

Onderzoek van de onderwaterbodem en het lokale grondwater ten behoeve van een systeemanalyse van de Klotbeek.



*Titel rapport:*

*Onderzoek van de onderwaterbodem en het lokale grondwater ten behoeve van een systeemanalyse van de Klotbeek.*

*Auteurs:*

*A.J.P. (Fons) Smolders en Mark van Mullekom*

*Opdrachtgever: AQUON*

*Rapportnummer: 2015.01*

**Informatie:**

B-WARE Research Centre  
Radboud Universiteit Nijmegen  
Mercator III, Toernooiveld 1  
6525 ED Nijmegen  
Kamernummer: 02.025  
Tel: 024-3652816  
a.smolders@b-ware.eu

© B-WARE Research Centre, Nijmegen, 2015.

# 1. Inleiding

Sinds 2007, maar mogelijk ook al in de jaren ervoor, is in het ven genaamd de Klotbeek bij Heeswijk Dinther (figuur 1 en 2) sprake van een bloei van blauwalgen. Dit en grootschalige vissterfte (oorzaak: lage zuurstofconcentraties ) is in 2014 aanleiding geweest voor de lokale hengelsportvereniging om met de eigenaren en beheerder van de Klotbeek in gesprek te gaan over te nemen maatregelen. Waterschap Aa en Maas heeft een adviserende rol als waterkwaliteitsbeheerder maar wil ook graag bijdragen aan het realiseren van een duurzame oplossing.

Bij eerdere advisering heeft het waterschap aangegeven dat voorafgaand aan het nemen van maatregelen het van belang is om een beeld te hebben of maatregelen effectief kunnen zijn voor het realiseren van een helder water zonder overlast van (blauw)algen en vissterfte. Hoewel, op basis van eerder vooronderzoek, grof in beeld is welke bronnen bijdragen aan de problemen is het voor het nemen van effectieve maatregelen noodzakelijk om de bijdrage/grootte van de belangrijkste bronnen beter in beeld te krijgen. Hiertoe is een watersysteem- en bronanalyse vereist waarbij de belangrijkste bronnen in beeld worden gebracht. De eigenaren erkennen de huidige waterkwaliteitsproblematiek en willen samen met het IVN en waterschap Aa en Maas aan de slag met de bronanalyse.

Mede op basis van het vooronderzoek 'OBN venherstel Klotbeek' (Faasen en Hanhart, 2006) wordt verondersteld dat de grondwaterkwaliteit en de onderwaterbodem mogelijk belangrijke bronnen zijn die bijdragen aan de eutrofiëring en recente waterkwaliteitsproblemen in de Klotbeek. Onderzoekcentrum B-WARE heeft daarom, in opdracht van AQUON, de grondwaterkwaliteit en de onderwaterbodem bemonsterd om een inschatting te kunnen maken van de bijdrage van deze bronnen aan de oppervlaktewaterkwaliteitsproblemen. De karakterisering van het grondwater en de onderwaterbodem maakt onderdeel uit van een grotere watersysteem- en bronanalyse op basis waarvan het waterschap de beheerder van de Klotbeek wil adviseren over mogelijk te nemen maatregelen.



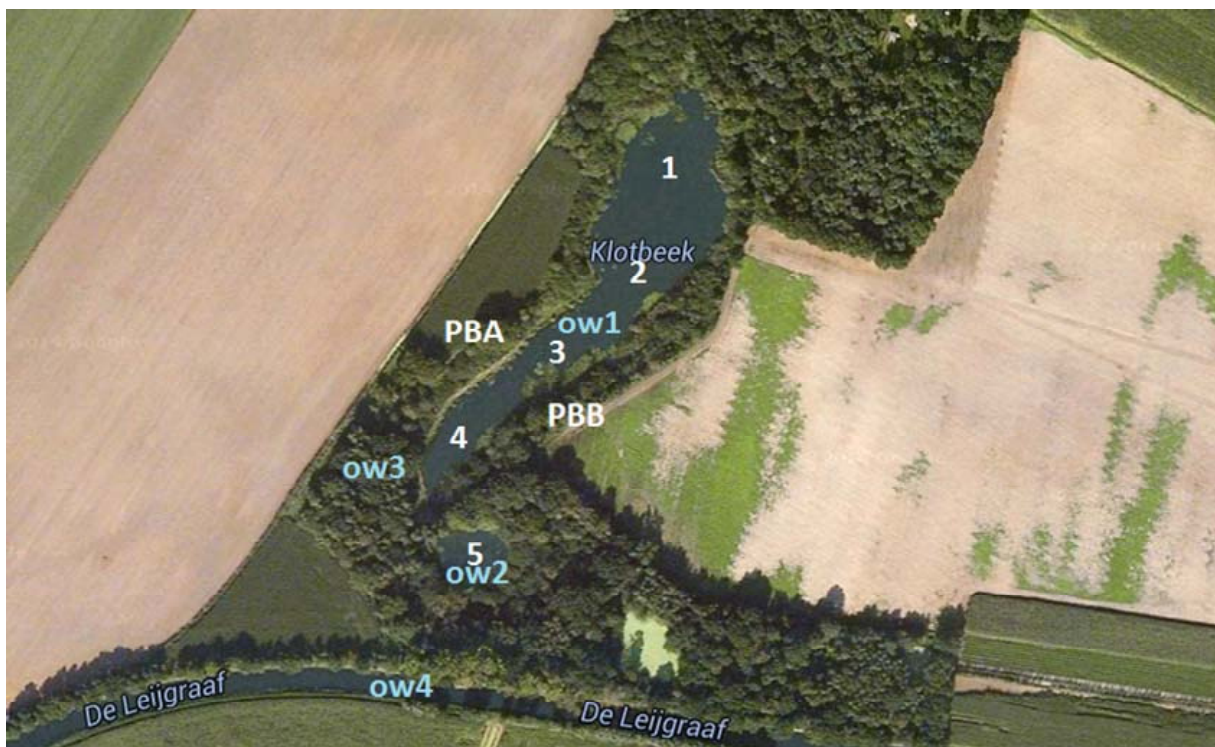


***Figuur 1.*** De plas Klotbeek bij Heeswijk Dinther. Foto's zijn gemaakt tijdens het veldwerk op 26 november 2014. Linksboven: Kleine Ven; Rechtsboven: Open verbinding tussen kleine en grote ven; Midden links: Noordkant grote Ven; Midden rechts: Zuidkant grote ven; Linksonder: Kroossloot die van ven naar westelijke landbouwsloot loopt; Rechtsonder: Algen en Bladinval langs Westelijke oever.

## 2. Materiaal en Methode

### 2.1 Veldwerk

Op 26 november 2014 werden vanaf een 'bellyboat' onderwaterbodemmonsters verzameld met behulp van een Eckman bodemhapper. Hierbij werd steeds de bovenste 10 cm van de onderwaterbodem bemonsterd. De sedimentmonsters werden verzameld op de locaties die worden weergegeven in Figuur 2. Op de locatie OW1 t/m OW 4 werden oppervlaktewatermonsters genomen. OW3 is genomen in een kroosloot die in open verbinding staat met de Klotbeek en naar de Oostelijke landbouwsloot loopt. Op locaties PBA en PBB werden peilbuizen geplaatst waaruit freatische grondwatermonsters werden verzameld. De inhoud van de peilbuis werd vijfmaal verversst waarna een monster werd verzameld voor analyse.



**Figuur 2.** Plas de Klotbeek bij Heeswijk Dinther met de ligging van de locaties (1 t/m 5) waar de onderwaterbodemmonsters zijn genomen. PBA en PBB staat voor de locatie waar grondwatermonsters werden verzameld. OW1 t/m OW4 voor de locatie waar oppervlaktewatermonsters werden verzameld.



## 2.2 Bodemanalyses

Onmiddellijk na de monsternamen werd poriewater uit het sediment verzameld met behulp van teflon sedimentwaterbemonsteraars (Rhizons, Eijkelkamp, Agrisearch Equipment). In dit poriewater werden de volgende parameters gemeten: pH alkaliniteit,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , P, Na, Cl, K, Mg, Ca, Fe, Mn, en Zn.

Een bekend volume van de sedimentmonsters werd gedroogd waarna het vochtgehalte en het massa volume (kilogram droge stof per liter bodemvolume) kon worden berekend. Van het gedroogde monster werd een deel verast/uitgegloeid (gedurende 5 uur bij 550 °C). Uit de afname van de massa tijdens verassen (gloeiverlies) werd het organisch stofgehalte berekend.

Van het gedroogde monster werd een deel ontsloten met geconcentreerd salpeterzuur en waterstofperoxide in een gesloten destructiemagnetron. Hierbij wordt de verweerbare fractie aan elementen van een bodem vrijgemaakt. Het destruaat werd doorverdund waarna de concentraties fosfor (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), ijzer (Fe), mangaan (Mn), zwavel (S), silicium (Si) en aluminium (Al) werden bepaald. De zo bepaalde concentraties worden in dit rapport aangeduid als respectievelijk P-tot, Ca-tot, Mg-tot, K-t-t, Fe-tot, Mn-tot, S-tot, Si-tot, en Al-tot.

## 2.3 Chemische analyses

De pH en alkaliniteit werd bepaald aan ongefilterde monsters. De alkaliniteit werd bepaald door een bekend volume monster met een 0,01 M zoutzuuroplossing te titreren tot pH 4,2. De concentraties natrium ( $\text{Na}^+$ ) en kalium ( $\text{K}^+$ ) werden vlamfotometrisch bepaald en de ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en chloride ( $\text{Cl}^-$ ) concentraties aan de hand van kleurreacties met autoanalyser-technieken (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>). De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), zwavel (S), fosfor (P), ijzer (Fe), mangaan (Mn) en silicium (Si) werden gemeten met behulp van een ICP-OES (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>). Totaal anorganisch koolstof werd bepaald met behulp van Infrarood gas analyse (IRGA) waarna aan de hand van de pH de bicarbonaat- ( $\text{HCO}_3^-$ ) en kooldioxide- ( $\text{CO}_2$ ) concentraties konden worden berekend op basis van het koolzuurevenwicht.

### 3. Resultaten en Discussie

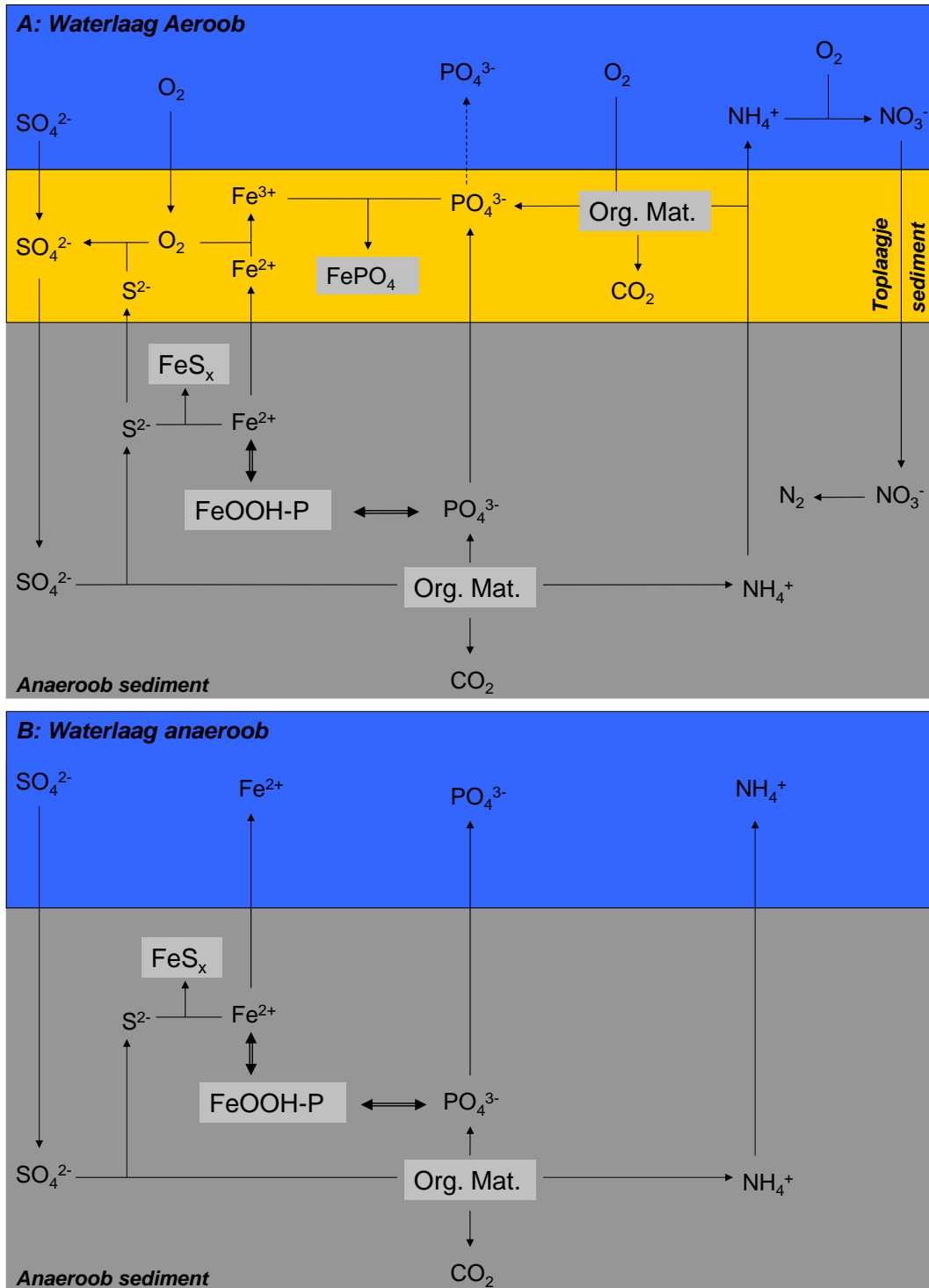
De resultaten van de uitgevoerde analyses worden gegeven in de tabellen 1 en 2.

**Table 1.** Resultaten van de analyses van het sediment. 'OS.' voor organisch stofpercentage, 'MV' voor massa volume (kilogram droge stof per liter bodemvolume).

Locatie	%	kg L <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>
	Org. Stof	MV	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Al	Si	Zn
1	63,3	0,106	369	333	12	40	9	25	398	195	17,0	4,3
2	64,9	0,106	357	357	12	36	10	27	398	214	16,8	4,2
3	27,8	0,322	128	137	4	14	5	9	233	49	11,3	1,4
4	64,9	0,090	424	575	16	50	16	74	864	264	15,0	11,9
5	56,9	0,096	361	673	17	46	14	95	1000	292	14,3	13,3

**Table 2.** Resultaten van de analyses van het sediment poriewater, het oppervlaktewater en het grondwater. Alk. staat voor alkaliniteit. EGV voor Elektrisch geleidingsvermogen. Alle waarden behalve pH, Alkaliniteit (µequivalenten per liter) en EGV (µS per cm) worden gegeven in µmol per liter.

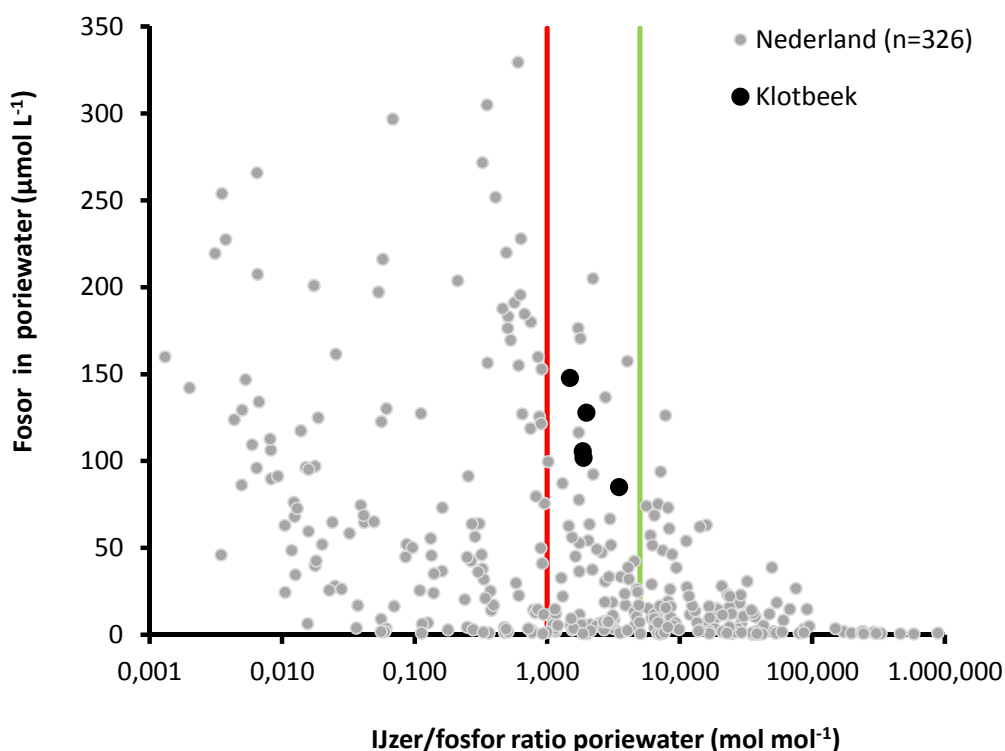
	µeq L <sup>-1</sup>	µs cm <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>
	pH	Alk.	EGV	CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K	Cl
<b>Oppervlakte water</b>										
Open water Klotbeek	7,3	2287	450	284	2371	872	286	1489	293	1485
Zuidelijk ven	7,3	2508	448	313	2587	880	303	1492	301	1470
Kroosloot	7,2	2521	446	372	2396	948	318	1492	295	1453
Leigraaf	7,1	1864	552	342	1794	1375	452	1325	396	1388
<b>Bodemwater</b>										
Locatie 1	6,7	5450	751	2535	5407	1426	348	1885	435	1727
Locatie 2	6,7	7047	876	3332	7494	1807	415	1899	424	1684
Locatie 3	6,7	6756	830	3118	6576	1896	455	2002	385	1784
Locatie 4	6,7	6456	835	2976	6756	1764	439	1956	401	1740
Locatie 5	6,6	8413	1033	5012	9163	2174	514	2076	451	1701
<b>Grondwater</b>										
Peilbuis A	6,3	3454	890	4734	3543	1341	324	5117	424	4953
Peilbuis B	6,3	2409	328	2487	2279	686	247	933	511	990
	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>	µmol L <sup>-1</sup>
	SO <sub>4</sub>	Fe	P	ortho-P	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Mn	Si	Zn	
<b>Oppervlakte water</b>										
Open water Klotbeek	239	0,8	9,0	8,0	69,6	2,6	5,7	34	0,08	
Zuidelijk ven	238	0,9	8,7	7,5	70,9	2,2	5,4	38	0,02	
Kroosloot	260	2,6	9,4	7,8	74,2	2,3	3,9	38	0,10	
Leigraaf	1120	53,7	2,8	0,4	30,2	197,3	10,4	242	0,22	
<b>Bodemwater</b>										
Locatie 1	29	191,9	101,8		1153,5	3,9	27,1	706	0,28	
Locatie 2	33	297,7	85,0		1683,9	4,0	40,8	798	0,34	
Locatie 3	34	195,8	105,5		1062,9	3,2	53,8	733	0,28	
Locatie 4	37	219,4	147,7		1398,1	2,5	40,1	791	0,22	
Locatie 5	40	253,5	127,8		2112,7	2,7	48,6	811	0,21	
<b>Grondwater</b>										
Peilbuis A	148	88,1	2,1		19,4	5,5	8,8	266	5,22	
Peilbuis B	47	65,2	10,2		130,3	29,0	7,5	169	6,94	



**Figuur 3** Interacties tussen de zwavel-, ijzer- en fosforkringloop in wateren met een zuurstofhoudende waterlaag (A) en wateren met een zuurstofarme waterlaag (B). In oranje is het geoxideerde toplaagje van de onderwaterbodem (het sediment) weergegeven. Dit laagje is meestal maar enkele millimeters dik.



Voor de effecten van de P-rijkdom van de bodems op de waterkwaliteit is vooral de nalevering van P naar de waterlaag van belang. De fosfaatnalevering (via diffusie) uit sedimenten wordt sterk bepaald door de ijzer/fosfor (Fe/P) ratio van het poriewater (Smolders e.a., 2012, 2013). Dit komt omdat in het oxidatieve toplaagje tussen water en sediment het opgeloste gereduceerde ijzer weer wordt geoxideerd waardoor fosfaat wordt gebonden aan de ijzer(hydr)oxides en/of ijzer en fosfaat gezamenlijk neerslaan als  $\text{FePO}_4$  in de toplaag (figuur 3). Als gevolg hiervan wordt de nalevering van P naar de waterlaag beperkt zolang de Fe/P ratio in het bodemvocht voldoende hoog is ( $\gg 1$ ) en zolang de waterlaag aeroob (zuurstofhoudend) is. In figuur 4 wordt de P concentratie van het poriewater uitgezet tegen de Fe/P ratio van het poriewater. De P nalevering zal hoger zijn naarmate de Fe/P ratio lager is en de P concentratie van het sediment poriewater hoger is. Onder een bepaalde Fe/P verhouding zal deze vrijwel geen invloed meer hebben omdat het ijzer dan in verhouding nog maar weinig P kan binden op de overgang naar de aerobe waterlaag. Smolders e.a. (2001) vonden een toename van de nalevering van P naar de waterlaag bij een Fe/P ratio lager dan 5 (de groene lijn in figuur 5). De nalevering van P naar de waterlaag blijkt echter zeer sterk toe te nemen wanneer de Fe/P ratio in het bodemvocht lager wordt dan 1 (Smolders e.a., 2001; Geurts e.a. 2010). Voor de onderwaterbodems van de Klotbeek zien we dat de ijzerconcentratie van het poriewater steeds hoger is dan de fosfaatconcentratie (tabel 2; figuur 4). In het poriewater van de onderwaterbodems wordt een Fe/P ratio gemeten die tussen 1 en 5 inligt. De gemeten P concentratie van het poriewater ligt tussen de 85 en 147  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (2,6 tot 4,6  $\text{mg L}^{-1}$ ). We kunnen concluderen dat er voor deze bodem enige nalevering te verwachten is maar dat deze nalevering mogelijk beperkt is zolang overgang van de onderwaterbodem naar de waterlaag zuurstofhoudend is.

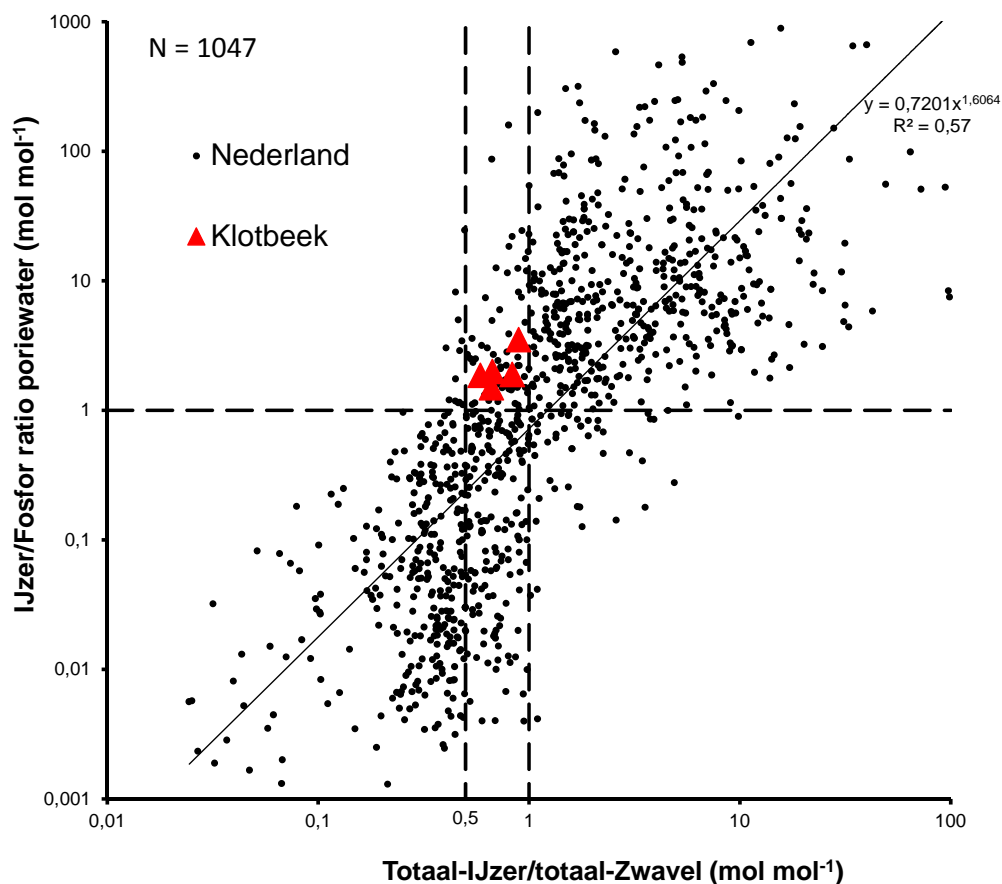


**Figuur 4.** Fosforconcentratie van het poriewater uitgezet tegen de IJzer/fosfor ratio van het poriewater voor een aantal onderwaterbodems uit Nederland. De locaties van de Klotbeek zijn apart weergegeven.

De Fe/P ratio van het sediment poriewater wordt bepaald door de ijzerrijkdom en de zwavelrijkdom van het systeem. De reductie van sulfaat naar sulfide in het anaerobe deel van de onderwaterbodem leidt tot de vastlegging van ijzer in de vorm van  $\text{FeS}_x$  (ijzersulfide, waaronder pyriet) (figuur 3). Het als ijzersulfide vastgelegde ijzer is slecht oplosbaar waardoor de ijzerconcentratie van het poriewater lager wordt. Bovendien is het aan sulfide gebonden ijzer ook slecht in staat om fosfaat te binden waardoor de

P-beschikbaarheid toeneemt. De mate waarin de belasting met sulfaat leidt tot eutrofiëring van het oppervlaktewater hangt dus sterk af van de verhouding tussen de ijzer- en de zwavelvoorraad (totaal-ijzer/totaal-zwavel ratio) 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 (figuur 5) waardoor deze weinig 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. Waarschijnlijk hangt de variatie die in figuur 5 zichtbaar is af van de vorm waarin het zwavel voorkomt in de bodem; als organisch zwavel, FeS of FeS<sub>2</sub>. In de onderwaterbodems van de Klotbeek liggen de totaal-ijzer/totaal-zwavel ratio's tussen 0,5 en 1. Deze ratio is dus relatief ongunstig, maar de ijzer/fosfor ratio's van het poriewater zijn nog wel hoger dan 1 (figuren 4 en 5).

De ijzer/fosfor ratio van het poriewater van de onderwaterbodems van de Klotbeek suggereren dat er met name een nalevering van P te verwachten is wanneer de waterlaag anaeroob wordt. De afbraak van reactief organisch materiaal op de bodem (denk hierbij ook aan dode algen en waterplanten en invallend blad van bomen) kan leiden tot (tijdelijke) anaerobe condities boven de bodem waardoor de nalevering van P naar de waterlaag zeer fors kan toenemen (Smolders e.a., 2013, Van Diggelen e.a., 2014). Wanneer de waterlaag anaeroob wordt, wordt ook het toplaagje van de bodem gereduceerd waardoor het hierin aan ijzer gebonden fosfor vrijkomt in de waterlaag. Met name in de warme zomermaanden kan de zuurstofconsumptie door het sediment aanzienlijk zijn en kan er anaerobie van de waterlaag optreden.



**Figuur 5** Relatie tussen de totaal-ijzer/totaal-zwavel ratio van de bodem en de ijzer/fosfor ratio in het poriewater voor 1047 onderwaterbodems met een organisch stofgehalte van ten minste 10 % (uit de data set van Onderzoekcentrum B-WARE), met hierin geplote onderwaterbodems uit Klotbeek..

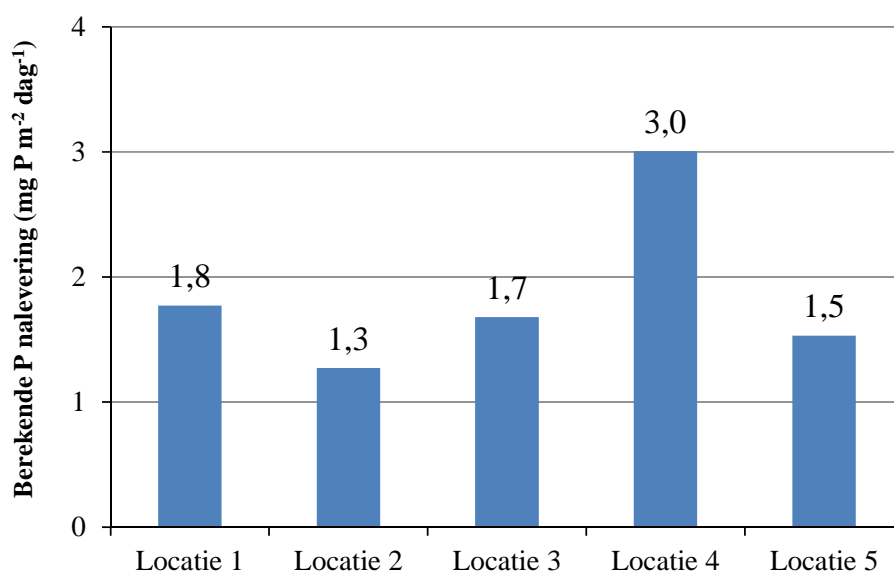
De relatief gunstige Fe/P ratio van het poriewater voorkomt mogelijk een sterke nalevering van P naar de waterlaag zolang de waterlaag aerob is. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat in sterk organische bodems een deel van het in het poriewater aanwezige ijzer ook gebonden kan zijn aan humuszuren. Dit aan humuszuren gebonden ijzer doet in veel mindere mate mee in de ijzerval. Onder dergelijke omstandigheden zal de P-nalevering uit het sediment hoger zijn.

In het kader van het KRW innovatieproject *MIND-BAGGERNUT* is voor een groot aantal onderwaterbodems de nalevering door diffusie bepaald uit intacte bodemcores. Aan de hand van het verkregen mathematische verband tussen de P concentratie van het poriewater en de nalevering bij 15 °C (Poelen et al., 2012), hebben we voor de onderwaterbodems uit de Klotbeek de potentiële nalevering berekend. Hier wordt gebruikt gemaakt van het experimentele verband dat is gevonden tussen de nalevering van fosfor in cilinderexperimenten en de fosforconcentratie in het bodemvocht van de onderwaterbodems gemeten in het veld (Poelen et al., 2012) volgens de formule

$$0,0006*(P_{pw})^2 + 0,0105*P_{pw} + 0,1473.$$

$P_{pw}$  staat hierbij voor de P concentraties in het poriewater in  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . De resultaten worden gegeven in figuur 6. De gemiddelde berekende nalevering bedraagt  $1,9 \text{ mg P m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ . Onder zuurstofloze omstandigheden kan de nalevering, zoals eerder vermeld, veel hoger liggen. Er is ook sprake van een temperatuur-effect, in de winter bedraagt de experimentele nalevering maar de helft van de nalevering die gevonden wordt bij 15 °C en bij 25 °C is deze bijna 1,6 maal hoger (Poelen et al., 2012).

Opgemerkt dient te worden dat gelet op de Fe/P ratio ( $>1$ ) de uitkomsten op grond van deze formule als onzeker moeten worden getypeerd (Poelen et al., 2012). Om de nalevering van de onderwaterbodems met meer zekerheid te kunnen inschatten zijn naleveringsproeven nodig waarbij de nalevering onder zowel zuurstofrijke als zuurstofarme condities kan worden bepaald.



**Figuur 6.** Berekende nalevering voor de verschillende locaties volgens de Baggernut formule (Poelen et al., 2012).

In november 2014 werden in het open water van de Klotbeek hoge totaal-P concentraties gemeten van gemiddeld  $9 \mu\text{mol L}^{-1}$  ( $0,28 \text{ mg L}^{-1}$ ) en een gemiddelde ortho-P concentratie van  $7,7 \mu\text{mol L}^{-1}$  ( $0,24 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$ ). De gemeten ammoniumconcentraties in de waterlaag waren ook hoog en lagen rond de  $70 \mu\text{mol L}^{-1}$  ( $1 \text{ mg N-NH}_4 \text{ L}^{-1}$ ). Gelet op de zeer hoge ammoniumconcentraties in het bodemwater (tussen de 1000 en 2000  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) zal stikstoflimitatie in het water niet snel optreden. Verder is het water hard met een alkaliniteit van bijna 2500  $\mu\text{equivalenten per liter}$ . Voor de locaties OW1 t/m OW3 was de oppervlaktewaterkwaliteit erg vergelijkbaar. De locaties staan dan ook in (open) verbinding met elkaar.

Het geanalyseerde grondwater bij de Klotbeek is matig rijk aan stikstof en relatief arm aan ijzer en sulfaat. Aan de oostzijde van het ven is het bemonsterde grondwater relatief rijk aan fosfor met een totaal-fosforconcentratie van  $10,2 \mu\text{mol L}^{-1}$  ( $0,32 \text{ mg P L}^{-1}$ ). Het grondwater dat aan de westzijde van de Klotbeek is bemonsterd was rijk aan chloride ( $5000 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).

Het bemonsterde oppervlaktewater in de Leigraaf is iets minder hard dan het oppervlaktewater van de Klotbeek. Het water van de Leigraaf is verder erg rijk aan sulfaat ( $1120 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $108 \text{ mg L}^{-1}$ ) en ook rijk aan nitraat ( $197 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $2,76 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ). Water van de Leigraaf wordt in de Klotbeek ingelaten om een te sterke daling van de waterstanden te voorkomen. De P-concentratie van het oppervlaktewater van de Leigraaf ( $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ ) is flink lager dan de P-concentratie in het oppervlaktewater van de Klotbeek. Het gaat hierbij om een momentopname (mogelijk is de P concentratie van de Leigraaf hoger in de zomer) maar deze data kunnen er wel op duiden dat er behalve de inlaat van oppervlaktewater nog een andere belangrijk P-bron is die de oppervlaktewaterkwaliteit van de Klotbeek beïnvloedt. Verder zijn de gemeten sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater van de Klotbeek ( $250 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) lager dan in de Leigraaf en in het poriewater van de onderwaterbodems worden nog veel lagere sulfaatconcentraties gemeten ( $<40 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Dit betekent dat er in de onderwaterbodems reductie van sulfaat plaatsvindt, hetgeen waarschijnlijk ook de lage Fe:S ratio van de onderwaterbodems verklaard en tevens kan leiden tot een verhoogde alkaliniteit van het oppervlaktewater (Smolders e.a., 2006).

De onderwaterbodems van de Klotbeek zijn reductief en rijk aan opgelost fosfor en zeer rijk aan opgelost ammonium. De nalevering van zowel stikstof (ammonium) als fosfor vanuit het sediment kan aanzienlijk zijn met name wanneer het water zuurstofarm wordt. Dit kan leiden tot zeer eutrofe omstandigheden waarbij gemakkelijk algenbloei kan optreden. De inlaat van gebufferd en sulfaatrijk oppervlaktewater uit de Leigraaf kan de afbraak van organisch materiaal versnellen en zo indirect leiden tot eutrofiering (Smolders et al., 2006). De Leigraaf kan, via de sulfaatbelasting, dus ook een belangrijke indirecte bron zijn van eutrofiering. Relevante bronnen van nutriënten zijn daarnaast in ieder geval ook de inval van bladeren van de omringende bomen en mogelijk visvoer.

#### 4. Literatuur

Faasen T. en Hanhart K. 2006. Vooronderzoek OBN Venherstel Klotbeek. Ecologica en Hanhart Consult.

Geurts J.J.M., Smolders A.J.P., Banach A.M., van de Graaf J.P.M., Roelofs J.G.M. & L.P.M. Lamers. 2010. The interaction between decomposition, N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. *Water Research* 44: 3487-3495.

Poelen M.D.M., Van den Berg L.J.L., Ter Heerdt G, Bakkum R., Smolders A.J.P., Jaarsma N.G., Brederveld R.J. & Lamers L.P.M. 2012. WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) -Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT) Eindrapportage 2012. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapport 2012-18.

Smolders A.J.P., Lamers L.P.M., Moonen M., Zwaga K. & Roelofs J.G.M., 2001. Controlling phosphate release from phosphate-enriched sediments by adding various iron compounds. *Biogeochemistry* 54: 219-228.

Smolders A.J.P., Lamers L.P.M., Lucassen E.C.H.E.T., Van der Velde G. & Roelofs J.G.M. 2006. Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93-111.

Smolders A., Van den Broek T., Lucassen E. & Spanjers B. 2012. Monitoring proefsloten Lopikerwaard: hoe werkt een boerensloot in het veenweidegebied? *H2O* 2012(17): 30-32.

Smolders A.J.P., Van Diggelen J.H.M., Geurts J.J.M., Poelen M.D.M., Roelofs J.G.M., Lucassen E.C.H.E.T. & Lamers L.P.M. 2013. Waterkwaliteit in het veenweidegebied; De complexe interacties tussen oever, waterbodems en oppervlaktewater. *Landschap* 30(3): 145-153.

Van Diggelen J.M.H., Lamers L.P.M., van Dijk G., Schaafsma M.J., Roelofs J.G.M. & Smolders A.J.P. 2014. New insights into phosphorus mobilisation from sulphur-rich sediments - Time-dependent effects of salinisation. *PLOS One* 9(11): e111106.