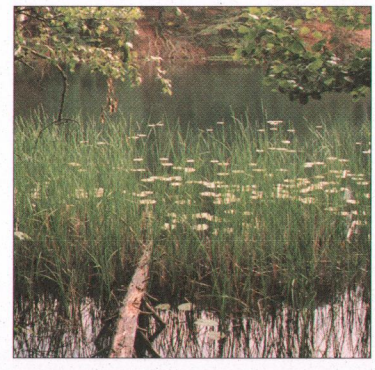
Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

DHV Amersfoort

Onderzoek naar de productiviteit van de toekomstige waterbodem van de Blauwe Stad met behulp van chemische en biologische analyses



Witteveen+Bos
van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

DHV Amersfoort

Onderzoek naar de productiviteit van de toekomstige waterbodem van de Blauwe Stad met behulp van chemische en biologische analyses

registratie	projectcode	status
SECI/PANH/rap.002	Gn24.41	definitief 1
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
drs. M. Klinge	drs. M.P. Grimm	21 februari 2002

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	drs. M. Klinge	

Witteveen+Bos
van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

Het kwaliteit management systeem van Witteveen+Bos is gecertificeerd volgens NEN-EN-ISO 9001 : 1994

© Witteveen+Bos
Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

1946930

INHOUDSOPGAVE **blz.**

1. INLEIDING **1**

2. AANPAK VAN HET ONDERZOEK **2**
2.1. Monstername 2
2.1.1. Zone-indeling van het gebied 2
2.1.2. Uitvoering boringen 2
2.1.3. Selectie van monsters voor de analyses 3
2.2. Chemische analyses 4
2.2.1. Directe naleveringspotentie 4
2.2.2. Indirecte naleveringspotentie 4
2.3. Biologische analyses 4
2.4. Evaluatie van de resultaten 4

3. RESULTATEN **5**
3.1. Chemische analyses 5
3.2. Biologische analyses 7

4. EVALUATIE **11**
4.1. Evaluatie van de verschillende analyses 11
4.1.1. Chemische analyses 11
4.1.2. Biologische analyses 13
4.2. Beoordeling van de afzonderlijke bodemtypen 13
4.2.1. Zone 1 en 2 (Bovengrondmonsters) 13
4.2.2. Zone 3 en 4 (kleiige bodems) 13
4.2.3. Zone 5 (zand/grind) 13
4.2.4. Zone 6 (potklei) 13
4.2.5. Zone 7 (veen) 14
4.3. Algemene conclusie 14

5. NADERE ANALYSE VAN HET VEEN EN DE MOGELIJKHEDEN VOOR VERLAGING VAN DE PRODUCTIVITEIT VAN DE TOEKOMSTIGE WATERBODEM **15**
5.1. Nadere analyse van het veen 15
5.2. Mogelijkheden voor verlaging van de productiviteit van de toekomstige waterbodem 16

laatste bladzijde 16

bijlagen aantal bladzijden
I Zone-indeling DHV 1
II Boorkaart 1
III Geselecteerde boringen voor de uitloogproef 4
IV Rapport van AquaSense over de muggenlarvenpotentieproeven 38

1. INLEIDING

Water speelt een centrale rol in de ontwikkeling van de Blauwe Stad. Een belangrijk aspect is de toekomstige waterkwaliteit. Deze dient zodanig te zijn dat de aan de Blauwe Stad toegekende functies optimaal gediend worden. De productiviteit van het water speelt hierbij een cruciale rol. Een te hoge productiviteit resulteert in troebel water met veel zwevende algen waaronder zich potentieel toxische soorten kunnen bevinden. De productiviteit van het water in de Blauwe Stad zal sterk afhangen van de volgende factoren:

- de omvang van de externe belasting met nutriënten;
- de omvang van de interne belasting met nutriënten.

De externe belasting van de Blauwe Stad is reeds onderzocht. Uit dit onderzoek (uitgevoerd door WL Delft Hydraulics) blijkt dat de gewenste externe belasting maximaal 0,8 mgP/m^2.dag mag bedragen. Dit belastingniveau is haalbaar voor de Blauwe Stad. De interne belasting (de belasting vanuit de bodem) dient een afgeleide te zijn van de externe belasting, hetgeen wil zeggen dat deze in evenwicht dient te zijn met het niveau van 0,8 mgP/m^2.dag. Hoe hoog de interne belasting zal zijn is onderzocht in deze studie. Bij de interne belasting kan onderscheid gemaakt worden in de volgende fenomenen:

- directe nalevering van nutriënten vanuit de bodem naar de waterfase (chemisch proces);
- indirecte nalevering vanuit de bodem naar de waterfase via de voedselketen (biologisch proces).

Beide aspecten zijn onderzocht door monsters van de toekomstige waterbodem van de Blauwe Stad chemisch en biologisch te analyseren. In dit rapport worden de opzet, resultaten en evaluatie van deze proeven weergegeven. De opbouw van het rapport is als volgt:

- in hoofdstuk 2 wordt de aanpak van het onderzoek beschreven;
- in hoofdstuk 3 worden de resultaten weergegeven;
- in hoofdstuk 4 worden de resultaten geëvalueerd en wordt een algemene conclusie getrokken;
- in hoofdstuk 5 ten slotte wordt ingegaan op de mogelijkheden om de productiviteit van de toekomstige waterbodem van de Blauwe stad te verlagen. Hierbij is tevens gebruik gemaakt van aanvullende chemische analyses, waarvan de resultaten worden gepresenteerd.

2. AANPAK VAN HET ONDERZOEK

De aanpak van het onderzoek heeft de volgende activiteiten omvat:
1. Monstername.
2. Chemische analyses.
3. Biologische analyses.

2.1. Monstername

De eerste stap van het onderzoek betrof een zo representatief mogelijke monstername van de verschillende bodemsoorten in het plangebied.

2.1.1. Zone-indeling van het gebied

Voorafgaand aan de monstername is het gebied op grond van verschillen in bodemsoort en –samenstelling ingedeeld in een aantal zones. Deze zone-indeling was reeds door DHV gemaakt op grond eerder uitgevoerde monsternames en op kaart weergegeven (bijlage I). De zones staan weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 2.1. Zone-indeling van DHV

zone/bodemtype nr.	omschrijving	bodemtype	oppervlakte (ha)
1	potentiële teelaarde	H2/H3, < 20% L	180
2	ophoogmateriaal, geluidswal kern dijk	H2/H3, > 20% L	104
3	klei, pot. Bekledingsklei dijken, grof ker. Industrie	klei, < H2, 12-40% L	58
4	klei, ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk	klei, anders dan < H2, 12-40% L	31
5	zand/grind (divers)	-	146
6	potklei	-	24
7	veen	-	89

Door bovenstaande indeling in zeven bodemtypes heen speelt nog de factor ontgravingsdiepte. De minimale waterdiepte van de Blauwe Stad dient 130 cm te bedragen, hetgeen ertoe leidt dat circa 50% van het gebied meer of minder diep ontgraven moet worden. Op de kaart in bijlage I is het gebied dat volgens plan niet ontgraven wordt gearceerd weergegeven. De samenstelling van de te ontgraven en niet te ontgraven delen verschilt. Bodemtypes 5 (zand/grind) en 6 (potklei) komen alleen voor in de te ontgraven delen (dat wil zeggen dat ze alleen na ontgraving aan het oppervlak komen). Alle andere bodemtypes komen zowel in de te ontgraven als in de niet te ontgraven delen voor. Dit betekent dat deze bodemtypes zowel een ´bouwvoorkarakter´ kunnen hebben als afkomstig kunnen zijn van dieper gelegen delen (zie bijlage I).

2.1.2. Uitvoering boringen

Afhankelijk van het oppervlak zijn in elke zone 20 tot 40 boringen uitgevoerd tot minimaal de verwachte toekomstige ontgravingsdiepte (tot maximaal 3 m-mv).

Een overzicht van het aantal boringen per zone is gegeven in tabel 2.2. In bijlage II is een kaart met de zone-indeling en de geplaatste boringen opgenomen.

Tabel 2.2. Overzicht van het aantal boringen per zone

zonekleur	omschrijving	bodemtype	oppervlakte (ha)	boringen
donker roze	potentiële teelaarde	H2/H3, < 20% L	180	40
licht roze	ophoogmateriaal, geluidswal kern dijk	H2/H3, > 20% L	104	30
donker groen+ donker blauw	klei, pot. bekledingsklei dijken, grof keramische industrie	klei, < H2, 12-40% L	58	20
licht groen+ licht blauw	klei, ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk	klei, anders dan < H2, 12-40% L	31	20
geel + oranje	zand/grind (divers)	-	146	40
rood	potklei	-	24	20
paars	veen	-	89	30

De boorwerkzaamheden zijn uitgevoerd door de STERIN geaccrediteerde en VCA** gecertificeerde milieumeetdienst van Witteveen+Bos conform de daartoe geldende NEN-normen.

2.1.3. Selectie van monsters voor de analyses

Aanvankelijk was het de bedoeling om binnen elke zone een representatief mengmonster samen te stellen op basis van alle boringen. Bij de uitvoering van de boringen bleek echter dat de bodemopbouw binnen een zone nog behoorlijk heterogeen van karakter was (daar waar zand werd verwacht werd regelmatig veen of klei aangetroffen enzovoorts). Het maken van een mengmonster zou betekenen dat het bodemtype behorend bij de zone ´vervuild´ zou raken met andere bodemtypes, waardoor er problemen met de interpretatie van de resultaten zouden kunnen ontstaan. Om die reden is besloten geen mengmonsters te maken, maar uit alle boringen binnen een zone die boringen te selecteren welke op het oog het meest overeen kwamen met de zonetypering en afwijkende boringen buiten beschouwing te laten. Op deze wijze is beoogd een zo goed mogelijk beeld van de 7 bodemtypes te krijgen. Bij de selectie van monsters is geen rekening gehouden met de geplande ontgravingsdiepte. Wel is de diepte waarop de monsters zijn genomen geregistreerd.

Uiteindelijk zijn per zone drie boringen geselecteerd (dus 21 monsters in totaal). Op elk van deze locaties is een 10 liter emmer gevuld met grond. In onderstaande tabel zijn de monsterpuntcodes en de monsterdieptes weergegeven:

Tabel 2.3. Monsterpuntcodes en monsterdiepte van de geselecteerde monsters

zone/bodemtype	monsterpuntcodes	monsterdiepte
1 (bovengrond, potentieel teelaarde)	1-1, 1-14, 1-34	oppervlak (bouwvoor)
2 (bovengrond, ophoogmateriaal)	2-2, 2-22, 2-28	oppervlak (bouwvoor)
3 (klei, <H3 en 12-40% L)	3-5, 3-13, 3-15	onder de bouwvoor
4 (klei, anders dan <H3 en 12-40% L)	4-3, 4-7, 4-16	4-3 onder de bouwvoor, 4-7 en 4-16 oppervlak (bouwvoor)
5 (zand/grind)	5-15, 5-27, 5-36	onder de bouwvoor
6 (potklei)	6-3, 6-9, 6-17	onder de bouwvoor
7 (veen)	7-5, 7-22, 7-23	7-5 en 7-23 oppervlak (bouwvoor), 7-22 onder de bouwvoor

In bijlage II is te zien op welke locaties deze grondmonsters zijn genomen.

In aanvulling op de hierboven beschreven monstername zijn nog twee mengmonsters genomen in de volgende trajecten:
- een grondtraject dat wisselend verzadigd is met grondwater (tussen GHG en GLG);
- een grondtraject dat permanent verzadigd is met grondwater (dieper dan GLG).

Dit om ten einde te kunnen onderzoeken of er sprake is van het uitlogen van fosforverbindingen vanuit de bouwvoor naar diepere grondlagen. Om representatieve grondmonsters te selecteren zijn alle boorstaten op de volgende criteria beoordeeld:
- het type bouwvoor is omschreven als matig humeus, siltig matig fijn zand (Z3S1H2);
- in één boring is zowel het 'wisselende' als 'permanente' traject aanwezig.

In totaal zijn 4 geschikte mengmonsters genomen. De geschikte boorstaten met daarin aangegeven de geselecteerde boortrajecten zijn opgenomen in bijlage III.

2.2. Chemische analyses

2.2.1. Directe naleveringspotentie

Ter bepaling van de directe naleveringspotentie is van alle monsters (totaal 25) het volgende bepaald:
- totaalontsluiting ijzer (Fe-ICP);
- totaalontsluiting fosfor (P-ICP);
- totaalontsluiting aluminium (Al-ICP).

De verhouding tussen Fe en P (en eventueel Al en P) is afgezet tegen metingen van de nalevering tijdens uitvoering van de biologische analyses (zie paragraaf 2.3.). Waterbodems met een Fe:P verhouding groter dan 20 à 25 leveren doorgaans niet na, terwijl waterbodems met een lagere verhouding dit wel doen (mondelinge mededeling dr. P. Boers, RIZA).

2.2.2. Indirecte naleveringspotentie

Ter bepaling van de indirecte naleveringspotentie is met alle monsters (25 in totaal) een ammonium-oxalaat-oxaalzuur extractie conform NEN5776 uitgevoerd. Deze extractie bootst het vermogen na van biota (zoals ondergedoken waterplanten, bacteriën en bodemalgen) om 'losjes' gebonden P uit de bodem vrij te maken en in de voedselketen te brengen.

Alle chemische analyses zijn uitgevoerd door het STERLAB geaccrediteerde laboratorium van TAUW.

2.3. Biologische analyses

De biologische analyses dienen ter nadere bepaling van de directe en indirecte naleveringspotentie. Nutriëntrijke bodems, vooral kleiige sedimenten, kunnen een hoogproductieve benthische voedselketen ondersteunen. Hierbij spelen naast de aanwezigheid van fosforverbindingen ook andere factoren een rol, zoals substraateigenschappen en voedselkwaliteit. De productiviteit van de bodems is op biologische wijze ingeschat met behulp van een muggenlarvenpotentietoets.

De muggenlarvenpotentieproeven zijn uitgevoerd door AquaSense. Een beschrijving van de opzet en uitvoering van de proeven is gegeven in bijlage IV.

2.4. Evaluatie van de resultaten

Op grond van de resultaten van de proeven heeft er een evaluatie plaatsgevonden in het licht van de waterkwaliteitsdoelstellingen van de Blauwe Stad. Tijdens de totstandkoming van deze evaluatie zijn (delen van) de analyseresultaten besproken met de volgende personen:
- wetenschappers van de afdeling Aquatische Ecologie en Milieubiologie van de Katholieke Universiteit Nijmegen (dr. R. Roelofs, dr. L. Lamers en dr. A. Smolders);
- de heer dr. P. Boers van het RIZA;
- de heer dr. N. de Rooij van WL Delft Hydraulics;
- de heer drs. M. Ouboter van DWR.

Deze personen hebben op persoonlijke titel hun mening gegeven, welke Witteveen+Bos heeft gebruikt bij de evaluatie. De evaluatie, conclusies en aanbevelingen komen echter geheel voor rekening van Witteveen+Bos.

3. RESULTATEN

3.1. Chemische analyses

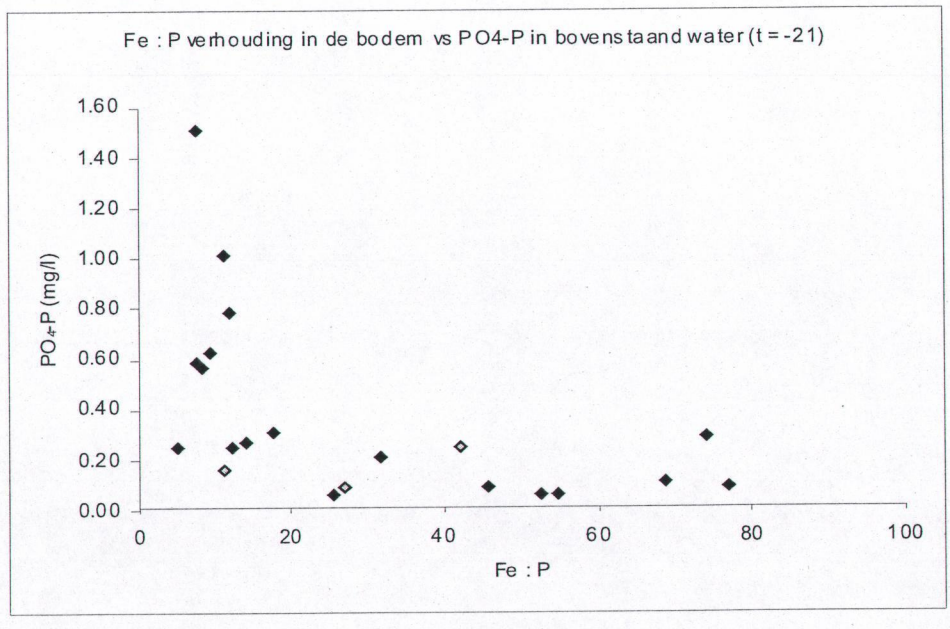
De resultaten van de chemische analyses zijn weergegeven in tabel 3.1. en 3.2. De directe nalevering in relatie tot de Fe:P verhouding staat weergegeven in afbeelding 3.1.

Tabel 3.1. Resultaten chemische analyses (totaalmetingen en extractie aan 21 monsters). P-verz (-) = 2 x conc. P / (conc. Al + conc. Fe)

	1-1	1-14	1-34	2-2	2-22	2-28	3-5	3-13	3-15	4-3	4-7	4-16
omschrijving	bouwvoor < 20% L			bouwvoor > 20% L			klei (<H2 en 12-40% L)			klei (anders dan <H2 en 12-40% L)		
Al (mg/kg.ds)	3100	8000	3100	3200	10000	10000	2200	4100	3000	7500	7000	5000
Fe (mg/kg.ds)	7500	18000	5500	6000	9500	21000	5000	5500	2300	10000	14000	14000
P (mg/kg.ds)	900	1500	600	800	850	1200	650	120	31	130	550	1000
Fe:P (afgerond)	8	12	9	8	11	18	8	46	74	77	25	14
Al (mmol/kg)	3	5	4	2	4	3	3	2	3	1	1	2
Fe (mmol/kg)	4	12	7	4	12	9	4	3	< 1	< 1	< 1	1
P (mmol/kg)	1,1	2,3	1,3	1,2	2,3	1,7	1,6	0,4	5,1	7,1	6	19,6
P-verz (-)	0,32	0,28	0,23	0,43	0,29	0,28	0,41	0,13	4	8,7	8,3	12,8

monster	5-15	5-27	5-36	6-3	6-9	6-17	7-5	7-22	7-23
omschrijving	zand/grind			potklei			veen		
Al (mg/kg.ds)	1200	550	2900	5500	6000	9500	3300	2900	5500
Fe (mg/kg.ds)	650	400	2100	22000	19000	17000	14000	2200	6500
P (mg/kg.ds)	24	36	50	320	360	310	440	440	550
Fe:P (afgerond)	27	11	42	69	53	55	32	5	12
Al (mmol/kg)	1	1	< d	2	1	1	6	3	4
Fe (mmol/kg)	< 1	< 1	1	3	2	5	18	4	4
P (mmol/kg)	0,4	0,7	0,1	0,5	0,5	0,5	0,8	0,3	0,4
P-verz (-)	1	2	0,11	0,25	0,28	0,17	0,06	0,08	0,11

Afbeelding 3.1. Directe nalevering in relatie tot de Fe:P verhouding, zoals gemeten tijdens de biologische analyses



Tabel 3.2. Resultaten chemische analyses t.b.v. testen uitloging van P.). P-verz (-) = 2 x conc. P / (conc. Al + conc. Fe)

monster	mm^1-wisselend	mm^2-wisselend	mm^1-permanent	mm^2-permanent
Al (mg/kg.ds)	3200	2300	2800	2100
Fe (mg/kg.ds)	1400	1300	1500	1300
P (mg/kg.ds)	36	35	30	35
Al (mmol/kg)	2	1	1	<d
Fe (mmol/kg)	<d	<d	<d	<d
P (mmol/kg)	0,2	0,3	0,5	0,3
P-verz (-)	0,28	0,67	1,6	1,2

directe nalevering

- uit tabel 3.1. kan worden afgeleid dat de gehaltes aan P, Fe en Al sterk variëren. De variatie is het grootst tussen de bodemtypen, maar binnen een bodemtype bestaat af en toe ook een grote variatie;
- de Fe:P verhouding vertoont eveneens duidelijke verschillen, welke het grootst zijn tussen de bodemtypen. In de bouwvoormonsters is de verhouding structureel relatief laag. In de andere bodemtypes is de verhouding gemiddeld duidelijk hoger, maar zitten er ook monsters tussen met een relatief lage verhouding, zoals 3-5, 5-27 en twee veenmonsters (7-22 en 7-23);
- uit afbeelding 3.1. blijkt een duidelijk verband tussen de Fe:P verhouding en de directe nalevering van P. Alleen monsters met een Fe:P verhouding van minder dan 20 vertonen een sterke nalevering. De monsters die het sterkst naleveren hebben ook het hoogste P-gehalte;
- de bovengrondmonsters van zone 1 en 2 blijken veruit het sterkst na te leveren (gemiddeld 4,5 mgP/m^2.dag over de eerste 35 dagen, zie afbeelding 3.4. uit bijlage IV). Daarnaast levert één monster van zone 3 (klei: 3-5) na (0,2 mgP/m^2.dag) en één monster van zone 7 (veen: 7-5, nalevering 0,6 mgP/m^2.dag). Het kleimonster heeft een ongunstige Fe:P verhouding van 8. Het veenmonster heeft een relatief gunstige Fe:P verhouding van 32. Mogelijk is er sprake van mineralisatie van het veen. Ook is het mogelijk dat het in het monster beschikbare ijzer niet of verminderd beschikbaar is voor de binding van P, bijvoorbeeld omdat het ijzer is gebonden aan zwavel (zie hoofdstuk 5). Alle overige monsters leveren geen P na maar adsorberen juist P (zie afbeelding 3.4. uit bijlage IV). Deze monsters hebben allemaal een Fe:P verhouding van groter dan 10, oplopend tot 77.

indirecte nalevering

- de oxalaat-oxaalzuur-extractie (de onderste rij van tabel 3.1. genaamd ´P-verz (-)´, welke berekend is op grond van de drie rijen erboven) vertoont eveneens een variatie die het grootst is tussen de bodemtypes, maar ook binnen een bodemtype sterk kan variëren;
- voor de bouwvoor- en veenmonsters (zone 1, 2 en 7) geldt dat deze waarschijnlijk te zuur zijn voor de gebruikte extractiemethode (getuige de resultaten van de biologische analyses, zie paragraaf 3.2.) en dat de resultaten derhalve niet representatief zijn. De gebruikte extractiemethode cf NEN 5776 mag namelijk alleen met basische bodems worden uitgevoerd. In hoofdstuk 5 wordt een aanvullende analyse van het veen getoond met een andere extractiemethode, een lactaat-acetaat extractie, welke wel met zure bodems mag worden uitgevoerd;
- de P-verzadiging is **relatief** gezien het grootst in de kleimonsters (serie 3 en met name serie 4) en twee van de drie zand/grind monsters (serie 5). In de overige types is de P-verzadiging duidelijk lager;
- in **absolute** zin valt de hoge beschikbaarheid van P in de kleimonsters van zone 3 en 4 sterk op. Extraheerbare hoeveelheden P van meer dan 1 mmol/kg zijn algemeen hoog te noemen; hier lopen de hoeveelheden zelfs op tot bijna 20 mmol/kg! Dit duidt op een zeer hoge biologische beschikbaarheid van het in de klei aanwezige P. Uit vergelijking met de Fe:P verhouding komt naar voren dat de Fe:P verhouding niet zonder meer een goede voorspeller is. Zo is de hoeveelheid extraheerbaar P in monster 3-13 en 3-15 sterk verschillend (0,4 mmol/kg versus 5,1 mmol/kg), terwijl beide een hoge Fe:P ratio hebben (46 en 74). Kennelijk is de beschikbaarheid van P niet duidelijk gekoppeld aan binding aan Fe. Binding van Fe aan zwavel, waardoor niet beschikbaar is voor P-binding, kan hiervoor een verklaring zijn (zie verder hoofdstuk 4 en 5).

uitloging van P (tabel 3.2.)
De P-verzadiging van de monsters genomen in een zone direct onder de bouwvoor (die afwisselend verzadigd is met grondwater) blijkt lager dan die van de dieper gelegen monsters (die permanent verzadigd zijn met grondwater). Ook is het P-gehalte in alle monsters vergelijkbaar. Deze resultaten duiden er op dat uitloging van P vanuit de bouwvoor naar diepere bodemlagen geen rol van betekenis speelt.

mogelijk bouwvooreffect
Zoals aangegeven in tabel 2.3. zijn er monsters genomen van de toplaag van de bodem (bouwvoor), alsmede monsters genomen van dieper gelegen bodemlagen (onder de bouwvoor). Uit vergelijking van de resultaten van de chemische analyses en de monsterdiepte komt het volgende naar voren:

- alle monsters uit zone 1 en 2 zijn monsters van de bouwvoor. De relatief hoge gehaltes aan P zijn derhalve niet verwonderlijk;
- alle monsters uit zone 3 zijn genomen onder de bouwvoor. Het relatief hoge P-gehalte van monster 3-5 zie tabel 3.1.) duidt er op dat sommige monsters ´van nature´ een relatief hoog P-gehalte kunnen hebben. De P-analyse van AquaSense (zie tabel 3.3. in bijlage IV) van dit monster valt echter veel lager uit, zodat de hoge waarde uit tabel 3.1. ook een analysefout kan zijn;
- uit zone 4 hebben monster 4-7 en 4-16, genomen van de bouwvoor, veel hogere P-gehaltes dan zone 4-3 dat genomen is onder de bouwvoor. Dit duidt er op dat de bouwvoor veel sterker is opgeladen dan de gelijksoortige diepere bodemlagen;
- de bodemtypen 5 en 6 liggen altijd onder de bouwvoor. De monsters bevatten relatief lage P-gehaltes;
- de monsters uit zone 7 vertonen vergelijkbare P-gehaltes, terwijl monster 7-22 is genomen onder de bouwvoor en de overige monsters bouwvoormonsters zijn. Een ´bouwvooreffect´ is bij de veenbodems derhalve niet aantoonbaar.

Samenvattend kan gesteld worden dat een bouwvooreffect zeker aanwezig lijkt. Onder de bouwvoor lijken de P-gehaltes structureel lager te zijn, hoewel de veenmonsters van nature veel P bevatten en er ook een kleiig monster met veel P is aangetroffen. Dit laatste monster kan echter een analysefout zijn, getuige het veel lagere analyseresultaat van AquaSense (zie bijlage IV).

3.2. Biologische analyses
Voor een compleet overzicht van de resultaten van de biologische analyses wordt verwezen naar bijlage IV. Onderstaand worden enkele resultaten weergegeven en toegelicht.

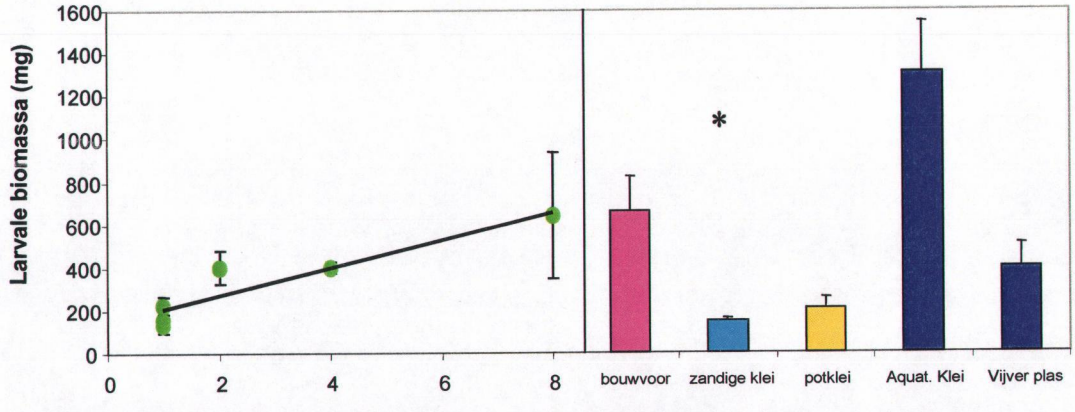
Tabel 3.3. Productie van chironomiden-larven op de verschillende bodemtypen in drooggewicht en aantallen per m^2. De laatste drie kolommen geven het aandeel van de verschillende larvale stadia weer (in %)

bodemtype	locatie	biomassa ($mg*m^2$)	totaal aantal larven ($*m^2$)	deel L2-larven (%)	deel L3-larven (%)	deel L4 larven (5)
bouwvoor type 1	1	635	9191	11	83	6
	14	1091	9853	10	74	16
	34	295	4926	19	75	7
bouwvoor type 2	2	49	1213	24	76	0
	22	6	147	50	50	0
	28	620	6618	26	63	12
zandige klei 3	13	163	2537	30	57	13
	15	107	1471	25	65	10
	5	205	3566	21	70	9
zand en/of klei 4	16	1103	4853	15	52	33
	3	145	2794	34	61	5
	7	103	2537	49	41	10

bodemtype	locatie	biomassa (mg*m^2)	totaal aantal larven (*m^2)	deel L2-larven (%)	deel L3-larven (%)	deel L4 larven (5)
humus arm zand/grind 5	27	131	5110	78	21	1
	36	153	2610	35	58	7
	15	223	5956	46	51	3
zand met 2xP	15	401	8419	45	52	3
zand met 4xP	15	402	6838	32	58	11
zand met 8xp	15	640	6140	25	59	16
potklei 6	3	119	2353	42	50	8
	9	195	2978	37	52	11
	17	299	5625	31	59	9
veen 7	22	6	110	33	67	0
	5	5	37	0	100	0
	23	125	2941	30	60	10
aquatische klei	Oostvaarders-plassen	1316	10441	13	61	27
aquatisch zand	vijver/plas	397	7390	60	30	10

De muggenlarvenproductie (in biomassa, weergegeven in tabel 3.3.) blijkt een grote variatie te vertonen. De laagste waarden betreffen twee bovengrondmonsters (2-2 en 2-22) en twee veenmonsters (7-22 en 7-5). Voor deze bovengrondmonsters en alle veenmonsters geldt dat de pH te laag is geweest, waardoor muggenlarven zijn dood gegaan (zie bijlage IV). Derhalve zijn deze resultaten niet representatief en dienen ze buiten beschouwing gelaten te worden. De hoogste waarden betreffen de aquatische klei (Oostvaardersplassen), een kleimonster (4-16) en de overige bovengrondmonsters welke niet te zuur zijn geweest.

Afbeelding 3.2. Gemiddelde biomassa en standaardfout van de muggenlarven (in mg dw) van de zandbodems (links) en de overige bodemtypen, inclusief de referentiesedimenten (rechts)

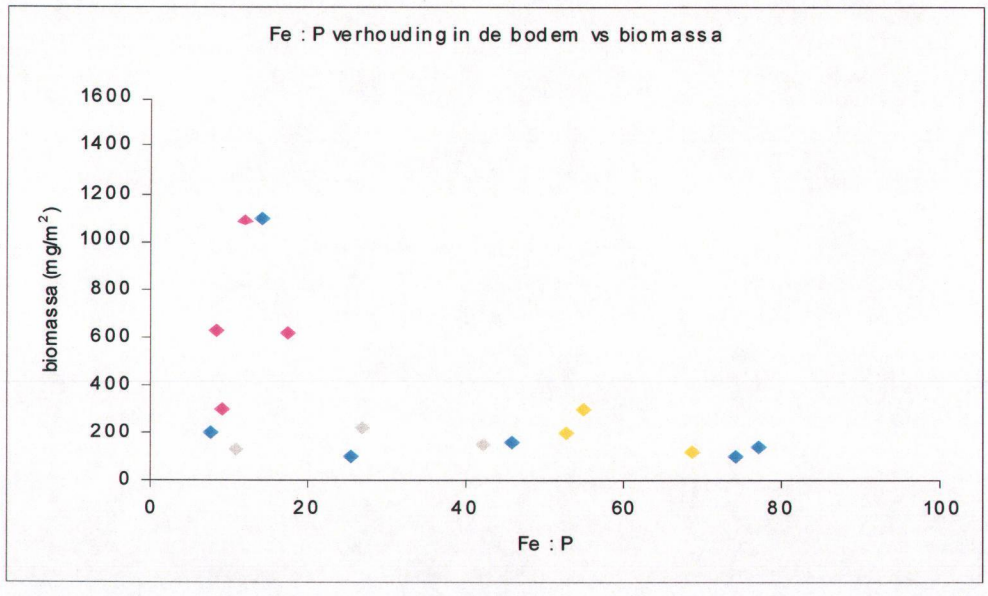


Links is het verband weergegeven van de toenemende biomassa bij hogere fosfaatgift (uitgedrukt in aantal keer de maximaal toegestane externe belasting van 0,8 mgP/m^2.dag). Rechts geeft de asterisk een individueel zandige klei monster weer (uitschieter)

Uit afbeelding 3.2. blijkt het volgende:

- de muggenlarvenproductie in de (niet te zure) bouwvoormonsters komt overeen met de productie op een minerale zandbodem welke belast wordt met een externe P-belasting van 8x de maximaal toegestane externe belasting van de Blauwe Stad van 0,8 mg P/m^2.dag;
- de overige Blauwe Stad monsters (zandige klei, potklei) laten een productie zien die in de lijn ligt met de productie op een minerale zandbodem welke belast wordt met een externe P-belasting van 1x de geschatte externe belasting van 0,8 mgP/m^2.dag. Uitzondering vormt één kleimonster dat een zeer hoge productie laat zien (overeen komend met een circa 14x belaste zandbodem). Uit de chemische analyses blijkt dat dit precies het monster is met het hoogste P-gehalte, de laagste Fe:P ratio en de hoogste P-verzadingswaarde;
- de aquatische referentiesedimenten (klei en zand) vertonen een duidelijk hogere muggenlarven-productie dan vergelijkbare Blauwe Stad monsters. Uit chemische analyses van AquaSense (zie tabel 3.1. in bijlage IV) blijkt dat de klei uit de Oostvaardersplassen sterk opgeladen is met P. Het referentie-zandmonster bevat echter duidelijk minder P dan de zandmonsters van de Blauwe Stad. Kennelijk wordt in de aquatische sedimenten P effectiever omgezet in muggenlarvenproductie, mogelijk omdat deze bodems een beter ontwikkelde aquatische flora en fauna hebben dan de landbodemmonsters.

Afbeelding 3.3. Fe:P verhouding in de Blauwe Stad bodem versus de muggenlarvenbiomassa



Afbeelding 3.3. laat zien dat er een verband bestaat tussen de Fe:P verhouding in de bodem en de productie van muggenlarven in de Blauwe Stad bodemmonsters. Hierin is te zien dat alleen bij een Fe:P verhouding <25 hoge biomassawaarden worden teruggevonden. Dit zijn bovenlaagmonsters van zone 1 en 2 alsmede het individuele zandige klei monster (uit zone 4), dat een duidelijke uitschieter was. Deze hebben allen tevens een hoog fosfaatgehalte in de bodem (>500 mg/kg ds). In de figuur is echter ook te zien dat er een aantal monsters zijn, die bij een voldoende lage Fe:P verhouding een relatief lage biomassaproductie geven. Het gaat om één zandmonster, één bouwvoor en één zandige klei. Voor deze afwijkingen kunnen de volgende mogelijke verklaringen gegeven worden (overgenomen uit bijlage IV):

- voor het zandmonster geldt dat het fosfaat in de bodem wel beschikbaar is, maar dat het gehalte erg laag is (290 mg/kg ds). Verder is natuurlijk het organische stofgehalte erg laag, waardoor de productie van een zandbodem mogelijk toch lager zal zijn in vergelijking met bodems met een hoog organisch stofgehalte;

- voor het zandige kleimonster geldt dat de Fe:P verhouding goed is en het organisch stof gehalte ook, maar dat het fosfaatgehalte van de bodem laag is (280 mg/kg ds), zeker in vergelijking met de uitschieter van dit type (610 mg/kg ds; monster 4-16), die voor de overige factoren vergelijkbaar is met dit monster, en waar de productie wel hoog is;
- voor het bouwvoormonster geldt dat de Fe:P verhouding goed is, het fosfaatgehalte voldoende hoog (500 mg/kg ds), en het organisch stofgehalte hoog is, maar dat gedurende de eerste weken van de test het bovenstaande water erg troebel was, waardoor zich hier misschien minder algen hebben kunnen ontwikkelen.

4. EVALUATIE

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verschillende analyses geëvalueerd. De evaluatie bestaat uit de volgende onderdelen:
- evaluatie van de verschillende analyses;
- beoordeling van de afzonderlijke bodemtypen;
- algemene conclusie.

4.1. Evaluatie van de verschillende analyses

4.1.1. Chemische analyses

directe nalevering
Uit de resultaten van de directe naleveringsproeven komt naar voren dat de Fe:P verhouding een goede voorspeller van de directe naleveringspotentie van P blijkt te zijn. Alleen bodems met een Fe:P verhouding van minder dan 20 blijken sterk na te leveren.

De bovengrondmonsters van zone 1 en 2 blijken veruit het sterkst na te leveren (gemiddeld 4,5 $mgP/m^2.dag$). Daarnaast leveren één kleimonster uit zone 3 en één veenmonster uit zone 7 na. Het kleimonster heeft een ongunstige Fe:P verhouding van 8. Het veenmonster heeft een relatief gunstige Fe:P verhouding van 32. Mogelijk is er tijdens de proef sprake geweest van mineralisatie van het veen. Ook is het mogelijk dat het in de bodem aanwezige Fe niet (voldoende) beschikbaar is voor de binding van P, bijvoorbeeld omdat het is gebonden aan zwavel (zie hoofdstuk 5). De overige monsters leveren niet na maar adsorberen juist P. Dit geadsorbeerde P blijkt echter wel biologisch beschikbaar (zie paragraaf 4.1.2. en 4.2.).

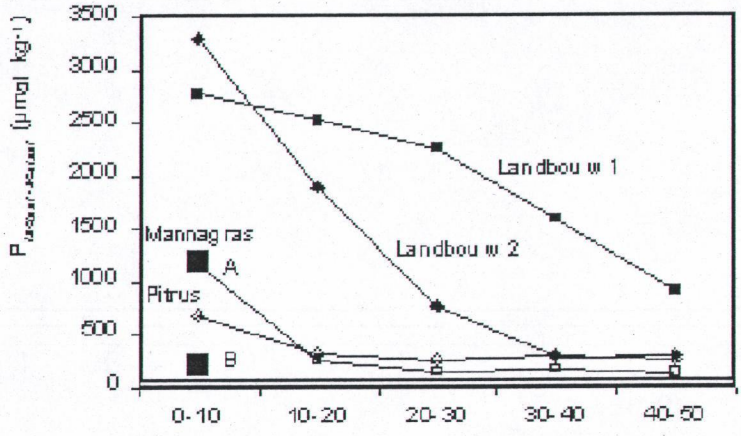
Opgemerkt moet worden dat de directe nalevering zoals hier gemeten de reactie van de bodem op korte termijn (tot enkele maanden) na het onder water zetten weergeeft. In deze periode, die ecologisch heel belangrijk is omdat de startcondities de ontwikkelingsrichting van het aquatisch ecosysteem (richting helder en plantenrijk of richting troebel en algenrijk) in hoge mate zullen bepalen, is nog sprake van aërobe omstandigheden. Op de langere termijn (vanaf enkele maanden tot circa een jaar) zal de landbodem een echte waterbodem worden, welke vanaf enkele millimeters tot centimeters onder het bodemoppervlak anaëroob zal zijn. In deze omstandigheden kunnen andere (reductie)processen een dominante rol gaan spelen, waardoor het gedrag van de bodem kan veranderen. Een methode om de reacties op de wat langere termijn in te schatten betreft de chemische extractie (zie onderstaand).

indirecte nalevering
De indirecte naleveringspotentie is ingeschat met een ammoniumoxalaat-oxaalzuur extractie. Deze extractie beoogt de biologische beschikbaarheid van P op de langere termijn aan te duiden, wanneer het aquatisch voedselweb goed is ontwikkeld en organismen aanwezig kunnen zijn die in staat zijn ´losjes´ gebonden P uit de bodem op te nemen.

Uit de resultaten blijkt geen duidelijke correlatie met de muggenlarvenproef. Deze vertoont immers een goede correlatie met de Fe:P verhouding (zie afbeelding 3.3.), mogelijk als gevolg van de aërobe omstandigheden in de bodems. Wellicht is de duur van de muggenlarvenproef te kort geweest om het vermogen om meer P los te maken tot ontwikkeling te laten komen. Ook is het mogelijk dat dit vermogen vooral voorbehouden is aan andere biota (zoals water- en oeverplanten), welke geen onderdeel van de muggenlarvenproef uitmaakten.

Wanneer de niet-zure bodems waarvoor de extractie gebruikt mag worden (zone 3, 4, 5 en 6) in beschouwing worden genomen, dan valt vooral de zeer hoge beschikbaarheid van P in de kleibodems van zone 3 en 4 op. Ter vergelijking zijn in afbeelding 4.1. extractieresultaten van een ander gebied opgenomen.

Afbeelding 4.1. Extraheerbare hoeveelheden P met een lactaat-acetaat extractie (y-as, in µmol/kg) op verschillende dieptes (x-as, in cm) in vier verschillende bodems (de getrokken lijnen), waarvan twee landbouwgrond. A en B duiden twee regenwatergevoede oppervlaktewateren aan, waarvan de waterkwaliteit in de tabel onder de grafiek is weergegeven. Gegevens van dr. A. Smolders en drs. H. Tomassen van de Katholieke Universiteit Nijmegen.



oppervlaktewater	pH	alkal.	PO_4^{3-}	NH_4^+
A	6.9	1049	12.1	92
B	6.1	268	0.3	2

De extraheerbare hoeveelheden P in de bovenste 10 centimeter van de bodems van afbeelding 4.1. variëren van circa 750 tot ruim 3000 µmol/kg. In de bodems van Blauwe Stad bedraagt dit (omgerekend) gemiddeld 400 µmol/kg in zand/grind 500 µmol/kg in de potklei, 2400 µmol/kg in de klei van zone 3 en 10.900 µmol/kg in de klei van zone 4. Met name in de klei van zone 3 en 4 is de P-beschikbaarheid derhalve zeer hoog te noemen. Dat hiervan grote waterkwaliteitsproblemen te verwachten zijn wordt geïllustreerd door de kwaliteit van oppervlaktewater A in afbeelding 4.1. Dit oppervlaktewater is tot stand gekomen door op de voormalige landbouwgrond regenwater te zetten (herstel van een voormalig ven). Bij een extraheerbare hoeveelheid P van circa 1200 µmol/kg in de waterbodem bedraagt het fosfaatgehalte van het bovenstaande water 12,1 µmol/l (zie de tabel onder de grafiek). Omgerekend is dit maar liefst circa 0,7 mg PO_4-P/l. Ter vergelijking: de MTR (vroegere basiskwaliteit, welke voor de Blauwe Stad al te hoog is) voor totaal-P bedraagt 0,15 mg/l. In oppervlaktewater B is de P-rijke bouwvoor eerst verwijderd alvorens er een ven van te maken.

uitloging van P

Uit de resultaten komt naar voren dat uitloging van P vanuit de bouwvoor naar diepere bodemlagen geen rol van betekenis lijkt te spelen. Zou dit wel belangrijk zijn, dan mag verwacht worden dat de P-verzadiging van de bodemlaag direct onder de bouwvoor hoger zou zijn dan de P-verzadiging van de dieper gelegen bodemlaag, hetgeen niet het geval is. Kennelijk houdt de toplaag van de huidige bodem het P voldoende vast. Dit komt overeen met het algemene beeld dat de mobiliteit van P in bodems niet groot is.

bouwvooreffect

Uit de resultaten van de chemische analyses in relatie tot de monsterdiepte komt naar voren dat de toplaag van de bodem algemeen meer P lijkt te bevatten dan de daaronder gelegen lagen. Op zichzelf is dit niet verwonderlijk gezien het landbouwkundige gebruik van het gebied. Onder de toplaag (bouwvoor) komen ook bodems voor met relatief hoge P-gehaltes, zowel veenbodems als kleibodems.

4.1.2. Biologische analyses

De muggenlarvenproeven hebben, met uitzondering van twee monsters van de bovengrond en de veenmonsters, welke te zuur werden, zeer bruikbare resultaten opgeleverd, waaruit het volgende afgeleid kan worden:

- de bovengrondmonsters met een sterke directe nalevering vertonen ook een hoge muggenlarvenproductie. Gezien de directe beschikbaarheid van nutriënten is dit ook niet verwonderlijk;
- naast de bovengrondmonsters vertoont één kleimonster uit zone 4 (4-16) ook een zeer hoge muggenlarvenproductie. Dit blijkt een monster met een relatief hoog P-gehalte, het hoogste van alle kleiige monsters van zone 3 en 4. In tegenstelling tot de bovengrondmonsters leverde dit monster geen P na maar adsorbeerde dit juist P. Het P blijkt echter sterk biologisch beschikbaar. Het kleimonster uit de Oostvaardersplassen vertoont ook een zeer hoge muggenlarvenproductie en blijkt ook veel P te bevatten. Deze monsters verraden een belangrijke eigenschap van kleibodems, namelijk dat ze P adsorberen en daarmee geleidelijk opladen, waarbij het geadsorbeerde P biologisch beschikbaar is. De meeste kleibodems in de Blauwe Stad zijn echter (nog) niet met P opgeladen, getuige de resultaten van de chemische en biologische analyses. Op de korte termijn (direct na het onder water zetten van de Blauwe Stad) vormen deze bodems dan ook geen probleem, maar op de langere termijn wel (zie verder).

4.2. Beoordeling van de afzonderlijke bodemtypen

4.2.1. Zone 1 en 2 (Bovengrondmonsters)

Zone 1 en 2 van de Blauwe Stad kunnen worden getypeerd als zeer ongunstige bodemtypen. Ze leveren veel P na dat direct biologisch beschikbaar is. De muggenlarvenproductie ligt op het niveau van de productie op een minerale zandbodem met een externe P-belasting die 8x zo hoog is als de maximaal haalbare externe belasting van de Blauwe Stad. Zone 1 en 2 vormen om die reden zeer risicovolle bodemsoorten. Verwijdering of anderszins uitschakelen van deze bodems wordt noodzakelijk geacht (zie verder paragraaf 4.3.).

4.2.2. Zone 3 en 4 (kleiige bodems)

De kleiige bodems kunnen eveneens worden getypeerd als zeer ongunstige bodemtypes. Het ongunstige gedrag speelt evenwel niet op de korte termijn (direct na het onder water zetten) zoals bij zone 1 en 2, omdat er vrijwel alleen adsorptie en geen directe nalevering optreedt. Het ongunstige gedrag treedt op de langere termijn op. Op de langere termijn (enkele maanden tot jaren na onder water zetten) mag in elk geval verwacht worden dat er grote hoeveelheden nutriënten via het voedselweb in de waterfase terecht zullen komen. Potentiële routes van mobilisatie van nutriënten lopen via de productie van bodemmacrofauna (muggenlarven, wormen e.d.) naar benthivore (bodemvoedseletende en bodemwoelende) vis of via productie van waterplanten en gerelateerde verschijnselen (macrofaunaproductie, interne eutrofiëring). Daarnaast is het ook mogelijk dat reductieprocessen in de bodem de P-binding zullen doen verminderen, waarna er ook directe nalevering kan gaan optreden. Voor deze bodems geldt derhalve net als voor zone 1 en 2 dat het risicovolle bodems zijn welke het best verwijderd of anderszins uitgeschakeld kunnen worden. In hoofdstuk 5 wordt hier verder op ingegaan.

4.2.3. Zone 5 (zand/grind)

De zand/grind bodems bevatten relatief weinig P, leveren niet na en vertonen de laagste muggenlarvenproductie. Dit is conform de verwachting. De interne belasting uit deze bodemtypen is een afgeleide van de externe belasting. Daarmee gedragen deze bodems zich 'neutraal' en vormen daarmee de bodemtypen met het laagste risico.

4.2.4. Zone 6 (potklei)

De potklei bevat relatief weinig P, veel Fe en de extraheerbare hoeveelheid P is met 500 µmol/kg relatief laag. Dit zijn relatief gunstige resultaten. Op de korte termijn (enkele maanden tot enkele jaren na onder water zetten) worden van de potklei dan ook geen problemen verwacht. Op de langere termijn daarentegen wel. Dit hangt samen met het adsorptiegedrag van de klei, waardoor de bodem zal gaan opladen met P. Dit P is biologisch beschikbaar en zal uiteindelijk via de voedselketen zorgen voor een interne eutrofiëring van het water. Deze eigenschap stelt beperkingen aan de hoeveelheid klei welke

vanuit waterkwaliteitsoogpunt onderdeel van de waterbodem mag uitmaken. In hoofdstuk 5 wordt hier op teruggekomen.

4.2.5. Zone 7 (veen)

Hoewel de directe nalevering in de proeven erg bleek mee te vallen, hebben de veenbodems een overwegend ongunstige Fe:P verhouding en een relatief hoog P-gehalte, waardoor ze risicovol op de korte termijn zijn. Het gedrag op de langere termijn is niet duidelijk uit de analyses naar voren gekomen vanwege het zure karakter van de bodems waardoor de muggenlarvenproeven en de ammonium-oxalaat oxaalzuurextractie mislukten. Om die redenen is besloten het veen nader te analyseren. In hoofdstuk 5 wordt hier op ingegaan.

4.3. Algemene conclusie

Op basis van alle resultaten kan geconcludeerd worden dat de toekomstige waterbodem van de Blauwe Stad een grote invloed blijkt te kunnen uitoefenen op de waterkwaliteit. De interne belasting vanuit de bodem, direct via nalevering dan wel indirect via het voedselweb, ligt al snel op een veel hoger niveau dan het nagestreefde niveau van minder dan 0,8 mgP/m^2.dag (dat behoort bij de maximaal toelaatbare externe belasting). Ter illustratie: de directe nalevering vanuit de bovenlaagmonsters van zone 1 en 2 bedraagt gemiddeld 4,5 mgP/m^2.dag en is daarmee bijna 6x zo hoog als het maximaal nagestreefde niveau. De indirecte nalevering (gemeten aan de hand van de muggenlarvenproductie) van zone 1 en 2 bedraagt zelfs 5,6 mgP/m^2.dag. Een opgeladen kleimonster uit de toplaag van zone 4 vertoont een indirecte nalevering van maar liefst 10,4 mgP/m^2.dag. Deze resultaten duiden er op dat de geplande waterbodem van de Blauwe Stad zoals weergegeven op de kaart in bijlage I veel productiever is dan wenselijk vanuit de waterkwaliteitsdoelstellingen (zoals geformuleerd in hoofdstuk 1). Verlaging van de productiviteit van de bodem door aanpassing van de samenstelling van de toplaag wordt noodzakelijk geacht. In het volgende hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan.

5. NADERE ANALYSE VAN HET VEEN EN DE MOGELIJKHEDEN VOOR VERLAGING VAN DE PRODUCTIVITEIT VAN DE TOEKOMSTIGE WATERBODEM

In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de nadere analyse van het veen. Vervolgens wordt ingegaan op de mogelijkheden om de productiviteit van de toekomstige waterbodem van de Blauwe Stad te verlagen.

5.1. Nadere analyse van het veen

Op basis van de mislukte proeven met het veen en de onzekerheid met betrekking tot het gedrag van dit bodemtype is besloten tot de volgende nadere analyses:

- extractie van P met water;
- lactaat-acetaat extractie van P;
- bepaling van totaalgehaltes aan P, Fe en S.

Door DHV zijn in het gebied veenmonsters genomen op vier verschillende plaatsen en, rekening houdend met verschillende ontgravingsdieptes, op verschillende dieptes onder het maaiveld. Het betreft de volgende monsters:

Locatie	2,1	7,7	7,11	7,11	7,11	7,17	7,17	7,17
diepte (m – mv)	0,5-0,8	0,2-0,5	0,2-0,5	0,5-0,75	0,75-1,0	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1,0

De locatienummers zijn op de kaart in bijlage II te vinden. De chemische analyses zijn uitgevoerd door TAUW bv. In tabel 5.1. zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 5.1. Resultaten van aanvullende chemische analyses van het veen in de Blauwe Stad. P-LA=geëxtraheerde hoeveelheid P met lactaat-acetaat extractie; P-W= geëxtraheerde hoeveelheid P met water extractie

Locatie	**2,1**	**7,7**	**7,11**	**7,11**	**7,11**	**7,17**	**7,17**	**7,17**
diepte (m – mv)	0,5-0,8	0,2-0,5	0,2-0,5	0,5-0,75	0,75-1,0	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1,0
droge stof (%)	26,4	32	33	16,6	14,7	28,2	18,9	31,9
tot-P (g/kg)	1,1	0,9	1,4	0,8	0,5	1,7	0,7	0,6
tot-Fe (mg/kg)	9000	6000	18000	12000	9500	10000	11000	4000
Fe:P (mg/mg)	8	7	13	15	19	6	16	7
tot-S (mg/kg)	2300	3900	3900	5000	10000	6000	6500	4300
Fe:S (mg/mg)	4	2	5	2	1	2	2	1
Fe:S (mol/mol)	2,2	0,9	2,6	1,4	0,5	1,0	1,0	0,5
P-LA (mg/100g)	12	19	14	7	5	19	8	17
P-LA (µmol/kg)	3881	6145	4528	2264	1617	6145	2587	5498
P-W (mg/l)	31	35	18	11	8	30	15	23

Uit de tabel kan het volgende worden opgemaakt:

- de extraheerbare hoeveelheden P (met de extractie met water en de lactaat-acetaat extractie) zijn zeer hoog te noemen. De waterextractie laat hoeveelheden P van maar liefst 8 tot meer dan 30 mg/l zien. De lactaat-acetaat extractie laat hoeveelheden P van 1617 tot meer dan 6000 µmol/kg zien. Ter vergelijking: In afbeelding 4.1. komen zeer eutrofe pitrus- en mannagrasvegetaties voor bij extraheerbare hoeveelheden P in de bodem van 500 tot 1200 µmol/kg en correspondeert een hoeveelheid van circa 1200 µmol/kg in de bodem met een PO_4-P gehalte in het bovenstaande water van 0,7 mg/l (bijna 5x de MTR). De gehalten in de bodem van de Blauwe Stad liggen zelfs nog aanmerkelijk hoger dan deze niveaus;
- zoals verwacht neemt de hoeveelheid P gemiddeld af met de diepte en neemt de Fe:P gemiddeld toe. Echter, behalve Fe neemt ook zwavel (S) toe met de diepte. Op molaire basis daalt de Fe:S ratio van gemiddeld meer dan 1 in de meest hooggelegen monsters tot 0,5 in de monsters genomen op een diepte tussen 0,75 en 1,0 meter. Een ratio van meer dan 1 betekent dat er een potentieel overschot aan Fe bestaat en dat dit overschot P kan binden, terwijl een ratio van minder dan 1 be-

tekent dat er een Fe-tekort is voor P-binding, omdat het Fe onder gereduceerde omstandigheden bindt met S tot FeS of FeS_2 (pyriet), waarbij het P-bindende vermogen van het Fe verloren gaat. De in potentie gunstige afname van P met de diepte wordt dus geheel tenietgedaan door een zeer ongunstige toename van S met de diepte;
- de hoge zwavelgehaltes duiden op een brakke of mariene herkomst of beïnvloeding van het veen. Dit is ook niet onwaarschijnlijk gezien de ontstaansgeschiedenis van het gebied. Waarschijnlijk strekken de hoge zwavelgehaltes zich ook uit tot andere bodemtypes in het gebied. Dit geldt waarschijnlijk niet voor de potklei die een glaciale afzetting is, maar wel voor de kleiige bodems van zone 3 en 4. Dit is zeer ongunstig vanuit het oogpunt van waterkwaliteit: zwavel zorgt ervoor dat Fe geen P kan binden, waardoor het P sterk biologisch beschikbaar is. De hoge extraheerbare hoeveelheden P in de monsters van zone 3 en 4 geven dit ook aan. Een hoge beschikbaarheid van P is in wateren met een brakke of voormalig mariene bodem een vaak voorkomend verschijnsel. De primaire productie in dergelijke wateren is doorgaans N-gelimiteerd en niet P-gelimiteerd.

Op grond van de analyses kan geconcludeerd worden dat ook het veen vanuit het oogpunt van de gewenste waterkwaliteit een zeer risicovolle bodemsoort is, welke het best geheel verwijderd of anderszins uitgeschakeld kan worden. Onderstaand wordt hier nader op ingegaan.

5.2. Mogelijkheden voor verlaging van de productiviteit van de toekomstige waterbodem

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat alleen bodemtype 5 (zand/grind) een productiviteit heeft welke, bezien vanuit de waterkwaliteitsdoelstellingen, laag genoeg is. Deze bodem zal zich naar verwachting vrijwel ´neutraal´ gedragen, dat wil zeggen dat de productiviteit een afgeleide is van de door de externe belasting gestuurde primaire productie in de waterfase. Alle andere bodemtypen zullen in aanvulling op de productiviteit die op basis van de externe belasting verwacht mag worden een sterke ´extra´ productie gaan genereren, hetzij direct via nalevering van P (de bovengrondmonsters van zone 1 en 2), hetzij indirect en op de langere termijn via de voedselketen (de overige bodemtypen).

Het omzetten van de totale bodem van de Blauwe Stad in een zand/grind bodem wordt vanuit waterkwaliteitsoogpunt als beste optie gezien, omdat dan aan de doelstelling van een interne belasting van minder dan 0,8 mgP/m2.dag voldaan wordt. Mocht dit om technische of financiële redenen niet mogelijk blijken te zijn en er toch delen van het gebied een bodem van klei of veen krijgen, dan betekent dit dat risico´s genomen worden ten aanzien van de waterkwaliteitsontwikkeling.

Bij welk percentage veen of klei de risico´s onaanvaardbaar groot worden is niet hard aan te geven. Veel zal afhangen van de ecologische ontwikkeling van het gebied. Wanneer de Blauwe Stad een goede start maakt en een ontwikkeling van helder en plantenrijk water wordt ingezet, dan zal dit evenwicht een zekere robuustheid krijgen en het systeem niet zomaar naar een troebele toestand omslaan. Op de voedselrijke bodems zal naar verwachting een hogere plantenbiomassa tot ontwikkeling komen dan op de zand/grind bodem. Ook valt te verwachten dat hier een successie gaat optreden in de richting van plantensoorten die hun nutriënten vooral uit de bodem halen, zoals Aarvederkruid. Deze planten staan bekend om hun functie als nutriëntenpomp: in het najaar, wanneer de planten afsterven komen de uit de bodem opgenomen en in biomassa omgezette nutriënten vrij in het water. De planten zorgen op die manier voor interne eutrofiëring. Een andere vorm van interne eutrofiëring is via zelfoverschaduwing en zuurstofloosheid aan de bodem: in de zomer kunnen de planten dermate hoge biomassa´s ontwikkelen dat er geen licht meer doordringt op de plantendelen nabij de bodem. Deze beginnen vervolgens af te sterven. Hierbij kan zuurstofloosheid aan de bodem ontstaan, waardoor een sterke nalevering kan optreden. In de Binnenschelde, een plas van 180 ha in Bergen op Zoom, liep het totaal-P gehalte als gevolg van dit verschijnsel in enkele weken op van circa 0,1 mg/l tot 0,3 mg/l, waarna het plantenrijke evenwicht omsloeg naar een algengedomineerd systeem (gegevens van het Hoogheemraadschap van West-Brabant).

Het moge duidelijk zijn dat een dergelijke interne eutrofiëring in de Blauwe Stad ten koste van alles voorkomen moet worden. Of het daadwerkelijk zal gaan optreden en zo ja in welke mate is niet te voorspellen. Een goede monitoring van de ontwikkelingen, zodat hierop tijdig ingespeeld kan worden is dan ook noodzakelijk. Wanneer dit gebeurt en een overmatige plantenontwikkeling op de delen met een

veen en klei bodem tegengegaan wordt middels bijvoorbeeld een maaibeheer, zou wellicht 25% van de bodem uit klei en veen kunnen bestaan. Hierbij bestaat een voorkeur voor de volgende bodemtypes (in afname van voorkeur):

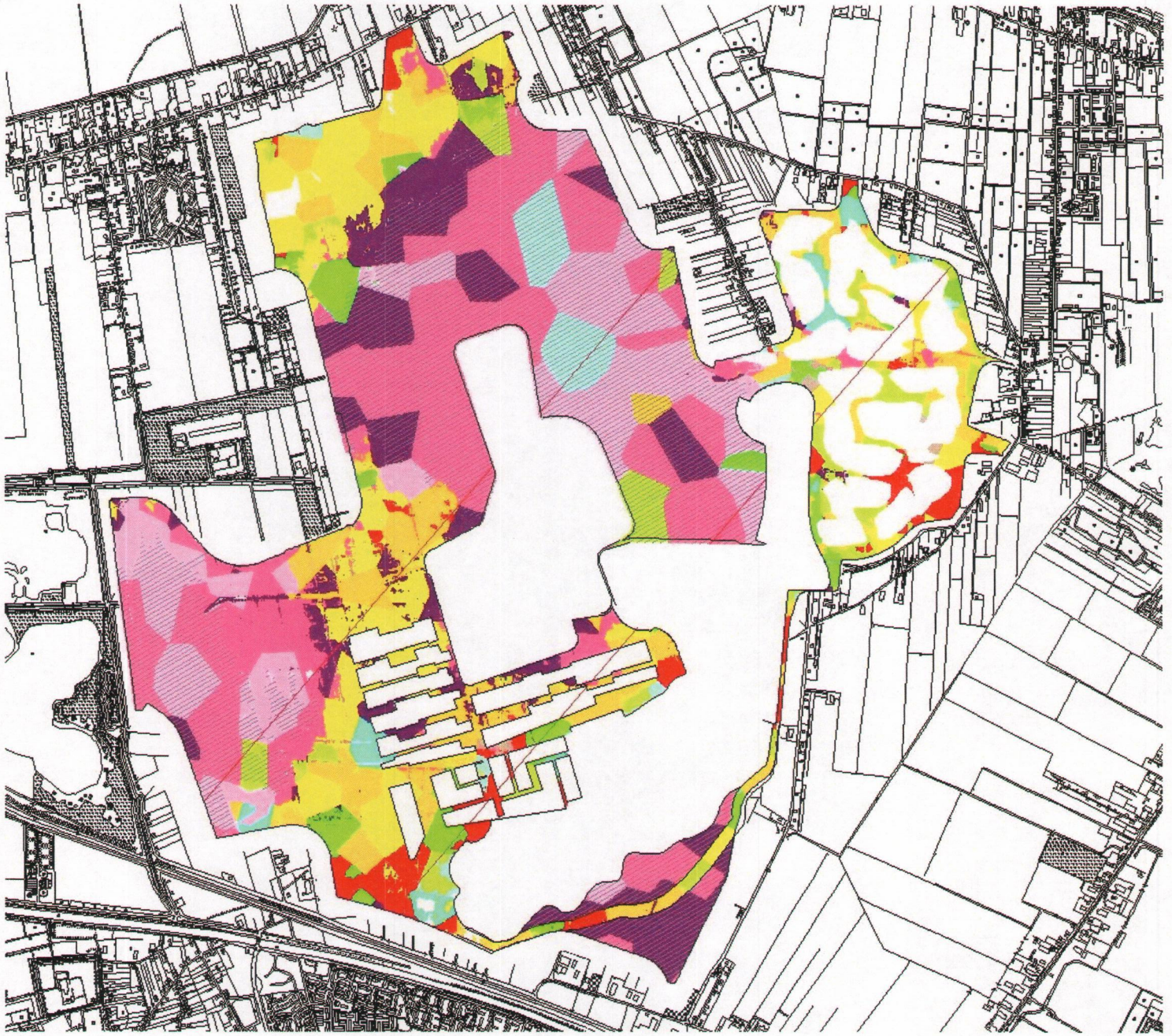
1. Potklei; deze bevat relatief veel Fe en weinig beschikbaar P.
2. Zone 3 klei van onder de bouwvoor.
3. Zone 4 klei van onder de bouwvoor.
4. Veen van onder de bouwvoor.

De voorkeur voor klei boven veen hangt samen met het adsorptiegedrag van de klei. Dit gedrag kan er positieve zin toe bijdragen dat de Blauwe Stad een goede start maakt, doordat nutriënten uit de waterfase door de bodem worden geadsorbeerd, waardoor de kans op helder water vergroot wordt. Uiteraard gelden hierbij ook andere randvoorwaarden zoals een langzame vulstrategie (gunstig voor de P-belasting en de ontwikkeling van oever- en ondergedoken waterplanten), het voorkomen van ongewenste visintrek en eventueel visstandbeheer indien het bestand aan benthivore (bodemvoedseletende en bodemwoelende vissen) zich ongunstig ontwikkelt.

Wanneer het omzetten van de bodem in een zand/grind bodem uitgevoerd wordt via diepploegen en vergraven van de huidige bodem, dan gelden enkele belangrijke aandachtspunten:

- er dient gezorgd te worden voor een zo groot mogelijke dekking van de P-rijke bodems met zand/grind. Een laag van ten minste 30 à 40 cm wordt wenselijk geacht, vanwege het tegengaan van nalevering, het bodemwoelende gedrag van vissen en de diepte waarop waterplanten kunnen wortelen;
- er dient rekening gehouden te worden met de eventuele aanwezigheid van pyriet (FeS_2) in de ondergrond. Wanneer dit aan de lucht komt treedt er oxidatie op waarbij zwavelzuur gevormd wordt. Dit kan leiden tot een sterke verzuring van de bodem en mogelijk een bruinkleuring van het water bij het onder water zetten, doordat ijzercolloïden gevormd worden. Het verdient aanbeveling dit nader te bepalen en bij de uitvoering eventueel te zorgen voor een snelle inundatie, door bijvoorbeeld perceelsgewijs te werken en op de percelen na vergraving meteen een laagje water te zetten;
- wanneer het diepploegen/vergraven niet geheel zonder menging gebeurt en er toch nog P-rijk sediment aan het oppervlak blijft liggen, kan overwogen worden dit te beijzeren. De dosering dient afgestemd te worden op het resterende P-gehalte in de toplaag en buffercapaciteit van de bodem (i.v.m. eventuele verzuring).

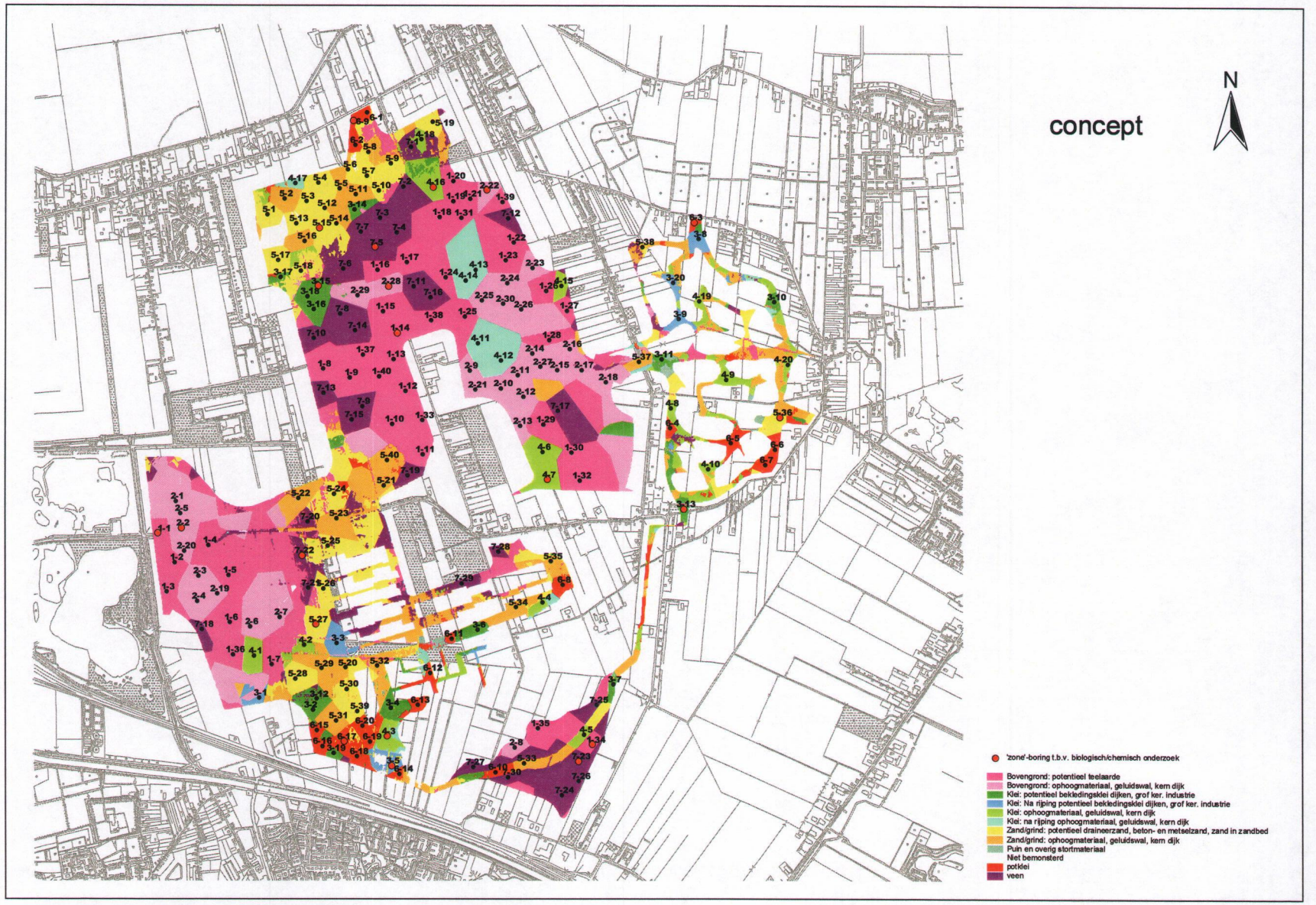
Materiaal aan oppervlakte na ontgraving



Niet ontgraven.shp
Ontgraven thies.shp
- Bovengrond: potentieel teelaarde
- Bovengrond: ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
- Klei: potentieel bekledingsklei dijken, grof ker. industrie
- Klei: Narijping potentieel bekledingsklei dijken, grof ker. industrie
- Klei: ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
- Klei: na rijping ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
- Zand/grind: potentieel draineerzand, beton- en metselzand, zand in zandbed
- Zand/grind: ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
- Puin en overig stortmateriaal
- Niet bemonsterd
- potklei
- veen

200 0 200 400 600 800 1000 Meters

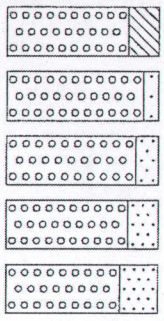
BIJLAGE II Boorkaart


concept
N
'zone'-boring t.b.v. biologisch/chemisch onderzoek
Bovengrond: potentieel teelaarde
Bovengrond: ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
Klei: potentieel bekledingsklei dijken, grof ker. industrie
Klei: Na rijping potentieel bekledingsklei dijken, grof ker. industrie
Klei: ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
Klei: na rijping ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
Zand/grind: potentieel draineerzand, beton- en metselzand, zand in zandbed
Zand/grind: ophoogmateriaal, geluidswal, kern dijk
Puin en overig stortmateriaal
Niet bemonsterd
potklei
veen

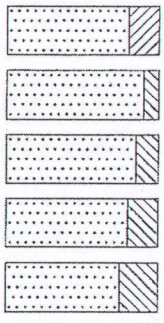
BIJLAGE III Geselecteerde boringen voor de uitloogproef

Legenda (conform NEN 5104)

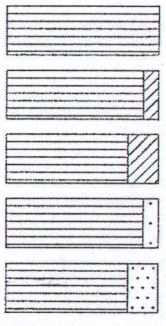
grind



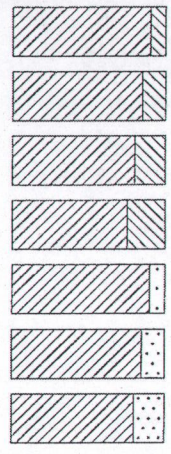
zand



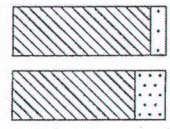
veen



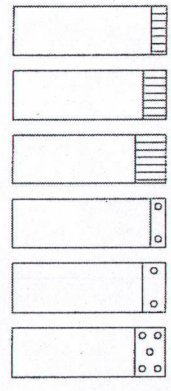
klei



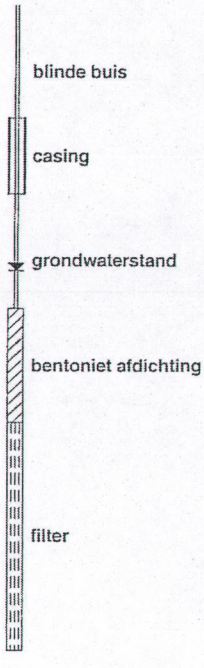
leem



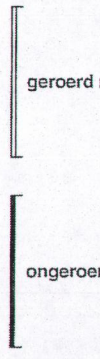
overige toevoegingen



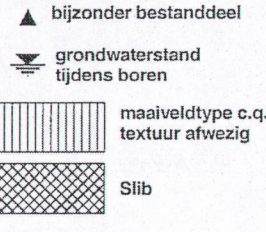
peilbuis



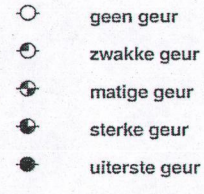
monsters



overig

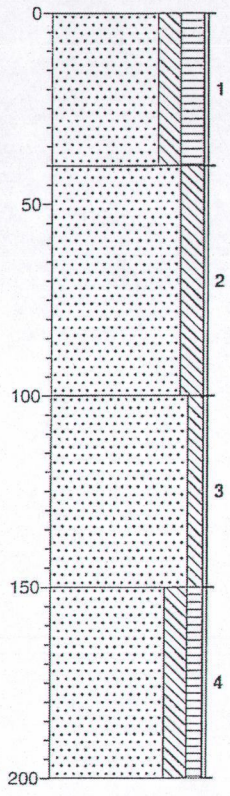


geur



olie

Boring: 3-5



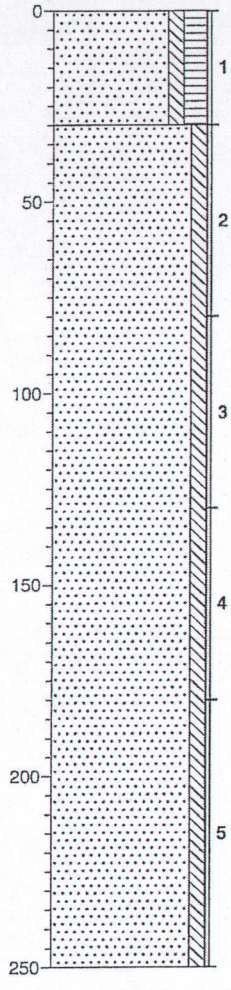
▲ Zand, matig fijn, matig siltig, matig humeus. Zwart, zwak wortelhoudend.

▲ Zand, matig fijn, matig siltig. Wit, zwak roesthoudend, wisselend traject (monster 40-100).

Zand, matig fijn, zwak siltig. Bruin.

Zand, matig grof, matig siltig, zwak humeus. Donkerbruin, permanent traject (monster 150-200).

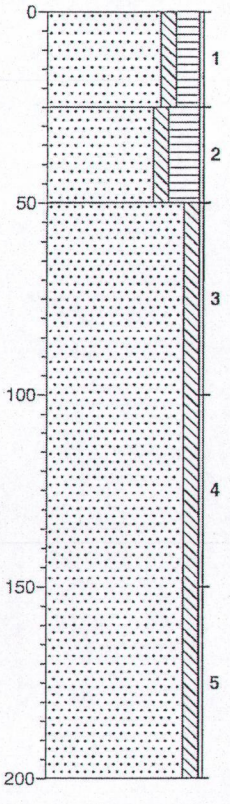
Boring: 5-1



▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwart, zwak wortelhoudend.

Zand, matig grof, zwak siltig. Wit, wisselend (80-130) / permanent (180-250).

Boring: 5-2

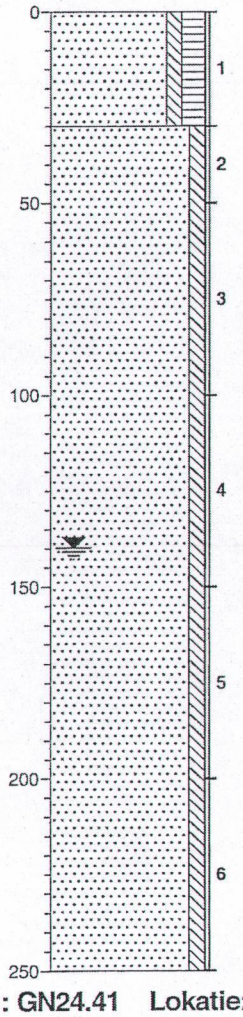


▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwart, zwak wortelhoudend.

▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, sterk humeus. Zwart, matig wortelhoudend.

Zand, matig grof, zwak siltig. Lichtbruin-wit.

Boring: 5-3



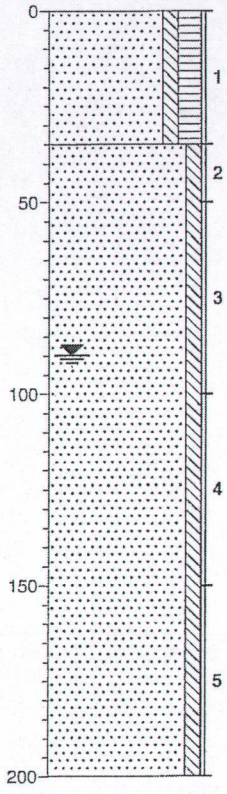
▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwart, zwak wortelhoudend, wisselend (50-100) / permanent (200-250).

Zand, matig grof, zwak siltig. Wit-grijs.

'getekend volgens NEN 5104'

Projectcode:: GN24.41 Lokatie: blauwe stad - infiltratieproef

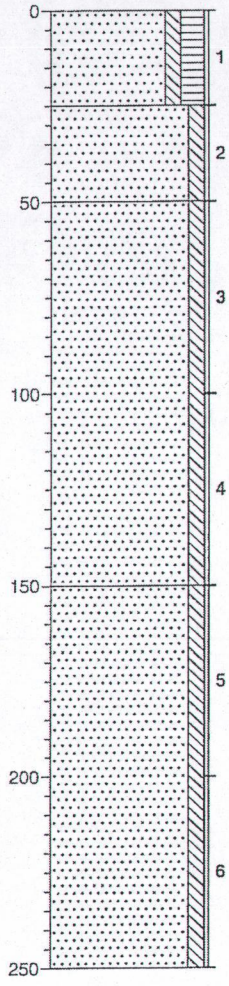
Boring: 5-4



▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwart-bruin, zwak wortelhoudend, wisselend (50-100) / permanent (150-200).

Zand, matig grof, zwak siltig. Wit.

Boring: 4-17



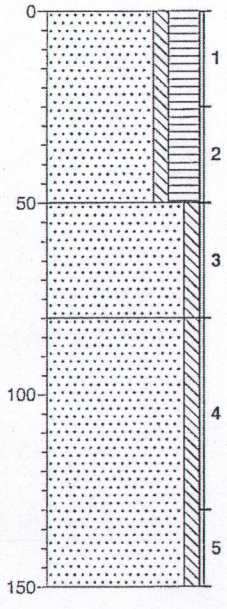
▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwak wortelhoudend.

▲ Zand, matig grof, zwak siltig. Lichtbruin-rood, zwak roesthoudend.

Zand, matig grof, zwak siltig. Lichtbruin, wisselend traject (monster 50-100).

Zand, matig grof, zwak siltig. Bruin, permanent traject (monster 200-250).

Boring: 5-12

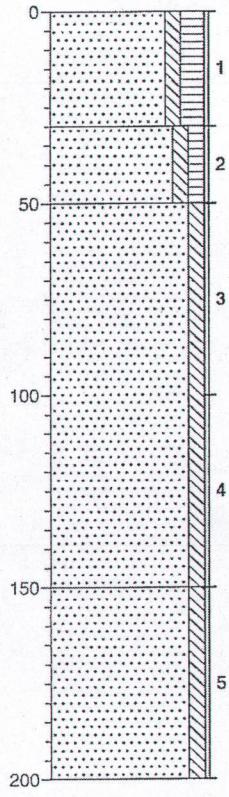


▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, sterk humeus. Zwart, zwak wortelhoudend.

Zand, matig fijn, zwak siltig. Bruin, wisselend traject (monster 50-80).

Zand, matig grof, zwak siltig. Wit-grijs, permanent traject (monster 130-150).

Boring: 5-17



▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwak wortelhoudend.

Zand, matig grof, zwak siltig, zwak humeus. Zwart-lichtbruin.

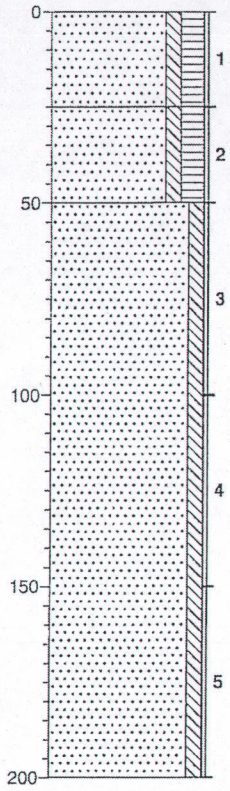
Zand, matig grof, zwak siltig. Lichtbruin, wisselend traject (monster 50-100).

Zand, matig grof, zwak siltig. Lichtgrijs, permanent traject (150-200).

'getekend volgens NEN 5104'

Projectcode:: GN24.41 Lokatie: blauwe stad - infiltratieproef

Boring: 5-31

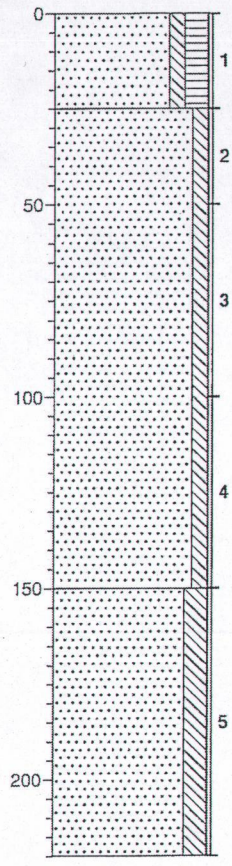


Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwart.

▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwart, matig puinhoudend.

Zand, matig grof, zwak siltig. Wit, wisselen (50-100) / permanent (150-200).

Boring: 6-19



▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus. Zwart, zwak wortelhoudend, permanent traject (monster 150-220).

Zand, matig grof, zwak siltig. Lichtbruin-wit, wisselend traject (monster 50-100).

Zand, matig grof, matig siltig. Lichtgrijs, vuursteenlaag 190-210.

'getekend volgens NEN 5104'

Projectcode:: GN24.41 Lokatie: blauwe stad - infiltratieproef

BIJLAGE IV Rapport van AquaSense over de muggenlarvenpotentieproeven

AquaSense Rapport Titel : druk op F1 voor Help

Ondertitel

AquaSense

AquaSense Rapport Titel : druk op F1 voor Help

Ondertitel

in opdracht van	Type hier de naam van de opdrachtgever

Uitvoering door	Type hier de naam van de bij de uitvoering betrokken mensen., F. Kaiouh, N. Schuil
namens opdrachtgever	Type hier de naam van de begeleider van de opdrachtgever.

Rapportnummer	**code opdrachtgever**	**Status**
1875		Eindrapport

Autorisatie	**Naam**	**Paraaf**	**Datum**
Opgemaakt	Naam opsteller.		07-02-02
Goedgekeurd	Dr. J. Postma		07-02-02

Citeren als: AquaSense (2002). AquaSense Rapport Titel : druk op F1 voor Help Ondertitel. In opdracht van: Type hier de naam van de opdrachtgever. Rapportnummer: 1875.

AquaSense
Kruislaan 411a
Postbus 95125
1090 HC Amsterdam
telefoon (020) 592 22 44
telefax (020) 592 22 49
Url=http://www.aquasense.com

© AquaSense - Het copyright van deze notitie is nadrukkelijk voorbehouden aan AquaSense. Niets uit dit rapport mag op enigerlei wijze worden vermenigvuldigd zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van AquaSense, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander doel dan waarvoor het is vervaardigd. Het is de opdrachtgever toegestaan vrijelijk kopieën van deze notitie te maken. Dit rapport is gedrukt op chloorvrij gebleekt papier. De omslag is gemaakt van PVC-vrije kunststof.

Grontmij Groep

Inhoud

1. Inleiding 3
2. Methode 5
2.1. Bemonstering en monstervoorbehandeling 5
2.2. Chironomiden groei potentietest 6
3. Resultaten en discussie 9
3.1. Chemie bodems 9
3.2. Chemie water 12
3.3. Productie larven 17
4. Conclusie 25
Literatuur 27
Bijlagen 29

1. Inleiding

In de regio Oldambt in het noorden van Groningen wordt gewerkt aan een revolutionair project. Een deel van het Oldambt zal er totaal anders uit komen te zien. Wat nu nog grotendeels landbouwgrond is zal veranderen in de zogenoemde "Blauwe Stad"; een merengebied met bos, natuur, recreatieve voorzieningen en woningen. Hierbij zal een aantal terrestrische (landbouw)gronden onder water gezet worden.

Het in deze bodems aanwezige voedsel zou onder aquatische omstandigheden tot een ongunstige situatie kunnen leiden. Een verhoogde beschikbaarheid van nutriënten kan bijvoorbeeld de algengroei bevorderen. Een sterke groei van macrofauna kan dit proces weer beïnvloeden en mogelijk stimuleren. Het is vooraf echter moeilijk te voorspellen welke processen bij het onder water zetten op gaan treden.

Vanuit Witteveen en Bos is aan AquaSense gevraagd of het onder experimentele omstandigheden mogelijk is om inzicht te krijgen in het niveau van de toekomstige productie. Het doel van het onderzoek is het vaststellen van het productievermogen in de toekomstige, aquatische situatie en inzicht te krijgen in de processen die daarbij een rol spelen.

Hiertoe zijn terrestrische bodemtypen uit het gebied onder water gezet en is de productie vergeleken met die van een minerale zandbodem en referentie waterbodems, die op dezelfde manier behandeld werden. Daarnaast zijn ook referentiewaarden uit de literatuur vergeleken.

2. Methode

2.1. Bemonstering en monstervoorbehandeling

Zeven landbodemtypen werden op 27 juli 2001 bemonsterd door de opdrachtgever. Per type werden drie onafhankelijke mengmonsters van circa 10 liter grond verzameld in kunststof emmers. Tevens werd van een plas nabij de lokatie een referentie zandbodemmonster en een watermonster genomen. Omdat het verkrijgen van een aquatische kleibodem uit deze plas problematisch was, is gekozen voor een andere schone kleibodem, die geschikt was als referentie. AquaSense heeft hiervoor op 10 juli 2001 via het RIZA twee liter van de kleifractie uit de Oostvaardersplassen gekregen.

In tabel 2.1 worden enkele bijzonderheden van de bodemmonsters gegeven. Het bodemtype van de monsters werd visueel gekarakteriseerd door de monsternemer van de opdrachtgever. Hierbij werd de DHV systematiek gebruikt.

Tabel 2.1 Beschrijving van de bodemmonsters. Typering volgens DHV systematiek op basis van het lutumgehalte (% L) en de hoeveelheid humus (H2=matig humeus, H3 =sterk humeus).

Bodemtype	Benaming	Typering
1	Bouwvoor	H2/H3 en < 20% L
2	Bouwvoor	H2/H3 en > 20% L
3	Zandige klei	< H3 en 12 - 40 % L
4	Zand en/of klei	Anders dan < H3 en 12 - 40 % L
5	Humusarm zand en/of grind	
6	Potklei	
7	Veen	
-	Aquatisch klei	
-	Aquatisch zand	

De monsters werden direct naar AquaSense getransporteerd. Na binnenkomst zijn de monsters geregistreerd en voorzien van een AquaSense monsternummer (Ecolimsnummer). Tot het moment van gebruik werden de sedimentmonsters in het donker bij 5°C in een koelcel opgeslagen.

Van ieder monster werd de emmer handmatig gehomogeniseerd waarbij de structuur zoveel mogelijk in tact werd gelaten. Aan de

bodems werden verschillende chemische parameters bepaald (8 metalen, 16 PAKs, organisch stof, totaal-P en Kjeldahl-N).

Het watermonster werd verrijkt met nutriënten, die de groei van groenalgen bevorderen. Dit water werd vervolgens onder geklimatiseerde condities (onder continue beluchting met 16 uur licht, 8 uur donker bij 20 °C) weggezet.

In de week voorafgaand aan het inzetten van replica 1 werd met het benodigde bodemmateriaal een dunne laag gevormd (±2 cm) op de bodem van vijf glazen 1-liter-potten met een bodemoppervlakte van 68 cm^2. De bodems zijn hiertoe niet verder voorbehandeld. Hier bovenop is 544 ml Dutch Standard Water (kan gezien worden als een 'gemiddeld' oppervlaktewater) aangebracht in een volume verhouding van 1 (bodem) : 4 (water). Vervolgens werd via kortstondig handmatig schudden gemengd. Tot het moment van gebruik werden de mengsels in het donker bij 5°C in een koelcel opgeslagen.

2.2. Chironomiden groei potentietest

De Chironomiden groeipotentie-test werd uitgevoerd met de soort *Chironomus riparius*. De test is op te splitsen in twee delen:

1. Pre-incubatie
2. Potentietest

Pre-incubatie (ontwikkeling algen- en bacterieflora)

De test werd in viervoud uitgevoerd. In verband met de kweek van chironomiden eieren en de personele inzet werd per replica een andere inzetdatum gebruikt. Hierdoor zijn de replica's statistisch onafhankelijk van elkaar. Als aanvulling op deze test werd er simultaan en in enkelvoud een test uitgevoerd waarbij er geen chironomiden aan de bodem werden toegevoegd (in de rest van het rapport aangeduid als replica 5). Deze replica is toegevoegd om een verschil met de situatie zonder beïnvloeding van macrofauna in te kunnen schatten. Replica vier en vijf werden gelijktijdig ingezet. Drie weken voor de daadwerkelijke toevoeging van chironomiden van het kleinste larvale stadium (L1) werden de potten bij 20 °C geplaatst onder continu licht met een hoge intensiteit (90 $\pm$ 30 µmol/m^2/s). Onder deze lichtcondities kunnen algen optimaal groeien. Bij de controle van de pH van replica 1 (voorafgaand aan het toedienen van de larven) werd geconstateerd dat de pH in het merendeel van de monsters gestegen was boven de grens van 8,5. Dit was het gevolg van de algenontwikkeling en de daarmee samenhangende CO_2 spanning. Hierom werd besloten om de overige series 2 dagen voorafgaand aan het inzetten van de larven op een dag/nacht ritme te plaatsen zodat de pH zich tot "normale waardes" kan stabiliseren. In deze drie weken krijgt de bacteriële- en algen flora in de bodem de tijd om zich te ontwikkelen. Om deze ontwikkeling te stimuleren werd aan elk testsysteem een ent toegevoegd afkomstig uit een lokaal (nabij de beoogde lokatie van de Blauwe Stad) watersysteem. Om zo min mogelijk nutriënten en zoöplankton uit dit water toe te voegen aan de testsystemen zijn de algen geconcentreerd door 250 - 500 ml water met afgeschraapte benthische algen te zeven over 200 µm en vervolgens te filtreren over 0,45 µm. Het residu is vervolgens opgenomen in 30 ml DSW. Van deze algenoplossing is vervolgens 1 ml per testsysteem toegevoegd. Als bacterie ent is 30 ml water over 200 µm gezeefd en zo van zoöplankton ontdaan. Hiervan is ook 1 ml aan de testsystemen toegevoegd. Aan het bovenstaand water werden, bij het begin van de pre-incubatie, de volgende randvoorwaarden gemeten: zuurstof, pH, geleidbaarheid en totaal

fosfaat. Gedurende de pre-incubatie werd bekeken of een aantal testomstandigheden constant bleef. Vooral de zuurstofspanning in het water is essentieel. Deze werd wekelijks gevolgd en bleef mede door de algenontwikkeling op een verzadigingswaarde van ca. 100%. Om de fosfaatbelasting uit het toekomstig instromende water te simuleren is er dagelijks 0,8 mg fosfaat per m^2 toegevoegd. Wekelijks werd hiertoe ook 1/52 deel (ca. 10 ml) van het bovenstaande water verwijderd en vervangen door DSW. Om de relatie tussen fosfaat gehalten en de larvale productie beter te beoordelen, is met één van de monsters van bodemtype 5 (humusarm zand) een aanvullend experiment uitgevoerd. Hierbij is een fosfaatreeks getest met 2x, 4x en 8x de dagelijkse dosis.

Potentietest

Drie tot vier dagen voorafgaand aan het inzetten van de potentietest werden eipakketten van *Chironomus riparius* ingezet in accubakken gevuld met DSW. Na drie tot vier dagen kwamen de larven uit.

Na de 3 weken pre-incubatie werden per testvaatje met sediment/DSW-mengsel ca. 200 tot 250 van deze eerste stadium larven ingezet. Hiermee wordt bereikt, dat de larven in overmaat worden toegevoegd. De uiteindelijke productie is dan een direct gevolg van de hoeveelheid voedsel. Aangezien de larven in ruime overmaat werden toegevoegd, zijn de aantallen niet exact vastgesteld. In de testvaten werd voorafgaand aan het toevoegen van de larven en gedurende de test éénmaal per week een aantal randvoorwaarden gemeten en zonodig aangepast.

- Zuurstofgehalte;
- Zuurgraad;
- Nitrietgehalte;
- Ammoniumgehalte;
- Geleidbaarheid;

Aanvullend op deze metingen is voorafgaand aan het toevoegen van de larven en bij het beëindigen van de test de totaal fosfaat- en nitraat concentratie gemeten. De licht intensiteit gebruikt bij de pre-incubatie is bijgesteld naar een meer gebruikelijke waarde voor testen met chironomiden (ca. 10 µmol/m^2/s). Gedurende de eerste 14 dagen werd de pH van de monsters waarbij de pH onder de kritische waarde van 6,6 daalde dagelijks gemeten en indien nodig aangepast naar een waarde tegen de bovengrens van 8,5. De dagelijkse fosfaatgift en wekelijkse vervanging van 1/52 deel van het bovenstaande water door DSW, zoals beschreven bij de pre-incubatie, werd in dit deel van het experiment voortgezet. Na 35 dagen werden de larven voorzichtig over een zeef met een maaswijdte van 212 µm uitgespoeld. Het aantal larven werd geteld en hiervan de stadiaverdeling bepaald. Van alle stadia werd vervolgens het drooggewicht bepaald. Hieruit werd het gemiddelde drooggewicht per vierkante meter afgeleid.

In onderstaande tabel is weergegeven wanneer de verschillende replica's zijn getest.

Tabel 2.2 Tijdverloop van de testen

Replica	Start pre-incubatie	Toevoegen larven	Beëindigen test
1	06-08-2001	27-08-2001	01-10-2001
2	10-08-2001	31-08-2001	05-10-2001
3	13-08-2001	03-09-2001	08-10-2001
4	17-08-2001	07-09-2001	12-10-2001
5	17-08-2001	-	12-10-2001

3. Resultaten en discussie

3.1. Chemie bodems

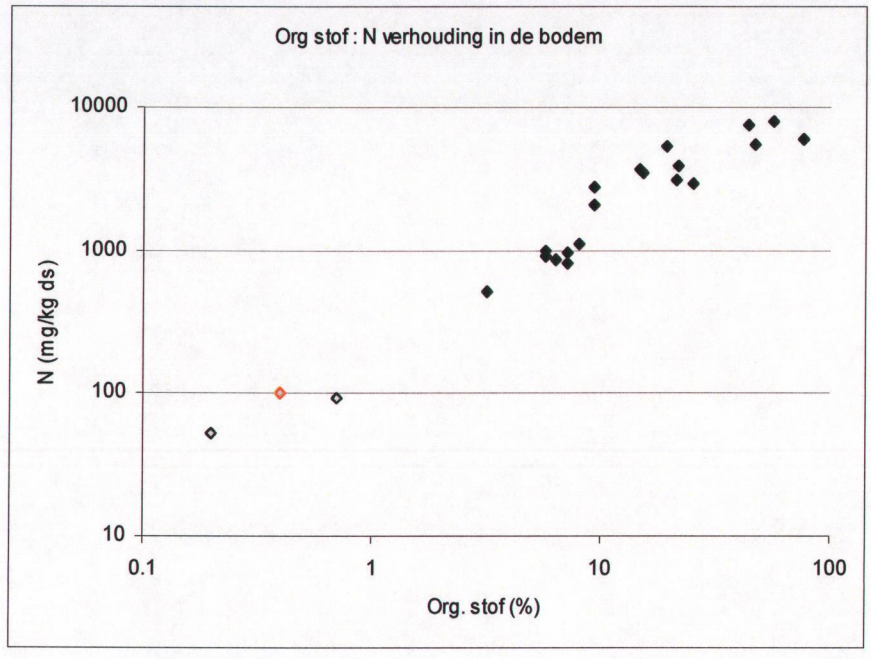
Beschrijving bodemtypen
De resultaten van de chemische analyses van de bodems zijn weergegeven in bijlage 1 en voor een drietal parameters samengevat in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Totaal fosfaat- (PO_4-P), stikstof- (N) en organisch stofgehalte van de verschillende bodemtypen

bodemtype	locatie	$P0_4$-P (mg/kg ds)	N (mg/kg ds)	org. stof (%)
bouwvoor type 1	1	690	7600	44.1
	14	760	2900	25.1
	34	500	3500	15.1
bouwvoor type 2	2	570	3100	21.2
	22	910	3900	21.6
	28	780	3700	14.7
zandige klei 3	13	370	1000	5.7
	15	130	510	3.2
	5	280	2100	9.4
zand en/of klei 4	16	610	2800	9.3
	3	290	900	5.7
	7	320	1100	8.1
humusarm zand / grind 5	27	290	100	0.4
	36	650	92	0.7
	15	780	52	0.2
Potklei 6	3	270	870	6.4
	9	390	800	7.2
	17	310	970	7.1
Veen 7	22	440	5900	76.3
	5	710	8000	56.6
	23	680	5500	46.6
aquatisch klei	Oostvaarders-plassen	1000	5400	19.4
aquatisch zand	Vijver/ plas	100	100	0.4

De percentages organische stof zijn het hoogst in de veenbodems, gevolgd door respectievelijk de beide bouwvoor-bodems, de kleibodems en het humusarme zand. Dit was te verwachten aangezien veen per definitie voor het grootste deel uit organisch materiaal bestaat, en de bouwgronden naar alle waarschijnlijkheid in de loop der jaren verrijkt zijn met afgestorven en omgeploegde teeltgewassen. Opvallend is dat het

stikstofgehalte in de bodems het organisch stofgehalte volgt. Geen van de bodemtypen wijkt van dit patroon af (figuur 3.1).

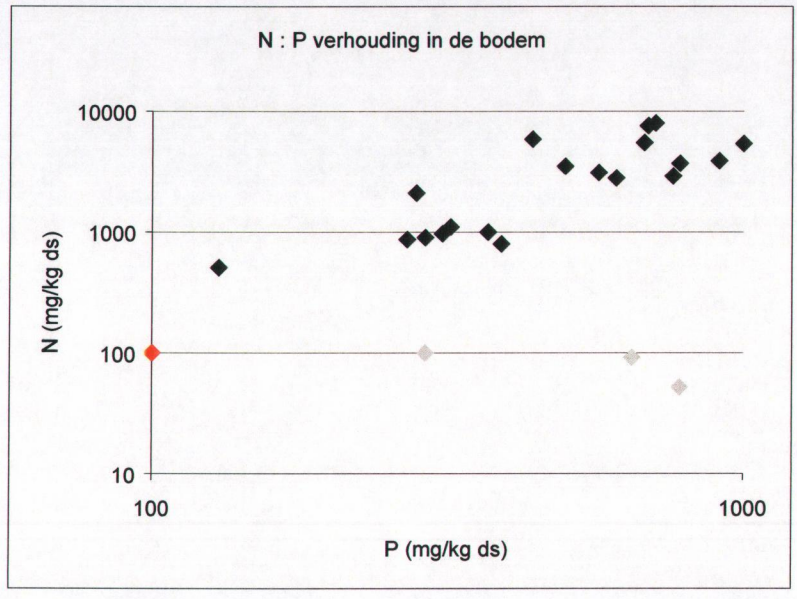


Figuur 3.1 Het stikstofgehalte in de bodem versus het organisch stofgehalte, voor alle bodemtypen. Grijs gekleurd zijn de zandbodems, rood is het referentie zandmonster, dat toevallig precies op een van de drie zandbodems ligt.

Tijdens de monstername werden twee bouwvoor-bodemtypen onderscheiden op basis van het op het oog waargenomen lutumgehalte (< en > 20% L). Tussen de beide typen zijn voor wat betreft het percentage organisch stof, fosfaat en stikstof echter geen verschillen geconstateerd.

Het verschil tussen de potklei en de beide andere (zand-)klei bodems is ook gelegen in het lutumgehalte. Potklei is een zware klei en heeft per definitie een hoog lutumgehalte. Tussen de beide andere kleibodemtypen werd in het veld onderscheid gemaakt op grond van de hoeveelheid humus: het type 'zandige klei' was matig humeus en het type 'zand en/of klei' sterk humeus. Dit onderscheid zou ook terug te vinden moeten zijn in het percentage organische stof, een sterk humeuze grond heeft naar verwachting een hoger percentage organische stof dan een matig humeuze grond. Dit is echter niet het geval; de resultaten van de drie kleibodemtypen liggen voor elk van de parameters in dezelfde range. Wel moet opgemerkt worden dat de typen 'zandige klei' en 'zand en/of klei' een grote spreiding hebben in het percentage organisch stof en de gehalten fosfaat en stikstof, terwijl de drie potkleimonsters erg vergelijkbaar van samenstelling zijn.

Vergelijking met aquatische referentiesedimenten
De humusarme zandbodems uit het gebied hebben allen een duidelijk hoger fosfaatgehalte dan het aquatische referentiezand. Het percentage organisch stof en het stikstofgehalte is wel vergelijkbaar (tabel 3.1). Hierdoor is de N:P ratio in de zandbodems erg laag (figuur 3.2), hetgeen zou kunnen betekenen dat stikstof hier beperkend is in plaats van fosfaat. In zoete wateren is veelal fosfaat de beperkende factor. De overige bodemtypen laten wel een normaal patroon zien, waarbij de hoeveelheid stikstof toeneemt met de hoeveelheid fosfor, en de N:P ratio ongeveer gelijk blijft (figuur 3.2).



Figuur 3.2 De hoeveelheid stikstof uitgezet tegen de hoeveelheid fosfor in de verschillende bodemtypen (N:P verhouding). In grijs weergegeven de humusarme zandbodems ♦, in rood het aquatische referentiezand ♦ en in zwart de overige bodemtypen.

In vergelijking met de referentie kleibodem hebben de kleibodems uit het gebied allen een veel lager organische stof-, stikstof- en fosfaatgehalte. De bouwvoren lijken redelijk op de referentie kleibodem, en de veenbodems hebben (uiteraard) een hoger percentage organisch stof, en een lager fosfaatgehalte (tabel 3.1). De verschillen met de referentiebodems zijn samengevat in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Vergelijking bodemtypen uit het gebied met de referentiesedimenten voor fosfaat- en stikstofgehalte en percentage organische stof

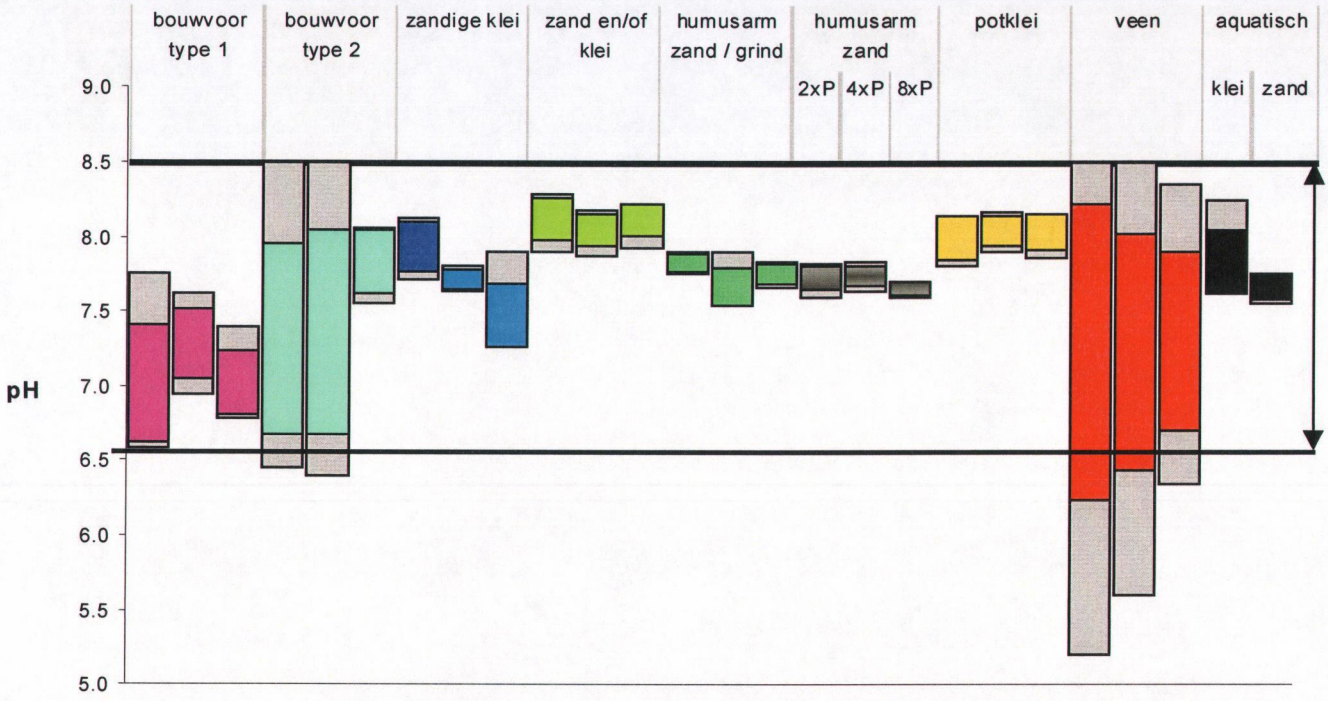
referentie	bodemtype	PO_4-P	N	org. stof
ref. zand	zand	+	=	=
ref. klei	klei	-	-	-
ref. klei	bouwvoor	=/-	=/-	=
ref. klei	veen	-	=	+

Toxische stoffen
De aangetroffen gehalten zware metalen en PAKs (Polyaromatische koolwaterstoffen) waren het hoogst in het referentiesediment uit de Oostvaardersplassen (bijlage 1), dat algemeen gebruikt wordt als referentie voor een schone kleibodem. Op grond hiervan wordt verondersteld dat deze stoffen in de andere bodems ook niet toxisch zullen zijn. Aanvullend zijn de gevonden gehalten nog vergeleken met diverse grenswaarden uit de literatuur (MTR waarden en TU-waarden voor bacteriën en chironomiden). Aangezien de gevonden gehalten beduidend lager zijn, wordt geconcludeerd dat deze stoffen niet van invloed kunnen zijn geweest op de prestaties van de verschillende organismen in de test (chironomiden, algen en bacteriën).

3.2. Chemie water

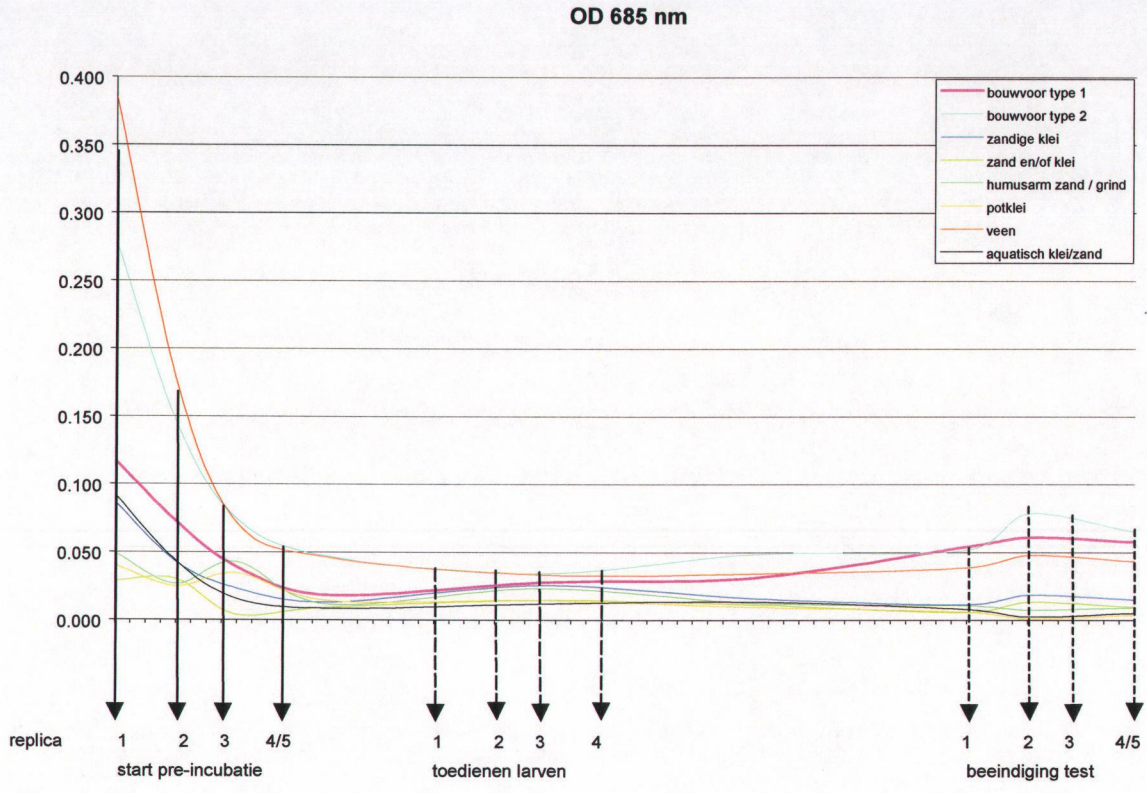
Randvoorwaarden voor de larven
Voor een optimale larvale ontwikkeling moet het water aan een aantal randvoorwaarden voldoen. Dit betreft aspecten als het zuurstofgehalte en de pH. Deze randvoorwaarden werden gedurende de test wekelijks gemeten. De ranges van de fysische en chemische parameters in het bovenstaande water bij aanvang van de pre-incubatieperiode en gedurende de 5 weken durende potentietest met *Chironomus riparius* zijn weergegeven in bijlage 2. Hieronder zal het verloop per parameter kort besproken worden.

- Zuurgraad (pH)
In een aantal bodems zakte de pH gedurende de test, namelijk bij alle veenbodems, en verschillende monsters van de beide bouwvoor typen. Aangezien beneden een pH van 6,6 de larven geremd worden in de groei, werd de pH in de betreffende monsters steeds omhoog gebracht tot om en nabij de bovengrens van 8,5, door toevoeging van een 1 molair natronloog oplossing. Aangezien het in de toekomstige Blauwe Stad aangevoerde water ook een bufferende werking zal hebben, was dit verantwoord. Het gemiddelde pH-verloop per dag, en de hoogste en laagste waarden zijn uitgezet in figuur 3.3. Hierin zijn de schommelingen in de veenbodems en in de eerste twee monsters van bouwvoor 2 goed te zien. Aangezien de pH-minima beneden de ondergrens van 6,6 uitgekomen zijn, is het waarschijnlijk dat de ontwikkeling van de muggenlarven nadelig is beïnvloed. Dit is voor de uiteindelijke interpretatie van belang. Verder valt op dat de gemiddelde pH van de zandbodems overwegend lager is dan van kleibodems.



Figuur 3.3 Gemiddelde pH en het hoogste en laagste daggemiddelde voor de verschillende bodemtypen. In de range pH 6,6 en 8,5 levert de zuurgraad geen beperkingen op voor de groei van de larven.

- Optische dichtheid (OD)
Gedurende de eerste 21 dagen nam de optische dichtheid in het bovenstaande water af. Dit was het gevolg van het bezinken van deeltjes. Vanaf het moment dat de muggenlarven toegevoegd werden, was de optische dichtheid vrijwel constant en laag (figuur 3.4). In deze situatie zal de factor licht niet beperkend zijn voor de groei van algen, die als voedsel voor de muggenlarven dienen. Alleen bij de bouwvoren en de veenbodems nam de optische dichtheid tijdens de test enigszins toe.



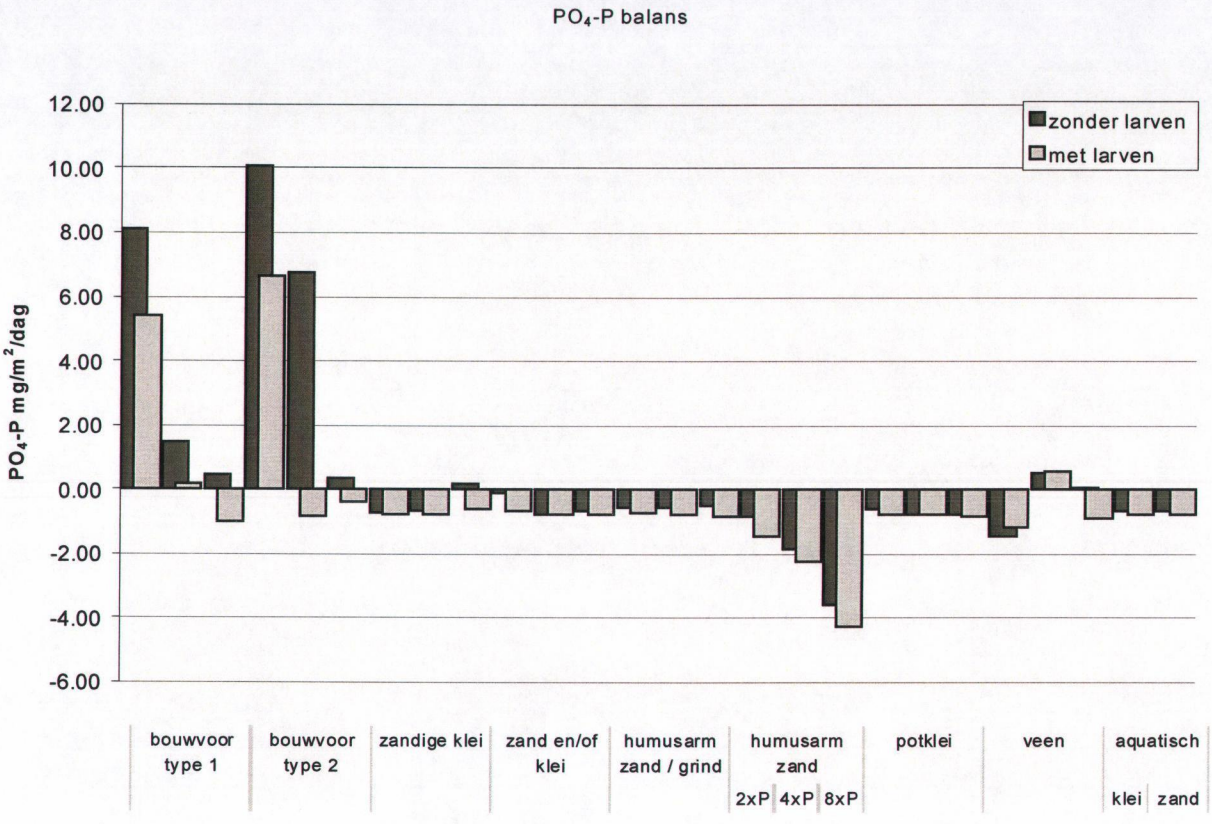
Figuur 3.4 Optische dichtheid van het water boven de verschillende bodemtypen gedurende de test.

- Zuurstofspanning
De zuurstofspanning was gedurende de hele test voldoende voor de ontwikkeling van de larven (bijlage 2).

- Nitriet en ammonium
De gehalten nitriet en ammonium waren gedurende de hele test voldoende laag voor de ontwikkeling van de larven (bijlage 2).

- Geleidbaarheid
De geleidbaarheid was gedurende de hele test voldoende laag voor de ontwikkeling van de larven (bijlage 2).

Fosfaat en nitraatgehalte
In figuur 3.5 en 3.6 zijn respectievelijk de fosfaat- en nitraatbalans van de testomgeving weergegeven. Hierin is de verandering van het fosfaat- en het nitraatgehalte in het water gedurende de test uitgedrukt in mg/m2 per dag, gecorrigeerd voor de dagelijkse fosfaat-gift. Een positieve waarde geeft aan dat er netto fosfaat of nitraat is vrijgekomen en een negatieve waarde staat voor netto vastlegging.



Figuur 3.5 Fosfaat-balans: de toe- of afname van het fosfaatgehalte (mg/m^2 per dag) in het bovenstaande water gedurende de test (van t=0 tot t=35 dagen), met en zonder chironomidenlarven.

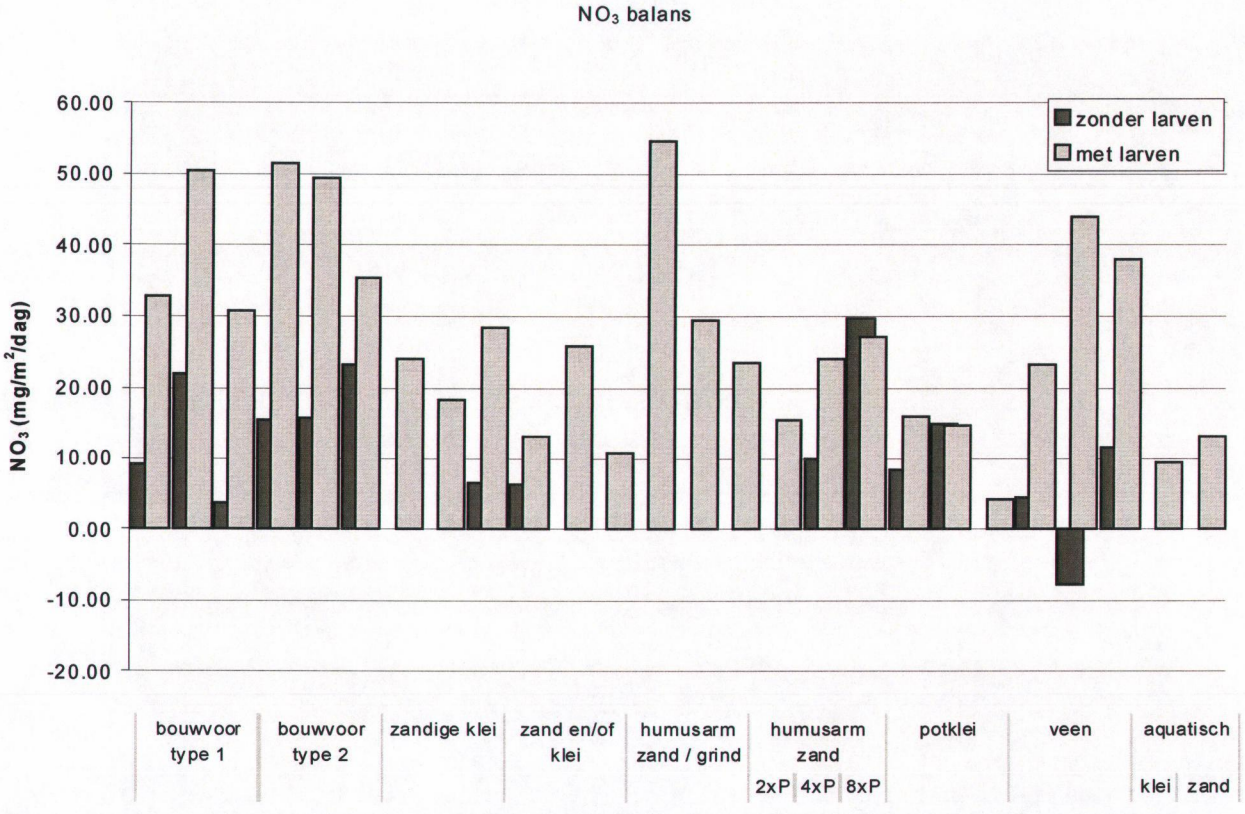
Uit de figuren is duidelijk te zien dat de muggenlarven het fosfaat- en het nitraatgehalte in het bovenstaande water beïnvloed hebben.

Zonder toevoeging van larven was bij vrijwel alle bodems sprake van een netto fosfaatopname, uitgezonderd enkele bouwvoren en een veenbodem. Deze fosfaatopname wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de vastlegging van fosfaat in de zich ontwikkelende algen en microbiële biomassa. De afwijkende resultaten in de veenbodems en de bouwvoren worden waarschijnlijk deels veroorzaakt door de lage pH waarden aldaar. Bij deze bodems kwamen de laagste pH dagminima voor (fig. 3.2). Bij een lagere pH kunnen meer ijzerfosfaat-complexen in oplossing gaan, waardoor er meer fosfaat in het water komt.

Met muggelarven was de fosfaatvastlegging bij alle bodems met uitzondering van twee veenlokaties groter dan zonder larven (op deze veenlokaties hebben echter nauwelijks larven de tijdelijk te lage pH waarden overleefd; zie § 3.3). Deze grotere vastlegging zou veroorzaakt kunnen worden door de consumptie van algen en bacteriën door de chironomidenlarven. Hierdoor kunnen steeds weer nieuwe algen zich ontwikkelen, waarbij steeds meer fosfaat vastgelegd wordt.

De proef met de extra fosfaatgift bij de zandbodems wijst uit dat de extra fosfaatgift klaarblijkelijk onmiddellijk benut kon worden door de algen. Bij een grotere fosfaatgift werd namelijk in toenemende mate fosfaat vastgelegd (figuur 3.5). Dit wijst erop dat er sprake is van een fosfaat-gelimiteerd systeem en niet van een N-gelimiteerd systeem, zoals in de vorige paragraaf mogelijk werd geacht.

Opgemerkt moet worden dat in de potten zonder chironomiden (serie 5) van de monsters met 4xP en 8xP een infectie met een zoöplanktonsoort is opgetreden (*Bosmina* sp.). Aangezien zoöplankton zich voedt met algen resulteerde dit in een lagere algenbedekking in de beide monsters. Dit heeft mogelijk de fosfaatopname door de algen in deze serie beïnvloed, maar er is geen reden om aan te nemen dat de bovenbeschreven veronderstellingen niet gedaan zouden mogen worden. De oorzaak van de infectie is waarschijnlijk het voorkomen van *Bosmina*-eitjes in algen/bacterie ent.



Figuur 3.6 Nitraat-balans: de toe- of afname van het nitraatgehalte (mg/m^2 per dag) in het bovenstaande water gedurende de test (van t=0 tot t=35 dagen), met en zonder chironomidenlarven.

De nitraatbalans is, uitgezonderd een enkele veenbodem, positief. Bij alle bodems kwam nitraat vrij uit de bodem, zowel met als zonder larven. Dit is waarschijnlijk het resultaat van de afbraak van organisch materiaal in de bodem.

Met larven was de afgifte groter dan zonder larven. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is een verhoogde bacteriële afbraak in de bodem, die veroorzaakt wordt door bioturbatie (omwoeling) door de larven. De extra zuurstof, die hiermee in de bodem komt, stimuleert de bacteriële omzetting van organisch gebonden stikstof naar nitraat, dat oplost in het water.

3.3. Productie larven

Beschrijving van de productie
De ruwe resultaten van de productietest zijn weergegeven in bijlage 4. In tabel 3.3 staan de gemiddelden per bodemmonster.

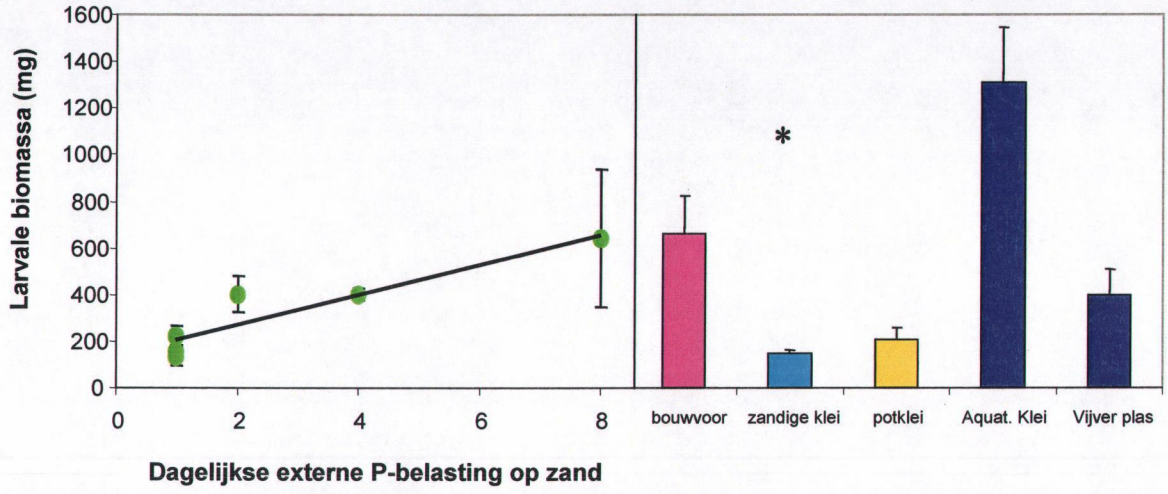
Tabel 3.3 Productie van chironomiden-larven op de verschillende bodemtypen in drooggewicht en aantallen per m^2. De laatste drie kolommen geven het aandeel van de verschillende larvale stadia weer (in %).

bodemtype	locatie	biomassa (mg*m^{-2})	totaal aantal larven (*m^{-2})	deel L2-larven (%)	deel L3-larven (%)	deel L4-larven (%)
bouwvoor type 1	1	635	9191	11	83	6
	14	1091	9853	10	74	16
	34	295	4926	19	75	7
bouwvoor type 2	2	49	1213	24	76	0
	22	6	147	50	50	0
	28	620	6618	26	63	12
zandige klei 3	13	163	2537	30	57	13
	15	107	1471	25	65	10
	5	205	3566	21	70	9
zand en/of klei 4	16	1103	4853	15	52	33
	3	145	2794	34	61	5
	7	103	2537	49	41	10
humusarm zand / grind 5	27	131	5110	78	21	1
	36	153	2610	35	58	7
	15	223	5956	46	51	3
zand met 2xP	15	401	8419	45	52	3
zand met 4xP	15	402	6838	32	58	11
zand met 8xP	15	640	6140	25	59	16
Potklei6	3	119	2353	42	50	8
	9	195	2978	37	52	11
	17	299	5625	31	59	9
Veen7	22	6	110	33	67	0
	5	5	37	0	100	0
	23	125	2941	30	60	10
aquatisch klei	Oostvaarders-plassen	1316	10441	13	61	27
aquatisch zand	Vijver/ plas	397	7390	60	30	10

Van het verwachte pH-effect (zie § 3.2) is duidelijk sprake, aangezien de productie bij de monsters met een tijdelijk te lage pH opvallend is achtergebleven bij de overige monsters. Dit geldt voor alle monsters van de veenbodem en de eerste twee monsters van de bouwvoor type 2 (tabel 3.3). In de tabel is ook duidelijk te zien dat de ontwikkeling geremd wordt bij een te lage pH, aangezien er in de betreffende monsters bijna geen L4-larven gevonden zijn (het laatste stadium voor verpopping). De veenbodems en de beide type 2 bouwvoormonsters zullen om deze reden bij de verdere bespreking buiten beschouwing gelaten worden. Het overgebleven monster van bouwvoor type 2 zal verder samen behandeld worden met de monsters van type 1, aangezien uit paragraaf 3.1 bleek dat er geen grote verschillen zijn in bodemchemie tussen deze bodems (uitgezonderd een hoger lutumgehalte in type 2) en de larvenproductie in dit monster niet afwijkt van de andere bouwvoormonsters.

In figuur 3.7 is een overzicht gegeven van de verschillen in biomassaproductie tussen de bodemtypen. Hiervoor zijn zoals boven vermeld de veenbodems en twee bouwvoormonsters niet meegenomen. De bodemtypen “zandige klei” en “zand en/of klei” zijn samengenomen tot “zandige klei”, aangezien de gevonden biomassa waarden allen in dezelfde range lagen, behalve een uitschieter. Deze is

in de vorm van een sterretje weergegeven boven de kolom voor zandige klei.



Figuur 3.7 Gemiddelde biomassa en standaardfout van de muggenlarven (in mg dw) van de zandbodems (links) en de overige bodemtypen, inclusief de referentiesedimenten (rechts). Links is het verband weergegeven van de toenemende biomassa bij hogere fosfaatgift. Rechts geeft de asterisk een individueel zandige klei monster weer (uitschieter).

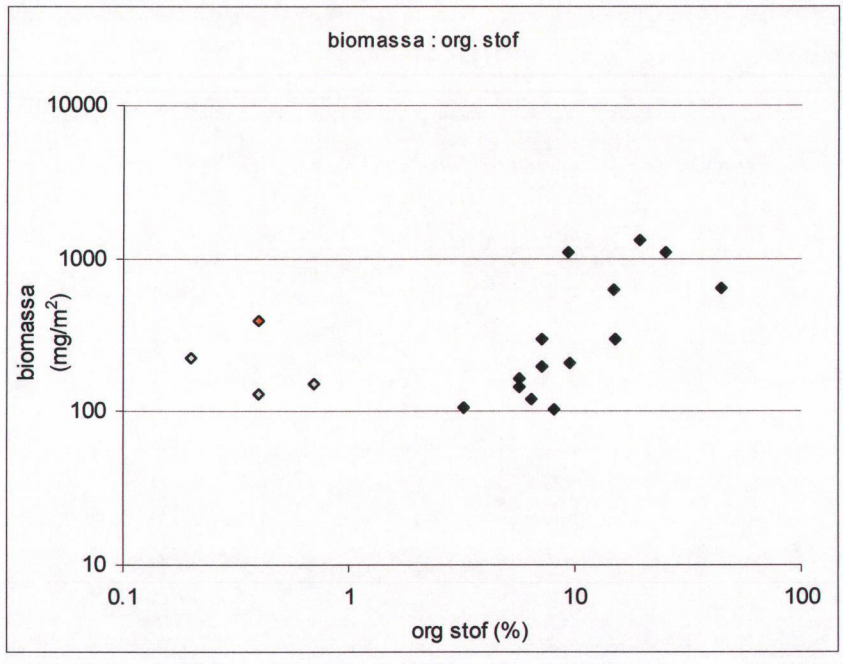
In de linkerfiguur is duidelijk te zien dat de productie van de larven toeneemt wanneer extra fosfaat wordt toegevoegd aan de zandbodem. De gemiddelde biomassa is bij een verdubbeling van de hoeveelheid toegevoegd fosfaat een factor 2 hoger, en bij 8x de hoeveelheid toegevoegd fosfaat een factor 3 hoger. Bovendien neemt het aandeel L4 larven toe met een verhoogde fosfaatgift, hetgeen betekent dat de ontwikkeling versneld optreedt (tabel 3.3).

Vergelijking van de andere bodemtypen met zand
Wanneer de productie van de overige bodems met die van de zandbodems vergeleken wordt, valt op dat vooral de bouwvoor monsters een hogere productie geven dan een zandbodem. De productie van de bouwvoren komt overeen met de productie van een zandbodem met een 8x hogere externe fosfaatgift. De zandige klei monsters hebben wel ongeveer een gelijke productie als de zandbodems, maar er is één uitschieter, die veel hoger is. De potkleimonsters kennen een iets hogere productie (maar die is niet significant), en de aquatische referentiesedimenten hebben een duidelijk hogere productie. Dit laatste heeft wellicht te maken met het feit, dat de flora en fauna in deze aquatische sedimenten beter is ontwikkeld ten opzichte van de landbodem monsters, die slechts gedurende een paar weken onderwater stonden. Wellicht is deze groei op aquatische sedimenten te gebruiken om een beeld te krijgen van de larvale productie op voormalige landbodems nadat deze gedurende langere tijd onder water hebben gestaan.

Uit voorgaande kan geconcludeerd worden dat fosfaat beperkend is voor de productie op minerale zandbodems. Bij voedselrijkere bodems kunnen naast dit fosfaat-effect, mogelijk meer aspecten een rol spelen. In voedselrijkere bodems is bijvoorbeeld naast algen ook organisch stof in de bodem beschikbaar als voedingsstof voor de larven.

Een mogelijke oorzaak van de verschillen in productie op verschillende bodems is daarom naast het fosfaat gehalte ook het organisch stofgehalte. Wanneer de relatie tussen de biomassa en het organisch stofgehalte in een grafiek wordt uitgezet (figuur 3.8), blijkt dat er wel

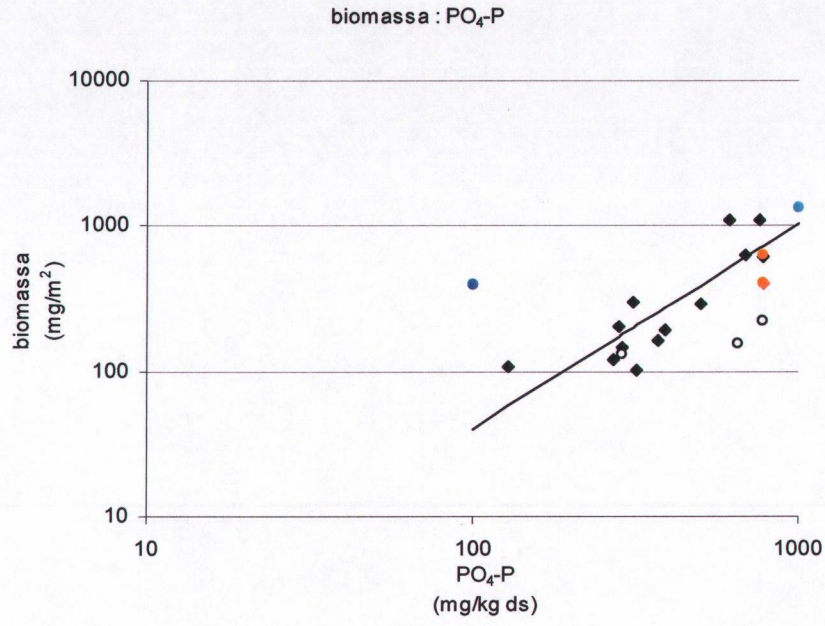
sprake is van een positief verband tussen het organisch stofgehalte en de biomassaproductie, maar dat de zandmonsters een hogere productie hebben dan op grond van hun organisch stofgehalte te verwachten is. Blijkbaar is het organisch stof gehalte niet de enige factor van belang of niet de meest bepalende. Een verklaring voor de relatief hoge productie van de zandbodems kan gezocht worden in de dagelijkse fosfaatgift. Wanneer geen fosfaat was toegevoegd, zou de productie waarschijnlijk lager zijn. De overige bodemtypen hebben deze fosfaatgift uiteraard ook gekregen. Ondanks de hogere organisch stofgehalten ligt de productie van sommige van deze monsters niet veel hoger dan bij de zandbodems. Dit betekent, dat voor die bodems met een larvale productie tussen de ±100 en ±200 mg / m^2, de bodem zelf waarschijnlijk weinig aan deze productie heeft bijgedragen.



Figuur 3.8 Biomassa van de muggenlarven (mg/m^2) versus organisch stofgehalte (%) in de bodem. In grijs weergegeven de humusarme zandbodems ♦, in rood het aquatische referentiezand ♦ en in zwart de overige bodemtypen.

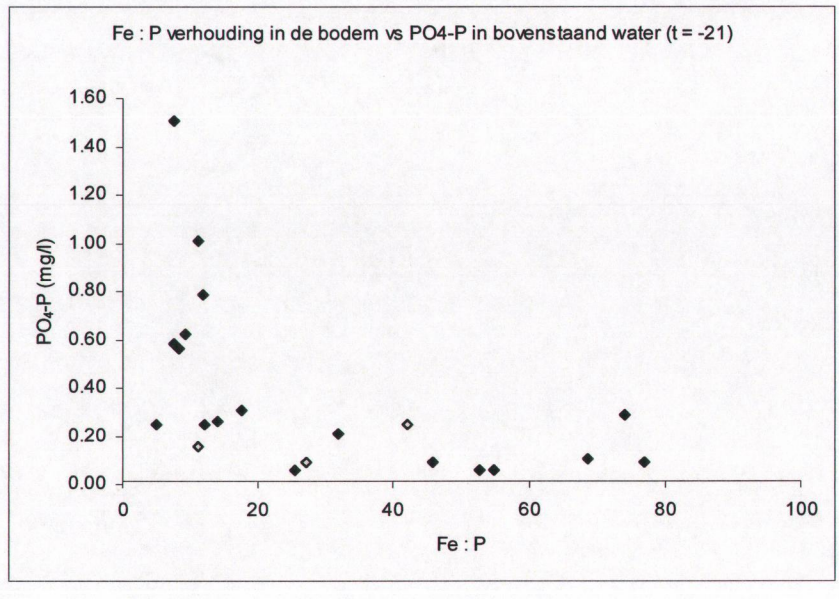
Naast het organisch stofgehalte speelt natuurlijk het fosfaat gehalte een dominante rol. Bij een hoger fosfaatgehalte in de bodem, zou er een hoger fosfaatgehalte in het water kunnen zijn, waardoor meer algen zich kunnen ontwikkelen en de larven een hogere productie kunnen leveren. In figuur 3.9 is de relatie tussen de biomassa en het fosfaatgehalte van de bodem uitgezet. Deze figuur wijst uit dat er inderdaad sprake is van een positief verband tussen het fosfaatgehalte in de bodem. De weergegeven regressielijn is significant ($P<0,001$).

Wel is het hierbij van belang om te realiseren, dat voor deze regressie een aantal monsters buiten beschouwing zijn gelaten. Het gaat hierbij om de aquatische referentiesedimenten (omdat hier waarschijnlijk ook andere processen optreden en de aanwezige flora en fauna beter ontwikkeld is) en alle zandbodems (die op meerdere punten een iets afwijkend beeld te zien gaven).

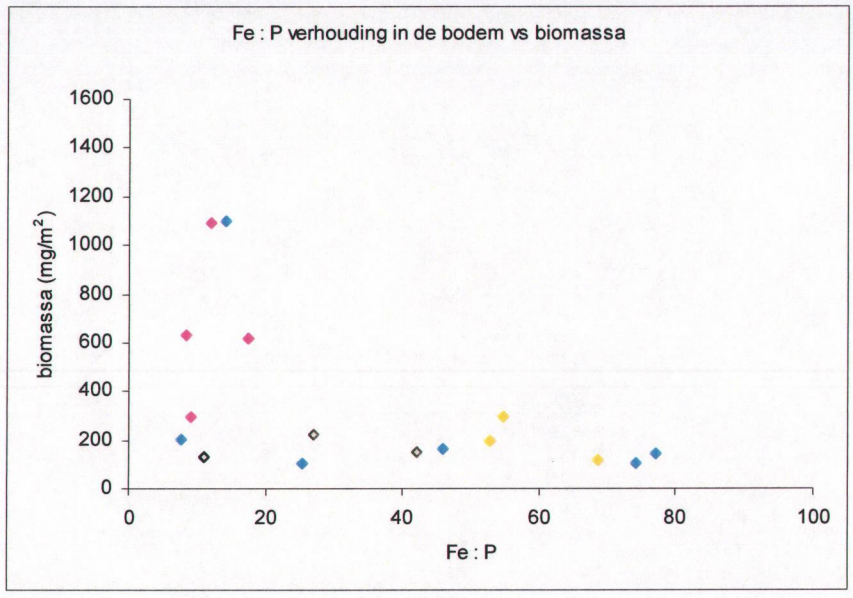


Figuur 3.9 Biomassa van de muggenlarven (mg/m^2) versus het fosfaatgehalte (PO_4-P in mg/kg droge stof) in de bodem. In wit weergegeven de humusarme zandbodems ○, in rood de zandbodems met extra fosfaatgift !, in blauw de aquatische referentietypen ●, en in zwart de overige bodemtypen ♦.

Naast de totale hoeveelheid aanwezig fosfaat, is ook de relatieve beschikbaarheid van groot belang. Fosfaat kan in de bodem bijvoorbeeld gebonden zijn aan ijzer (Fe). Verondersteld kan worden, dat bij een hoge Fe:P verhouding relatief veel fosfaat aan ijzer gebonden is en dus weinig vrij beschikbaar is. Dit wordt gestaafd door figuur 3.10, waarin duidelijk te zien is dat bij een hoge Fe:P verhouding weinig fosfaat in het bovenstaande water teruggevonden wordt. Bij een lage Fe:P verhouding (Fe:P<25) is er relatief veel fosfaat beschikbaar in het water.



Figuur 3.10 Fe:P verhouding in de bodem versus het fosfaatgehalte (PO_4-P in mg/l op t=-21) van het bovenstaande water. In grijs weergegeven de humusarme zandbodems ♦ en in zwart de overige bodemtypen ♦.



Figuur 3.11 Fe:P verhouding in de bodem versus het biomassa (in mg/m^2) van het bovenstaande water. In grijs de zandbodems ♦, in roze de bouwvoren, in geel de potklei, en in blauw de zandige klei.

In figuur 3.11 is de relatie tussen de biomassaproductie van de muggenlarven en de Fe:P verhouding in de bodem weergegeven. Hierin is te zien dat inderdaad alleen bij een Fe:P verhouding <25 hoge biomassawaarden worden teruggevonden. Dit zijn bouwvoormonsters als mede het individuele zandige klei monster, dat een duidelijke uitschieter was (zie figuur 3.7). Deze hebben allen tevens een hoog fosfaatgehalte in de bodem (>500 mg/kg ds). Hiermee is aannemelijk gemaakt dat de factor fosfaat in de bodem van doorslaggevende invloed is op de productie, mits het fosfaat beschikbaar is.

In de figuur is echter ook te zien dat er een aantal monsters zijn, die bij een voldoende lage Fe:P verhouding een relatief lage biomassaproductie geven. Het gaat om één zandmonster, één bouwvoor en één zandige klei. Voor deze afwijkingen kunnen de volgende mogelijke verklaringen gegeven worden:

- Voor de zandbodem geldt dat het fosfaat in de bodem wel beschikbaar is, maar dat het gehalte erg laag is (290 mg/kg ds). Verder is natuurlijk het organische stofgehalte erg laag, waardoor de productie van een zandbodem mogelijk toch lager zal zijn in vergelijking met bodems met een hoog organisch stofgehalte.
- Voor het zandige kleimonster geldt dat de Fe:P verhouding goed is en het organisch stof gehalte ook, maar dat het fosfaatgehalte van de bodem laag is (280 mg/kg ds), zeker in vergelijking met de uitschieter van dit type (610 mg/kg ds; monster 4a), die voor de overige factoren vergelijkbaar is met dit monster, en waar de productie wel hoog is.
- Voor de bouwvoor geldt dat de Fe:P verhouding goed is, het fosfaatgehalte voldoende hoog (500 mg/kg ds), en het organisch stofgehalte hoog is, maar dat gedurende de eerste weken van de

test het bovenstaande water erg troebel was, waardoor zich hier misschien minder algen hebben kunnen ontwikkelen.

NB. Een andere mogelijke oorzaak voor de relatief hoge productie van de bouwvoren in vergelijking met de andere bodemtypen uit het gebied zou kunnen zijn dat monsters van dit bodemtype uit de toplaag verzameld zijn. Om de (zandige) klei en de veenmonsters te verzamelen, moest eerst tot onder de bouwvoor gegraven worden. De ligging aan de oppervlakte, met een betere beluchting, zou ervoor gezorgd kunnen hebben dat in dit type de bodemmicroflora en -fauna al beter ontwikkeld is dan in de andere typen. Mogelijk is hier het afbraakproces van organisch materiaal, waardoor voedingstoffen voor de algen vrijkomen, sneller op gang gekomen dan bij de overige bodemtypen. Dat ene individuele zandige klei monster met een hoge productie voldoet echter niet aan dit beeld.

Vergelijking met referentiewaarden uit de literatuur
De testen zijn uitgevoerd met *Chironomus riparius.* De prestaties van deze soort worden hier beschouwd als indicatief voor de totale chironomiden (dansmuggen) activiteit. Chironomiden komen zeer algemeen voor in allerlei habitats. Ranges voor het voorkomen van chironomiden zijn in onderstaande tabel gegeven op grond van veldinventarisaties (AquaSense, 1993).

Tabel 3.4 Normaalwaarden voor dichtheid en biomassa (versgewicht) totaal chironomiden in verschillende bodemtypen, in schone en verontreinigde bodem. Bron: AquaSense (1993).

	bodemtype	dichtheid (#*m^{-2})	biomassa (g * m^{-2})
schone bodem	slib/klei	1050-2850	10-120
	zand	600-2850	0-25
	veen	575-1025	5-210
verontr. bodem	slib/klei	200-700	0-10
	zand	100-250	0-<10
	veen	870 (n=1)	180 (n=1)

In dit project liggen de biomassawaarden in de range 0,10-1,0 g/m^2. Hier gaat het echter om drooggewichten. Het versgewicht is ongeveer een factor 10 hoger, waardoor de range op 1-10 g/m^2 uitkomt. Op schone zandbodems en kleibodems ligt de biomassa van chironomiden resp. in de range 0-25 en 10-120 g/m^2 (tabel 3.4). De gevonden biomassa's voor de zandbodems zijn dus laag, maar vallen wel in de natuurlijke range. Voor de kleibodems zijn de gevonden biomassa's lager dan de ondergrens van de natuurlijke range. Op de aquatische klei referentie werd omgerekend naar versgewicht een biomassa van 13,2 g/m^2 gevonden, hetgeen wel binnen de natuurlijke range valt.

De lage biomassa's in vergelijking met de waarden in het veld zijn een aanwijzing dat de larven zich nog verder kunnen ontwikkelen. Waarschijnlijk zouden er hogere waarden gevonden zijn wanneer de proef langer werd voortgezet, en er meer larven zich ontwikkeld hadden tot het L4 stadium. Het percentage van larven in het vierde larvale stadium ligt in het veld namelijk gemiddeld genomen duidelijk hoger dan in de huidige experimenten.

4. Conclusie

Bij het onder water zetten van de bodems in de Blauwe Stad moet bedacht worden dat bouwvoren een relatief productief systeem op zullen leveren, aangezien hier veel fosfaat in de bodem aanwezig is. Dit fosfaat is niet alleen aanwezig, maar ook beschikbaar, vanwege een relatief lage Fe:P verhouding. In de overige bodemtypen is de Fe:P verhouding veelal hoger, waardoor eventueel aanwezige hoge fosfaatgehalten in de bodem niet beschikbaar zijn.

De toekomstige secundaire productie op de onder water te zetten bouwvoren is onder experimentele omstandigheden vergelijkbaar met de productie op minerale zandbodems, waarbij 8x maal meer fosfaat wordt toegevoegd dan de nu verwachte fosfaatbelasting. Bij deze bodemtypen is dus duidelijk sprake van een 'bodem-effect'. De productie op de overige bodemtypen komt overeen met die op een minerale zandbodem.

Literatuur

AquaSense (1993). Biologische Typologie van Zoete Waterbodems. Normaalwaarden voor biologische parameters. In opdracht van RIZA, Dienst getijdewateren en regionale directies van Rijkswaterstaat. Rapport 92.0241

Bijlagen

Bijlage 1. Chemie bodems
Bijlage 2. Randvoorwaarden metingen bovenstaand water
Bijlage 3. Chemie bovenstaand water (fosfaat, nitraat)
Bijlage 4. Ruwe meetgegevens larven

Bijlage 1 Chemie bodems

Zie meetresultaten OMEGAM

Bijlage 2 Randvoorwaarden metingen bovenstaand water

Tabel 1. Randvoorwaarden metingen in bovenstaand water voorafgaand aan de pre-incubatie (op t=-21 dagen). Eventuele afwijkingen van de randvoorwaarden wordt d.m.v. arcering aangeduid. De semi-kwantitatieve controle gebeurde éénmaal per week. In de monsters met een pH overschrijding is de pH de eerste 14 dagen dagelijks gemeten en zonodig bijgesteld.

		Parameters		
		O_2 (%)	pH	geleid. (µS/mm)
t (dagen)		-21	-21	-21
Kleireferentie	Oostvaarders-plassen	97	7,3 – 7,5	63 – 65
Zandreferentie	Vijver / plas	93 - 94	7,1 – 7,3	52
Bouwvoor type 1	1	89 - 91	6,6 – 6,9	51 – 53
	14	88 - 89	6,7 – 6,9	50
	34	91	6,7 – 6,8	47 – 49
Bouwvoor type 2	2	83 - 96	6,3 – 6,4	47 – 48
	22	88 - 95	6,2 – 6,3	45 – 47
	28	88 - 95	7,2 – 7,4	55 – 56
Zandige klei 3	13	92 - 96	7,6 – 7,7	57 - 59
	15	95 – 97	7,4	51 – 53
	5	83 - 97	7,1 – 7,2	50 – 53
Zand en/of klei 4	16	85 - 95	7,7 – 7,8	61
	3	96 - 99	7,7	54 – 59
	7	92 - 96	7,7 – 7,9	63 – 67
Humus arm zand en/of grind 5	27	96 - 98	7,6	50 – 53
	36	92 - 97	7,5 – 7,6	51 – 53
	15	86 - 99	7,4 – 7,6	51 – 52
Potklei 6	3	97 - 98	7,8 – 8,0	59
	9	97 - 98	7,8 – 8,0	58 – 61
	17	93 - 94	7,7	60
Veen 7	22	96 - 98	5,5	43 – 44
	5	98	5,7 – 6,1	44 – 48
	23	97 - 98	6,4 – 6,5	48 – 49

Tabel 2. Metingen randvoorwaarden bovenstaand water tijdens de groei potentie test (tussen t=0 en t=35 dagen). Eventuele afwijkingen van de randvoorwaarden wordt d.m.v. arcering aangeduid. De semi-kwantitatieve controle gebeurde éénmaal per week.

		Parameters				
		O_2 (%)	PH	NO_2^- (mg/l)	$NH_4^+ + NH_3$ (mg/l) (pH)	geleid. (µS/mm)
Criteria *C. riparius*[1]		> 35	6,6 - 8,5	< 50	<200 (6,5 - 8,0) <40 (8,5)	<950
t (dagen)		0 - 35	0 - 35	0 - 35	0 - 35	0 - 35
Kleireferentie	Oostvaarders -plassen	81 - 108	7,6 - 8,2	< 2	< 2,5	56 - 71
Zandreferentie	Vijver / plas	74 - 96	7,6 - 7,8	< 2	< 2,5	44 - 51
Bouwvoor type 1	1	56 - 110	6,6 - 7,8	< 2	< 2,5	45 - 60
	14	64 - 137	6,9 - 7,6	< 2	< 2,5	45 - 60
	34	76 - 107	6,8 - 7,4	< 2	< 2,5	32 - 50
Bouwvoor type 2	2	76 - 101	6,5 - 8,5	< 2	< 2,5	49 - 71
	22	76 - 106	6,4 - 8,5	< 2	< 2,5	40 - 69
	28	60 - 139	7,6 - 8,1	< 2	< 2,5	48 - 93
Zandige klei 3	13	79 - 134	7,7 - 8,1	< 2	< 2,5	46 - 63
	15	82 - 120	7,6 - 7,8	< 2	< 2,5	45 - 54
	5	81 - 110	7,3 - 7,8	< 2	< 2,5	41 - 50
Zand en/of klei 4	16	67 - 131	7,9 - 8,3	< 2	< 2,5	49 - 74
	3	83 - 118	7,9 - 8,2	< 2	< 2,5	44 - 66
	7	86 – 118	7,9 - 8,2	< 2	< 2,5	49 - 94
Humus arm zand en/of grind 5	27	80 – 109	7,8 - 7,9	< 2	< 2,5	38 - 52
	36	83 – 108	7,5 - 7,9	< 2	< 2,5	41 - 53
	15	76 – 111	7,7 - 7,8	< 2	< 2,5	41 - 53
	27	78 – 110	7,6 - 7,8	< 2	< 2,5	41 - 54
	36	83 – 107	7,6 - 7,8	< 2	< 2,5	42 - 57
	15	82 – 108	7,6 - 7,7	< 2	< 2,5	41 - 59
Potklei 6	3	85 – 103	7,8 - 8,1	< 2	< 2,5	50 - 63
	9	85 - 102	7,9 - 8,2	< 2	< 2,5	51 - 64
	17	84 - 110	7,9 - 8,1	< 2	< 2,5	50 - 68
Veen 7	22	81 - 98	5,2 - 8,5	< 2	< 2,5	43 - 56
	5	73 - 98	5,6 - 8,5	< 2	< 2,5	46 - 58
	23	81 - 101	6,4 - 8,4	< 2	< 2,5	44 - 54

[1]: criteria voor concentraties waarbij geen chronisch effect te verwachten is (Postma *et al.*, in prep.)

Bijlage 3. Chemie water

Tabel 1. Fosfaatgehalte en -balans in het bovenstaande water op de verschillende tijdstippen tijdens de proef. Zowel de gehalten van de monsters met als zonder chironomiden (muggenlarven) zijn weergegeven (op t = 35 dagen).

			PO_4-P (mg/l)				PO_4-P balans (mg/m^2/dag)		
bodemtype	lokatie	ID	- 21 dgn	0 dgn	35 dgn (- chir.)	35 dgn (+ chir.)	-21 --> 0	0 --> 35 (- chir)	0 --> 35 (+chir)
bouwvoor	1.1	322589	0.56	0.85	4.74	3.56	0.33	8.11	5.42
(H2/H3 en	1.14	322590	0.25	0.10	1.09	0.53	-1.32	1.49	0.20
<20%L)	1.34	322591	0.62	0.14	0.67	0.05	-2.60	0.43	-0.98
bouwvoor	2.2	322592	1.51	1.43	6.17	4.69	-1.06	10.06	6.67
(H2/H3 en	2.22	322593	1.01	0.23	3.54	0.21	-3.73	6.78	-0.82
>20%L)	2.28	322594	0.31	0.17	0.66	0.34	-1.31	0.35	-0.38
	3.13	322595	0.09	0.06	0.08	<0.05	-0.89	-0.73	<-0.80
zandige klei	3.15	322596	0.29	0.06	0.10	<0.05	-1.64	-0.68	<-0.80
(<H3, 12-40%L)	3.5	322597	0.58	0.12	0.54	0.18	-2.53	0.19	-0.63
zand en/of klei	4.16	322598	0.26	0.09	0.39	0.14	-1.39	-0.10	-0.67
(anders dan <H3	4.3	322599	0.09	0.08	0.08	0.07	-0.83	-0.77	-0.79
en 12-40%L)	4.7	322600	0.06	<0.05	0.10	<0.05	<-0.80	>-0.66	<-0.80
	5.27	322601	0.16	<0.05	0.16	0.07	<-1.18	>-0.53	>-0.73
	36	322603	0.25	<0.05	0.15	<0.05	<-6.86	>-0.55	-0.78
	15	322602	0.09	0.08	0.22	<0.05	-0.80	-0.47	<-0.85
	15 (2xP)	322602 (2xP)	0.09	0.09	0.41	0.14	-1.52	-0.82	-1.44
humusarm zand	15 (4xP)	322602 (4xP)	0.09	0.10	0.67	0.49	-3.00	-1.81	-2.22
en of grind	15 (8xP)	322602 (8xP)	0.09	0.36	1.51	1.21	-5.08	-3.59	-4.27
	6.3	322604	0.10	<0.05	0.12	<0.05	<-6.29	>-0.62	-0.78
	6.9	322605	0.06	<0.05	0.05	<0.05	<-6.13	>-0.78	-0.78
potklei	17	322606	0.06	0.07	0.06	<0.05	-6.06	-0.80	<-0.81
	7.22	322607	0.25	0.35	0.06	0.19	-5.70	-1.45	-1.15
	5	322608	0.21	0.09	0.64	0.68	-6.54	0.49	0.57
veen	23	322609	0.79	0.14	0.51	0.09	-8.57	0.06	-0.89
aquatisch klei	Oostvaarders-plassen	322610	0.08	<0.05	0.10	<0.05	<-6.21	<-0.66	-0.78
aquatisch zand	Vijver plas bodem materiaal	322611	0.21	<0.05	0.10	<0.05	<-6.70	<-0.66	-0.78

Tabel 2. Nitraatgehaltes en -balans in het bovenstaande water op de verschillende tijdstippen tijdens de proef. Zowel de gehalten van de monsters met als zonder chironomiden (muggenlarven) zijn weergegeven (op t = 35 dagen).

			NO_3 (mg/l)				NO_3 balans (mg/m^2/dag)		
bodemtype	lokatie	ID	- 21 dgn	0 dgn	35 dgn (- chir.)	35 dgn (+ chir.)	-21 --> 0	0 --> 35 (- chir)	0 --> 35 (+chir)
bouwvoor	1.1	322589	-	1.59	5.59	15.95	-	9.14	32.82
(H2/H3 en	1.14	322590	-	3.16	12.80	25.20	-	22.03	50.37
<20%L)	1.34	322591	-	2.48	4.09	15.95	-	3.69	30.80
bouwvoor	2.2	322592	-	5.52	12.30	28.10	-	15.50	51.62
(H2/H3 en	2.22	322593	-	2.67	9.56	24.35	-	15.76	49.56
>20%L)	2.28	322594	-	3.82	14.00	19.35	-	23.26	35.49
	3.13	322595	-	<1.0	<1.0	10.52	-	0.00	24.05
zandige klei	3.15	322596	-	<1.0	<1.0	8.00	-	0.00	18.29
(<H3, 12-40%L)	3.5	322597	-	<1.0	2.90	12.45	-	6.63	28.46
zand en/of klei	4.16	322598	-	<1.0	2.82	5.69	-	6.45	13.01
(anders dan <H3	4.3	322599	-	<1.0	<1.0	11.33	-	0.00	25.90
en 12-40%L)	4.7	322600	-	<1.0	<1.0	4.68	-	0.00	10.70
	5.27	322601	-	<1.0	<1.0	23.95	-	0.00	54.74
	36	322603	-	<1.0	<1.0	12.84	-	0.00	29.35
	15	322602	-	<1.0	<1.0	10.28	-	0.00	23.50
	15 (2xP)	322602 (2xP)	-	<1.0	<1.0	6.75	-	0.00	15.43
humusarm zand	15 (4xP)	322602 (4xP)	-	<1.0	4.33	10.50	-	9.90	24.00
en of grind	15 (8xP)	322602 (8xP)	-	<1.0	13.00	11.86	-	29.71	27.11
	6.3	322604	-	<1.0	3.68	7.00	-	8.41	16.00
	6.9	322605	-	<1.0	6.50	6.44	-	14.86	14.72
potklei	17	322606	-	<1.0	<1.0	1.85	-	0.00	4.23
	7.22	322607	-	3.70	5.66	13.85	-	4.48	23.20
	5	322608	-	7.34	4.02	26.60	-	-7.59	44.02
veen	23	322609	-	5.22	10.30	21.90	-	11.60	38.12
aquatisch klei	Oostvaarders-plassen	322610	-	<1.0	<1.0	4.09	-	0.00	9.35
aquatisch zand	Vijver plas bodem materiaal	322611	-	<1.0	<1.0	5.68	-	0.00	12.98

Bijlage 4. Ruwe meetgegevens larven

Tabel 1. Aantallen larven, uitgesplitst naar larvestadium (L2, L3 en L4). I t/m IV zijn replica's.

			L2						L3						L4					
bodemtype	lokatie	EcoLIMS	I	II	III	IV	gem	stdev	I	II	III	IV	gem	stdev	I	II	III	IV	gem	stdev
bouwvoor (H2/H3	1.1	322589	16	0	10	1	7	8	35	115	11	47	52	45	1	0	6	8	4	4
en <20%L)	1.14	322590	13	4	5	6	7	4	25	135	8	30	50	58	18	12	1	11	11	7
	1.34	322591	12	4	9	0	6	5	9	60	12	19	25	24	4	2	0	3	2	2
bouwvoor (H2/H3	2.2	322592	2	4	2	0	2	2	0	25	0	0	6	13	0	0	0	0	0	0
en >20%L)	2.22	322593	0	0	2	0	1	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	2.28	322594	20	10	16	0	12	9	34	52	17	10	28	19	1	8	8	4	5	3
zandige klei	3.13	322595	8	4	4	5	5	2	10	9	6	14	10	3	2	5	2	0	2	2
(<H3, 12-40%L)	3.15	322596	9	0	0	1	3	4	2	15	0	9	7	7	2	0	0	2	1	1
	3.5	322597	17	3	0	0	5	8	12	31	5	20	17	11	0	3	2	4	2	2
zand en/of klei	4.16	322598	17	0	3	0	5	8	16	23	12	17	17	5	4	17	14	9	11	6
(anders dan <H3	4.3	322599	10	4	12	0	7	6	7	19	6	14	12	6	3	0	1	0	1	1
en 12-40%L)	4.7	322600	6	16	12	0	9	7	0	17	2	9	7	8	0	4	0	3	2	2
humusarm zand	5.27	322601	72	27	4	6	27	32	12	0	7	10	7	5	0	0	1	0	0	1
en of grind	15	322602	23	50	2	0	19	23	46	24	5	7	21	19	1	0	2	2	1	1
	15 (2xP)	322602 (2x	68	16	18	0	26	29	22	53	23	21	30	16	1	2	4	1	2	1
	15 (4xP)	322602 (4x	30	29	0	0	15	17	35	38	17	17	27	11	5	0	6	9	5	4
	15 (8xP)	322602 (8x	19	19	4	0	11	10	28	21	13	36	25	10	7	14	1	5	7	5
	36	322603	2	21	2	0	6	10	12	17	5	7	10	5	2	0	2	1	1	1
potklei	6.3	322604	6	11	7	3	7	3	12	6	6	8	8	3	4	0	1	0	1	2
	6.9	322605	13	0	12	5	8	6	13	20	5	4	11	8	5	0	4	0	2	3
	17	322606	22	7	11	8	12	7	21	48	12	10	23	18	0	2	3	9	4	4
veen	7.22	322607	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0
	5	322608	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	23	322609	2	4	17	1	6	7	15	19	3	11	12	7	0	0	0	8	2	4
aquatisch klei	Oost-vaarders-plassen	322610	16	0	9	11	9	7	28	93	16	35	43	34	15	7	38	16	19	13
aquatisch zand	Vijver plas bodem materiaal	322611	39	58	22	2	30	24	11	13	13	23	15	5	8	0	12	0	5	6

Tabel 2. Totalen (aantallen en biomassa larven). I t/m IV zijn replica's.

bodemtype	lokatie	ID	totaal I	II	III	IV	per 68 cm2 gem	stdev	per m2 gem aantal	gem biomassa	stdev biomassa
bouwvoor (H2/H3 en <20%L)	1.1	322589	52	115	27	56	62.5	37.3	9191.2	635.3	297.0
	1.14	322590	56	151	14	47	67	58.8	9852.9	1091.2	650.0
	1.34	322591	25	66	21	22	33.5	21.7	4926.5	294.9	162.5
bouwvoor (H2/H3 en >20%L)	2.2	322592	2	29	2	0	8.25	13.9	1213.2	48.5	85.5
	2.22	322593	0	2	2	0	1	1.2	147.1	6.3	11.5
	2.28	322594	55	70	41	14	45	23.8	6617.6	619.9	57.2
zandige klei (<H3, 12-40%L)	3.13	322595	20	18	12	19	17.25	3.6	2536.8	163.2	37.8
	3.15	322596	13	15	0	12	10	6.8	1470.6	106.6	80.5
	3.5	322597	29	37	7	24	24.25	12.7	3566.2	205.1	91.9
zand en/of klei (anders dan <H3 en 12-40%L)	4.16	322598	37	40	29	26	33	6.6	4852.9	1102.6	496.5
	4.3	322599	20	23	19	14	19	3.7	2794.1	144.9	41.6
	4.7	322600	6	37	14	12	17.25	13.6	2536.8	102.6	90.9
humusarm zand en of grind	5.27	322601	84	27	12	16	34.75	33.4	5110.3	131.3	75.9
	15	322602	70	74	9	9	40.5	36.4	5955.9	223.2	83.5
	15 (2xP)	322602 (2xP)	91	71	45	22	57.25	30.1	8419.1	401.1	158.0
	15 (4xP)	322602 (4xP)	70	67	23	26	46.5	25.5	6838.2	401.8	55.3
	15 (8xP)	322602 (8xP)	54	54	18	41	41.75	17.0	6139.7	639.7	590.4
	36	322603	16	38	9	8	17.75	14.0	2610.3	153.3	58.4
potklei	6.3	322604	22	17	14	11	16	4.7	2352.9	119.5	55.9
	6.9	322605	31	20	21	9	20.25	9.0	2977.9	194.9	92.1
	17	322606	43	57	26	27	38.25	14.7	5625.0	299.3	110.8
veen	7.22	322607	1	0	0	2	0.75	1.0	110.3	5.9	9.1
	5	322608	0	1	0	0	0.25	0.5	36.8	5.1	10.3
	23	322609	17	23	20	20	20	2.4	2941.2	125.4	67.8
aquatisch klei	Oost-vaarders-plassen	322610	59	100	63	62	71	19.4	10441.2	1315.8	463.8
aquatisch zand	Vijver plas bodem materiaal	322611	58	71	47	25	50.25	19.5	7389.7	397.4	215.7