

Bodemkwaliteitsonderzoek op monsterlocaties in Noord Holland t.b.v. een onderbouwing van aangepaste KRW doelen



Rapport

Auteurs: LvdB, RP

Datum: Mei 2014

Bodemkwaliteitsonderzoek op monsterlocaties in Noord Holland t.b.v. een onderbouwing van aangepaste KRW doelen

Titel rapport: *Bodemkwaliteitsonderzoek op monsterlocaties in Noord Holland
t.b.v. een onderbouwing van aangepaste KRW doelen*

Auteurs: *Leon van den Berg, Roy Peters, Radboud Universiteit Nijmegen*

Opdrachtgever: *HHNK*

Foto voorpagina: *Mirte Schippers*

Dank voor de assistentie in het veld en in het Lab: Eefje de Goede, Mirte Schippers, Peter Cruijssen,
Daan Custers

Dr. Leon van den Berg
Radboud Universiteit Nijmegen
Aquatiscche Ecologie & Milieubiologie
Heyendaalseweg 135
6525 AJ Nijmegen

Radboud Universiteit Nijmegen



één in weten

Inhoudsopgave

Inleiding.....	1
Methoden	2
Locaties en veldbemonstering.....	2
Analysen Bodem en Bodemvocht	4
Resultaten.....	5
Resultaten en Discussie	14
Literatuur	16

Inleiding

Voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) is gebleken dat de meeste wateren niet voldoen aan de landelijke doelstellingen voor waterkwaliteit en ecologie. De oorzaak moet voor een groot deel worden gezocht in de “natuurlijke achtergrondbelasting” die voor deze wateren erg hoog is. Deze “natuurlijke belasting” is toe te schrijven aan het landgebruik (gebruik van veel mest) en (of in combinatie met) een historische mariene invloed.

HHNK heeft gevraagd naar een herziening van de KRW doelen waarmee voldaan wordt aan de KRW eisen. Hierbij is nadrukkelijk gevraagd de achtergrondbelasting mee te nemen in de bepaling van nieuwe doelen.

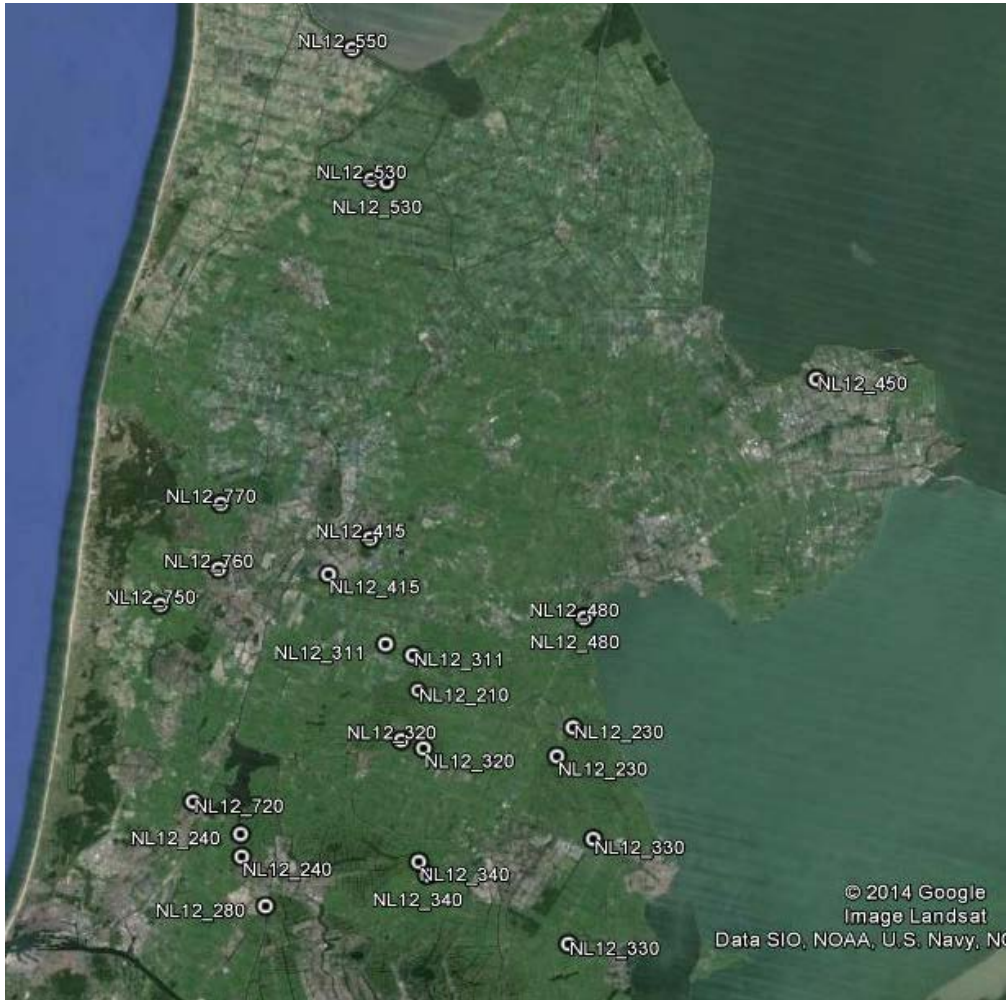
Dit onderzoek richt zich op de verdiscontering van de achtergrondbelasting in de doelen waarbij wordt voldaan aan de methodische randvoorwaarden die de KRW stelt. In dit onderzoek worden de ecologische kennisregels als basisbenadering toegepast. Voorafgaand aan de uitwerking heeft een selectie van waterlichamen plaatsgevonden op basis van een grondige data-analyse. Hierbij zijn waterlichamen (in overleg met HHNK) geselecteerd die nader onderzoek behoeven. Het gaat dan met name om onderzoek naar de rol van de waterbodem met het oog op vastlegging/nalevering van fosfaat en hoge (en mogelijk toxische) concentraties van ammonium en sulfide.

Dit rapport geeft de resultaten van de bodemanalysen van deze geselecteerde wateren en een samenvatting van de belangrijkste conclusies.

Methoden

Locaties en veldbemonstering

In totaal werden 28 monsterlocaties binnen 18 waterlichamen geselecteerd voor aanvullend onderzoek (figuur 1).



Figuur 1 Kaart Noord Holland (bron Google Earth). Monsterlocaties aangegeven met stippen. Coderingen corresponderen met de coderingen van HHNK.

In april 2014 is de monsternamen uitgevoerd. Per locatie (tabel 1, figuur 1) is, met behulp van een Multi-sampler (Eijkelkamp Agrisearch) van 6 centimeter, sediment verzameld voor de aanvullende bodemanalyses. Op elke locatie zijn ook oppervlaktewatermonsters genomen. Voor alle locaties zijn zoveel mogelijk de diepe delen van de watergangen bemonsterd (door inlopen of vanaf een boot), dit omdat hier de hoogste concentraties aan ammonium en/of sulfide verwacht mogen worden.

Per plas of watergang (=monsterlocatie) zijn er op 3 plaatsen (3 replica's per locatie) telkens 2 mengmonsters verzameld van de bovenste 5-10 cm van de sliblaag. Een mengmonster bestond uit een verzameling van 5 sub-monsters welke verkregen werd door 5 anaerobe bemonsteringen van de sliblaag. De 3 replica's werden verspreid gekozen rondom het centrum van het te bemonsteren coördinaat. Op plekken met verstoring (werkzaamheden aan de watergang) werd gekozen voor een bemonstering op een nabijgelegen coördinaat in dezelfde watergang/plas. Mengmonsters (in totaal dus 6

mengmonsters per monsterlocatie) zijn in plastic zakken, anaeroob in de koeling bewaard tot verdere analyse.

Op elke monsterlocatie is de pH en Alkaliniteit gemeten van het oppervlaktewater met behulp van HQ40D multimeter. Alle locaties zijn met behulp van een GPS (Garmin 60 CX) vastgelegd, het bodemprofiel is beschreven en de diepte van het water en karakteristieken van de waterkanten zijn genoteerd. Van de waterbodemmonsters is dezelfde dag, na handmatige anaërobe homogenisatie en onder gekoelde omstandigheden, anaëroob bodemvocht verzameld met behulp van teflon rhizons (Eijkelkamp Agrisearch) en vacuüm 60ml spuiten. Binnen 24 uur is op alle bodemvochtmonsters een analyse uitgevoerd voor de waterstofsulfideconcentratie. Watermonsters werden bewaard bij 4°C tot verdere analyse.

Tabel 1 Locatiecode plus centraal coördinaat van elke locatie van bemonstering

Waterlichaam	x	y
NL12_210	121102	511484
NL12_230	129149	509455
NL12_230	129149	509455
NL12_240	111876	502650
NL12_240	111876	502650
NL12_260	128795	489972
NL12_260	128795	489972
NL12_280	113059	499983
NL12_311	119451	513989
NL12_311	119451	513989
NL12_320	120222	508830
NL12_320	120222	508830
NL12_330	128768	497922
NL12_330	128768	497922
NL12_340	121049	502237
NL12_340	121049	502237
NL12_415	118630	519595
NL12_415	118630	519595
NL12_450	141908	528012
NL12_480	129789	515374
NL12_480	129789	515374
NL12_530	118868	538864
NL12_530	118868	538864
NL12_550	117985	545834
NL12_720	109174	505755
NL12_750	107745	516152
NL12_760	110567	517988
NL12_770	110930	521560

Analysen Bodem en Bodemvocht

Bodem

Het vochtgehalte en de bulk density werden bepaald op vers ingewogen bodemmateriaal na 48 uur drogen bij een temperatuur van 70°C. De verkregen droge bodems werden vervolgens 4 uur verast bij een temperatuur van 550°C voor een bepaling van het verlies aan gewicht door verbranding. Met de verkregen gewichten werd de fractie organisch materiaal (bepaald als gloeiverlies) en het vochtgehalte berekend. Alle bepalingen werden in tweevoud uitgevoerd. Bulk density werd bepaald als het gewicht droge bodem/volume van de veldverse bodem.

Destructie

De totale gehalten van elementen als P en Fe werd bepaald na destructies van het bodemmateriaal. Voor de bodemdestructie werd 0,2 gram gedroogde en gemalen bodem samen met 4 ml salpeterzuur en 1 ml waterstofperoxide in gesloten teflon cups gedestruëerd in een magnetron (Milestone). Het verkregen product werd vervolgens verdund tot 100 ml waarna het geanalyseerd werd op ICP (ICAP).

Verdere analyse (bodemvocht, ICP en oppervlaktewatermonsters)

Van het verzamelde bodemvocht werd voor iedere locatie 9,5 ml bodemvocht gefixeerd met Sulfide Anti Oxidant Buffer (SAOB) om oxidatie van sulfide te voorkomen. De sulfideconcentratie werd binnen 24 uur na bemonstering gemeten met een Orion sulfide elektrode en een Consort ionmeter (type P914).

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 Thermo Electron corporation IRIS Intrepid II XDL). De concentraties nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+) werden colorimetrisch bepaald met een Braun en Luebbe auto-analyzer II met behulp van respectievelijk salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Fosfaat (PO_4^{3-}) werd colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer II systeem met behulp van mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur.

Voor alle locaties zijn gemiddelden +/- standaard deviatie uitgerekend en weergegeven in tabellen. P nalevering werd geschat met behulp van de Quickscan tool zoals die is ontwikkeld binnen het programma Baggernut (STOWA 2012). De N nalevering is geschat op basis van de P nalevering volgens de formule:

$$N \text{ nalevering} = 0.0123 (P \text{ nalevering}^2) + 0.6099 (P \text{ nalevering}) + 1.8185 \text{ (Poelen e.a. 2012)}$$

Waarbij N nalevering wordt gegeven in $\text{mg N/m}^2/\text{dag}$ en P nalevering wordt ingevoerd in $\text{mg P/m}^2/\text{dag}$.

Resultaten

Onderstaande resultaten in de tabellen worden weergegeven in mg/L (mg P-PO₄³⁻, N-NO₃⁻ en N-NH₄⁺). Ratio's van elementen (Fe/P en (Fe-S)/P) zijn berekend op mol:mol basis.

Tabel 2 Totaal gehalte van de elementen in mg/kg d.s. in de bovenste sliblaag van de monsterpunten. Standaarddeviatie in cursief

Locatie	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn
210	8797	26512	16669	2095	4557	733	1187	852	16722	339	107
<i>210</i>	<i>803</i>	<i>4096</i>	<i>565</i>	<i>238</i>	<i>24</i>	<i>107</i>	<i>320</i>	<i>114</i>	<i>1065</i>	<i>39</i>	<i>27</i>
230A	7740	30356	19109	1847	4486	816	642	768	19304	625	123
<i>230A</i>	<i>858</i>	<i>747</i>	<i>1591</i>	<i>306</i>	<i>218</i>	<i>80</i>	<i>25</i>	<i>29</i>	<i>2116</i>	<i>57</i>	<i>18</i>
230B	6297	46460	24558	1448	3847	1374	898	1262	32357	450	132
<i>230B</i>	<i>733</i>	<i>9044</i>	<i>119</i>	<i>193</i>	<i>109</i>	<i>74</i>	<i>75</i>	<i>324</i>	<i>1233</i>	<i>25</i>	<i>9</i>
240A	11415	66984	27438	2616	6047	741	1116	1141	28480	717	242
<i>240A</i>	<i>2760</i>	<i>9059</i>	<i>933</i>	<i>491</i>	<i>1059</i>	<i>56</i>	<i>174</i>	<i>275</i>	<i>5653</i>	<i>211</i>	<i>91</i>
240B	5905	39714	16006	1414	3916	310	668	1069	14702	610	169
<i>240B</i>	<i>3499</i>	<i>18775</i>	<i>9085</i>	<i>834</i>	<i>1248</i>	<i>170</i>	<i>568</i>	<i>594</i>	<i>9064</i>	<i>110</i>	<i>95</i>
260A	8507	13391	13281	2285	6693	353	6762	597	24439	519	111
<i>260A</i>	<i>3332</i>	<i>1598</i>	<i>3571</i>	<i>598</i>	<i>144</i>	<i>44</i>	<i>1086</i>	<i>92</i>	<i>2124</i>	<i>32</i>	<i>24</i>
260B	10329	17270	19946	2317	4766	915	1421	1304	26874	420	193
<i>260B</i>	<i>2180</i>	<i>1610</i>	<i>1835</i>	<i>538</i>	<i>508</i>	<i>274</i>	<i>195</i>	<i>335</i>	<i>1812</i>	<i>11</i>	<i>13</i>
280	8283	19802	24738	2146	6808	520	5464	1529	28791	935	230
<i>280</i>	<i>3725</i>	<i>777</i>	<i>10546</i>	<i>633</i>	<i>723</i>	<i>176</i>	<i>1215</i>	<i>841</i>	<i>3548</i>	<i>280</i>	<i>91</i>
311A	4349	64116	10185	1156	4386	387	387	921	3354	287	44
<i>311A</i>	<i>276</i>	<i>6433</i>	<i>1329</i>	<i>144</i>	<i>253</i>	<i>64</i>	<i>42</i>	<i>297</i>	<i>158</i>	<i>35</i>	<i>9</i>
311B	6050	63615	15798	1695	5360	564	495	1727	6549	342	50
<i>311B</i>	<i>682</i>	<i>1751</i>	<i>2151</i>	<i>201</i>	<i>289</i>	<i>116</i>	<i>59</i>	<i>504</i>	<i>2987</i>	<i>25</i>	<i>12</i>
320A	4113	58408	9579	1140	4665	395	235	1194	2748	387	35
<i>320A</i>	<i>395</i>	<i>1114</i>	<i>114</i>	<i>69</i>	<i>117</i>	<i>12</i>	<i>4</i>	<i>44</i>	<i>91</i>	<i>127</i>	<i>5</i>
320B	5894	58677	13180	1560	5293	566	313	1735	3415	543	54
<i>320B</i>	<i>518</i>	<i>899</i>	<i>294</i>	<i>142</i>	<i>170</i>	<i>53</i>	<i>56</i>	<i>253</i>	<i>182</i>	<i>39</i>	<i>6</i>
330A	6937	37522	16134	1728	6655	336	475	724	7071	684	70
<i>330A</i>	<i>214</i>	<i>3104</i>	<i>821</i>	<i>108</i>	<i>321</i>	<i>8</i>	<i>62</i>	<i>153</i>	<i>713</i>	<i>72</i>	<i>22</i>
330B	9495	54294	21462	2339	6264	967	534	2245	7851	878	73
<i>330B</i>	<i>785</i>	<i>3811</i>	<i>1868</i>	<i>206</i>	<i>398</i>	<i>171</i>	<i>65</i>	<i>619</i>	<i>242</i>	<i>110</i>	<i>14</i>
340A	10505	57690	23929	2687	6832	830	1824	1425	14181	952	86
<i>340A</i>	<i>994</i>	<i>5122</i>	<i>853</i>	<i>255</i>	<i>237</i>	<i>29</i>	<i>119</i>	<i>445</i>	<i>2512</i>	<i>12</i>	<i>6</i>

340B	8611	51567	18460	2213	6869	500	1029	1090	6357	870	65
340B	1610	2054	2690	404	322	66	368	319	827	108	13
415A	2592	45673	5239	675	3353	142	0	298	1667	259	30
415A	445	4701	481	83	312	6	0	26	315	17	9
415B	2186	42221	4766	478	3080	159	0	278	1816	262	35
415B	346	2251	604	91	1218	18	0	50	257	24	3
480A	5865	42974	14193	1428	3698	622	792	1214	7538	303	65
480A	1784	13056	4442	479	843	157	465	432	2532	71	16
480B	8994	93101	22580	2300	5406	1444	2584	1243	18053	406	83
480B	294	11758	4174	187	704	408	1818	373	6122	29	29
530A	14366	50502	20370	3645	6642	956	438	1679	5821	804	75
530A	3374	3039	2147	862	707	70	47	134	462	274	4
530B	15264	45703	20464	3830	6166	949	400	1543	6352	771	90
530B	697	2565	485	192	101	45	38	49	212	33	9
550	2271	9462	4998	645	1449	142	235	428	3827	188	47
550	916	2067	1554	223	416	39	103	108	1283	25	12
720	2748	19419	5703	723	1641	189	70	345	3273	255	42
720	838	3301	1760	260	361	63	65	114	1276	32	10
750	4771	44441	12887	1380	3535	253	1976	676	11024	233	67
750	1245	7320	4088	402	1065	73	1455	168	3886	18	17
760	4150	39876	9230	1149	3177	201	341	1418	4357	238	46
760	896	887	1655	190	399	37	123	865	1039	3	4
770	8740	36330	13812	2219	5240	276	0	343	6421	530	52
770	587	6932	1554	177	737	21	0	45	1615	103	11

Tabel 3 Gehalte van de elementen in het bodemvocht in mg/L. Standaarddeviatie in cursief

Locatie	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn
210	0.0	111.8	0.6	17.6	36.8	2.2	196.7	11.3	3.6	22.6	0.0
<i>210</i>	<i>0.0</i>	<i>8.1</i>	<i>0.2</i>	<i>0.9</i>	<i>2.6</i>	<i>0.5</i>	<i>46.2</i>	<i>2.6</i>	<i>1.3</i>	<i>2.3</i>	<i>0.0</i>
230A	0.0	89.0	0.4	19.5	28.1	1.7	99.0	6.7	6.1	20.2	0.2
<i>230A</i>	<i>0.0</i>	<i>8.2</i>	<i>0.1</i>	<i>1.8</i>	<i>2.3</i>	<i>0.1</i>	<i>2.4</i>	<i>1.8</i>	<i>2.7</i>	<i>1.2</i>	<i>0.1</i>
230B	0.0	88.4	0.2	15.2	24.8	2.0	86.6	5.7	12.5	13.2	0.2
<i>230B</i>	<i>0.0</i>	<i>2.1</i>	<i>0.1</i>	<i>0.4</i>	<i>1.2</i>	<i>0.2</i>	<i>6.1</i>	<i>1.7</i>	<i>6.5</i>	<i>3.5</i>	<i>0.1</i>
240A	0.1	70.2	0.7	15.8	29.4	0.6	142.1	3.1	16.1	11.8	0.5
<i>240A</i>	<i>0.0</i>	<i>1.5</i>	<i>0.2</i>	<i>0.3</i>	<i>0.4</i>	<i>0.1</i>	<i>3.6</i>	<i>1.8</i>	<i>3.5</i>	<i>1.7</i>	<i>0.6</i>
240B	0.0	77.3	1.2	16.0	31.6	0.6	141.7	4.3	19.3	12.7	0.3
<i>240B</i>	<i>0.0</i>	<i>7.5</i>	<i>0.9</i>	<i>0.2</i>	<i>2.3</i>	<i>0.1</i>	<i>3.3</i>	<i>0.7</i>	<i>3.1</i>	<i>0.6</i>	<i>0.2</i>
260A	0.0	73.0	0.3	46.7	81.1	0.6	572.7	2.8	35.8	14.9	0.2
<i>260A</i>	<i>0.0</i>	<i>3.2</i>	<i>0.2</i>	<i>11.5</i>	<i>6.4</i>	<i>0.0</i>	<i>154.2</i>	<i>0.3</i>	<i>9.1</i>	<i>1.0</i>	<i>0.1</i>
260B	0.0	88.6	0.2	19.3	37.9	1.5	145.7	8.2	7.3	16.1	0.1
<i>260B</i>	<i>0.0</i>	<i>12.6</i>	<i>0.1</i>	<i>3.3</i>	<i>7.0</i>	<i>0.4</i>	<i>31.1</i>	<i>1.0</i>	<i>4.2</i>	<i>5.2</i>	<i>0.1</i>
280	0.0	80.2	2.1	40.1	71.7	0.6	475.9	8.9	6.9	24.0	0.3
<i>280</i>	<i>0.0</i>	<i>16.4</i>	<i>1.7</i>	<i>8.2</i>	<i>9.3</i>	<i>0.4</i>	<i>85.1</i>	<i>2.3</i>	<i>0.0</i>	<i>2.6</i>	<i>0.1</i>
311A	0.0	136.9	2.9	25.8	47.0	1.3	206.8	8.1	10.0	20.9	0.1
<i>311A</i>	<i>0.0</i>	<i>13.6</i>	<i>1.4</i>	<i>0.4</i>	<i>5.0</i>	<i>0.2</i>	<i>39.1</i>	<i>2.3</i>	<i>7.2</i>	<i>7.1</i>	<i>0.0</i>
311B	0.0	123.9	1.2	35.0	73.6	1.1	254.5	9.2	24.2	32.2	0.0
<i>311B</i>	<i>0.0</i>	<i>63.6</i>	<i>0.3</i>	<i>7.6</i>	<i>16.0</i>	<i>0.7</i>	<i>52.6</i>	<i>2.4</i>	<i>19.1</i>	<i>6.9</i>	<i>0.0</i>
320A	0.0	150.4	1.1	33.4	43.3	1.1	184.1	8.1	10.1	23.0	0.2
<i>320A</i>	<i>0.0</i>	<i>24.8</i>	<i>0.3</i>	<i>8.8</i>	<i>4.8</i>	<i>0.3</i>	<i>8.5</i>	<i>2.0</i>	<i>9.6</i>	<i>3.4</i>	<i>0.2</i>
320B	0.0	148.7	2.8	32.8	64.5	1.1	165.9	9.5	6.1	30.9	0.1
<i>320B</i>	<i>0.0</i>	<i>11.5</i>	<i>1.3</i>	<i>4.7</i>	<i>10.2</i>	<i>0.1</i>	<i>6.6</i>	<i>2.0</i>	<i>2.3</i>	<i>1.6</i>	<i>0.1</i>
330A	0.1	80.7	3.9	19.2	36.2	0.9	287.3	5.1	14.7	21.4	0.3
<i>330A</i>	<i>0.0</i>	<i>8.8</i>	<i>2.0</i>	<i>1.4</i>	<i>1.7</i>	<i>0.3</i>	<i>11.4</i>	<i>0.7</i>	<i>10.6</i>	<i>2.8</i>	<i>0.2</i>
330B	0.0	100.9	1.4	20.2	36.5	1.0	200.3	6.6	15.1	17.2	0.3
<i>330B</i>	<i>0.0</i>	<i>3.3</i>	<i>0.3</i>	<i>1.1</i>	<i>2.4</i>	<i>0.1</i>	<i>6.4</i>	<i>1.6</i>	<i>12.6</i>	<i>2.8</i>	<i>0.1</i>
340A	0.1	186.6	5.5	35.5	91.6	1.6	558.6	5.8	10.4	28.0	0.7

340A	0.1	11.8	4.6	1.7	6.4	0.2	41.3	3.4	5.4	2.7	1.2
340B	0.0	172.6	7.4	29.6	80.5	1.6	517.7	3.9	4.9	23.6	0.2
340B	0.0	9.3	1.8	1.7	7.5	0.2	78.0	1.4	2.6	0.9	0.1
415A	0.0	251.7	5.3	12.6	36.9	2.3	86.5	1.5	8.8	19.8	0.0
415A	0.0	33.3	4.4	4.4	2.5	0.9	4.3	1.5	2.0	1.1	0.0
415B	0.0	121.8	1.4	8.2	12.5	1.0	73.4	2.6	7.7	25.6	0.0
415B	0.0	3.8	0.3	1.8	0.6	0.3	1.2	1.3	3.6	3.7	0.0
450	0.0	123.8	1.4	18.2	44.1	2.2	164.0	8.8	9.4	19.5	0.0
450	0.0	16.1	0.4	5.3	11.1	0.6	53.4	3.5	1.7	1.9	0.0
480A	0.0	148.5	1.4	14.3	42.8	3.5	332.5	7.7	20.5	12.5	0.0
480A	0.0	13.1	0.3	0.7	4.2	0.6	64.9	3.8	6.8	2.8	0.0
480B	0.0	147.4	0.3	14.5	41.3	3.1	333.5	2.5	29.4	8.6	0.0
480B	0.0	41.7	0.1	1.9	16.5	1.5	185.2	3.0	10.7	4.1	0.0
530A	0.0	217.7	3.7	40.7	80.5	1.9	234.2	26.3	6.1	40.2	0.0
530A	0.0	11.7	1.0	1.6	5.2	0.2	13.4	4.2	3.3	0.5	0.0
530B	0.0	192.2	3.9	26.4	69.1	2.5	176.9	29.6	2.9	35.4	0.0
530B	0.0	7.1	2.8	7.3	5.0	0.4	64.3	7.4	0.4	0.3	0.0
550	0.0	145.0	0.7	47.2	40.7	1.6	229.7	19.9	6.6	24.4	0.0
550	0.0	6.9	0.8	4.5	3.7	0.1	23.6	0.9	1.1	2.2	0.0
720	0.0	109.4	1.2	20.7	33.5	1.9	121.0	11.0	9.3	20.2	0.1
720	0.0	2.3	0.4	0.2	4.1	0.2	15.8	3.3	2.2	0.5	0.1
750	0.1	125.2	0.4	65.8	86.5	0.3	701.2	2.5	24.9	23.3	0.0
750	0.1	53.1	0.2	5.1	47.8	0.1	502.0	0.3	14.4	2.1	0.0
760	0.0	94.1	2.1	29.1	46.7	0.6	296.0	16.9	6.6	13.8	0.0
760	0.0	8.6	0.1	2.5	8.3	0.1	76.1	4.0	3.1	2.7	0.0
770	0.0	201.1	0.4	18.8	55.5	2.2	38.0	3.9	73.2	31.2	0.1
770	0.0	32.4	0.2	6.7	7.5	0.9	5.6	3.1	45.8	2.7	0.1

Tabel 4 pH, alkaliniteit en sulfide van de elementen in het bodemvocht in mg/L. Standaarddeviatie in cursief

Locatie	pH	alkaliniteit meq/L	Sulfide μmol L-1	Sulfide (zomer) μmol L-1	Nitraat mg/L	Ammonium mg/L	Fosfaat mg/L	Natrium mg/L	Kalium mg/L	Chloride mg/L
210	7.2	3.7	3.0	5.3	0.0	16.1	5.5	122.4	20.5	148.3
<i>210</i>	<i>0.1</i>	<i>4.5</i>	<i>3.3</i>	<i>5.3</i>	<i>0.0</i>	<i>11.7</i>	<i>1.9</i>	<i>25.2</i>	<i>9.5</i>	<i>35.8</i>
230A	7.4	7.8	8.9	15.9	0.02	6.84	4.61	107.36	17.31	139.56
<i>230A</i>	<i>0.2</i>	<i>0.7</i>	<i>4.6</i>		<i>0.01</i>	<i>2.90</i>	<i>2.20</i>	<i>1.20</i>	<i>0.48</i>	<i>8.55</i>
230B	7.4	6.7	16.0	28.8	0.01	8.89	1.69	140.48	22.67	328.83
<i>230B</i>	<i>0.2</i>	<i>1.0</i>	<i>4.5</i>		<i>0.01</i>	<i>4.49</i>	<i>1.16</i>	<i>0.07</i>	<i>5.41</i>	<i>208.05</i>
240A	7.6	5.2	9.8	17.6	0.01	17.93	5.54	131.00	22.77	166.21
<i>240A</i>	<i>0.1</i>	<i>0.1</i>	<i>13.0</i>		<i>0.00</i>	<i>10.23</i>	<i>2.03</i>	<i>16.68</i>	<i>6.88</i>	<i>31.88</i>
240B	7.7	5.7	3.9	7.0	0.03	7.81	2.20	140.51	24.01	203.49
<i>240B</i>	<i>0.2</i>	<i>0.3</i>	<i>5.0</i>		<i>0.02</i>	<i>5.14</i>	<i>1.27</i>	<i>0.17</i>	<i>10.18</i>	<i>27.70</i>
260A	7.4	1.3	1232.8	2210.0	0.00	12.54	3.43	108.21	19.56	269.48
<i>260A</i>	<i>0.1</i>	<i>0.0</i>	<i>1068.3</i>		<i>0.00</i>	<i>3.65</i>	<i>1.63</i>	<i>27.82</i>	<i>8.16</i>	<i>261.12</i>
260B	7.2	5.5	45.9	82.3	0.04	13.33	5.23	139.07	25.27	423.22
<i>260B</i>	<i>0.1</i>	<i>3.9</i>	<i>68.6</i>		<i>0.03</i>	<i>9.33</i>	<i>2.07</i>	<i>1.64</i>	<i>10.49</i>	<i>215.65</i>
280	7.6	1.2	1.4	2.5	0.08	7.71	5.01	139.77	16.14	196.44
<i>280</i>	<i>0.3</i>	<i>0.1</i>	<i>1.2</i>		<i>0.07</i>	<i>1.85</i>	<i>2.07</i>	<i>0.81</i>	<i>1.79</i>	<i>6.66</i>
311A	7.4	6.1	0.5	0.9	0.00	7.86	5.70	138.89	19.51	244.43
<i>311A</i>	<i>0.2</i>	<i>4.4</i>	<i>0.6</i>		<i>0.00</i>	<i>4.33</i>	<i>1.44</i>	<i>0.06</i>	<i>3.07</i>	<i>21.27</i>
311B	7.6	1.5	1.0	1.7	0.00	5.08	4.71	138.77	27.42	241.91
<i>311B</i>	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	<i>1.1</i>		<i>0.00</i>	<i>1.26</i>	<i>1.11</i>	<i>0.04</i>	<i>7.04</i>	<i>69.50</i>
320A	7.5	1.3	3.1	5.6	0.01	9.31	3.69	139.27	25.83	329.53
<i>320A</i>	<i>0.1</i>	<i>0.2</i>	<i>1.9</i>		<i>0.02</i>	<i>4.53</i>	<i>0.69</i>	<i>0.10</i>	<i>14.05</i>	<i>167.82</i>
320B	7.6	1.6	2.1	3.8	0.02	8.82	2.44	139.10	23.44	426.95
<i>320B</i>	<i>0.1</i>	<i>0.1</i>	<i>1.0</i>		<i>0.02</i>	<i>6.94</i>	<i>1.35</i>	<i>0.04</i>	<i>6.67</i>	<i>201.95</i>
330A	7.7	6.8	2.4	4.3	0.05	7.69	3.69	120.63	15.98	195.73
<i>330A</i>	<i>0.3</i>	<i>4.8</i>	<i>1.5</i>		<i>0.05</i>	<i>3.72</i>	<i>2.39</i>	<i>33.35</i>	<i>2.77</i>	<i>76.52</i>

330B	7.8	6.4	1.0	1.8	0.05	4.86	4.05	139.63	34.30	405.39
330B	0.2	4.7	0.9		0.07	6.36	2.15	0.04	16.19	175.99
340A	7.5	1.3	2.0	3.5	0.01	15.46	4.99	139.50	22.45	326.12
340A	0.1	0.1	2.3		0.01	8.56	4.58	0.06	5.25	248.01
340B	7.5	9.5	6.6	11.8	0.00	9.82	1.85	69.94	24.38	270.73
340B	0.2	0.2	9.2		0.00	9.72	0.84	60.66	21.67	411.70
415A	7.1	5.9	0.4	0.7	0.01	8.82	0.19	79.33	10.32	290.76
415A	0.1	4.2	0.5		0.00	3.22	0.08	4.79	3.29	26.72
415B	7.4	7.7	0.8	1.4	0.00	10.66	1.95	67.56	6.97	91.11
415B	0.1	0.4	0.2		0.00	0.67	1.08	1.17	1.14	11.86
450	7.4	6.3	0.2	0.3	0.00	7.42	5.60	138.43	16.70	214.69
450	0.2	4.4	0.3		0.00	1.69	3.43	0.03	2.17	32.97
480A	7.3	7.8	0.0	0.0	0.01	3.25	4.53	138.53	12.75	386.15
480A	0.1	0.5	0.0		0.00	0.39	2.65	0.19	0.34	51.88
480B	7.5	6.8	0.0	0.0	0.01	1.88	1.45	138.54	12.24	377.22
480B	0.1	1.9	0.0		0.00	2.24	1.37	0.03	2.05	168.25
530A	7.3	2.3	1.0	1.8	0.00	59.13	7.09	138.27	34.39	216.34
530A	0.1	0.1	0.5		0.00	5.02	4.12	0.02	1.40	2.44
530B	7.2	2.0	1.1	2.0	0.00	42.38	6.89		29.48	212.61
530B	0.0	0.2	0.6		0.00	7.12	3.22			
550	7.3	1.2	2.0	3.5	0.00	22.90	8.40	138.34	40.19	271.15
550	0.2	0.1	0.4		0.00	11.50	2.03	0.03	0.58	11.14
720	7.6	7.9	3.8	6.9	0.26	8.20	7.06	121.06	21.36	238.24
720	0.2	0.2	3.5		0.36	3.48	2.57	25.03	6.19	157.07
750	7.7	1.4	218.3	391.4	0.05	3.97	3.63	133.39	18.40	200.12
750	0.3	0.3	206.6		0.01	0.63	2.94	4.31	8.78	29.84
760	7.5	8.0	1.3	2.3	0.02	7.29	4.38	126.41	39.45	268.86
760	0.1	1.3	0.3		0.01	5.23	4.03	16.19	18.84	153.07
770	7.4	1.2	15.5	27.8	0.01	2.80	7.23	105.98	21.29	208.87
770	0.1	0.2	10.2		0.01	1.70	3.54	55.66	2.34	151.67

Tabel 5 Organische stof gehalte bodems en ratio's van Fe/P en (Fe-S)/P (in mol:mol) voor de locaties. P nalevering kan hoger zijn als de ratio laag of negatief is (en dus de hoeveelheid beschikbare bindingsplaatsen aan ijzer gering is).

Locatie	nr.	% Org stof	Fe/P	(Fe-S)/P
NL12_210	210	23.8	10.9	-8.1
NL12_230	230A	30.9	13.8	-10.5
NL12_230	230B	53.7	10.8	-14.0
NL12_240	240A	27.8	13.3	-10.8
NL12_240	240B	18.1	8.3	-5.0
NL12_260	260A	61.7	12.3	-27.2
NL12_260	260B	54.3	8.5	-11.4
NL12_280	280	55.4	9.0	-9.2
NL12_311	311A	2.4	6.1	2.6
NL12_311	311B	5.0	5.1	1.4
NL12_320	320A	2.6	4.4	2.2
NL12_320	320B	3.2	4.2	2.3
NL12_330	330A	5.9	12.4	2.9
NL12_330	330B	6.4	5.3	1.9
NL12_340	340A	9.3	9.3	-0.3
NL12_340	340B	5.4	9.4	3.8
NL12_415	415A	1.6	9.8	4.3
NL12_415	415B	1.9	9.5	3.2
NL12_450	450	8.8	9.3	1.4
NL12_480	480A	5.1	6.5	0.5
NL12_480	480B	15.3	10.1	-4.0
NL12_530	530A	9.7	6.7	3.4
NL12_530	530B	7.4	7.4	3.4
NL12_550	550	4.8	6.5	-2.2
NL12_720	720	4.0	9.2	0.0
NL12_750	750	10.1	10.6	-5.2
NL12_760	760	8.0	3.6	0.6
NL12_770	770	6.3	22.3	4.2

Tabel 6 Samenvatting van de ammonium, nitraat en sulfide concentraties (in $\mu\text{mol/L}$) voor de locaties met grenswaarden voor deze ionen. P nalevering en N nalevering zijn weergegeven in $\text{mg/m}^2/\text{dag}$.

Locatie	Nitraat nr.	Nitraat $\mu\text{mol/l}$	Grenswaarden				P nalevering $\text{mg/m}^2/\text{d}$	N nalevering $\text{mg/m}^2/\text{dag}$
			Ammonium $\mu\text{mol/l}$	Sulfide April $\mu\text{mol/L}$	Sulfide Zomer $\mu\text{mol/L}$			
			750 tot 1000	10 tot 40	10 tot 40	1 tot 2		
			1000 tot 2000	40 tot 200	40 tot 200	2 tot 10		
			>2000	>200	>200	>10		
NL12_210	210	0.1	1150.5	3.0	5.3	11.9	10.8	
NL12_230	230A	1.3	488.6	8.9	15.9	5.1	5.3	
NL12_230	230B	0.7	635.0	16.0	28.8	4.3	4.7	
NL12_240	240A	1.0	1280.7	9.8	17.6	2.3	3.3	
NL12_240	240B	2.0	558.2	3.9	7.0	3.2	3.9	
NL12_260	260A	0.2	895.6	1232.8	2210.0	2.0	3.1	
NL12_260	260B	2.6	952.1	45.9	82.3	6.4	6.2	
NL12_280	280	5.8	551.0	1.4	2.5	6.9	6.6	
NL12_311	311A	0.3	561.4	0.5	0.9	6.2	6.1	
NL12_311	311B	0.2	363.1	1.0	1.7	7.2	6.8	
NL12_320	320A	0.8	665.3	3.1	5.6	6.3	6.1	
NL12_320	320B	1.4	629.7	2.1	3.8	7.4	7.0	
NL12_330	330A	3.6	549.4	2.4	4.3	3.8	4.3	
NL12_330	330B	3.5	346.8	1.0	1.8	5.0	5.2	
NL12_340	340A	0.5	1104.2	2.0	3.5	4.4	4.7	
NL12_340	340B	0.2	701.1	6.6	11.8	< 2.8	<2	
NL12_415	415A	0.8	629.7	0.4	0.7	< 0.9	<0.9	
NL12_415	415B	0.2	761.3	0.8	1.4	1.8	3.0	
NL12_450	450	0.3	530.2	0.2	0.3	6.8	6.5	
NL12_480	480A	0.6	231.8	0.0	0.0	6.0	5.9	
NL12_480	480B	0.4	134.6	0.0	0.0	1.8	2.9	
NL12_530	530A	0.3	4223.7	1.0	1.8	21.0	20.1	
NL12_530	530B	0.2	3026.8	1.1	2.0	23.6	23.1	
NL12_550	550	0.4	1635.5	2.0	3.5	15.8	14.5	
NL12_720	720	18.2	585.7	3.8	6.9	8.6	8.0	
NL12_750	750	3.7	283.8	218.3	391.4	1.7	2.9	
NL12_760	760	1.2	520.9	1.3	2.3	13.4	12.2	
NL12_770	770	0.4	200.3	15.5	27.8	2.8	3.7	

Resultaten en Discussie

Verschillen tussen locaties

De monsterlocaties liggen verspreid over Noord Holland en hebben een duidelijk verschillend karakter. In het zuidoosten van het gebied vinden we veenbodems in de onderliggende laag met een duidelijk hoger organische stof gehalte, in de rest van de locaties vinden we klei. Alleen in een enkele locatie achter de duinen vinden we zand of zandige klei.

Kritische gehalten ammonium en sulfide

Van de onderzochte locaties zijn er 6 met zeer hoge ammonium waarden in het bodemvocht (tabel 6). Ammoniumtoxiciteit is al veelvuldig aangetoond bij macrophyte maar hierbij moet worden opgemerkt dat dit ammoniumtoxiciteit studies zijn voor ammonium *in de waterlaag* (Roelofs 1991; Lucassen e.a. 2006; Lamers e.a. 2010). In het water werden concentraties van boven de 100 $\mu\text{mol/L}$ al toxisch bevonden voor planten als Krabbenscheer. In terrestrische milieus is aangetoond dat concentraties boven de 1000 $\mu\text{mol/L}$ toxisch zijn voor planten (Lucassen e.a. 2003; van den Berg e.a. 2005).

Hoge concentraties ammonium in het bodemvocht resulteren in hoge concentraties ammonium in de waterlaag (zie ook Baggernut rapportage (Poelen, van den Berg e.a. 2012) voor N nalevering). Aangenomen mag worden dat hoger concentraties in de bodem ($>1000\mu\text{mol/L}$) problematisch zijn en dat zeer hoge concentraties ($>2000\mu\text{mol/L}$) toxisch zijn voor een aantal macrofyten.

Ook voor sulfide (H_2S , HS^- en S^{2-}) concentraties zijn grenswaarden aan te geven. Een samenvattende literatuurstudie toont dat de spreiding in gemeten concentraties waarboven toxiciteit werd aangetoond erg hoog is (Lamers e.a. 2013) en afhankelijk is van de plantensoort en het ecosysteem (brak of zoet). Sulfidetoxiciteit wordt al gevonden bij waterplanten (Caltha bijvoorbeeld) bij concentraties van 10 -15 $\mu\text{mol/L}$ ((van der Welle e.a. 2006; Geurts e.a. 2008; van der Welle e.a. 2008). Riet en sommige andere macrofyten lijken minder gevoelig en toxiciteit voor sulfide werd hier pas gevonden boven 500 $\mu\text{mol/L}$ (Koch e.a. 1990; Howes e.a. 2005).

De gemeten waarden zullen als input dienen voor de berekening van nieuwe GEP's en het eventueel vaststellen van nieuwe doelen. Het is daarom belangrijk om grenswaarden aan te houden die een gevolg hebben voor de ecologische doelen van de onderzochte wateren en dus resulteren in een afname in biodiversiteit. Als onderste grenswaarden voor sulfide zijn daarom concentraties genomen tussen 10 en 40 $\mu\text{mol/L}$ waarbij enkele soorten zullen afnemen maar het merendeel zal overleven. Tussen de 40 en 200 $\mu\text{mol/L}$ zullen meer soorten afnemen en is de situatie problematisch. Daarboven ($>200\mu\text{mol/L}$) moet rekening gehouden worden met significante afname in soorten voor zowel macrofyten als macrofauna.

De concentraties sulfide in het bodemvocht zijn sterk temperatuurafhankelijk met een duidelijke significante correlatie tussen temperatuur en sulfideconcentratie (Smolders e.a.

1995; Smolders e.a. 2006). Deze correlatie is gebruikt om de gemeten sulfideconcentraties van april (met een gemiddelde watertemperatuur van 12 graden Celsius) te extrapoleren naar de sulfideconcentraties voor de zomer (met een gemiddelde watertemperatuur van 20 graden Celsius). Na deze berekening blijken drie monsterpunten ook problematische concentraties sulfide te bevatten. Een dergelijke berekening naar zomerconcentraties geeft een grove schatting van de te verwachte sulfideconcentraties op deze locaties. Werkelijke zomerwaarden kunnen hoger of lager liggen door complexerende factoren als anaërobie, sulfaatreductie, en inlaat van nitraatrijk water. Wekelijke waarden kunnen derhalve allen na metingen nauwkeurig worden vastgesteld.

P nalevering

De waterkwaliteit van de onderzochte wateren is niet goed en wordt sterk beïnvloed door de onderwaterbodem.

De bodems in Noord Holland zijn sterk opgeladen met zwavel (S). Dit heeft tot gevolg dat er een hoge mate van binding is tussen Fe en S en dat er geen of zeer weinig Fe beschikbaar is voor de binding van vrije fosfaten. De ratio (Fe-S)/P is vaak negatief (tabel 5) wat dit duidelijk maakt. Hierdoor is de geschatte P nalevering hoog.

Voor de meeste locaties wordt een redelijke tot hoge P nalevering geschat van tussen de 1,7 en 23 mg P/m²/dag. Alleen locatie NL12_415A wordt op basis van de P gehalten in het bodemvocht laag ingeschat. De P nalevering uit de sliblaag van de meeste locaties ligt boven de 1 mg/m²/dag en kan in het voorjaar en zomer zorgen voor vertroebeling van de waterlaag (Jaarsma e.a. 2008). Metingen aan de onderliggende lagen kunnen uitwijzen of baggeren op deze locaties nuttig is voor de verbetering van de waterkwaliteit en een vermindering in P-nalevering teweeg brengen.

Literatuur

- Geurts, J. J. M., A. J. P. Smolders, J. T. A. Verhoeven, J. G. M. Roelofs en L. P. M. Lamers (2008). "Sediment Fe : PO(4) ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity in fen waters." *Freshwater Biology* **53**(10): 2101-2116.
- Howes, B. L., J. M. Teal en S. Peterson (2005). "Experimental Phragmites control through enhanced sediment sulfur cycling." *Ecological Engineering* **25**(3): 292-303.
- Jaarsma, N., M. Klinge, L. Lamers en B. J. van Weeren (2008). Van helder naar troebel... en weer terug : een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de kaderrichtlijn water. Utrecht, STOWA.
- Koch, M. S., I. A. Mendelssohn en K. L. McKee (1990). "MECHANISM FOR THE HYDROGEN SULFIDE-INDUCED GROWTH LIMITATION IN WETLAND MACROPHYTES." *Limnology and Oceanography* **35**(2): 399-408.
- Lamers, L., J. Sarneel, J. Geurts, D. Pires, E. Remke, H. van Kleef, M. Christianen, L. Bakker, G. Mulderij, J. Schouwenaars, M. Klinge, N. Jaarsma, S. van der Wielen, M. Soons, J. Verhoeven, B. Ibelings, E. van Donk, W. Verberk, H. Esselink en J. Roelofs (2010). Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. OBN Eindrapportage 2006-2009 (Fase 2), Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit: 251.
- Lamers, L. P. M., L. L. Govers, I. Janssen, J. J. M. Geurts, M. E. W. Van der Welle, M. M. Van Katwijk, T. Van der Heide, J. G. M. Roelofs en A. J. P. Smolders (2013). "Sulfide as a soil phytotoxin-a review." *Frontiers in plant science* **4**.
- Lucassen, E., R. Bobbink, A. J. P. Smolders, P. J. M. van der Ven, L. P. M. Lamers en J. G. M. Roelofs (2003). "Interactive effects of low pH and high ammonium levels responsible for the decline of *Cirsium dissectum* (L.) Hill." *Plant Ecology* **165**(1): 45-52.
- Lucassen, E. C. H. E. T., A. J. P. Smolders, G. Boedeltje, P. J. J. van den Munckhof en J. G. M. Roelofs (2006). "Groundwater input affecting plant distribution by controlling ammonium and iron availability." *Journal of Vegetation Science* **17**(4): 425-434.
- Poelen, M. D. M., L. J. L. van den Berg, G. N. J. ter Heerdt, R. Bakkum, A. J. P. Smolders, N. G. Jaarsma, R. J. Brederveld en L. P. M. Lamers (2012). WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en nutriënten (BAGGERNUT) – Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT) Eindrapportage 2012. Nijmegen, B-Ware Research Centre: 142.
- Roelofs, J. G. M. (1991). "INLET OF ALKALINE RIVER WATER INTO PEATY LOWLANDS - EFFECTS ON WATER-QUALITY AND STRATIOTES-ALOIDES L STANDS." *Aquatic Botany* **39**(3-4): 267-293.
- Smolders, A. J. P., L. P. M. Lamers, E. Lucassen, G. Van der Velde en J. G. M. Roelofs (2006). "Internal eutrophication: How it works and what to do about it - a review." *Chemistry and Ecology* **22**(2): 93-111.
- Smolders, A. J. P., J. G. M. Roelofs en C. denHartog (1995). "Internal eutrophication of aquatic ecosystems: Mechanisms and possible remedies." *Acta Botanica Gallica* **142**(6): 707-717.
- STOWA. (2012). from http://www.stowa.nl/bibliotheek/publicaties/baggernut_maatregelen_baggeren_en_nutriënten.
- van den Berg, L. J. L., E. Dorland, P. Vergeer, M. A. C. Hart, R. Bobbink en J. G. M. Roelofs (2005). "Decline of acid-sensitive plant species in heathland can be attributed to ammonium toxicity in combination with low pH." *New Phytologist* **166**(2): 551-564.
- van der Welle, M. E. W., M. Cuppens, L. P. M. Lamers en T. G. M. Roelofs (2006). "Detoxifying toxicants: Interactions between sulfide and iron toxicity in freshwater wetlands." *Environmental Toxicology and Chemistry* **25**(6): 1592-1597.
- van der Welle, M. E. W., J. G. M. Roelofs en L. P. M. Lamers (2008). "Multi-level effects of sulphur-iron interactions in freshwater wetlands in The Netherlands." *Science of The Total Environment* **406**(3): 426-429.

