg waardoor de beschikbaarheid aan nutriënten in de bodem en waterlaag kan stijgen. De concentratie kooldioxide in het slib van de IJzeren Man is thans nog lager dan 1000 µmol/l waardoor er geen andere waterplanten zullen groeien.

Door de invloed van organisch materiaal kan fosfaat ophopen in de onderwaterbodem (bijvoorbeeld door overmatig bladinval). Hoge ijzerconcentraties in het bodemwater gaan, zolang de waterlaag voldoende zuurstof bevat, de nalevering van fosfaat naar de waterlaag tegen. Dit heeft te maken met het feit dat relatief goed oplosbaar gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) in het geoxideerde toplaagje van het sediment wordt geoxideerd tot slecht oplosbaar Fe^{3+} waaraan fosfor sterk gebonden wordt. Dit proces heet "de ijzerval". Isoetiden dragen bij aan het aeroob houden van de bodem door hun hoge ROL en dragen bij aan een lage concentratie fosfor in het bodemvocht. Het is bekend dat bij een Fe:P ratio in het bodemwater van hoger dan 1 (mol/mol) de nalevering van fosfaat uit het sediment beperkt is. De mate waarin de belasting met sulfaat leidt tot eutrofiëring van het oppervlaktewater (door FeS_x vorming; zie inleiding) hangt sterk af van de verhouding tussen de ijzer- en de zwavelvoorraad van de

bodem. Er kan met enige zekerheid gezegd worden dat onderwaterbodems met een totaal-Fe:totaal-S ratio hoger dan 1 worden gekenmerkt door een hoge Fe:P ratio van het bodemwater waardoor deze geen P naleveren zolang de waterlaag zuurstofhoudend is. Bodems met een totaal-Fe:totaal-S ratio lager dan 0,5 daarentegen zullen vrijwel altijd P naleveren. Zolang er dus voldoende gereduceerd ijzer in oplossing is in het bodemwater, en de waterlaag voldoende zuurstof bevat, zal de nalevering van fosfaat naar de waterlaag beperkt zijn (Smolders et al., 2001; 2013; Geurts et al., 2010). Het slib in de IJzeren man bevat geen extreem hoge P waarden en is daarentegen zeer ijzerrijk. De hoge Fe:S ratio's in de bodem, de hoge Fe:P ratio's in het porievocht en de extreem lage P concentratie in het porievocht en de waterlaag tonen dat in de IJzeren Man zeer fosfor-arme condities aanwezig zijn en er ook geen risico is op P-nalevering naar de waterlaag (eutrofiering) zolang deze zuurstofhoudend is nabij de bodem toplaag.
Er zijn echter wel locaties in de IJzeren Man waar sprake is van toenemende algengroei tussen het oeverkruid. Dit duidt erop dat gedurende de nacht, wanneer er geen fotosynthese is en dus ook geen ROL via de wortels, de bodem tijdelijk anaeroob wordt zodat de ijzerval niet functioneert. Hierdoor zou er gedurende de nacht toch sprake kunnen zijn van fosfaatnalevering resulterend in algengroei.

4.4 Fytoplankton

Het fytoplankton dat groeit in de plas is karakteristiek voor zeer zwak gebufferde oligotrofe tot mesotrofe omstandigheden. Groenalgen waren het meest talrijk met *Elakatothrix gelatinosa* en *Botryococcus neglectus* als opvallende soorten met een voorkeur aan heldere, goed gemengde mesotrofe tot eutrofe wateren die bestand zijn tegen (periodiek) tekort aan N en P. De P-beschikbaarheid was, i.t.t. stikstof, echter zeer laag in bodemvocht en oppervlaktewater. Mogelijk kunnen de algen het P losweken uit het lutum in de sliblaag of speelt de stikstofbeschikbaarheid een meer bepalende rol. Stikstof kan ten dele uit de sliblaag komen, maar ook via lokaal afstromend grondwater uit het bos. Bossen vangen doorgaans veel atmosferisch stikstof in waardoor veel atmosferisch stikstof in het verleden is geaccumuleerd in de bosbodem (litter) dat met het lokale grondwater afstroomt naar de vennen. Of er vindt, zoals eerder beschreven, fosfaatnalevering plaats gedurende de nacht wanneer er geen fotosynthese is en de isoetiden geen ROL bij de wortels hebben (zie paragraaf 4.3 laatste alinea).



Figuur 7. Toename in pH van Noorse meren in de periode 1990-2015 door afgenomen atmosferische S-depositie.

5 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- De waterkwaliteit in de IJzeren Man is zeer goed aangezien de extreem koolstof- en fosforarme condities. Hierdoor wordt het meer ook gedomineerd door isoetiden (oeverkruid).
- De toename in pH in de IJzeren Man is goed verklaarbaar aan de hand van de landelijke en Europese trend in afname van N en S-depositie en toename van de zuurgraad in voormalig verzuurde vennen en meren.
- De met oeverkruid begroeide ijzerrijke sliblaag was op de bemonsterde locaties gemiddeld 7 cm (maximaal 13 cm) dik. Dit slib bestond uit lutumdeeltjes (ijzer- en aluminium) aangereikt met organisch stof. Er vindt interne alkalinisatie plaats door de anaerobe afbraak van organisch stof, waarbij geoxideerd ijzer dient als alternatieve electronen-acceptor. Het HCO_3^- dat hierbij vrijkomt wordt deels omgezet in CO_2. De concentratie CO_2 is daarom hoger in de sliblaag (700-900 µmol/l) dan in de onderliggende zandlaag (200-400 µmol/l). Dit proces kan ook bijgedragen hebben aan de toegenomen pH.
- De verhoogde CO_2 concentratie in het slib vormt geen actueel probleem. De concentratie zal, vergeleken met die in de zandlaag, hebben geleid tot een toename in scheutbiomassa van oeverkruid. Dit vindt doorgaans plaats bij een concentratie CO2 > 500 µmol/l. Aangezien isoetiden vanwege hun grote luchtholten een hoog drijfvermogen hebben, bestaat er bij ophoping van organisch stof een risico op ontworteling omdat de planten in een weke bodem minder grip hebben. Dit speelt met name bij windwerking en golfslag en bij een organisch stofgehalte vanaf 30%. In de IJzeren Man zal dit risico niet significant spelen aangezien het organisch stofgehalte zeer laag is (gemiddeld 4%). Er is echter wel beperkte ontworteling gesignaleerd sinds zeven jaar (mondelinge mededeling H. Vermeer). De kooldioxiden gehalten in het porievocht van de sliblaag zijn thans lager dan waarden die doorgaans groei van meer concurrentiekrachtigere soorten (dan isoetiden) stimuleren waaronder knolrus (> 1000 µmol/l). Het is daarom niet te verwachten dat de isoetiden op korte tot middellange termijn zullen verdwijnen.
- De huidige waterkwaliteit in de IJzeren Man is uitstekend, er is echter wel sprake van een toenemende groei van algen tussen het oeverkruid. De oorzaak hiervan kan zijn dat de eco-engineer functie gedurende de nacht niet werkt in de Ijzeren Man. In het donker is geen fotosynthese en geen ROL via de wortels (zuurstofverlies) waardoor, indien de sliblaag erg reactief (sterk afbreekbaar en dus zuurstofconsumerend) is, de ijzerval gedurende de nacht tijdelijk niet functioneert. Het fosfaat uit de sliblaag wordt dan tijdelijk niet meer gebonden (vindt doorgaans plaats aan geoxideerd ijzer) in de toplaag van de bodem. Dit fosfaat zou de groei van algen nabij de bodem kunnen stimuleren zoals in toenemende mate is geconstateerd door het Waterschap De Dommel.

Aanbevelingen

- Met het oog op het eventueel wegvallen van de eco-engineerfunctie van is het zinvol de ontwikkeling van de sliblaag (dikte) te monitoren en het (interactieve) effect van de sliblaag en het oeverkruid op de waterkwaliteit nader te onderzoeken. Het wegvallen van de functie van isoetiden vindt mogelijk nu al plaats aangezien de toenemende fosfaatontwikkeling tussen de waterplanten. De resultaten kunnen inzicht geven of het noodzakelijk is de sliblaag in de toekomst te moeten verwijderen (baggeren).
- Het is een meerwaarde de herkomst van het lutum (met ijzer) te achterhalen omdat dit de aandrijver is van anaerobe afbraakprocessen waarbij kooldioxide gevormd wordt in de onderwaterbodem. Een aanwas van lutumdeeltjes vormt theoretisch een bedreiging op (de

lange) termijn indien er (aanwas van) organisch stof is. Ook is het zinvol de dikte van de sliblaag, de concentratie organisch stof en kooldioxide zo nu en dan te monitoren.

- Overwogen zou kunnen worden het bos rondom de plas preventief te kappen (15 meter) en de N-rijke litter te verwijderen, om bladinval (ophoping organisch stof) en aanrijking van stikstof via lokaal grondwater te voorkomen. Echter, aangezien de herkomst van de lutumdeeltjes onbekend is, is het aan te raden heidemaaisel aan te brengen of gras in te zaaien. Dit om in de plas mogelijke aanwas van lutum (met ijzer) te voorkomen via erosieprocessen in de omgeving. Heidemaaisel neemt goed stikstof op en zal uitspoeling van stikstof minimaliseren.

6. Literatuur

- Baker L.A., Brezonik P.L. & Pollman C.D. (1986) Model of internal alkalinity generation: sulphate retention component. Water, Air, and Soil Pollution, 31, 89–94.
- Bijkerk, R. (2017) Soortensamenstelling en beoordeling van fytoplankton, IJzeren Man, juli 2017. Rapport 2017-078.
- Brouwer, E., Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (2008) Vennen kunnen verzuipen. H_2O 19: 89-91.
- Cook R.B., Kelly C.A., Schindler D.W. & Turner M.A. (1986) Mechanisms of hydrogen ion neutralization in an experimentally acidified lake. Limnology and Oceanography, 31, 134–148.
- Geurts, J.J.M., A.J.P. Smolders, J.T.A. Verhoeven, J.G.M. Roelofs & L.P.M. Lamers, 2008. Sediment Fe:PO4 ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of aquatic biodiversity in fen waters. Freshwater Biology 53: 2101-2116.
- Loeb, R. & Verdonschot, P.F.M., 2008. Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 128.
- Lucassen, E. C., Roelofs, J. G., Schneider, S. C., & Smolders, A. J. (2016). Long-term effects of liming in Norwegian softwater lakes: the rise and fall of bulbous rush (Juncus bulbosus) and decline of isoetid vegetation. *Freshwater Biology*, 61(5), 769-782.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Spierenburg, S., Fraaije, R., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (2009). Alkalinity generation and sediment CO_2 uptake influence establishment of *Sparganium angustifolium* in softwater lakes. Freshwater Biology 54 (11): 2300-2314.
- Pulido, C., Lucassen, E.C.H.E.T., O. Pedersen & J.G.M. Roelofs (2011) Influence of quantity and lability of sediment organic matter on the biomass of two isoetids, Littorella uniflora and Echinodorus repens. Freshwater Biology 56(5): 939-951.
- RIVM (2012) Rapport 680720005/ Veranderingen in regen- en grondwaterkwaliteit als gevolg van atmosferische emissiereducties Verzuring en vermesting 1989-2010.
- Schindler D.W. (1986) The significance of in-lake production of alkalinity. Water, Air, and Soil Pollution, 30, 931–944.
- Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, M. Moonen, K. Zwaga & J.G.M. Roelofs, 2001. Controlling phosphate release from phosphate-enriched sediments by adding various iron compounds. Biogeochemistry 54: 219-228.
- Smolders, A. J. P., Lucassen, E. C. H. E. T., & Roelofs, J. G. M. (2002). The isoetid environment: biogeochemistry and threats. *Aquatic Botany*, 73(4), 325-350.
- Smolders, A., Van Diggelen, J., Roelofs, J., Lucassen, E., Geurts, J. & L. Lamers (2013) Waterkwaliteit in het veenweidegebied: de complexe interacties tussen oever, waterbodem en oppervlaktewater. Landschap 3: 145-153.
- Smolders, A.J.P., Lucassen, E.C.H.E.T. & J.G.M. Roelofs (In prep) How blanket bog erosion affects the abundance of aquatic macrophytes in an isoetid lake (lake Lancoge, Roundstone, Connemara Ireland).
- Spierenburg, P., Lucassen, E.C.H.E.T., Pulido, C., Smolders, A.J.P. & J. G.M. Roelofs (2013) Massive uprooting of Littorella uniflora (L.) Asch. during a storm event and its relation to sediment and plant characteristics. Plant Biology 15(6): 955-62.
- Spierenburg, P., Lucassen, E. C. H. E. T., Lotter, A. F., & Roelofs, J. G. M. (2010). Competition between isoetids and invading elodeids at different concentrations of aquatic carbon dioxide. *Freshwater Biology*, 55(6), 1274-1287.
- Spierenburg, P., Lucassen, E.C.H.E.T., Lotter, A.F. & J.G.M. Roelofs (2009). Could rising aquatic carbon dioxide concentrations favour the invasion of elodeids in isoetid-dominated softwater lakes? Freshwater Biology 54(9): 1819-1831.

- Tamerus, H., & Fleskens, L., (2013). Zwemwaterprofiel IJzeren Man Vught. Grontmij B.V. en Waterschap de Dommel.
- Van der Molen, D. T. (red.) (2004): Referenties en concept-maatlatten voor meren voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA-rapport 42. STOWA, Utrecht.
- Voorn, P. (2003). IJzeren Man Vught; Onderzoek naar oorzaak klachten "glad-vettige huid" zwemmers seizoen 2002. Waterschap de Dommel: afdeling Advies Waterbeheer, Boxtel.

7 Bijlage: Onderzoeksrapport Koeman & Bijkerk

Soortensamenstelling en beoordeling van fytoplankton IJzeren Man, juli 2017



Rapport 2017-078

R. Bijkerk

koeman en bijkerk bv
ecologisch onderzoek en advies

Soortensamenstelling en beoordeling van fytoplankton IJzeren Man, juli 2017

Rapport 2017-078

R. Bijkerk

koeman en bijkerk bv
ecologisch onderzoek en advies

bezoekadres	oosterweg 127 Haren
postadres	postbus 111 9750 AC Haren
telefoon	050 8200018
telefax	050 8200013
email	info@koemanenbijkerk.nl
website	www.koemanenbijkerk.nl

Colofon

Opdrachtgever	Onderzoekcentrum B-WARE Toernooiveld 1 (2e verdieping) 6525 ED Nijmegen
Titel	Soortensamenstelling en beoordeling van fytoplankton IJzeren Man, juli 2017
Auteur	R. Bijkerk
Datum	25 juli 2017
Pagina's (inclusief bijlagen)	23
Opdrachtnr	-
Projectnr	2017-166
Rapportnr	2017-078
Status	Definitief
Akkoord	Ing G.L.Verweij (adviseur hydrobiologie)
Paraaf	

Foto omslag: *Gonyostomum semen* is een flagellaat die tot bloei kan komen in zure tot neutrale, ondiepe plassen die door humuszuren of leemdeeltjes troebel zijn. In met Lugol geconserveerde monsters vallen de cellen gemakkelijk uit elkaar en zijn alleen de kleine, ronde chromatoforen nog opvallend (foto: Koeman en Bijkerk bv).

Deze publicatie kan geciteerd worden als:
Bijkerk R (2017) Soortensamenstelling en beoordeling van fytoplankton IJzeren Man, juli 2017. KenB rapport 2017-078, Koeman en Bijkerk bv, Haren.

© Koeman en Bijkerk bv / Onderzoekcentrum B-WARE

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Koeman en Bijkerk bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Koeman en Bijkerk bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede schade welke voortvloeit uit toepassingen van resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Koeman en Bijkerk bv; opdrachtgever vrijwaart Koeman en Bijkerk bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Inhoudsopgave

COLOFON 3

1 INLEIDING 7

2 WERKWIJZE 9
2.1 Gebiedsbeschrijving 9
2.2 Geanalyseerde monsters 9
2.3 Voorbehandeling en analyse 9
2.4 Gegevensverwerking en beoordeling 10

3 BESPREKING VAN DE RESULTATEN 13
3.1 Ecologische typering 13
3.2 Taxonomische samenstelling 13
3.3 Functionele samenstelling 14

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 17
4.1 Conclusies 17
4.2 Aanbevelingen 17

5 LITERATUUR 19

BIJLAGE I ANALYSERESULTATEN 21

BIJLAGE II TOELICHTING FUNCTIONELE GROEPEN 23

1 Inleiding

Op verzoek van de heer P.J. Westendorp van B-WARE zijn twee fytoplanktonmonsters geanalyseerd, afkomstig uit de plas IJzeren Man bij Vught. De analyse betrof een bepaling van de soortensamenstelling en dichtheid. Op basis hiervan is een beschrijving gemaakt van de ecologie van de plas, voor zover het fytoplankton hier informatie over geeft.

Tijdens de analyse is speciale aandacht geschonken aan de soort *Gonyostomum semen*. Deze flagellaat komt voor in de plas en kan in hoge dichtheid oorzaak zijn van huidirritatie bij zwemmers, door het afscheiden van slijmdraden via trichocysten. In de afgelopen jaren zijn veranderingen waargenomen in de waterkwaliteit, die mogelijk kunnen leiden tot een toename van de kans op bloeien van deze soort. De beheerder, het Waterschap de Dommel, vraagt zich af wat men kan doen om dit risico te verminderen.

2 Werkwijze

2.1 Gebiedsbeschrijving

De IJzeren Man is een recreatieplas bij Vught, met een oppervlakte van 46 hectare, een gemiddelde diepte van 1,5 meter en een maximale diepte van 2 meter. De plas is ontstaan door zandwinning in de tweede helft van de negentiende eeuw. De bodem bestaat uit zand. In de jaren 2003-2004 werd een EGV gemeten van 128 µS/cm, wat duidt op enige grondwaterinvloed, een pH van 4,6 en totaalgehalten van 0,04 mg P/l en 0,88 mg N/l (gegevens Waterschap de Dommel). In de afgelopen jaren lijkt de waterkwaliteit veranderd te zijn.

2.2 Geanalyseerde monsters

De twee geanalyseerde fytoplanktonmonsters zijn verzameld op 19 juli 2017 door medewerkers van B-WARE (Tabel 1). De monsters zijn op 20 juli 2017 op ons lab ontvangen en ingeklaard.
De monsters bestaan uit ongeveer één liter water, geconserveerd met alkalische Lugol in glazen serumflessen. Voor de dichtheidsbepaling hebben we verondersteld dat de monsters ongeconcentreerd oppervlaktewater betreffen. De tekst onder 'Omschrijving' in Tabel 1 is met zwarte viltstift op de flessen geschreven. De monsters zijn binnen vier dagen na ontvangst geanalyseerd en in de tussentijd bewaard bij kamertemperatuur en in het licht.

Tabel 1 Aangeleverde en geanalyseerde monsters met bemonsterings- en analysedatum.

Omschrijving	Datum bemonstering	Monstercode KenB	Datum analyse
IJzeren Man 1	19 juli 2017	171037	21 juli 2017
IJzeren Man 2	19 juli 2017	171038	24 juli 2017

2.3 Voorbehandeling en analyse

De fytoplanktonanalyse omvatte een bepaling van de soortensamenstelling en abundantie en is uitgevoerd aan bezinkingsplankton met behulp van een omkeermicroscoop (Utermöhl-methode), volgens ons voorschrift MET-001, gebaseerd op de norm NEN-EN 15204 en het Handboek Hydrobiologie (Bijkerk 2014).

Alleen fototrofe (chlorofyl bevattende) algen zijn gedetermineerd en geteld. Voor de determinatie en telling zijn een deelmonster van 2,0 ml onderzocht en een deelmonster van 100 ml gefilterd over een zeefje met een maaswijdte van 25 µm. Dit laatste deelmonster is onderzocht om de dichtheid te bepalen van *Gonyostomum semen* en van andere grote, maar weinig talrijke algen.
De deelmonsters zijn onttrokken na zorgvuldige menging van het monster met behulp van een gekalibreerde Finn-pipet (het 2,0 ml deelmonster) of een maatcilinder (het 100

ml deelmonster). De deelmonsters zijn overgebracht in een rond sedimentatiecuvet met een bodemoppervlakte van 1,25 cm². Vóór pipettering is het cuvet gedeeltelijk gevuld met leidingwater met Lugol om een gelijkmatige spreiding van de deeltjes over de cuvetbodem te verkrijgen. Tussen pipettering en onderzoek lasten we een tijdsperiode in van minstens twee uur voor sedimentatie van organismen.
De deelmonsters zijn onderzocht met een omkeermicroscoop (Olympus IMT-2) met een LWCD-condensor, numerieke apertuur 0,55, 10× WHK-oculairen, waarvan één is voorzien van een oculair micrometer en met de volgende objectieven: Olympus SPlanApo 20×/0,7 en Olympus SPlanApo 60×/1,4 (olie-immersie). De analyses zijn verricht in helderveld. Per deelmonster zijn meerdere subvolumina onderzocht voor de bepaling van de soortensamenstelling en abundantie (integrale analyse). Als richtlijn zijn grote en relatief schaarse soorten geteld in een relatief groot subvolume bij een kleine vergroting en kleine, relatief talrijke soorten in een klein subvolume bij een sterke vergroting (Tabel 2). Voor de telling zijn minimaal twintig beeldvelden onderzocht en maximaal een heel cuvet. Om te corrigeren voor een eventueel randeffect zijn beeldvelden geteld in sectoren van het cuvet. De analyseresultaten zijn tijdens de telling ingevoerd in ons telprogramma Count Manager versie 6e.
Het totaal aantal waarnemingen per monster is uitgekomen op een waarde van 253, respectievelijk 427, voor monster 1 respectievelijk monster 2. De analyseresultaten zijn opgenomen in Bijlage I.

Tabel 2 Telstrategie voor de integrale fytoplanktonanalyse.

Omvang individu	Abundantie individu	Volume deelmonster	Vergroting
Groot	Laag	Groot	10×20
Groot	Middelmatig	Middelmatig	10×20 / 10×60
Klein	Middelmatig	Middelmatig	10×60
Klein	Hoog	Klein	10×60

Meetonzekerheid
De betrouwbaarheid van de dichtheidsbepaling is gekwantificeerd als de geëxpandeerde meetonzekerheid, afgeleid uit de fouten in de deelmonstername, het pipetteren, de bepaling van de cuvetfractie en uit de verdeling van deeltjes in het cuvet. Deze meetonzekerheid is begroot als 20,9% voor ongeconcentreerde monsters, bij 200 waarnemingen (Bijkerk & van Wezel 2016).

2.4 Gegevensverwerking en beoordeling

De analyseresultaten zijn vanuit Count geïmporteerd in ons labinfosysteem TEUN (Koeman & Wanink 2012). Via TEUN zijn de taxonnamen getoetst aan de actuele TWN-lijst. De TWN-conforme naam is zo nodig aangepast. Vervolgens zijn de analyseresultaten vanuit TEUN geëxporteerd in de vorm van een Excel-bestand.

Voor een beoordeling van de taxonomische samenstelling van het fytoplankton is de abundantie omgezet in een biovolumemaat. Op deze wijze kan men deze samenstelling

direct vertalen in een bijdrage aan het chlorofyl-a-gehalte, eveneens een biomassa-gerelateerde maat. Voor een interpretatie van de habitatkenmerken en belangrijkste stuurfactoren van het fytoplankton, is gebruik gemaakt van de indeling in functionele groepen volgens Reynolds *et al*. 2002. Ook hiervoor is de omzetting naar een biomassa-gerelateerde maat noodzakelijk. De achtergrond hiervan is dat beoordeeld moet kunnen worden welke strategie of combinatie van eigenschappen het meest profiteert van de beschikbare voedingsstoffen en licht. Met andere woorden, in welke functionele groep zit de meeste biomassa (= C, P en N). Voor een representatieve beoordeling is het verder van belang dat het fytoplankton gedetermineerd wordt tot op het niveau van minimaal genus en binnen de groep van centrale diatomeeën bij voorkeur tot op het niveau van de soort. De reden is dat soorten binnen deze diatomeeëngroep tot verschillende functionele groepen kunnen behoren. Dat geldt niet voor verreweg de meeste andere fytoplanktonorganismen, waarvoor de indeling is gemaakt op het niveau van genus. Om de dichtheid in cellen per milliliter om te rekenen in kubieke millimeter per liter, is gebruik gemaakt van onze lijst van soortspecifieke celvolumes. Deze zijn berekend uit de gemiddelde afmetingen van soorten zoals we die in onze wateren kunnen tegenkomen. Wanneer gedetermineerd moet worden tot op hogere taxonomische niveaus dan soort of genus, bijvoorbeeld Chlorophyta of Coscinodiscophyceae, wordt onderscheid gemaakt in grootteklassen. Dat zelfde geldt voor genera met sterk uiteenlopende grootten, zoals *Cryptomonas*. Uiteraard blijft de omzetting van dichtheid naar biovolume op deze wijze een benadering, maar geeft het een beter ecologisch inzicht. Voor de toekenning van taxa aan functionele groepen is gebruik gemaakt van een lijst van Reynolds & Carvalho (pers. meded.). Deze lijst is aangepast volgens latere publicaties (Reynolds 2006, Padisak *et al*. 2009). Voor ontbrekende soorten zijn toekenningen gedaan op basis van taxonomische verwantschap en expertoordeel. Hogere taxonomische niveaus zijn in de meeste gevallen opgevoerd in de categorie “Onbekend”.

Uit het totale biovolume is een schatting gemaakt van het chlorofyl-a-gehalte met behulp van de regressie log [Chla in µg/l] = 0,825 + 0,679 log [Biovolume in mm^3/l], door ons afgeleid uit een plot van 196 monsters waarin gelijktijdig het biovolume en het chlorofyl-a-gehalte bepaald is ($R^2 = 0,81$, $p < 0,0001$).

Meetonzekerheid

De betrouwbaarheid van de biovolumeschatting met gebruikmaking van onze lijst van soortspecifieke celvolumina is gekwantificeerd als de geëxpandeerde meetonzekerheid, afgeleid uit de fouten in de dichtheidsbepaling (zie hierboven) en uit de afwijking tussen de waarde van het reële celvolume en de waarde van het default celvolume. Deze meetonzekerheid is begroot als 102,2% voor ongeconcentreerde monsters, bij 200 waarnemingen (Bijkerk & van Wezel 2016).

3 Bespreking van de resultaten

3.1 Ecologische typering

De soortensamenstelling en relatieve abundantie van het fytoplankton wijzen op een zeer zwak gebufferde, zure en oligo- tot mesotrofe plas. Het zijn met name de sieralgen, *Closterium juncidum*, *C. setaceum*, *Pleurotaenium ehrenbergii*, *Spondylosium pulchellum* en *Staurastrum brachiatoides*, die de grondslag vormen voor deze typering. De in 2007 vrij soortenrijke sieralgenflora had kensoorten van niet tot zeer zwak gebufferde vennen, en was niet indicatief voor een sterke verzuring of vermesting (Bijkerk ongepubl.).
De dichtheid en biomassa van fytoplankton ten tijde van de bemonstering in 2017 zijn laag; het gehalte van chlorofyl-a is geschat op 3 à 4 µg/l (Tabel 3).

Tabel 3 Totale dichtheid en biovolume en het geschatte gehalte van chlorofyl-a in beide monsters.

Omschrijving	Dichtheid (cellen/ml)	Biovolume (mm^3/l)	Chlorofyl-a (µg/l)
IJzeren Man 1	2973	0,3440	3,2
IJzeren Man 2	4816	0,4508	3,9

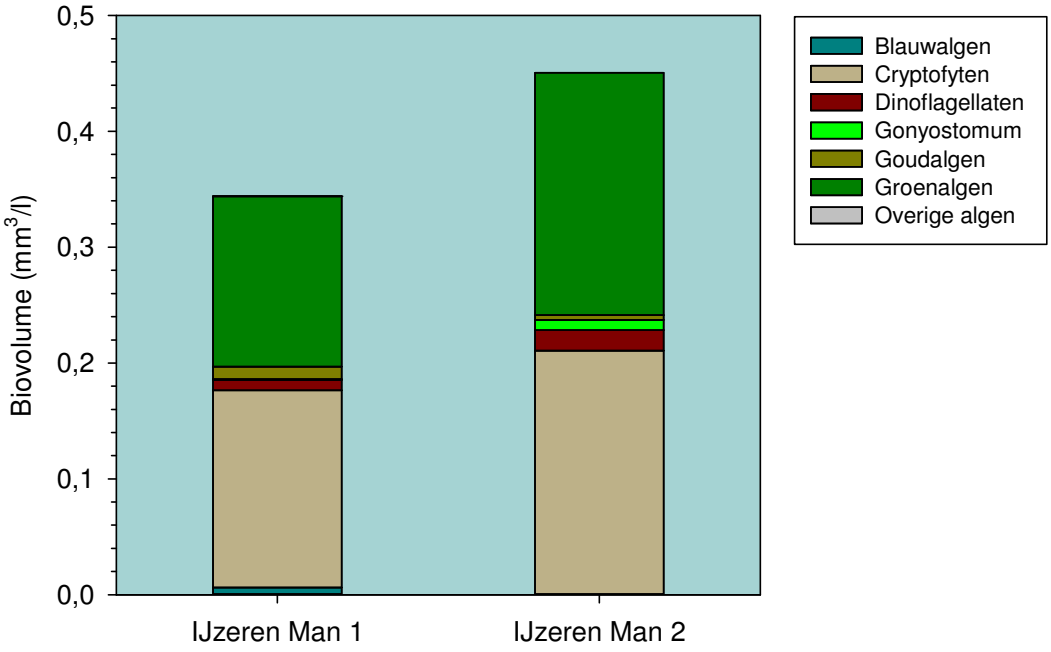
3.2 Taxonomische samenstelling

Het meest talrijk in beide monsters zijn groenalgen, waaronder *Elakatothrix gelatinosa* en *Botryococcus neglectus* het meest opvallend zijn. *B. neglectus* is een soort van zwak zure wateren (Komárek & Marvan 1992). Evenals andere soorten uit dit geslacht kan hij, soms oranjekleurige, drijflagen vormen, wanneer zijn soortelijk gewicht door de opslag van oliedruppeltjes lager wordt. Minder opvallend zijn de uiterst kleine, ééncellige groenalgen van picoplanktonformaat (cellen kleiner dan 5 µm). Dominant qua biovolume is *Cryptomonas*, een geslacht van flagellaten dat in uiteenlopende wateren vertegenwoordigd is. Van *Gonyostomum semen* zijn bij de analyse slechts enkele exemplaren aangetroffen, het meest in het monster IJzeren Man 2.

Tabel 4 Meest voorkomende taxa in beide monsters (> 1% qua dichtheid en/of biovolume).

Taxon	Hoofdgroep	IJzeren Man 1		IJzeren Man	
		% Dichtheid	% Volume	% Dichtheid	% Volume
Cryptomonas	Cryptofyten	4,7	49,5	3,4	46,8
Elakatothrix gelatinosa	Groenalgen	30,0	28,7	29,6	35,0
Botryococcus neglectus	Groenalgen	28,3	10,3	6,4	2,9
Chlorophyta < 5 µm	Groenalgen	33,8	3,1	59,5	6,1
Peridinium	Dinoflagellaten	< 0,1	2,1	< 0,1	2,1
Ochromonadacea	Goudalgen	1,7	3,1	0,2	0,4
Gonyostomum semen	Raphidofyten	< 0,1	0,2	< 0,1	1,9
Pleurotaenium ehrenbergii	Groenalgen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,5
Dinophyceae	Dinoflagellaten	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,2

Figuur 1 toont dat bijna al het fytoplanktonvolume in gelijke mate verdeeld is over cryptofyten en groenalgen. In beide monsters zijn grotendeels dezelfde soorten gevonden. *Botryococcus neglectus* is relatief talrijker in monster 1, kleine groenalgen zijn wat talrijker in monster 2, mogelijk omdat dit monster veel langer heeft staan bezinken (18 uur), dan monster 1 (2 uur). Er zijn in beide monsters maar heel weinig blauwalgen aangetroffen, hoofdzakelijk uit het geslacht *Merismopedia*, dat niet bekend staat als potentieel toxisch.



Figuur 1 Taxonomische samenstelling van het fytoplankton op het niveau van hoofdgroepen.

3.3 Functionele samenstelling

Trofiegraad

Het grootste deel van het fytoplanktonbiovolume in de beide watermonsters wordt gevormd door taxa die in uiteenlopende wateren kunnen optreden (*Cryptomonas*) en taxa die de voorkeur geven aan heldere, goed gemengde, mesotrofe tot eutrofe wateren (*Elakatothrix* en *Botryococcus*; Figuur 2).

Nutrienten en begrazing

De grootste biovolumebijdrage komt voor rekening van soorten die gevoelig zijn voor begrazing door watervlooien (*Cryptomonas* en picoplankton groenwieren) en soorten die bestand zijn tegen een (periodiek) tekort aan N en P (*Botryococcus*, *Elakatothrix*; Figuur 3). Laatstgenoemde soorten zijn gevoelig voor lichttekort door troebelheid, waar *Gonyostomum semen* juist goed tegen bestand is door zijn vermogen tot verticale migratie.



Figuur 2 Functionele samenstelling van het fytoplankton in relatie tot de trofiegraad van het water.



Figuur 3 Functionele samenstelling van het fytoplankton in relatie tot begrazing en nutriëntenbeschikbaarheid.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Op grond van de soortensamenstelling van het fytoplankton kan de IJzeren Man getypeerd worden als een zwak tot zeer zwak gebufferde mesotrofe en heldere plas. De graasdruk in juli is laag en er lijkt een periodiek tekort aan N en/of P.

De dichtheid van *Gonyostomum semen* in de monsters is zeer laag en zal bij deze abundantie geen problemen vormen voor de zwemwaterkwaliteit.

4.2 Aanbevelingen

Met het oog op de abundantiebepaling van *Gonyostomum semen* willen we nog de volgende opmerking maken. *G. semen* is een grote flagellaat die in staat is tot verticale migratie. Hierdoor kan hij een optimale positie in de waterkolom innemen, wanneer de lichtdoordringing in de waterkolom te wensen overlaat door humuszuren of leemdeeltjes. Dit betekent dat deze soort midden op de dag ook geconcentreerd kan zijn op enige diepte in de waterkolom. Bij een fytoplanktonbemonstering die zich beperkt tot de bovenste halve meter van de waterkolom kan de populatiedichtheid van deze soort dan ook onderschat worden. Voor zover dit bij de huidige bemonstering niet al gebeurd is, raden wij aan om voor het fytoplankton een mengmonster te nemen van de gehele waterkolom, zoals beschreven in het Handboek Hydrobiologie voor plassen van 0,5 tot 3 meter diep (Bijkerk 2014).

Gonyostomum semen lijkt in de Scandinavische landen de laatste tijd zijn verspreidingsgebied en biovolume-aandeel te hebben vergroot (Hagman *et al*. 2015). Er is nog geen éénduidige oorzaak voor deze uitbreiding en voor de vorming van *Gonyostomum*-bloeien gevonden. Mogelijke factoren zijn een toename van de watertemperatuur (klimaatverandering), hoge gehalten van DOC of TOC (humus- en fulvinezuren) en doorzicht. Er zijn vooralsnog geen duidelijke relaties met nutriëntengehalten. Bij onderzoek naar waterkwaliteitsveranderingen met het oog op effecten op *Gonyostomum*, is het aan te raden om zich niet te beperken tot de ecologische sleutelfactoren ESF 1, ESF2 en ESF3, maar ook andere stuurfactoren aandacht te schenken, zoals begrepen in ESF 4 Habitatgeschiktheid en ESF7 Organische belasting.

5 Literatuur

Bijkerk R (red) (2014) *Handboek Hydrobiologie: biologisch onderzoek voor de ecologische beoordeling van Nederlandse zoete en brakke oppervlaktewateren.* Deels aangepaste versie Rapport 2014-02. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort.

Bijkerk R & van Wezel RM (2016) *Bepaling van de soortensamenstelling, de dichtheid en het biovolume van fytoplankton volgens de Utermöhl-methode*. Validatierapport. Versie 01. Rapport 2016-052. Koeman en Bijkerk bv, Haren.

Hagman CHC, Ballot A, Hjermann DO, Skjelbred B, Brettum P & Ptacnik R (2015) The occurrence and spread of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing (Raphidophyceae in Norwegian lakes. Hydrobiologia 744: 1-14.

Komárek J & Marvan P (1992) Morphological differences in natural populations of the genus Botryococcus (Chlorophyceae). Archiv für Protistenkunde 141:65-100.

Koeman T & Wanink JH (2012) *Telsysteem voor Ecologische Unificatie van Natuurdata (TEUN).* Validatierapport. *Versie 01.* Rapport 2012-079. Koeman en Bijkerk bv, Haren.

MET-001. *Het bepalen van de soortensamenstelling, de abundantie en het biovolume van fytoplankton in oppervlaktewater; omkeermicroscopie.* Voorschrift MET-001, versie 06, 26 september 2016. Koeman en Bijkerk bv, Haren.

Padisak J, Crossetti LO & Naselli-Flores L (2009) Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1-19.

Reynolds CS (2006) Ecology of phytoplankton. Cambridge.

Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L & Melo S (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24(5): 417-428.

Bijlage I Analyseresultaten

Toelichting veldnamen

Taxonnaam	De naam door ons gegeven
FG	De functionele groep waartoe het taxon behoort; zie voor verklaring Bijlage II
volpcel	Het gemiddelde celvolume in μm^3/cel volgens onze lijst
ncel	Het aantal waargenomen cellen tijdens de telling
nobs	Het aantal waarnemingen tijdens de telling
cel/ml	De berekende dichtheid in cellen per milliliter
mm3/l	Het berekende biovolume in kubieke millimeter per milliter
ml	Het volume van het deelmonster waarin het taxon geteld is

IJzeren Man monster 1

Taxonnaam	FG	volpcel	ncel	nobs	cel/ml	mm3/l	ml
Ankyra	X1	30	3	3	3,00	0,0001	1,00
Bacillariophyceae > 15 µm	5	60	2	2	2,00	0,0001	1,00
Botryococcus neglectus	F	42	840	9	840,00	0,0353	1,00
Chlamydocapsa	F	300	72	6	0,72	0,0002	100,00
Chlamydomonas	X1/X2	262	3	3	3,00	0,0008	1,00
Chlorophyta 2-5 µm cel	X1	14	30	30	735,29	0,0102	0,04
Choricystis [1]	X3	2	11	11	269,61	0,0005	0,04
Chroococcales 5-10 µm kolonie	Lo	216	28	1	28,00	0,0060	1,00
Chroococcus	Lo	64	6	1	0,06	0,0000	100,00
Closterium juncidum	P	17279	1	1	0,01	0,0002	100,00
Closterium setaceum	P	17581	3	3	0,03	0,0005	100,00
Coenocystis	F	22	16	1	0,16	0,0000	100,00
Cryptomonas < 15 µm	Y	800	10	10	39,62	0,0317	0,25
Cryptomonas 15-30 µm	Y	1400	25	25	99,05	0,1387	0,25
Dictyosphaerium [3]	F	64	16	1	0,16	0,0000	100,00
Elakatothrix gelatinosa	F	111	225	76	891,44	0,0986	0,25
Fragilariaceae > 100 µm	5	1000	1	1	0,01	0,0000	100,00
Gonyostomum semen	Q	34582	2	2	0,02	0,0007	100,00
Gymnodinium	Lo	1800	1	1	1,00	0,0018	1,00
Merismopedia punctata	Lo	11	923	8	9,23	0,0001	100,00
Mougeotia	T	668	9	2	0,09	0,0001	100,00
Ochromonadaceae	5	220	2	2	49,02	0,0108	0,04
Oedogonium	1	2652	20	1	0,20	0,0005	100,00
Peridinium	Lo	14137	50	50	0,50	0,0071	100,00
Phacus acuminatus	W1	1800	1	1	0,01	0,0000	100,00
Phormidium	MP/S1/TC	38	54	1	0,54	0,0000	100,00
Staurastrum brachiatoides	P	2800	1	1	0,01	0,0000	100,00

IJzeren Man monster 2

Taxonnaam	FG	volpcel	ncel	nobs	cel/ml	mm3/l	ml
Ankyra	X1	30	5	5	19,81	0,0006	0,25
Botryococcus neglectus	F	42	616	9	308,00	0,0129	2,00
Chlamydocapsa	F	300	6	1	0,06	0,0000	100,00
Chlorophyta 1-2 µm cel	X3	2	16	16	392,16	0,0008	0,04
Chlorophyta 2-5 µm cel	X1	14	75	75	1838,24	0,0254	0,04
Choricystis [1]	X3	2	26	26	637,25	0,0013	0,04
Closterium acutum var. acutum	P	500	3	3	0,03	0,0000	100,00
Closterium juncidum	P	17279	2	2	0,02	0,0003	100,00
Closterium setaceum	P	17581	3	3	0,03	0,0005	100,00
Cryptomonas < 15 µm	Y	800	7	7	27,73	0,0222	0,25
Cryptomonas 15-30 µm	Y	1400	34	34	134,71	0,1886	0,25
Dinophyceae	5	2800	4	4	2,00	0,0056	2,00
Elakatothrix gelatinosa	F	111	360	117	1426,31	0,1577	0,25
Gonatozygon monotaenium	P	27000	1	1	0,01	0,0003	100,00
Gonyostomum semen	Q	34582	25	25	0,25	0,0086	100,00
Gymnodinium	Lo	1800	3	3	1,50	0,0027	2,00
Koliella	X3	90	1	1	0,50	0,0000	2,00
Merismopedia cf. glauca	Lo	25	54	3	0,54	0,0000	100,00
Merismopedia punctata	Lo	11	443	3	4,43	0,0000	100,00
Mougeotia	T	668	29	11	0,29	0,0002	100,00
Ochromonadaceae	5	220	2	2	7,92	0,0017	0,25
Oedogonium	1	2652	30	2	0,30	0,0008	100,00
Peridinium	Lo	14137	66	66	0,66	0,0093	100,00
Pleurotaenium ehrenbergii	N	339120	2	2	0,02	0,0068	100,00
Pseudopedinella	X2	200	3	3	11,89	0,0024	0,25
Spondylosium pulchellum	P	377	1	1	0,50	0,0002	2,00
Staurastrum brachiatoides	P	2800	1	1	0,01	0,0000	100,00
Staurodesmus dejectus	N	1600	2	1	1,00	0,0016	2,00

Bijlage II Toelichting functionele groepen

Groep	Habitatkeuze	Toleranties	Gevoeligheden	Voorbeeldtaxa
1	Perifytisch, niet planktisch			
5	Onbekend			
F	Heldere, diep gemengde, meso- tot eutrofe meren	Nutriëntentekort	CO_2-tekort, hoge troebelheid	*Botryococcys*, *Coenochloris*, *Oocystis, Sphaerocystis*
Lo	Ondiepe en diepe, oligo- tot eutrofe meren	Heterogene verdeling N en P, begrazing	Aanhoudende, of diepe menging	*Gymnodinium*, *Merismopedia*, *Snowella*, *Woronichinia*
MP	Door regelmatige opwerveling troebele, ondiepe meren			*Surirella, Campylodiscus, Fragilaria*
N	Meso- tot eutrofe steeds tot regelmatig gemengde wateren (ondiepe meren of epilimnia)	Nutriententekort	Stratificatie, pH-stijging	*Tabellaria, Cosmarium, Staurodesmus*
P	Eutrofe tot hypertrofe, gemengde, 2 tot 3 meter diepe waterkolommen (ondiepe meren of epilimnia)	Mild lichttekort en C-tekort	Si-tekort, stratificatie	*Aulacoseira granulata, Fragilaria crotonensis, Closterium aciculare*
Q	Kleine, zure humusrijke meren	Hoog gehalte kleurstof (DOC)	?	*Gonyostomum*
S1	Gemengde, troebele waterlagen	Sterk lichttekort, begrazing	Uitspoeling	*Limnothrix*, *Planktolyngbya*, *Planktotrix agardhii*
T	Voortdurend gemengde waterlagen, waaronder heldere epilimnia in diepe meren	Lichttekort	Nutriententekort	*Binuclearia, Geminella, Mougeotia, Tribonema*
T_C	Eutrofe meren of langzaam stromende rivieren met veel waterplanten			Epifytische blauwalgen zoals *Phormidium, Rivularia, Gloeocapsa punctata*
W1	Kleine plassen, rijk aan organische stof	Hoog BOD	Begrazing	*Euglena, Gonium, Strombomonas*
X1	Ondiepe, geëutrofiëerde, gemengde waterlagen	Stratificatie	Nutriententekort, begrazing	*Crucigenia*, *Lagerheima*, *Monoraphidium*, *Tetrastrum*
X2	Ondiepe, meso-eutrofe, heldere, gemengde waterlagen	Stratificatie	Menging, begrazing	*Chrysochromulina*, *Kephyrion*, *Plagioselmis*, *Rhodomonas*
X3	Ondiepe, heldere, gemengde waterlagen	Lage alkaliniteit, Nutriëntentekort	Menging, begrazing	*Chroococcus*, *Cyanodictyon*, *Spermatozopsis*
Y	Uiteenlopende stilstaande wateren	Lichttekort	Begrazing	*Chroomonas*, *Cryptomonas*

Bron: Reynolds 2006, Padisak *et al*. 2009, Bijkerk pers. med., Carvalho pers. med.