Psb
7-1

Witteveen+Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

Waterschap Brabantse Delta

Vervolgonderzoek De Kuil

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

Waterschap Brabantse Delta

Vervolgonderzoek De Kuil

referentie	projectcode	status
PSB7-1/eekc/005	PSB7-1	definitief
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
drs. M. Klinge	ir. Th.G.J. Witjes	6 november 2006

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 kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd volgens ISO 9001 : 2000

© 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.

19462 78

INHOUDSOPGAVE **blz.**

1. INLEIDING **1**
1.1. Geschiedenis 1992-2005 1
1.1.1. Plaatsing van twee watermengers 1
1.1.2. Afsluiting van de noordsloot 1
1.1.3. Effectiviteit van de mengers 1
1.1.4. Demping van De Kuil met zeezand 2
1.1.5. Verschuiving van blauwalgensoorten 3
1.1.6. Samenvattend 3

2. GEBIEDSBESCHRIJVING **5**
2.1. Oevers 6
2.2. Waterplanten en waterdiepte 6

3. BODEMONDERZOEK **7**
3.1. Aanpak, resultaten bodemprofielen 7
3.1.1. Samenvattend 7
3.2. Chemische analyses 7
3.2.1. Samenvattend 9

4. VISSTANDONDERZOEK **10**
4.1. Samenvattend 11

5. OVERZICHT METINGEN WATERKWALITEIT 1993-2006 **12**
5.1. pH 12
5.2. Electrisch Geleidings Vermogen (EGV) 12
5.3. Doorzicht 12
5.4. Stikstof 12
5.5. Fosfaat 13
5.6. Bicarbonaat 14
5.7. Zwavel 14
5.8. Chloride 15
5.9. IJzer 15
5.10. Samenvattend 16

6. OMVANG EXTERNE NUTRIËNTBRONNEN **17**
6.1. Nutrientenbelasting door recreanten (zwemmers) 17
6.2. Nutriëntenbelasting door vogels 17
6.3. Kwel 18
6.4. Oppervlakkige afstroming 18
6.5. Natte en droge depositie 20
6.6. Visvoer 20
6.7. Samenvattend 20

7. ANALYSE SYSTEEMKENMERKEN DE KUIL **21**
7.1. Bodem 21
7.2. Vis 21
7.3. Chemie waterlaag 21
7.4. Samenvattend 22

8. MOGELIJKE OORZAKEN VAN DE PERIODIEKE BLAUWALGENBLOEI **23**
8.1. P-mobilisatie door sulfaatreductie 23

8.2. Verticale mobiliteit van Anabaena 24
8.3. Voedselketen: verschuivingen in biomassa 26

9. MOGELIJKE MAATREGELEN OM ALGENBLOEI TE VOORKOMEN 27
9.1. Effectiever verticaal mengen 27
9.2. Beter vastleggen van fosfaat in de bodem, zodat dit zelfs bij zuurstofloosheid niet vrijkomt 27
9.3. Hoe nu verder? 29

10. LITERATUUR 30

laatste bladzijde **31**

bijlagen aantal bladzijden
I Locaties waar bodemmonsters zijn genomen 1
II Boorprofielen 6

1. INLEIDING

In zwemplas De Kuil te Prinsenbeek is sinds 1992 regelmatig sprake (geweest) van overlast veroorzaakt door blauwalgen (cyanobacteriën). De Kuil moest in het verleden zelfs met enige regelmaat voor zwemmers gesloten worden. Er hebben in de loop der jaren verschillende studies plaatsgevonden om het probleem inzichtelijk te maken en zo mogelijk te verhelpen. Hoewel de studies tot meer inzicht in de problematiek hebben geleid is er tot op heden nog geen effectieve oplossing voor het probleem van periodieke blauwalgenbloei gevonden. Wat hierbij meespeelt is dat De Kuil in de loop van de tijd enkele hydromorfologische veranderingen heeft ondergaan en er bovendien een verschuiving van dominante (blauw)algensoorten heeft plaatsgevonden.

Het Waterschap Brabantse Delta heeft een aan Witteveen+Bos de vraag gesteld of het zinvol is De Kuil te baggeren om zodoende de blauwalgenbloei in de toekomst te voorkomen.

1.1. Geschiedenis 1992-2005

In dit deel volgt een korte beschrijving van:
1. de hydromorfologische ingrepen die vanaf 1992 in De Kuil hebben plaatsgevonden;
2. de bevindingen van verschillende studies die in het verleden hebben plaatsgevonden.

1.1.1. Plaatsing van twee watermengers

De Kuil is een voormalige zandwinput, gegraven in de jaren '50-'60 voor de aanleg van de A16. De plas heeft al jaren een zwemwaterfunctie en wordt tevens als (sport)visplas gebruikt.

Vanaf 1992 deden zich problemen voor met de cyanobacterie *Planktothrix (Oscillatoria) rubescens* die met name wordt aangetroffen in stratificerende meren. Er werd onderzoek uitgevoerd om het probleem te analyseren en mogelijk op te lossen [lit. 1]. In het onderzoeksrapport worden vier mogelijke oplossingen beschreven:
- het plaatsen van watermengers;
- verondieping van de plas;
- het plaatsen van afscheidingsschermen;
- installeren van een 'gasvacuole crusher'.

Uiteindelijk zijn in 1997 twee windgedreven watermengers geplaatst om stratificatie tegen te gaan (destratificatie). Door het water te mengen zou de spronglaag worden opgeheven en worden blauwalgen door de waterkolom gemengd. Hierdoor worden zij geconfronteerd met een beperkte beschikbaarheid van licht (limitatie), waardoor celdichtheden in potentie zouden moeten afnemen.

1.1.2. Afsluiting van de noordsloot

Tot 1995 kende De Kuil nog twee aanvoerpunten: de noord- en zuidsloot. In 1994 is geadviseerd [lit. 2] de wateraanvoer vanuit de noordsloot af te sluiten door een duiker met terugslagklep te plaatsen (Bijlage I). De noordsloot werd ondermeer gevoed door nutriëntrijk water afkomstig uit agrarisch gebied. De afsluiting vond plaats in 1995. Deze maatregel is destijds niet zozeer genomen om *P. rubescens* tegen te gaan, maar om potentiële eutrofiering en bacteriologische verontreiniging te voorkomen, dan wel tegen te gaan. Met de afsluiting van de noordsloot werd de zorg uitgesproken over het zomerwaterpeil. Men berekende dat het waterpeil in de zomermaanden kon dalen met 19 cm [lit. 2]. Als mogelijke oplossing werd voorgesteld om het waterpeil in de winter zo hoog mogelijk te houden door het conserveren van regenwater.

1.1.3. Effectiviteit van de mengers

In meerdere rapporten [onder andere lit. 3, 4, 5] wordt de effectiviteit van de mengers besproken. Voor de plaatsing van de twee mengers werd gesuggereerd dat deze een nadelig effect op de P-gehaltes van de waterkolom zouden kunnen hebben door vermenging van hypo- en epilimnion [lit. 1]. In [lit. 3] wordt dit bestreden en geconcludeerd dat met de komst van de mengers, de fosfaatconcentratie in de

waterlaag niet is toegenomen. Sinds het plaatsen van de mengers trad tot in 1998 (en zelfs tot 2000) geen problematische blauwalgenbloei meer op. Een direct verband met de mengers kon echter niet worden gelegd [lit. 3].

Koeman en Bijkerk [lit. 4] constateren in 1998 dat de biomassa fytoplankton na plaatsing van de mengers is toegenomen ten opzichte van 1994. Daarbij lijkt op basis van fysisch-chemische metingen (onder andere temperatuur, fosfaat) geen effectieve menging van de waterkolom op te treden, waardoor stratificatie nog steeds plaatsvindt. De mengers blijken met zonnige, warme en vaak windstille dagen minder goed te werken. Terwijl de waterkolom juist onder deze omstandigheden, die gunstig zijn voor de ontwikkeling van blauwalgen, goed gemengd zou moeten worden. Er lijkt met de komst van de mengers een situatie te zijn ontstaan van afwisselende periodes van stratificatie en menging (partiële stratificatie).

In 1999 wordt geconstateerd [lit. 5] dat de voorjaarsbloeien van 1994-1999 steeds minder omvangrijk geworden zijn, wat kan wijzen op een afnemende voedselrijkdom van De Kuil. Dit is in ieder geval in overeenstemming met de dalende trend van stikstof- en fosfaatgehaltes. De hoeveelheid fytoplankton was in 1999 lager dan in 1997 maar nog steeds hoger dan in 1994.

Vanaf 1999 werd de veroorzaker van de blauwalgenbloei van 1993 en 1994 *Plankthothrix rubescens* niet meer aangetroffen.

1.1.4. Demping van De Kuil met zeezand

Omdat De Kuil in 2001 gedeeltelijk gedempt moet worden in verband met de verlegging en verbreding van de A16 [lit. 6], worden mogelijke gevolgen van de demping in kaart gebracht [lit. 7]. Het voornemen bestaat om De Kuil met (ontzilt) zeezand te dempen.

Gebruikmakend van het model WINDUFLOW is onderzocht wat mogelijke gevolgen van de demping zouden kunnen zijn [lit. 7]. De aandacht ging hierbij met name uit naar fosfaat en chloride. Er zijn twee mogelijke scenario's doorlopen, waarbij De Kuil gedempt zou worden (1) zonder afscherming van de stortplaats en (2) met afscherming. Beide scenario's beschrijven een toename van chloride en fosfaatconcentraties, maar in scenario 1 zou deze vele malen hoger zijn dan in scenario 2.

Scenario 1 Cl : 222 mg/l en P 6-7 mg/l;
Scenario 2 Cl : 15 mg/l (81 mg/l piekconcentratie) en P 0,06 mg/l (piekconcentratie 0,5 mg/l).

Het volume van de plas zou na demping afnemen van 845.000 tot 625.000 m^3, een reductie van circa 25 %. De demping zou daarbij tot gevolg hebben dat De Kuil meer geïsoleerd zou raken, door de gelijktijdige demping en afsluiting van de zuidsloot,. De verblijftijd van het water zou hierdoor toenemen tot ongeveer 16 jaar en voortaan bepaald worden door neerslag, verdamping en kwel.

Het ontzilte zeezand is destijds door de provincie Noord-Brabant gekeurd in verband met het Bouwstoffenbesluit. Resultaten:
- Cl 150-160 mg/kg ds;
- totaal S 68-74 mg/kg ds;
- totaal P 110 mg/kg ds.

Voor de demping heeft er een onderzoek plaatsgevonden naar het slib dat zich langs de noordoostelijke oever bevond [lit. 11]. Hier lag op verschillende locaties een 20 cm dikke sliblaag, waaronder zand en op 1 locatie klei werd aangetroffen. Uit de slibklasse bepaling bleek het hier te gaan om klasse II slib. Het totaal P gehalte van het slib bleek 430 mg P/kg ds. Het slib is niet verwijderd voor het storten van het zeezand.

In 2001 is De Kuil uiteindelijk gedempt (met afscherming van de stortplaats, scenario 2), waarna een oeverbescherming van stortstenen (kalksteen) langs de oostelijke oever is aangebracht. Ook de stortstenen zijn verschillende malen onderzocht (Bouwstoffenbesluit), ondermeer op uitloging en diffusie van verschillende stoffen. Sulfaat en chloride bleken kritische stoffen te zijn waarvan het transport grotendeels bepaald werd door diffusiemechanismen [lit. 9, 10].

In 2001 trad ook een verslechtering van de waterkwaliteit (m.n. bacteriologische verontreiniging) op in De Kuil . Om een eventuele relatie met de demping te kunnen leggen werd een onderzoek uitgevoerd [lit. 12]. Uit het onderzoek bleek dat de chlorideconcentraties in het oppervlaktewater waren gestegen, nutriëntengehaltes weinig veranderd waren en bacteriologische verontreiniging sterk samenhing met de zwemmersdichtheden.

1.1.5. Verschuiving van blauwalgensoorten

Blauwalgenbloei trad weer op in de jaren 2002, 2003, 2004 en 2005. Het meest recente onderzoek aan De Kuil in verband met het voorkomen van blauwalgenbloei heeft plaatsgevonden in 2005 [lit. 13]. Er bleek in de tijd een verschuiving in blauwalgensoorten te zijn opgetreden. In 1993 waren er bloeien van *Planktothrix (Oscillatoria) rubescens*, daarna kortstondige bloeien van *Microcystis sp* gevolgd door bloeien van *Anabaena planctonica* in 2003 en 2004. Deze laatste soorten zijn niet kenmerkend voor stratificerende meren. *Anabaena planctonica* is echter wel in tegenstelling tot de andere twee soorten een stikstoffixeerder.

Uit de verhouding chlorofyl-a:fosfaat (Chla:P) kan worden afgeleid of de productie van algenbiomassa in verhouding staat tot de voedselrijkdom en omgekeerd. Koeman en Bijkerk [lit. 13] hebben voor De Kuil een verhouding van 0,735 mg:mg berekend. Bij nadere analyse van chloroafyl-a waarden en fosfaatconcentraties van 2000-2004 blijkt dat de verhouding in een aantal gevallen overschreden wordt. Dat wil zeggen dat de situatie is voorgekomen dat er meer chlorofyl (algenbiomassa) aanwezig was dan op grond van de gemeten fosfaatconcentratie zou worden verwacht. Concreet betekent dit dat in de nazomers van 2001 en 2004 de biomassa van algen mogelijk gefaciliteerd werd door een hoger gehalte aan nutriënten (fosfaat). Hierbij werd gedacht aan nutriënten uit diepere delen van de waterkolom of uit het sediment.

In 2004 volgde een toename van blauwalgen na een periode van hoge graasdruk door Daphnia's (watervlooien) in april-mei. Deze graasdruk ging gepaard met een sterke daling van de chlorofyl-a:P verhouding en een toename van het doorzicht. In de periode van eind mei tot begin juni begon de blauwalgenbloei. In de zoöplankton monsters werden geen Daphnia's meer aangetroffen en ook vrijwel geen andere watervlooien. Vanaf eind mei steeg de watertemperatuur en nam de N:P ratio af van 40 tot 20. Bij een N:P verhouding groter dan 29 is de kans op blauwalgenbloei klein, terwijl bij een N:P ratio van 5-10 de kans op dominantie van blauwalgen sterk toeneemt.

In augustus volgde wederom een toename van blauwalgen, maar deze werden effectief begraasd door Bosmina's (watervlooien). Vervolgens trad bloei van *Anabaena* op in een periode dat de fosfaatconcentratie (totaal P) net iets hoger was dan in de vorige maanden en anorganisch stikstof net beneden de detectielimiet lag. In september volgt een piek van chlorofyl-a door een onverklaarbare stijging van de fosfaatconcentratie (totaal P 0,1 mg/l = 3,2 μmol/l). Koeman en Bijkerk (2005): *'Opvallend zijn de fosfaatpieken die zich nu en dan in de zomer voordoen. Deze gaan gepaard met chlorofyl-a pieken'.*

1.1.6. Samenvattend

In deze korte beschrijving van de geschiedenis van De Kuil vallen een aantal zaken op:

- de geohydromorfologie van De Kuil is tussen 1992 en 2006 sterk veranderd;
- de watermengers lijken geen langdurige volledige destratificatie te (kunnen) bewerkstelligen;
- na plaatsing van de watermengers treden nog steeds blauwalgenbloeien op;
- er heeft een verschuiving in dominerende blauwalgensoorten plaatsgevonden;

- af en toe vindt er een plotselinge (onverklaarbare) stijging van de fosfaatconcentratie in de waterkolom plaats;
- het onderzoek heeft zich sterk geconcentreerd op de kwaliteit van het oppervlaktewater en de processen die daar plaatsvinden.

2. GEBIEDSBESCHRIJVING

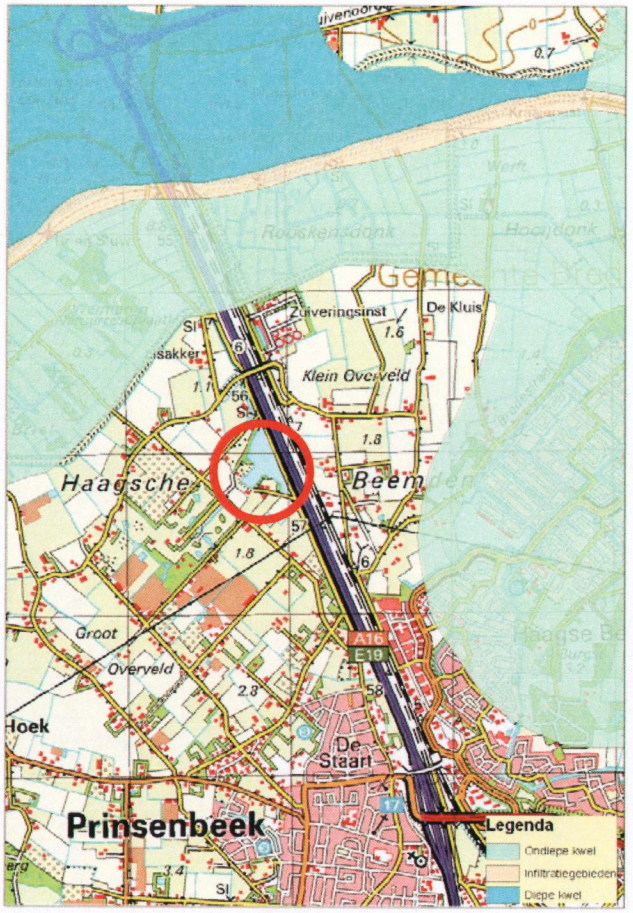
De Kuil is gelegen aan de Nieuwveerweg, een ventweg die parallel aan de A16 loopt (afbeelding 2.1.). Deze weg ligt langs de gehele oostzijde van de recreatieplas. Aan de noordwest oever ligt langs de noordpunt een fiets/wandelpad. Naar het westen toe, richting het zwemgedeelte, zijn verschillende vrijstaande woningen gelegen. In de westpunt ligt het door boeien gemarkeerde zwemgedeelte. Deze is geheel voorzien van houten beschoeiing. Aan het zwemgedeelte ligt tevens een rustweide. De ingang van het zwemgedeelte ligt aan de Weimersedreef.

Meer naar het zuiden toe staan vrijstaande woningen en loopt een smalle weg (de randweg) die uitkomt op de Weimersedreef.

In de zuidpunt ligt een verharde plaats om boten te water te laten. In zuidelijke richting liggen verschillende weilanden, die op het moment van bemonsteren leeg waren. Afwezigheid van grote stallen doet vermoeden dat hier geen sprake is van grootschalige intensieve veehouderij. Ten noorden van De Kuil liggen ook nog enkele weilanden.

In de noordpunt bevindt zich een duiker met terugslagklep die dient voor afwatering op de noordsloot. Ten zuiden van De Kuil liggen ook enkele sloten, maar deze staan niet in verbinding met De Kuil . De Kuil is daarmee een geïsoleerde plas die hoofdzakelijk gevoed wordt door neerslag.

Afbeelding 2.1. Locatie De Kuil , Prinsenbeek. Op deze kaart zijn ook de kwelgebieden aangegeven. In lichtgroen de ondiepe kwel en donkerblauw de diepe kwel. De gebieden worden gescheiden door een infiltratiegebied (geel)



waterlichaam	oppervlak (ha)	volume (m^3)	max. diepte (m)
De Kuil	8	+/- 625.000	+/- 8

2.1. Oevers

Vrijwel alle oevers zijn voorzien van houten oeverbescherming. Langs de gehele oostzijde is een stenen oeververdediging aanwezig in de vorm van stortstenen (kalksteen). Er zijn hierdoor geen natuurlijke geleidelijke overgangen tussen land en water. Langs het merendeel van de oevers ligt een strook van circa 2-3 meter breed en ongeveer 0,5 tot 2 meter diep. Langs de oevers staan veel bomen en struiken, waaronder wilgen, elzen, eiken en beuken. Op verschillende plaatsen staat een smalle rietkraag. Waargenomen oeverplanten zijn ondermeer riet, grote egelskop, wolfspoot, kattenstaart, veenwortel en gele lis.

2.2. Waterplanten en waterdiepte

De ondiepere strook die langs de oevers loopt staat vol met waterplanten, waaronder verschillende fonteinkruiden, maar vooral veel waterpest. Het water tussen de dichte begroeiing van waterplanten is zeer helder (geschat doorzicht 3,5 m). Op veel plaatsen langs de oostelijke oever werd flab (floating algal beds) aangetroffen.

De overgang van de ondiepere zone langs de oever naar meer centraal gelegen, is erg scherp. Binnen een afstand van enkele meters neemt de diepte met 3-4 meter toe, van 2 tot 5-6 meter waterdiepte.

Afbeelding 2.2. Overzicht van De Kuil . In het midden van de plas bevinden zich twee mengers omringd met boeien (foto Witteveen+Bos)

3. BODEMONDERZOEK

3.1. Aanpak, resultaten bodemprofielen

Op 19 juni 2006 hebben bodem- en visstandbemonstering plaatsgevonden (afbeelding 3.1., 4.1. en 5.6.). Op verschillende locaties (zie bijlage I) is het bodemprofiel beschreven en bodemmateriaal verzameld. De monsterlocaties zijn bepaald door De Kuil strategisch te bemonsteren en te anticiperen op de profielen die werden aangetroffen.

Na een aantal metingen bleek op de meeste locaties een zeer homogeen bodemprofiel voor te komen, bestaande uit matig grof zand (zie bijlage II met de boorprofielen). Dit kwam niet overeen met de verwachting veel slib en meerdere typen bodemlagen aan te treffen. In plassen vindt slibophoping plaats in diepe delen, delen die in het verlengde van de windrichting liggen (bijvoorbeeld de hoeken) en delen die in de luwte liggen. Deze potentiële plaatsen voor slibophoping, zijn in De Kuil bezocht en bemonsterd.

In het midden van de plas, ter hoogte van de watermengers bevindt zich een diepe geul van variërend 4-7 meter diep. Het diepste punt werd vastgesteld op 8,20 meter. Op dit punt is de bodem met een bodemhapper bemonsterd. Het bodemtype dat hier werd aangetroffen bestond wederom uit zand. De grijzige kleur van dit zand doet vermoeden dat deze toch een kleine organische fractie bevat.

Langs de oevers (en in de hoeken) ligt een zandige bodem met hier en daar wat grof organisch materiaal (blad en takken). Dit is vanaf de oevers goed waar te nemen vanwege het goede doorzicht in deze zone.

De enige locatie waar meer dan 1 cm slib werd aangetroffen, namelijk 10 cm, was nabij de inlaatplaats voor de boot (zuidhoek). Hier werd een bodemprofiel van slib – zand - kleiig slib - zand aangetroffen.

De in De Kuil aangetroffen bodemtypen op een rij:
- (zee)zand;
- slib (sapropelium);
- afgedekt slib (kleiig slib met gasbelletjes, dat wijst op gasvorming door afbraakprocessen);
- veen (grof venig materiaal werd aangetroffen onder een laag zand in het zwemgedeelte);
- grof zand – grind.

3.1.1. Samenvattend

Op basis van het veldbezoek en de bodembemonstering blijkt dat:
- het bodemprofiel van De Kuil hoofdzakelijk uit zand bestaat;
- de totale slibvoorraad zeer klein is en
- het beperkt aanwezige slib in kleine hoeveelheden over de plas verspreid ligt.

3.2. Chemische analyses

De verzamelde bodemmonsters zijn geanalyseerd op verschillende parameters. De belangrijkste met betrekking tot de beschikbaarheid van fosfaat (P) zijn ijzer (Fe) en sulfaat (S). In tabel 3.1. zijn de resultaten van deze bemonstering weergegeven.

Bodemmonster 1 bestond uit zeer ver afgebroken slib (sapropelium). Dit monster bevat een aanzienlijke hoeveelheid fosfaat. Waarschijnlijk is een groot deel hiervan gebonden aan ijzer, dat in een aanzienlijke hoeveelheid aanwezig is. Er blijkt ongeveer twee keer zoveel zwavel dan fosfaat aan de bodem gebonden te zijn.

Tabel 3.1. Resultaten analyse bodem en interstitieel bodemvocht (poriewater)

bodemmonster	tot P mg/kg ds	tot S mg/kg ds	Fe mg/kg ds	Fe:P mg:mg
1 (slib)	1490	3500	28000	19
2 (slib)	170	850	4200	25
3 (slib)	330	3000	11000	33
4 (zand)	240	1400	7200	30
5 (slib)	530	1100	7600	14
6 (veen)	110	3800	6200	56
7 (zand)	110	290	1800	16
8 (zand)	380	1100	11000	29
bodemvocht	**tot P mg/l**	**tot S mg/l**	**Fe mg/l**	**Cl mg/l**
freatisch grondwater (jun-sept 2006)	0,01	37,5	0,24	6
bodemvocht locatie 1 (slib)	0,48		15	
bodemvocht locatie 2 (zand)	0,2		1,5	
bodemmonster	**tot P mmol**	**tot S mmol**	**Fe mmol**	**(Fe-S):P mol:mol**
1 (slib)	48,11	102,67	501,34	8
2 (slib)	5,49	24,93	75,20	9
3 (slib)	10,66	88,00	196,96	10
4 (zand)	7,75	41,07	128,92	11
5 (slib)	17,11	32,27	136,08	6
6 (veen)	3,55	111,47	111,01	0
7 (zand)	3,55	8,51	32,23	7
8 (zand)	12,27	32,27	196,96	13
bodemvocht	**tot P µmol/l**	**tot S µmol/l**	**Fe µmol/l**	**Fe:P (mol:mol)**
freatisch grondwater (jun-sept 2006)	0,32	390,3	4,3	13,4
bodemvocht locatie 1 (slib)	15,50		268,58	17
bodemvocht locatie 2 (zand)	6,46		26,86	4,3

De overige bodemmonsters bevatten aanzienlijk minder fosfaat en in de meeste gevallen een behoorlijke hoeveelheid ijzer, wat gunstig is voor de fosfaatbinding. Het betreft hier veelal zandige monsters.

Met slibmonster 1 zijn twee fosfaat extracties uitgevoerd. De Olsen-P en Lactaat-Acetaat-extracties geven een goede indicatie van de (bio)beschikbaarheid van fosfaat voor primaire productie. Het Olsen-P gehalte bedraagt 36,8 mg/kg, de P-Al 1090 mg P_2O_5/ kg ds, beide hoge waarden. De hoge P-Al waarde geeft aan dat er een relatief groot deel van het fosfaat geïmmobiliseerd is door binding aan calcium. Ter vergelijking: in oevers van oligotrofe (voedselarme) vennen worden Olsen-P waarden van 7 mg/kg gemeten, een factor 5 lager dan de waarden van slibmonster 1.

interstitieel bodemvocht

Op twee locaties is interstitieel bodemvocht (poriewater) verzameld (afbeelding 3.1.). Het bodemvocht dat is verzameld rook sterk naar rotte eieren, hetgeen duidt op waterstofsulfide ($H_2S_{(g)}$) ontwikkeling als gevolg van sulfaatreductie. Dit is meestal een indicatie dat ijzerbinding van fosfaat geen noemenswaardige rol speelt, oftewel dat het in de bodem aanwezige fosfaat mobiel is.

De fosfaatconcentraties in het interstitieel bodemvocht blijken na analyse desondanks relatief laag. De concentratie en verhouding tussen ijzer en fosfaat in het bodemvocht geeft een goede indicatie van de beschikbaarheid van fosfaat. Afgaande op alleen de Fe:P ratio lijken de omstandigheden toch gunstig

te zijn voor effectieve fosfaatbinding. Een Fe:P (mol:mol) ratio van 1 is minimaal voor een effectieve binding, een ratio van >10 optimaal.

Afbeelding 3.1. Lysimeters aan de zuidoever van De Kuil (foto Witteveen+Bos)

3.2.1. Samenvattend

Op basis van de chemische analyses blijkt dat:

- er een beperkte hoeveelheid fosfaat in de waterbodem aanwezig is, die in het slib het grootst is;
- het fosfaat waarschijnlijk behoorlijk mobiel en biologisch beschikbaar is, getuige de extractiewaarden en de H_2S-geur van de bodem, hetgeen er op duidt dat binding van fosfaat aan ijzer slechts een beperkte rol speelt.

4. VISSTANDONDERZOEK

De visstandbemonstering bestond uit twee delen: het elektro- en het zegenvissen. Het elektrovissen heeft overdag plaatsgevonden (afbeelding 4.1.). Hierbij is de gehele oever bemonsterd, die onbereikbaar is voor zegenvisserij. De vangst was klein en bestond uit paling, baars en kleine modderkruiper. De zegenvisserij heeft in de avond en nacht plaatsgevonden.

Het totale visbestand wordt geraamd op 39 kilogram per hectare (tabel 4.1.). Er zijn in totaal 9 verschillende soorten gevangen. In biomassa zijn voornamelijk baars (26 %), paling (25 %) en brasem (24 %) gevangen. Ongeveer 98 % van het aantal gevangen vissen is 0+ baars.

Tabel 4.1. Schatting van het visbestand in De Kuil (kg/ha)

		Totaal	0+	>0+-15	16-25	26-40	>=41
Eurytoop	Baars	10,3	7,6	1,1	0,6	0,3	0,7
	Brasem	9,2	-	-	-	-	9,2
	Blankvoorn	0,6	-	0,4	-	0,2	-
	Karper	4,7	-	-	-	-	4,7
	Aal/Paling	9,7	-	-	0,1	1,4	8,2
	Pos	0,0	0,0	-	-	-	
	Kleine Modderkruiper	0,0	-	0,0	-	-	-
Limnofiel	Zeelt	1,4	-	-	-	-	1,4
Subtotaal		35,9					
			0 - 15	16 - 35	36 - 44	45 - 54	>=55
Limnofiel	Snoek	3,2					3,2
Totaal		39,1					

0,0 = < 0,05 kg/ha, - = niet aangetroffen

Tabel 4.2. Schatting van het visbestand in De Kuil (n/ha)

		Totaal	0+	>0+-15	16-25	26-40	>=41
Eurytoop	Baars	9.120	9.045	65	8	1	1
	Brasem	3	-	-	-	-	3
	Blankvoorn	20	-	19	-	1	-
	Karper	1	-	-	-	-	1
	Aal/Paling	51	-	-	3	21	27
	Pos	1	1	-	-	-	-
	Kleine Modderkruiper	2	-	2	-	-	-
Limnofiel	Zeelt	1	-	-	-	-	1
Subtotaal		9.199	9.046	86	11	23	33
			0 - 15	16 - 35	36 - 44	45 - 54	>=55
Limnofiel	Snoek	2					2
Totaal		9.198					

- = niet aangetroffen

Het visbestand bestaat voornamelijk uit eurytope soorten waarvan een relatief hoge biomassa bestaat uit brasem >41 cm en karper >41 cm (totaal 14 kg/ha, 36 %). Dit zijn benthivore vissen die door het omwoelen van de bodem nutriënten kunnen vrijmaken en het water troebel kunnen maken. De bodem van De Kuil bestaat echter voornamelijk uit zand wat snel weer naar de bodem zakt. Tevens is een totale biomassa aan bodemwoelende vis van 14 kg/ha weinig. Dat opwoeling door vis vermoedelijk een kleine rol speelt blijkt ook uit het grote doorzicht van meer dan 3 meter.

Er is alleen 0+ vis van baars (baarsbroed) gevangen. Dit zou twee redenen kunnen hebben. Ofwel er is nog geen andere 0+ vis aanwezig omdat de bemonstering vroeg in het seizoen is uitgevoerd, ofwel de

0+ vis van andere vissoorten is in het geheel niet aanwezig. Dit laatste wordt ondersteund door de leeftijd (lengte) opbouw van de vispopulatie: van brasem en karper zijn alleen grote exemplaren aanwezig.

De opbouw van de baarspopulatie is kenmerkend voor nutriëntarme omstandigheden.

Afbeelding 4.1. Electrovissen langs de oevers van De Kuil (foto Witteveen+Bos)

4.1. Samenvattend

In De Kuil is een zeer beperkte hoeveelheid vis aanwezig welke duidt op weinig productief water. De invloed van de visstand op de waterkwaliteit van De Kuil wordt verwaarloosbaar geacht.

5. OVERZICHT METINGEN WATERKWALITEIT 1993-2006

De waterkwaliteit wordt sinds lange tijd in De Kuil gemonitord Om de huidige situatie beter te kunnen begrijpen zijn de waterkwaliteitsgegevens van 1993-2006 bestudeerd. In het volgende worden relevante waterkwaliteitsparameters puntsgewijs besproken.

5.1. pH

De pH van het oppervlaktewater van De Kuil is relatief hoog, gemiddeld tussen de 7-8 met regelmatige uitschieters naar pH 9-10. De uitschieters hangen vermoedelijk sterk samen met de fotosynthetische activiteit van fytoplankton en ook hetzij in mindere mate van macrofyten. Bij hoge fotosynthetische activiteit wordt veel CO_2 geconsumeerd, waardoor het koolzuurevenwicht verschuift in de richting van HCO_3^- en de pH stijgt.

Opvallend is de lage pH van het (freatisch) grondwater, tussen de pH 5-6. Dit gaat gepaard met een lage alkaliniteit (buffercapaciteit) van het grondwater dat hoofdzakelijk wordt bepaald door de hoeveelheid bicarbonaat (HCO_3^-).

Koolzuurevenwicht: $CO_{2\,(aq)} + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow CO_3^{2-} + 2\,H^+$.

5.2. Electrisch Geleidings Vermogen (EGV)

Het EGV schommelde voor 2001 tussen de 0,5-0,6 mS/cm, kenmerkend voor zoete electrolytenrijke oppervlakte wateren. Na de demping in 2001 zijn deze waarden gestegen tot 0,9-1 mS/cm. Meer dan 1 mS/cm is kenmerkend voor (zwak) brakke en zeer electrolytenrijke wateren. In 2003 werden af en toe waarden van 1,1 mS/cm bereikt. Het EGV wordt grotendeels bepaald door de concentratie chlorideionen, hetgeen verklaard waarom het EGV na de demping sterk is toegenomen. In 2006 werd 0,96 mS/cm gemeten.

Het grondwater (peilbuis) heeft ter vergelijking een EGV van 0,2 mS/cm. Het omringende water (sloten) heeft een EGV van 0,5-0,6 mS/cm, vergelijkbaar met de situatie in De Kuil van voor de demping.

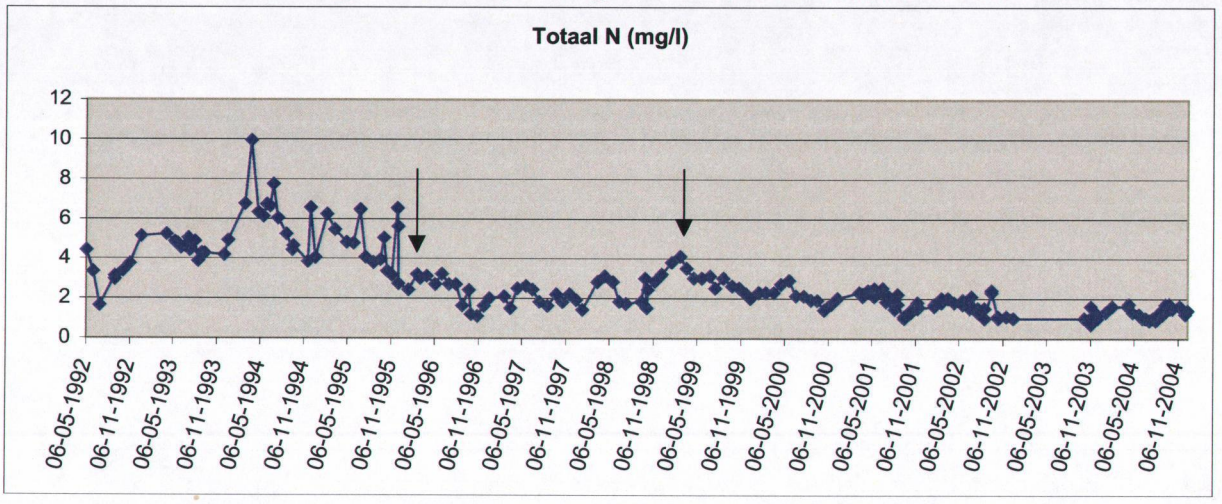
5.3. Doorzicht

Het doorzicht in De Kuil is in de tijd alleen maar toegenomen van 1-1,5 meter in de jaren '90 tot zelfs 3,5 meter doorzicht in 2006. Voordat de aanvoer van nutriëntrijk water vanuit de Noordsloot werd stopgezet beperkten een sterkere fytoplankton ontwikkeling en wellicht de aanvoer van zwevend stof vermoedelijk het doorzicht. In de periode na de partiële demping nam het doorzicht iets af maar herstelde en verbeterde zich weer in 2002. Het huidige doorzicht is 3,5 m.

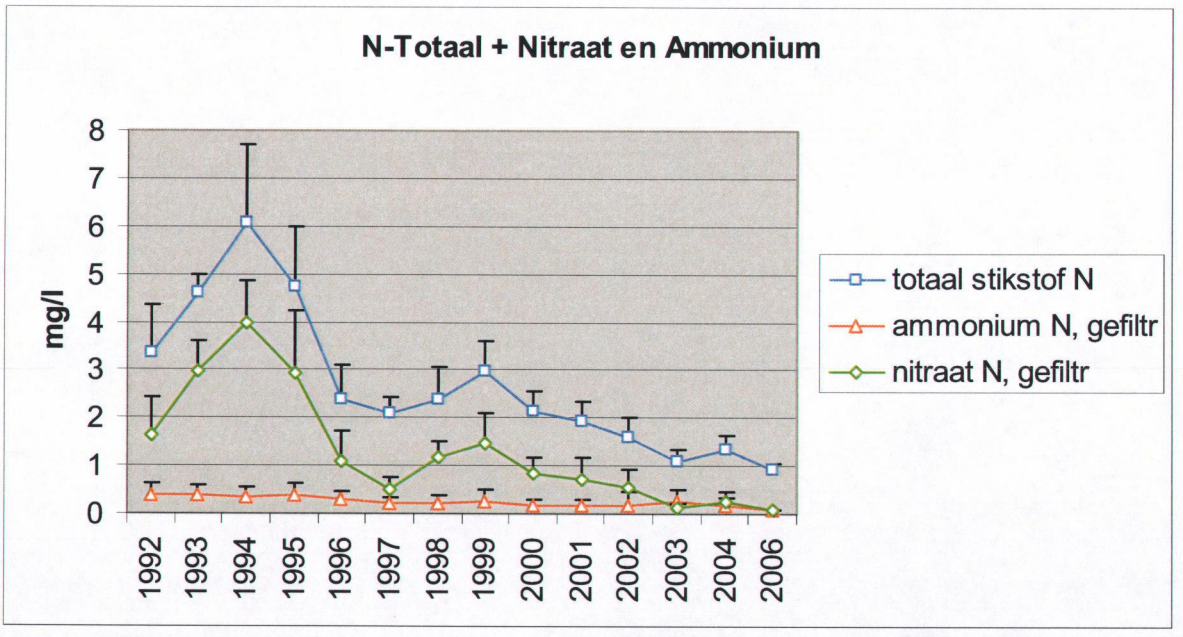
5.4. Stikstof

Van 1992 tot 2006 vertonen de stikstofconcentraties in de waterlaag een dalende trend, van gemiddeld 5 mg/l tot in 2006 onder de 1 mg/l (afbeelding 5.1.). Het omslagpunt voor totaal stikstof ligt in de winter van eind 1995. In deze periode is de watertoevoer vanuit de noordsloot beëindigd. In de winter van 1998-1999 loopt de concentratie nog 1 keer op, maar daarna is de dalende trend gezet tot en met 2006. Het stikstof dat in de waterkolom aanwezig is bestaat grotendeels uit organisch stikstof (N-kjeldahl). Uit afbeelding 5.2. blijkt dat de daling van stikstofconcentraties voor een groot deel is toe te schrijven aan een daling van nitraatconcentraties. In 2006 blijken nitraat en ammoniumconcentraties laag (0,1-5 µmol/l).

Afbeelding 5.1. Totaal stikstof concentratie van het oppervlaktewater van De Kuil in mg/l. De eerste pijl geeft het omslagpunt aan, waar de daling van de N-concentratie werd ingezet na stopzetting van de toevoer vanuit de Noordsloot



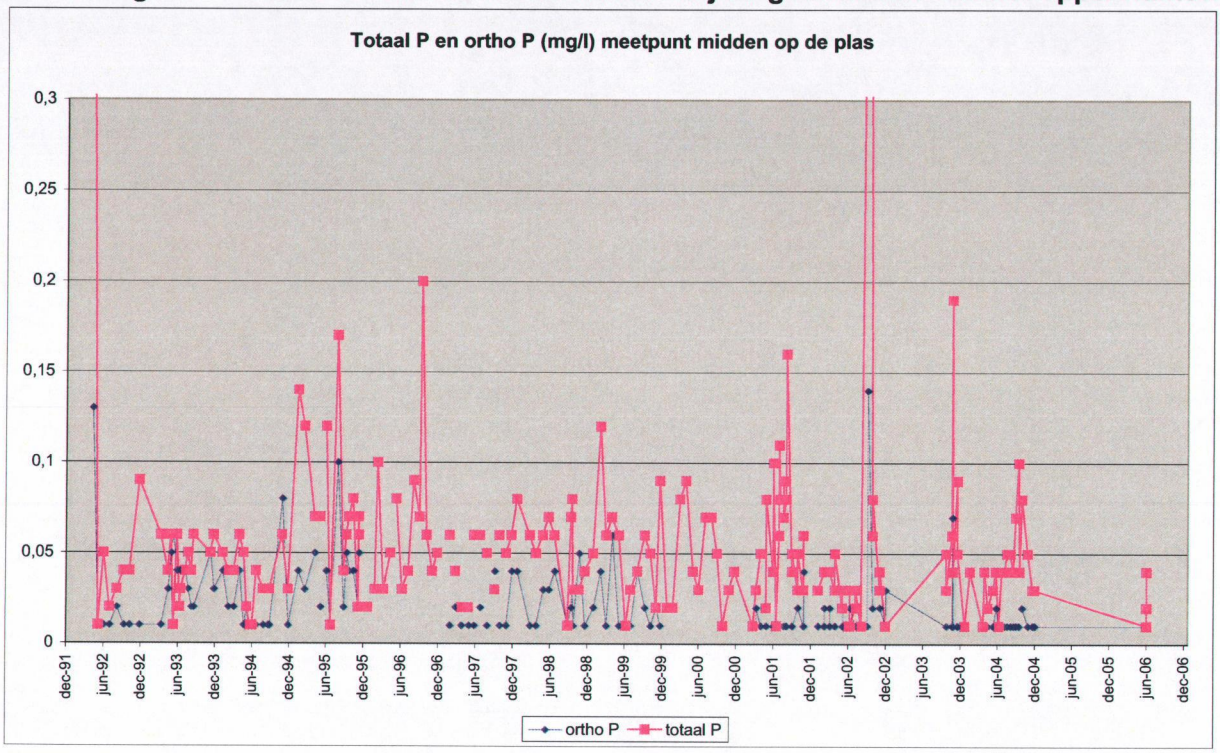
Afbeelding 5.2. N-totaal, nitraat en ammonium (jaargemiddelde)



5.5. Fosfaat

De fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater van De Kuil schommelen in de tijd (afbeelding 5.3.). Er worden veelal betrekkelijk lage concentraties (rond 0,05 mg/l) gemeten, maar incidenteel zijn er uitschieters van meer dan 0,1 mg/l. Bij dergelijke concentraties kunnen flinke algenbloeien optreden (het maximale chlorofyl-a gehalte van blauwalgen bedraagt bij 0,1 mg totaal-P/l 160 µg/l). Ortho-P is regelmatig in meetbare concentraties aanwezig, hetgeen erop duidt dat P niet altijd limiterend is. N-limitatie werkt in het voordeel van blauwalgen als *Anabaena*, die in tegenstelling tot groenalgen stikstof uit de lucht kan opnemen.

Afbeelding 5.3. Totaal fosfaat: zomer en winterhalfjaar gemiddelde van het oppervlaktewater



5.6. Bicarbonaat

In de jaren '90 was de bicarbonaatconcentratie circa 80 mg/l (1,3 meq/l) typerend voor zachte tot matig harde wateren. In de periode tussen 1993 en 2004 zijn geen gegevens bekend. In 2004 werden er veel hogere concentraties gemeten van 160 mg/l (2,6 meq/l), een duidelijke verharding (alkalinisering) van het water. Alkalinisering kan ondermeer een gevolg zijn van reductieprocessen waaronder sulfaatreductie.

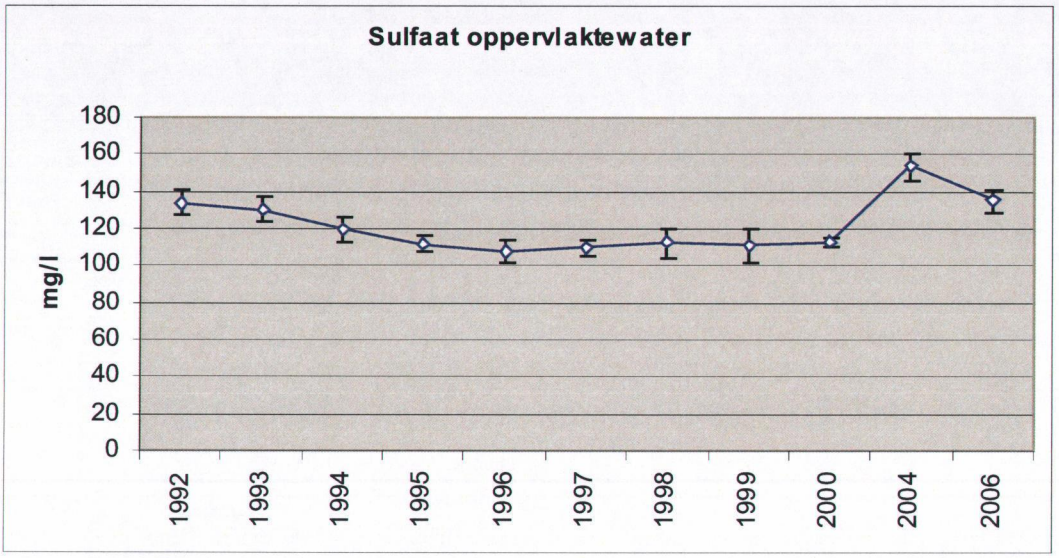
Het grondwater heeft zoals eerder gezegd een veel lagere bicarbonaatconcentratie (35-40 mg/l). Het in het oppervlaktewater aanwezige bicarbonaat wordt dus zoals het nu lijkt niet aangevoerd door grond(kwel)water.

5.7. Zwavel

Helaas ontbreken er in de meetserie 1990-2006 wat meetgegevens van sulfaat. Sulfaatconcentraties in de waterlaag tussen 1990-1995 zijn met 130 mg/l (1,3 mmol/l) relatief hoog te noemen (afbeelding 5.4.). Na de afsluiting van de Noordsloot dalen de concentraties tot 100-110 mg/l. Na de demping in 2001 worden er in 2004-2006 sulfaatwaarden van 150 mg/l (1,5 mmol/l) gemeten. Dit kan verklaard worden door de invloed van het zeezand dat hoge gehaltes sulfaat bevat. In het grondwater worden in 2004 relatief lage sulfaatgehalten gemeten van 40 mg/l (0,4 mmol/l).

De concentraties sulfaat in De Kuil zijn vergelijkbaar met de sulfaatconcentratie in de omringende sloten. Dit is een sterke aanwijzing dat de sulfaatconcentratie in De Kuil bepaald werd door de aanvoer via sloten.

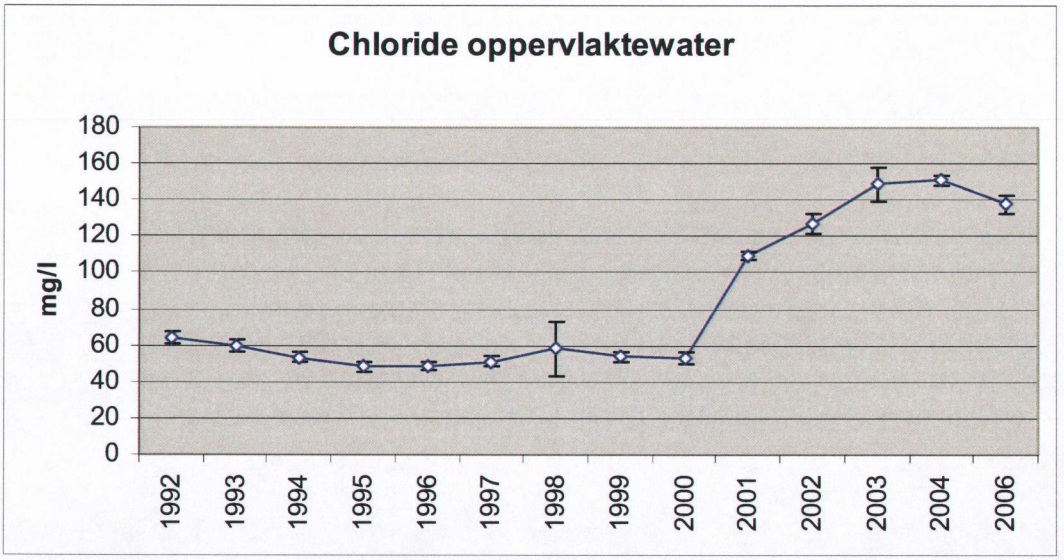
Afbeelding 5.4. Gemiddelde sulfaatconcentratie van het oppervlaktewater 1992-2006



5.8. Chloride

In het verloop van de chlorideconcentratie wordt de demping van De Kuil duidelijk zichtbaar (afbeelding 5.5.). In de periode van 1992-1995 zijn de chloride concentraties tussen de 40-60 mg/l. Vanaf de demping in 2001 lopen deze echter op tot 130-160 mg/l (brak water v.a. 300 mg/l). De laatste meting in 2006 gaf een concentratie van 130 mg/l. In de peilbuis worden veel lagere chloridegehaltes gevonden, 40-50 mg/l.

Afbeelding 5.5. Gemiddelde chlorideconcentratie van het oppervlaktewater 1992-2006



5.9. IJzer

IJzerconcentraties in het oppervlaktewater zijn doorgaans laag, omdat ijzer in geoxideerde toestand neerslaat. Vaak binden andere stoffen aan de ijzervlokken en slaan gelijktijdig neer (bijvoorbeeld coprecipitatie met fosfaat).

Het is dus niet vreemd in het oppervlaktewater van De Kuil lage concentraties ijzer te vinden. Deze variëren in de tijd van 0,1-0,15 mg/l (1,5-2,5 μmol/l). Grondwater kan zeer hoge concentraties opgelost ij-

zer bevatten Het grondwater in De Kuil bevat echter relatief lage concentraties ijzer van 0,12-0,5 mg/l (2,1-8 µmol/l).

5.10. Samenvattend

Op grond van de beschikbare waterkwaliteitsgegeven kan geconcludeerd worden dat:

- De Kuil een plas is met een voor Nederlandse begrippen in het algemeen uitstekende waterkwaliteit;
- ondanks de goede waterkwaliteit de gehalten aan voedingsstoffen hoog genoeg zijn om periodiek algenbloei te veroorzaken;
- de laatste jaren fosfaat periodiek niet limiterend is voor algengroei, maar eerder stikstof, hetgeen in het voordeel is van luchtstikstoffixerende blauwalgen zoals *Anabaena*.

Afbeelding 5.6. Voorbeeld van een bodemprofiel gestoken in De Kuil (foto Witteveen+Bos)

6. OMVANG EXTERNE NUTRIËNTBRONNEN

Teneinde een indicatie te krijgen van de omvang van de externe nutriëntenbelasting zijn de belangrijkste bronnen van fosfaat en stikstof globaal in beeld gebracht en gekwantificeerd. Omdat De Kuil hydrologisch geïsoleerd is er geen aanvoer van nutriënten via oppervlaktewaterstromen zoals sloten. Potentieel belangrijke bronnen van nutriënten voor De Kuil zijn:

- watervogels;
- zwemmers;
- kwel;
- af- en uitspoeling uit omliggende gronden;
- natte en droge depositie;
- visvoer.

6.1. Nutrientenbelasting door recreanten (zwemmers)

Organismen zijn voor het grootste deel opgebouwd uit de macro-elementen C, H, O, N, S en P. Ook de elementen stikstof en fosfor maken deel uit van mens en dier. Zo bevat DNA een relatief grote hoeveelheid fosfaat en bestaan eiwitten voor een belangrijk deel uit stikstof. Tijdens stofwisselingsprocessen worden zowel elementen opgenomen als afscheiden.

Zwemmers dragen bij aan de nutriëntbelasting van wateren [lit. 18, 19]. Tijdens het zwemmen worden allerlei stoffen aan het water afgegeven. Deze afgifte is door Boere (1987) gekwantificeerd [lit. 20]. De basisafgifte bestaat uit zweet, geringe hoeveelheden faeces en urine, huidschilfers en haren. Daarbij komt de extra afscheiding van urine die afhankelijk is van de aanwezigheid van sanitaire voorzieningen.

In tabel 6.1. is de N- en P-belasting door recreanten, voor De Kuil weergegeven.

Tabel 6.1. Afgifte van nutriënten aan het water door zwemmers

jaar	recreanten	P-afgifte per persoon (gr/jr)	gr P/jr	kg P/ha/jr
1999	11997	0,01	119,97	0,015
2001	6755	0,01	67,55	0,008
2003	9975	0,01	99,75	0,012
2004	5615	0,01	56,15	0,007
2005	4671	0,01	46,71	0,006
jaar	**recreanten**	**N-afgifte per persoon (gr/jr)**	**gr N/jr**	**N kg/ha/jr**
1999	11997	0,5	5998,5	0,750
2001	6755	0,5	3377,5	0,422
2003	9975	0,5	4987,5	0,623
2004	5615	0,5	2807,5	0,351
2005	4671	0,5	2335,5	0,292

Toelichting: uitgangspunt alle recreanten zwemmen. Kengetallen: basisafgifte (P: 0,002-0,006 gr/p.p.) (N: 0,2-0,4 gr/p.p.)+10 ml urine bij sanitaire voorzieningen [lit. 18, 19].

6.2. Nutriëntenbelasting door vogels

Ook watervogels vormen een nutriëntenbron omdat zij faeces aan het water afgeven. De verrijking van de trofiegraad door vogeluitwerpselen wordt guanotrofiëring genoemd. Er wordt onderscheid gemaakt tussen vogels die intern en extern geproduceerde nutriënten aan het water toevoegen. Vogels die op de plas foerageren en daar hun uitwerpselen achterlaten voegen netto niets toe aan de nutriëntenbalans. In de praktijk is moeilijk te zeggen waar de vogels hun voedsel vandaan hebben gehaald. Vogels die nutriënten aan het systeem toevoegen zijn watervogels die op het land foerageren en het water gebruiken als rustplaats. Bekende voorbeelden van dit soort vogels zijn meeuwen en ganzen.

Van verschillende jaren is bekend welke vogelsoorten en hoeveel vogels De Kuil bezoeken om te rusten en/of te foerageren. De resultaten van de meest recente vogeltellingen (2005-2006) zijn vergelijkbaar met voorgaande jaren en dienen als uitgangspunt voor de berekening van de nutrientenbelasting door vogels.

In tabel 6.2. zijn de meest voorkomende vogelsoorten weergegeven met bijbehorende kengetallen voor fosfaatbelasting. Bij de berekening is buiten beschouwing gelaten dat de vogels een deel van de tijd op of boven het land doorbrengen en ook daar ontlasting deponeren. Daarbij halen met name de eenden en meerkoeten een groot deel van hun voedsel uit de plas zelf (intern geproduceerd). De verwachting is dan ook dat de weergegeven belasting een overschatting is van de werkelijke belasting.

Tabel 6.2. Fosfaatbelasting door vogels

soort	P-belasting per vogel per jaar [lit. 18, 19]	aantallen	belasting De Kuil (kg/ha/jaar)
wilde eend	0,16	104	2,08
kokmeeuw	0,008-0,14	96	0,096-1,68
meerkoet	0,005-0,16	14	0,009-0,28
totaal			2,19-4,04

De Kuil wijkt wat betreft de aanwezige vogels niet af van andere plassen (Galderse meren, plas Bavel zuid, Emerput en Reeplas) die door de vogelvereniging gemonitord worden (schriftelijke mededeling H. Van Vugt die de vogelgegevens heeft aangeleverd).

6.3. Kwel

In verschillende rapporten [onder andere lit. 2, 7] wordt beschreven dat er in De Kuil niet of nauwelijks sprake zou zijn van kwel. Dit zou onder andere zijn gebleken uit metingen aan verschillende macroionen. Indien het (freatisch) grondwater dat in de peilbuis ten zuiden van De Kuil wordt gemonitord representatief is voor kwelwater dan lijkt het er inderdaad niet op dat kwel een grote rol speelt in De Kuil. De samenstelling van het grondwater (m.n. Cl, HCO_3^-, Fe, S) verschilt namelijk sterk van de samenstelling het oppervlaktewater. Ook verschillende geraadpleegde bodem- en grondwaterkaarten wijzen niet in de richting van kwel.

6.4. Oppervlakkige afstroming

De Kuil wordt omringd door agrarisch gebied. Uit de landgebruikskaart en recente satellietopnamen (afbeelding 6.1.) blijken er hoofdzakelijk maïs en bietenvelden en graslanden rondom De Kuil gelegen te zijn. Met name uit maïsvelden kunnen aanzienlijke hoeveelheden nitraat spoelen als gevolg van intensieve bemesting. Uitspoeling van nitraat kan leiden tot pyrietoxidatie, waarbij grote hoeveelheden sulfaat kunnen vrijkomen.

Tabel 6.3. Waterchemie omringende sloten (mg/l)

gemiddelde jun-sept 2006	N-totaal	ortho-P	P-totaal	bicarbonaat
terugslagklep naar De Kuil	2,24	0,03	0,11	67,50
sloot boven koevoetsloop en De Kuil	2,37	0,04	0,16	60,00
krekelpolderloop	2,76	0,02	0,15	62,50
gemiddelde jun-sept 2006	**sulfaat**	**chloride**	**chlorofyl-a (µg/l)**	**ijzer**
terugslagklep naar De Kuil	79,88	129,13	15,88	1,63
sloot boven koevoetsloop en De Kuil	73,75	93,25	27,75	1,63
krekelpolderloop	71,50	125,50	11,50	4,10

Welk deel van het omliggende land via oppervlakkige afstroming afwatert op De Kuil hangt af van:
- de maaiveldhoogteligging van het land in relatie tot het waterpeil van De Kuil;
- het afwateringspatroon met sloten rondom De Kuil.

Uit recente metingen, uitgevoerd onder aansturing van Jean Pierre van Aert van het waterschap, alsmede bestudering van de hoogteligging en de slootpatronen in de omgeving van De Kuil, is het volgende naar voren gekomen:
- het waterpeil van De Kuil varieert tussen 0,20 (in de zomer) en 0,80 meter +NAP (in de winter; gemiddeld circa 0,50 m +NAP, rond 24 oktober 2006 bedroeg het waterpeil 0,56 meter +NAP);
- het maaiveld rond De Kuil ligt algemeen duidelijk hoger dan het waterpeil, met hoogtes variërend van 1,1 tot ruim 2,5 meter +NAP;
- een groot deel van het omringende land dat potentieel (qua hoogteligging) kan afwateren op De Kuil is doorsneden met sloten (bijlage I), welke geen van allen op De Kuil afwateren. De waterchemie van de omringende sloten laat zien dat nutriëntgehaltes hoger zijn dan in De Kuil (tabel 6.3.). De samenstelling van het slootwater wijst niet in de richting van pyrietoxidatie. In hoeverre de sloten al het regenwater dat op dit land valt afvangen is niet met zekerheid te zeggen, dit hangt af van de diepte van de sloten en de entreeweerstand. In potentie zou een deel van het op de percelen geïnfiltreerde regenwater als ondiep grondwater onder de sloten door kunnen afstromen naar De Kuil, hierover bestaat thans geen uitsluitsel;
- het oppervlak dat niet via sloten afwatert naar elders (en dus direct op De Kuil afwatert) bedraagt naar schatting circa 4 hectare. Dit betreft enkele direct aangrenzende percelen (aan de west- en zuidzijde) met voornamelijk grasland en bomen.

Gebaseerd op metingen van onder andere het RIVM hanteert de provincie Zuid-Holland een kental voor afspoeling uit graslandgebieden met een veeteeltfunctie van 36,4 kg N/ha.jr en 2,19 kg P/ha.jr. Dit vormt waarschijnlijk een overschatting van de belasting van De Kuil omdat de grond daar geen veeteeltfunctie heeft, echter een beter kental is thans niet beschikbaar. Gebaseerd op dit kental zou de belasting van De Kuil 18,2 kg N/ha.jr bedragen en 1,1 kg P/ha.jr. Dit zijn betrekkelijk lage waarden. Qua landgebruik is het zeer waarschijnlijk een overschatting. Daar staat echter tegenover dat de belasting ook groter kan zijn, wanneer een deel van het met sloten afwaterend oppervlak toch naar De Kuil afwatert. Hierover bestaat zoals aangegeven thans geen zekerheid.

Afbeelding 6.1. Luchtfoto van De Kuil en omgeving. Op de foto is te zien dat De Kuil omringd wordt door agrarisch gebied (Google earth)

6.5. Natte en droge depositie

Met natte (regen, sneeuw) en droge (stof) depositie kunnen nutriënten worden aangevoerd. In Nederland is de stikstofbelasting via natte en droge depositie relatief hoog in vergelijking met andere landen. Dit kan worden toegeschreven aan de omvang van de intensieve veehouderij in Nederland. In tabel 6.4. zijn deposities voor de Bilt weergegeven die tevens beschouwd kunnen worden als het landelijk gemiddelde. In agrarisch gebied met veel intensieve veehouderij kunnen deze waarden hoger zijn.

Tabel 6.4. Natte en droge depositie

natte en droge depositie (RIVM, De Bilt)	
20 kg N /ha/jr	0,09 kg P /ha/jr

6.6. Visvoer

In potentie kan visvoer een bijdrage leveren aan de nutriëntenbelasting van De Kuil. Echter, de visvereniging heeft laten weten dat er in De Kuil niet gevoerd wordt.

6.7. Samenvattend

Wanneer alle bronnen bij elkaar opgeteld worden bedraagt de totale omvang van de externe P-belasting globaal geschat 3,4-5,3 kg/ha/jr (0,9-1,4 mg P/m2.dag) en de externe N-belasting 38,5 kg/ha/jr (10,5 mg N/m2.dag). Zoals in de vorige paragrafen duidelijk moge zijn geworden zijn deze schattingen met veel onzekerheden omgeven en vormen ze waarschijnlijk eerder een overschatting dan een onderschatting van de werkelijke belasting. De geschatte waarden zijn niet bepaald hoog te noemen en in lijn met de algemeen goede fysisch/chemische waterkwaliteit zoals deze wordt gemeten. De periodiek algenbloeien lijken vooral het gevolg van interne processen van mobilisatie van nutriënten en niet het gevolg van een te hoge externe belasting.

7. ANALYSE SYSTEEMKENMERKEN DE KUIL

De analyse is gebaseerd op de huidige beschikbare gegevens tot nu toe, namelijk:
- het veldbezoek;
- de bemonsteringen en bijbehorende analyses;
- de meetgegevens waterkwaliteit van 1990- september 2006.

7.1. Bodem

Uit het veldbezoek en de bodembemonsteringen is gebleken dat er geen grote hoeveelheden slib in De Kuil aanwezig zijn. Daar waar slib theoretisch aanwezig zou moeten zijn, namelijk in de diepere delen en de hoeken is het niet of nauwelijks aangetroffen. Op locaties waar wel slib is aangetroffen lag een dunne laag van circa 5-10 cm.

Het slib bevat veel fosfaat, maar ook veel ijzer. De gunstige ratio tussen beide geeft aan dat de bodem een grote bindingscapaciteit voor fosfaat heeft. Uit de P-Al extractie blijkt bovendien dat een groot deel van het fosfaat als $Ca_3(PO_4)_2$ (of $CaCO_3$-PO_4) aan de bodem gebonden is. Eenmaal vastgelegd in deze verbinding komt fosfaat alleen vrij bij verzuring, iets dat in De Kuil niet snel zal plaatsvinden vanwege de hoge buffercapaciteit.

Ook de andere veelal zandige bodemmonsters bevatten aanzienlijke hoeveelheden ijzer. In principe voldoende om het fosfaat effectief te binden (Fe-S:P mol:mol) = 6-13). De analyse van het interstitieel bodemvocht sluit hier bij aan. De ijzer:fosfaat ratio (respectievelijk 4 en 17) is in beide monsters gunstig te noemen.

Het slib lijkt in kwantiteit geen significante bron van nutriënten (met name P) te zijn en baggeren van De Kuil lijkt tot zover nu ingeschat kan worden weinig effectief om blauwalgenbloei te voorkomen.

7.2. Vis

Er is met 39 kg/ha maar een beperkte geschatte hoeveelheid vis in De Kuil aanwezig. De geschatte hoeveelheid brasem en karper (bodemwoelende vis) is klein en onvoldoende om een significante stroming van nutriënten uit het sediment richting de waterlaag te faciliteren. Dit wordt bovendien bevestigd door het grote doorzicht in De Kuil. De omvang van de visstand wijst niet in de richting van voedselrijke omstandigheden.

De omvang en samenstelling van de visstand in De Kuil is niet kenmerkend voor een eutrofe (vaak troebele) plas, waar een deel van de problematiek door bodemwoelende vis in stand wordt gehouden. Het wegvangen van bodemwoelende vis zoals brasem en karper zal dan ook naar verwachting weinig effect op de blauwalgen problematiek sorteren.

7.3. Chemie waterlaag

De stikstofconcentratie van de waterlaag is relatief laag en aanzienlijk gedaald sinds de afsluiting van de noordsloot. Fosfaatconcentraties zijn ook relatief laag voor Nederlandse maatstaven, maar vertonen op verschillende momenten pieken. De Kuil is een stratificerende plas en op basis van de zuurstofverzadiging van jun-sept 2006 zijn er aanwijzingen dat deze stratificatie stabiel is (afbeelding 7.1.). Gedurende de stratificatie ontstaat zuurstofloosheid in en boven de bodem. Bij zuurstofloosheid worden reductieprocessen dominant en gaan ijzer-fosfaat verbindingen in de bodem in oplossing, waardoor de P-concentratie (en de ijzerconcentratie) in het water oploopt (tot 0,06-0,08 mg P/l op 6 m diepte). De spronglaag bevindt zich op een diepte van 4-5 meter wat in vergelijking met andere stratificerende meren ondiep is. De hoog gelegen spronglaag geeft aan dat er weinig turbulentie in de waterkolom bestaat.

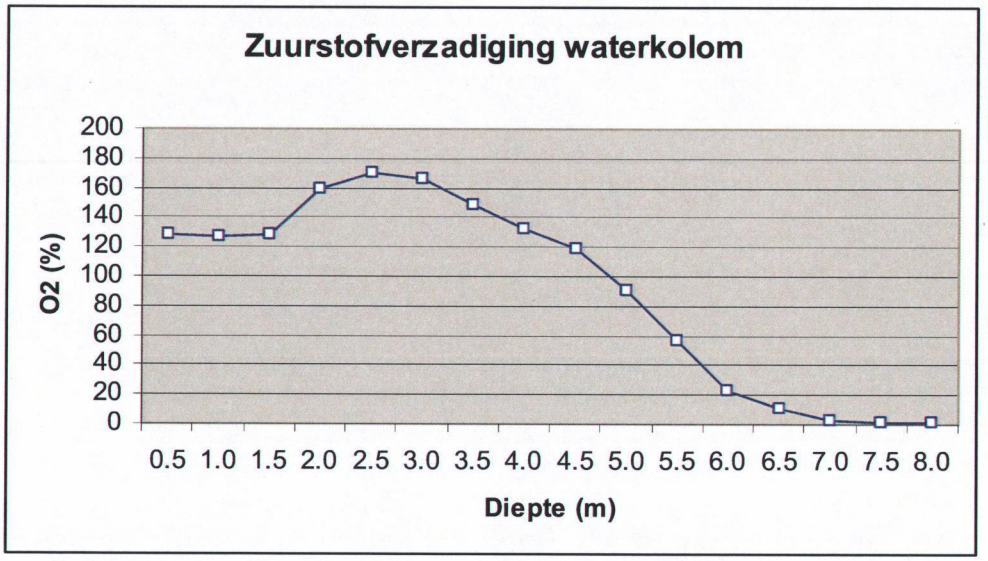
De sulfaatconcentratie in de waterlaag is relatief hoog (130-140 mg/l = 1300-1400 µmol/l). Deze concentraties kunnen worden toegeschreven aan jarenlange aanvoer van sulfaatrijk water via de sloten en

voor een deel aan de demping met sulfaatrijk zeezand. Een hoge sulfaatconcentratie betekent een hoge beschikbaarheid van electronenacceptoren die nodig zijn voor de anaerobe afbraak van organisch materiaal.

Er is al jaren en nog steeds sprake van P-limitatie (Redfield ratio N:P >> 7 mg/mg) in De Kuil.

De nutriëntgehaltes in het water van De Kuil zijn over het algemeen relatief laag. De concentraties zijn echter hoog genoeg om periodiek blauwalgenbloei te veroorzaken.

Afbeelding 7.1. Stratificatie in de waterkolom op (juni 2006). De zuurstofverzadiging neemt af met de diepte



7.4. Samenvattend

De Kuil is een plas met een in het algemeen voor Nederlandse begrippen uitstekende waterkwaliteit. Het water is betrekkelijk voedselarm en laag productief, getuige relatief lage nutriëntengehalten en een zeer beperkte visbiomassa. De bodem bestaat vrijwel geheel uit zand hetgeen ook gunstig te noemen is. Relatief bijzonder is de combinatie van helder water en het optreden van (min of meer stabiele) stratificatie bij de beperkte diepte van de plas. Licht dringt in De Kuil door tot beneden de spronglaag, hetgeen in Nederland zelden gebeurt. Beneden de spronglaag ontstaan door zuurstofloosheid verhoogde nutriëntgehalten en omdat hier nog licht aanwezig is kunnen algen hiervan profiteren. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk nader ingegaan.

8. MOGELIJKE OORZAKEN VAN DE PERIODIEKE BLAUWALGENBLOEI

Na globale analyse van de systeemkenmerken van De Kuil lijken drie verschillende processen van invloed te zijn op het ontstaan van blauwalgenbloei. In het volgende worden deze processen kort beschreven.

8.1. P-mobilisatie door sulfaatreductie

Sulfaat is een belangrijke electronenacceptor die onder anaerobe (zuurstofarme) omstandigheden door bacteriën (sulfaatreduceerders) wordt gebruikt om organische stof af te breken. Bij dit proces wordt sulfide (S^{2-}) gevormd. Sulfide kan vervolgens ontwijken in de vorm van zwavelwaterstofgas (H_2S), dat naar rotte eieren ruikt of binden aan ijzer. De binding tussen ijzer en sulfide is onder anaerobe omstandigheden sterker dan de binding tussen ijzer en fosfaat. Dit betekent dat aan ijzer gebonden fosfaat kan worden verdrongen door sulfide, waardoor fosfaat vrijkomt en dus voor planten of algen beschikbaar wordt.

- Organische stof + sulfaat (e^- acceptor) → sulfide + afgebroken organisch materiaal (nutriënten).

- Sulfide + ijzerfosfaat → ijzersulfide (FeS_x) + fosfaat.

De mate waarin fosfaat wordt verdrongen hangt sterk af van de hoeveelheid beschikbaar ijzer in bodem en bodemvocht. Samengevat zijn voor dit proces de belangrijkste factoren:
1. de beschikbaarheid van sulfaat;
2. de beschikbaarheid van organisch materiaal;
3. de beschikbaarheid van ijzer;
4. het periodiek anaeroob worden van de bodem.

Wat betekent dit voor De Kuil? Sulfaat is in ruime mate aanwezig en zal niet beperkend zijn voor het verlopen van sulfaatreductie. Organisch materiaal is zoals op basis van de bodembemonstering in juni kan worden ingeschat ook aanwezig hetzij in beperkte mate in de vorm van een dikke sliblaag.

De bodemmonsters, zelfs de zandige bevatten aanzienlijke hoeveelheden ijzer. De ijzer:fosfaat ratio is in de meeste gevallen dan ook gunstig tot zeer gunstig te noemen. Ook de fosfaat:ijzer ratio van het interstitieel bodemvocht is gunstig te noemen.

Dat de onderwaterbodem in De Kuil periodiek anaeroob wordt blijkt ondermeer uit de profielmetingen van het zuurstofgehalte in de waterkolom (afbeelding 7.1.). Dit is overigens een natuurlijk verschijnsel dat zelfs in ondiepe wateren voorkomt.

Het lijkt erop dat alle factoren aanwezig zijn om sulfaatreductie te laten verlopen. Dat sulfaatreductie in de bodem van De Kuil plaatsvindt blijkt ondermeer uit de waargenomen rotte eieren geur tijdens het bemonsteren van het bodemvocht. Daarbij wijst de intens zwarte verkleuring van het slib (sapropelium) op de aanwezigheid van ijzersulfide verbindingen. De profielmetingen van fosfaat in de waterkolom laten zien dat de concentratie op 6 meter diepte hoger (0,06-0,08 mg/l) is dan in de meer zuurstofrijke bovenlagen. Dit is een aanwijzing voor fosfaatmobilisatie. De verhoogde ijzerconcentraties (enkele metingen) wijzen hier eveneens op. Twee processen kunnen hier gelijktijdig optreden:
1. verdringing van fosfaat van ijzerfosfaatcomplexen;
2. het in oplossing gaan van fosfaat door reductie van ijzer (Fe^{3+} → Fe^{2+}).

Blauwalgen zouden van de fosfaatpieken kunnen profiteren. Bij volledige stratificatie zou fosfaat in de onderste laag van de waterkolom 'gevangen' blijven, maar door periodieke menging komt het fosfaat ook in hogere lagen beschikbaar. Sinds het verschijnen van *Anabaena* speelt verticale mobiliteit van de algen en de mogelijkheid fosfaat op verschillende diepten te kunnen benutten hoogstwaarschijnlijk een belangrijke rol.

8.2. Verticale mobiliteit van Anabaena

De Kuil ligt uit de wind en de effectiviteit van de mengers is in dit verband reeds eerder in twijfel getrokken. Nu de mengers het afgelopen jaar (2006) niet in werking zijn geweest blijkt dat De Kuil inderdaad stabiel stratificeert. Na 4-5 meter neemt de zuurstofverzadiging af, waardoor de onderste laag van de waterkolom en de bodem vrijwel zuurstofloos zijn (afbeelding 8.1. en 8.2.).

De blauwalg *Anabaena* bezit gasvacuolen waardoor deze in staat is tot verticale mobiliteit door de waterkolom. Gezien het grote doorzicht (3,5 m) strekt de fotische zone tot op de bodem. Uit profielmetingen in de waterkolom blijkt dat de chlorofyl-a concentraties zich verplaatsen in de waterkolom (afbeelding 8.1. en 8.2.). Hieruit blijkt dat op verschillende diepten activiteit van algen bestaat. Dit moeten algen zijn die in staat zijn tot verticale beweging, zoals *Anabaena*.

chlorofyl-a:P een goede maat voor de opbrengst van algenbiomassa?

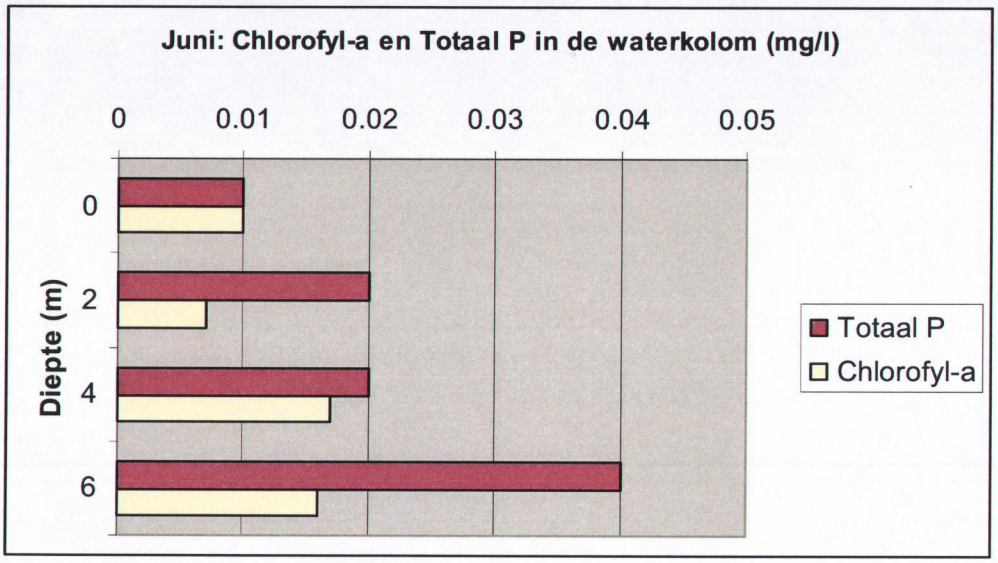
Uit de eutrofieringsenquete [lit. 17] is gebleken dat de maximale opbrengst per eenheid fosfaat (Chlorofyl-a:P) in 95 % van de gevallen niet meer bedraagt dan 0,759 mg/mg. Voor De Kuil blijkt zoals Koeman en Bijkerk (2005) reeds eerder hebben berekend dat er slechts enkele keren sprake is van een hogere algenbiomassa dan er op grond van het gemeten tot-P gehalte verwacht zou worden. Deze worden toegeschreven aan mogelijke processen die op grotere diepte plaatsvinden en waarbij P vrijkomt. Profielmetingen van juni-september 2006 laten nu zien dat zowel de tot-P als de chlorofylgehaltes variëren in de dieptekolom. Dit betekent dat er geen menging door de gehele kolom is en dat de verbanden tussen fosfaat en chlorofyl-a hierdoor minder duidelijk worden. Kijken we nu naar de verhouding chlorofyl a en totaal fosfaat op verschillende diepte dan zien we dat er in het afgelopen jaar (jun-sept): soms meer opbrengst dan er op grond van P verwacht zou worden, maar dat dat gecompenseerd wordt op de andere dieptes. De verticale mobiliteit van algenbiomassa maakt het moeilijk om hier duidelijke uitspraken over te doen.

Tabel 8.1. Profielmeting van enkele parameters (augustus 2006)

diepte	zuurstofverzadiging (%)	totaal P mg/l	HCO3- mg/l	chlorofyl-a ug/l	Fe mg/l
0	99	0,05	150	15	0,1
2	95	0,05	140	13	0,1
4	90	0,03	140	6	0,1
6	4	0,08	200	20	0,46

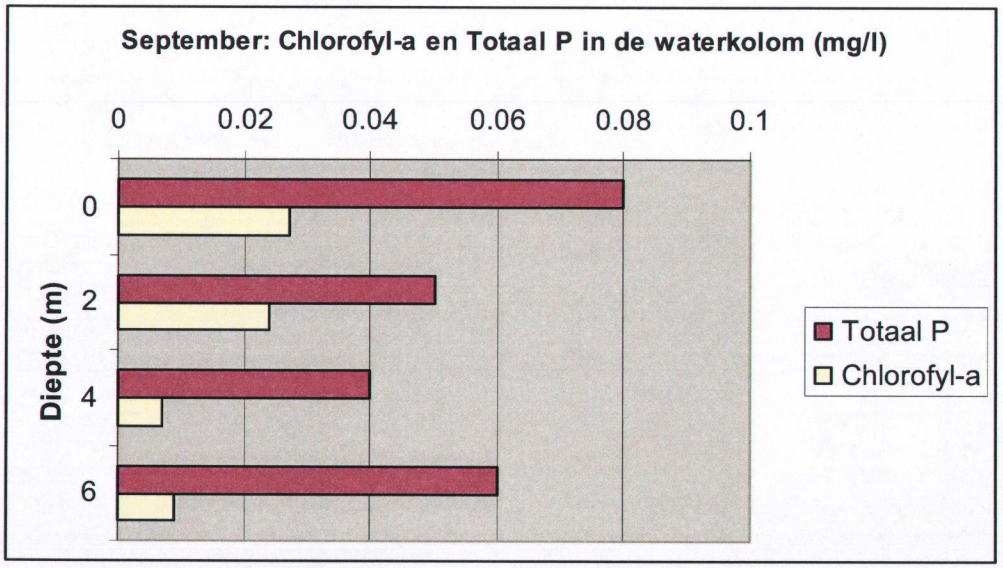
Omdat Anabaena in staat is tot verticale mobiliteit is deze soort in staat om fosfaat op diepte op te halen. Blauwalgen kunnen actief fosfaten stapelen in de cel (polyfosfaten) en deze in een later stadium benutten als bijvoorbeeld de lichtintensiteit gunstiger is. Snelle opkomst van blauwalgenbloeien kunnen door dit proces goed verklaard worden.

Afbeelding 8.1. Chlorofyl-a en totaal fosfaat concentraties op verschillende diepten in juni 2006



Met de achterliggende gegevens van afbeelding 8.1. is berekend dat op 4 meter diepte de chlorofyl-a:totaal P = 0,85. Dit betekent dat er meer algenbiomassa geproduceerd wordt dan op grond van de gemeten totaal-P concentratie verwacht zou worden. Op 6 meter diepte blijkt echter dat de verhouding 0,4 is, hier wordt dus veel minder algenbiomassa geproduceerd dan op grond van de fosfaatconcentratie verwacht zou worden.

Afbeelding 8.2. Chlorofyl-a en totaal fosfaat concentraties op verschillende diepten in september 2006



Uit beide afbeeldingen blijkt dat zowel fosfaat- als chlorofyl-a concentraties op verschillende dieptes in de waterkolom variëren in de tijd.

8.3. Voedselketen: verschuivingen in biomassa

De samenstelling en omvang van de visstand wijzen op matig voedselrijke omstandigheden. Het grote aandeel baarsbroed wijst op een hoge beschikbaarheid van watervlooien. De watervlooien voeden zich hoofdzakelijk met groenalgen en kunnen aan predatoren ontsnappen door zich verticaal door de waterkolom te bewegen. Naarmate de aantallen watervlooien toenemen zal ook de graasdruk op de groenalgen toenemen. Dit biedt in potentie meer ruimte voor de ontwikkeling van blauwalgen. Watervlooien zijn niet of beperkt in staat om kolonievormende (vaak toxische) blauwalgen te eten. Dit betekent dat naarmate de graasdruk op de groenalgen toeneemt de blauwalgen meer kans krijgen zich te vermeerderen. Hierbij zullen de aantallen watervlooien weer sterk afnemen door het gebrek aan voedsel.

In het eerste proces (sulfaatreductie) is er vanuit gegaan dat de toename van blauwalgen kan worden toegeschreven aan verhoogde fosfaatconcentraties. Voor dit tweede proces is een toename (mobilisatie) van nutriënten echter niet noodzakelijk om de blauwalgenbloei te laten plaatsvinden. Er treden slechts verschuivingen van biomassa (nutriënten) op in de voedselketen.

8.4. Samenvattend

Waarschijnlijk spelen alle drie de processen een rol bij het ontstaan van periodieke blauwalgenbloei in De Kuil.

Proces 1: sulfaatreductie en zuurstofloosheid leiden tot fosfaatmobilisatie. Van deze fosfaatbron kunnen groenalgen gebruik maken als fosfaat in de bovenste lagen van de waterkolom kan diffunderen. Dit proces vindt plaats, maar wordt beperkt door neerslagreacties die onder zuurstofrijke omstandigheden plaatsvinden. Via dit proces wordt fosfaat bijvoorbeeld aan ijzer gebonden en slaat neer op de bodem.

Proces 2: verticale mobiliteit van *Anabaena*. Algen die fosfaat kunnen opnemen voordat het weer neerslaat met bijvoorbeeld ijzer hebben beschikking over meer fosfaat dan andere algen. De blauwalg *Anabaena* kan fosfaat in het hypolimnion en zelfs net boven de bodem opnemen omdat het in staat is tot verticale beweging door de waterkolom. Het is daar zelfs in staat tot fotosynthese omdat licht (vrijwel) tot op de bodem doordringt.

Proces 3: voedselketenprocessen. Op het moment dat groenalgen overbegraasd worden door watervlooien komt (nog meer) fosfaat beschikbaar dat tot een snelle vermeerdering van blauwalgen kan leiden. Blauwalgen zoals *Anabaena* zijn vergaand oneetbaar voor zoöplankton.

Het moge duidelijk zijn dat de genoemde processen subtiel van karakter zijn en niet altijd in dezelfde mate optreden. De dominantie van een bepaalde soort alg wordt bepaald door zowel specifieke fysisch-chemische (licht, temperatuur, wind, nutriënten etc.) als biologische (concurrentieverhoudingen, graasdruk etc.) processen, welke van jaar tot jaar anders kunnen uitpakken. Het feit dat niet structureel blauwalgenbloei optreedt (in 2006 is er bijvoorbeeld geen sprake van geweest) getuigt hiervan. De Kuil is in het algemeen gesproken een plas met een uitstekende waterkwaliteit en alleen onder specifieke omstandigheden ontstaan er periodiek problemen met blauwalgen. Het verkregen begrip van het optreden van deze specifieke omstandigheden moet gebruikt worden om mogelijke beheersmaatregelen te formuleren. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk ingegaan.

9. MOGELIJKE MAATREGELEN OM ALGENBLOEI TE VOORKOMEN

Eventuele maatregelen zouden gericht moeten zijn op die processen waarop beheersmatige sturing mogelijk is. Proces 2 (de verticale mobiliteit van sommige blauwalgen) is een gegeven en ook proces 3 is moeilijk via directe weg te beïnvloeden. Het ligt voor de hand om ons te richten op de beschikbaarheid van fosfaat, de belangrijkste voedingsstof voor algen, hetgeen in De Kuil samenhangt met het optreden van stratificatie en daarmee gepaard gaande zuurstofloosheid. We zien de volgende mogelijkheden om het optreden van (blauw)algenbloei aan te pakken:

1. de plas effectief verticaal mengen;
2. het beter vastleggen van fosfaat in de bodem, zodat dit zelfs bij zuurstofloosheid niet vrijkomt.

In onderstaande paragrafen wordt hier nader op ingegaan.

9.1. Effectiever verticaal mengen

Verticaal mengen van stratificerende plassen heeft op twee mogelijke manieren effect op (blauw)algen:

1. er wordt zuurstofloosheid aan de bodem en nalevering van aan ijzer gebonden P voorkomen, waardoor de P-beschikbaarheid voor de algen afneemt. Dit mechanisme is in De Kuil relevant;
2. de algen worden gedwongen om met de verticale mengstroming mee te gaan, waardoor ze geruime tijd in het donker komen te zitten en hierdoor de dichtheden sterk afnemen. Dit tweede mechanisme, dat in Nederland op verschillende plaatsen met succes wordt toegepast (onder andere spaarbekkens Biesbosch, Nieuwe Meer bij Amsterdam) werkt alleen in plassen met een diepte vanaf circa 15 meter (anders zitten de algen te kort in het donker). Voor De Kuil is dit mechanisme derhalve niet relevant, tenzij de plas sterk zou worden verdiept, hetgeen we verder buiten beschouwing hebben gelaten (weinig realistisch geacht).

In De Kuil is getracht met behulp van windgedreven mengers het algenprobleem aan te pakken. Dit is niet effectief gebleken. Een probleem is dat (blauw)algenbloei met name optreedt bij warm weer in de zomer, wanneer er ook vaak weinig wind is. Effectief mengen van De Kuil is naar verwachting ook moeilijk vanwege de vormgeving (luwe hoeken) en de beperkte diepte, waardoor er betrekkelijk weinig massa in de verticale beweging zit, waardoor deze snel afneemt bij afnemende wind.

Getracht zou kunnen worden om de effectiviteit van het mengen te verbeteren. Hierbij zou gebruik gemaakt moeten worden van pompen in plaats van de wind, teneinde onafhankelijk van de windcondities te worden. Verwacht wordt dat meerdere pompen nodig zullen zijn. De aanschafkosten van dit systeem zijn niet bepaald, maar zullen naar verwachting meer dan honderdduizend euro bedragen, naast bijkomende kosten voor engineering, energie en onderhoud. Hoe effectief het systeem zal zijn kan niet op voorhand worden aangegeven. Bepaalde soorten blauwalgen (bijvoorbeeld *Microcystis aeruginosa*) overwinteren op de bodem en kunnen hier actief fosfaat uit opnemen, waardoor de effectiviteit van menging beperkt kan worden.

9.2. Beter vastleggen van fosfaat in de bodem, zodat dit zelfs bij zuurstofloosheid niet vrijkomt

Een tweede mogelijkheid om algenbloei te voorkomen is het beter vastleggen van de fosfaatvoorraad in de plas (met name in de bodem), zodat er zelfs onder zuurstofloze omstandigheden geen P meer vrijkomt. Dit kan gebeuren door het fosfaat te binden aan een andere stof dan ijzer. IJzer-fosfaat verbindingen zijn betrekkelijk labiel en redox-gevoelig, waardoor ze bij anaerobe condities loslaten.

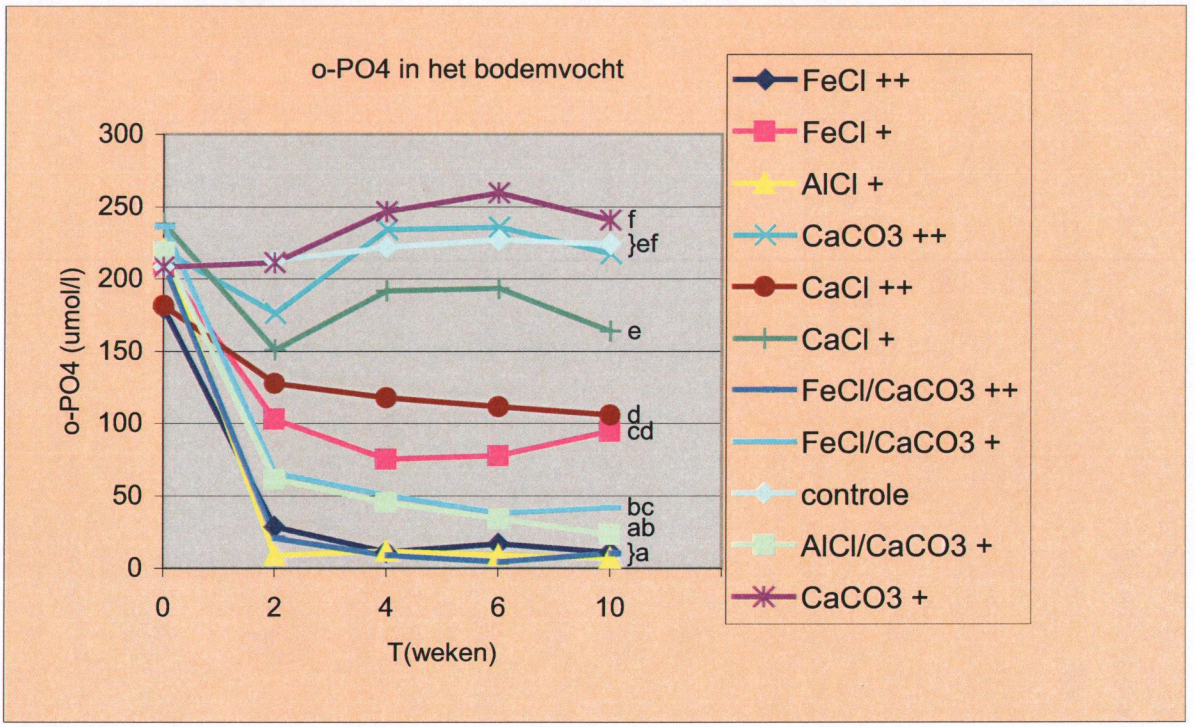
Er zijn enkele stoffen bekend die zelfs onder anaerobe condities het P vasthouden:

- aluminium;
- calcium;
- een recent middels afkomstig uit Australisch onderzoek, 'phos-lock' genaamd.

Van aluminium is al langer bekend dat het P goed kan vastleggen. Zo wordt het in Nederland soms gebruikt bij defosfatering van afvalwater. In onder andere Amerika bestaat ook ervaring met het toedienen

aan oppervlaktewater. Dit blijkt heel effectief. Aquariumproeven in Nederland (Radboud Universiteit Nijmegen, zie onder andere afbeelding 9.1.) wijzen dit ook uit.

Afbeelding 9.1. Verloop van de ortho-P concentratie in het bodemvocht van een venige waterbodem na het toedienen van verschillende zouten. Aluminiumchloride (de gele driehoekjes) blijkt het effectiefst. Gegevens van Piet-Jan Westendorp verzameld in het kader van een afstudeeronderzoek aan de Radboud Universiteit Nijmegen



Belangrijk aandachtspunt bij het toedienen van aluminium is het optreden van verzuring, waardoor giftige aluminiumverbindingen kunnen ontstaan. Ook de toedieningswijze (injecteren in of vlak boven de bodem) is een aandachtspunt, hiermee bestaat in Nederland nog geen ervaring en dit zal dus ontwikkeld moeten worden.

Calcium is eveneens een bekende verbinding. In bijvoorbeeld Duitsland bestaat ervaring om anaeroob water van onder de spronglaag op te pompen en het P te laten reageren (precipiteren) met calciumchloride. In Nederland is dit eveneens een niet eerder toegepaste techniek. Er zijn enkele negatieve ervaringen bekend met het verdwijnen van ondergedoken waterplanten als gevolg van de dosering. Ook zijn risico's bekend van een versterkte afbraak van organisch materiaal (met name in plassen met een veenbodem).

Phos-lock is een recent middel dat bestaat uit bentoniet (kleiachtig materiaal) dat is verrijkt met lantaan, een vrij onbekend metaal. Op enkele plaatsen zijn hiermee goede resultaten geboekt, het zou nog beter werken dan aluminium. Binnenkort wordt een proef in Duitsland gestart, welke de belangstelling van onder andere het RIZA geniet. Ook hiervoor geldt dat er in Nederland nog geen ervaring met het middel bestaat.

Samenvattend kan gesteld worden dat er potentieel kansrijke middelen bestaan waarmee de fosfaatvoorraad van De Kuil effectief kan worden vastgelegd, maar dat de toepassing, zeker in Nederland, nog in de kinderschoenen staat en experimenteel genoemd kan worden.

9.3. Hoe nu verder?

Het geven van een eenduidig advies over te nemen maatregelen is voor ons niet goed mogelijk, omdat dit een bredere afweging vraagt, waarbij zaken als kosten, risico's en maatschappelijk draagvlak een rol spelen.

Inzetten op effectievere menging kan, maar zal vragen om een behoorlijke investering en is geen gegarandeerde oplossing.

Inzetten op het beter vastleggen van de P-voorraad in De Kuil, door toediening van een van de genoemde stoffen, is in potentie zeer effectief en interessant, vanwege de toepassingsmogelijkheden op allerlei andere plaatsen (diepe en ondiepe wateren). De toepassing verkeert echter nog in een experimenteel stadium. Nader onderzoek en het nemen van proeven, alvorens toepassing in De Kuil te overwegen, ligt om die reden voor de hand.

Tenslotte kan men ook overwegen om niets te doen en het periodieke algenprobleem te accepteren. De Kuil is een plas met een gemiddeld uitstekende waterkwaliteit, waar als gevolg van een specifieke samenloop van omstandigheden af en toe een zomerse algenbloei in ontstaat.

In de Europese zwemwaterrichtlijn is ten aanzien van blauwalgen het volgende opgenomen:

Artikel 8: Risico van cyanobacteriën

1. Indien het zwemwaterprofiel wijst op een mogelijke proliferatie van cyanobacteriën, wordt een passende controle uitgevoerd om tijdig de gezondheidsrisico's te kunnen vaststellen.
2. Indien er zich een proliferatie van cyanobacteriën voordoet en er een gezondheidsrisico is vastgesteld of wordt vermoed, worden onmiddellijk passende beheersmaatregelen genomen ter voorkoming van blootstelling, waaronder voorlichting van het publiek.

Artikel 12: Voorlichting van het publiek

1. De lidstaten zorgen ervoor dat de volgende informatie actief verspreid wordt, en zo snel mogelijk tijdens het badseizoen op een gemakkelijk toegankelijke plaats in de onmiddellijke nabijheid van elk zwemwater beschikbaar wordt gesteld:
   - lid 1c in het geval van zwemwateren waarin zich een kortstondige verontreiniging kan voordoen een mededeling dat zich in het zwemwater een kortstondige verontreiniging kan voordoen;
   - een opgave van het aantal dagen waarop er tijdens het vorige badseizoen wegens dergelijke verontreiniging;
   - een zwemverbod of een negatief zwemadvies van kracht was, en een waarschuwing, telkens wanneer een dergelijke verontreiniging voorspeld wordt of zich voordoet;
   - lid 1d) informatie over de aard en de verwachte duur van abnormale situaties tijdens zulke gebeurtenissen;
   - lid 1e) bij een zwemverbod of een negatief zwemadvies: een waarschuwingsbord voor het publiek met de redenen daarvoor.

Vanaf 24 maart 2008 moet aan de eisen van deze richtlijn worden voldaan.

Wat betekent deze richtlijn voor De Kuil? Bij autonome ontwikkeling, dat is zonder aanvullende maatregelen, zal blauwalgenbloei nog steeds periodiek kunnen voorkomen. In dat geval moet de beheerder van De Kuil bedacht zijn op de periodieke vorming van drijflagen. Publieksvoorlichting over deze situatie behoort in dat geval tot de verplichtingen. Daarbij de verplichting de huidige monitoring voor te zetten en bij overschrijding van grenswaarden voor blauwalgen de plas te sluiten voor zwemmers. Qua maatregelen kan de beheerder in dit geval weinig meer doen dan de plas sluiten en afwachten tot de blauwalgenbloei weer over is.

Naar ons idee is het inzetten van een proefmatig traject met aluminium of phos-lock het meest interessant, niet alleen voor De Kuil maar voor het totale Nederlandse waterbeheer.

10. LITERATUUR

1. Haalbaarheidsstudie bestrijding Oscillatoria rubescens en Ceratium hirundinella in De Kuil (1996). Rapportnummer 1996/6k. (Royal) Haskoning in opdracht van Hoogheemraadschap West-Brabant.

2. Waterkwaliteit en waterkwantiteit in De Kuil (1996). Rapportnummer WM00056F.perm. Hoogheemraadschap van West-Brabant (HWB), gemeente Prinsenbeek en Waterschap Mark en Weerijs (WMW).

3. Theriault S. (1997) Evaluation of the efficiency of the LAS wind driven mixers to prevent stratification and blue green algae blooms in lake De Kuil. Verkrijgbaar bij Waterschap Brabantse Delta onder code BWS-ZWE doos 1.

4. Ontwikkeling van fytoplankton in De Kuil in aanwezigheid van een menginstallatie voor destratificatie in 1997. (1998), rapportnummer 97-10. Koeman en Bijkerk bv in opdracht van Hoogheemraadschap West-Brabant.

5. Ontwikkeling van fytoplankton in De Kuil in aanwezigheid van een menginstallatie voor destratificatie in 1999 (1999), rapportnummer 99-53. Koeman en Bijkerk bv in opdracht van Hoogheemraadschap West-Brabant.

6. Partijkeuring zeezand in het kader van de handhaving Bouwstoffenbesluit toegepast bij de aanleg HSL te Breda. Rapportnummer 01-088-B-R, mei 2001/ provincie Noord-Brabant-milieumetingen.

7. Effectenstudie naar de demping van zeezand in zwemplas De Kuil in het kader van de HSL-werken (2001). Arcadis Heidemij advies in opdracht van Hoogheemraadschap West-Brabant.

8. Conceptbrief: Randvoorwaarden gedeeltelijke opvulling De Kuil prinsenbeek. Verkrijgbaar bij Waterschap Brabantse Delta onder dossiernaam: Grondgebruik bij project HSL/A16, Gedeeltelijk dempen De Kuil, tijdvak 1998-2002: nummer 2952.

9. Brief, 27 nov 2001, verzoek tot aanbrengen stortsteen langs oostelijk gelegen talud van De Kuil. Het betreft kalksteen uit de groeve Oburg. Van Manager Projectbureau HSL-A16 aan Hoogheemradschap West-Brabant. Bijgesloten een rapport van IWACO dat de milieuhygiënische kwaliteit van het kalksteen heeft getoetst. Verkrijgbaar bij Waterschap Brabantse Delta onder dossiernaam: Grondgebruik bij project HSL/A16, Gedeeltelijk dempen De Kuil, tijdvak 1998-2002: nummer 2952.

10. Partijkeuring conform AP04 Partij stortsteen, Plas De Kuil te Prinsenbeek. (2002) KOAC WMD , bemonsterd op locatie na storting. rapportnummer. V020201/AK0507 In opdracht van HSL Bouwcombinatie Brabant Noord.

11. Verkennend waterbodemonderzoek recreatieplas langs nieuweveerweg Prinsenbeek. (2001) Boskalis Dolman BV in opdracht van HSL Brabant Noord. Rapport nummer: 2001-047 (HSL).

12. Zwembad De Kuil waterkwaliteitsproblemen 2001 (2001). DHV Water BV in opdracht van HSL Zuid-A16, WA-WB20010503.

13. Oorzaak en bestrijding van blauwalgenoverlast in de zwemplas De Kuil, West-Brabant. Rapport 2005-06 (2005). Koeman en Bijkerk BV in opdracht van Waterschap Brabantse Delta.

14. Lamers L., Klinge M. en J. Verhoeven. Overlevingsplan Bos en Natuur: Preadvies laagveenwateren (2001). In opdracht van Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Code: OBN-17.

15. Westendorp P.J. (2004). Van kwaad tot erger? De effecten van verschillende herstelmaatregelen op de water- en bodemkwaliteit van het Zijdelmeer. Radboud Universiteit Nijmegen, rapport nummer 578.

16. Smolders A.J.P., Lamers L.P.M., Lucassen E.C.H.E.T., van der Velde G. and J.G.M. Roelofs (2006). Internal Eutrophication: How does it works and what to do about it- a review. Chemistry and Ecology 22 (2): 93-111.

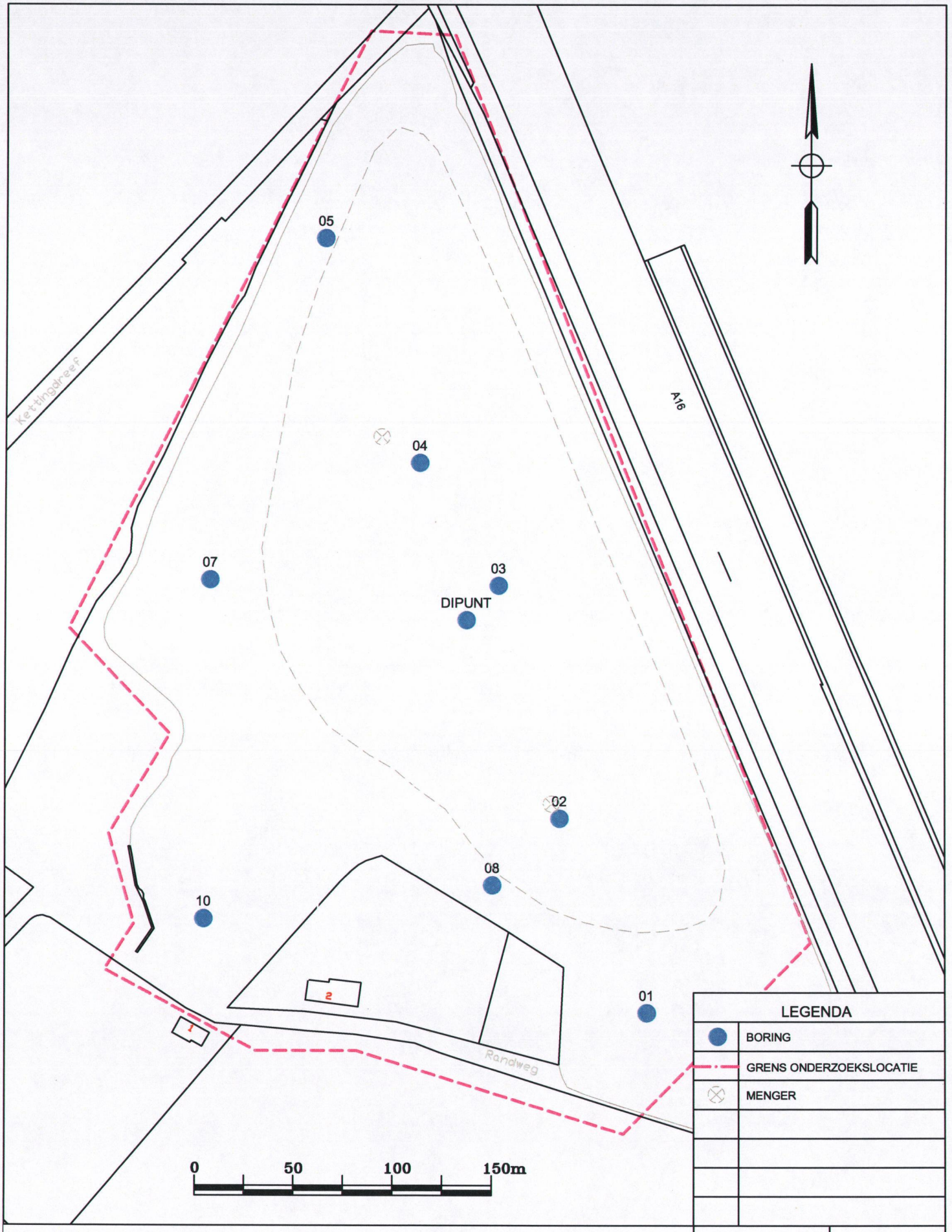
17. Portielje R. En D.T. van der Molen (1998). Relaties tussen eutrofiëringsvariabelen en systeemkenmerken van de nederlandse meren en plassen. Deelrapport II voor de vierde Eutrofiëringsenquete. Riza rapport 98.007.

18. Witteveen+Bos. Onderzoek waterkwaliteit Strandbad Winterswijk: oorzaken en oplossingen (2000). In opdracht van Stichting Zwembaden Winterswijk.

19. Witteveen+Bos. Overlast van waterplanten in diepe zwemplassen: een dilemma? Stroombroek als voorbeeld (2001). In opdracht van Recreatieschap Achterhoek-Liemers.

20. Boere (1987). Eutrofiëring van recreatiewateren; oorzaken en mogelijke maatregelen. H2O (20): 22.

BIJLAGE I Locaties waar bodemmonsters zijn genomen



LEGENDA	
	BORING
	GRENS ONDERZOEKSLOCATIE
	MENGER

SCHAAL 1: 2500 | DD. 23-08-2006

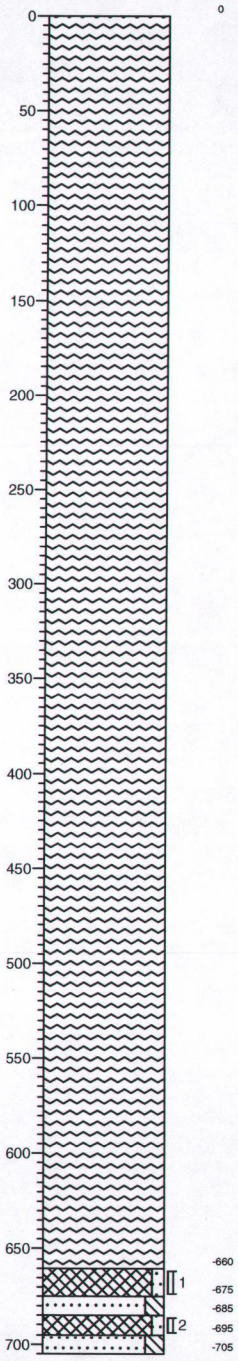
AquaTerra Water en Bodem B.V.

WATERBODEM ONDERZOEK
DE KUIL - PRINSENBEEK

SITUATIE

Opdr.nr.
20060495A
Bijlage 2

01



0 Water

-660 Slib, slap, zwak zandig, zwart

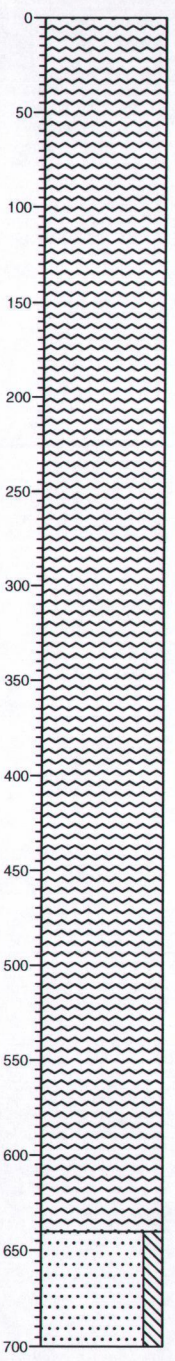
-675 Zand, matig fijn, matig siltig, donkergrijs-zwart

-685 Slib, matig vast, zwak zandig, grijs

-695 Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

-705

02



0 Water

-640 Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

-700

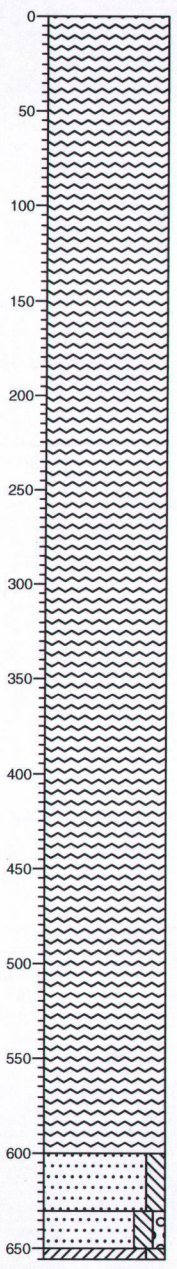
Schaal 1: 40

Projectcode: 20060495A

Datum: 19-06-2006

Lokatienaam: prinsenbeek

03



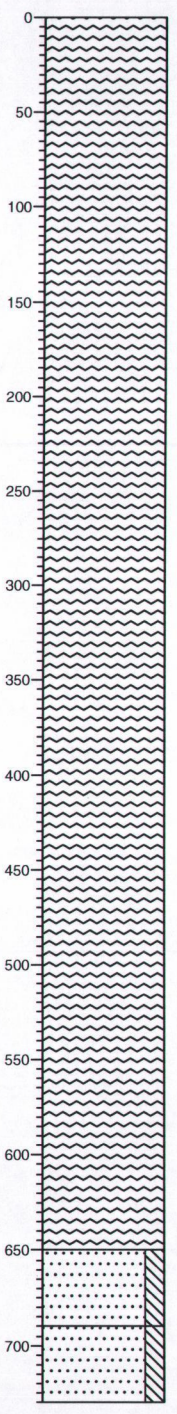
0 Water

-600 Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

-630 Zand, matig grof, matig siltig, zwak grindig, grijs

-650 -655 Klei, matig siltig, bruin-grijs

04



0 Water

-650 Zand, matig fijn, matig siltig, zwak schelphoudend, grijs, heel licht slibuitspoeling in het zand

-690 Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

-730

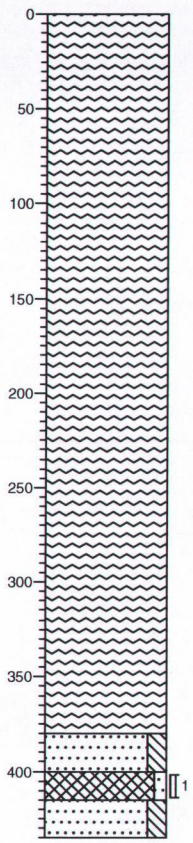
Schaal 1: 40

Projectcode: 20060495A

Datum: 19-06-2006

Lokatienaam: prinsenbeek

05



0 Water

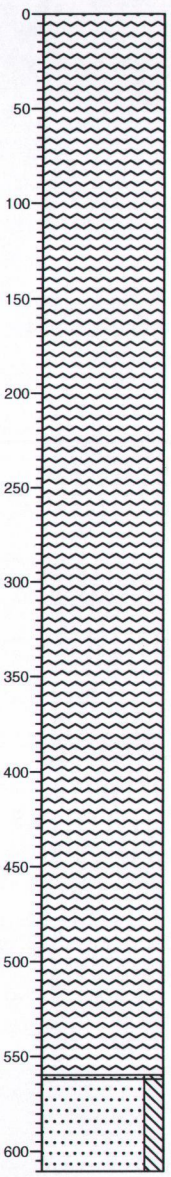
-380 Zand, matig fijn, matig siltig, zwak slibhoudend, grijs

-400 Slib, matig vast, zwak zandig, zwart

-415 Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

-435

06



0 Water

-562 Zand, matig fijn, matig siltig, zwak slibhoudend, grijs, te weinig voor monster

Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

-610

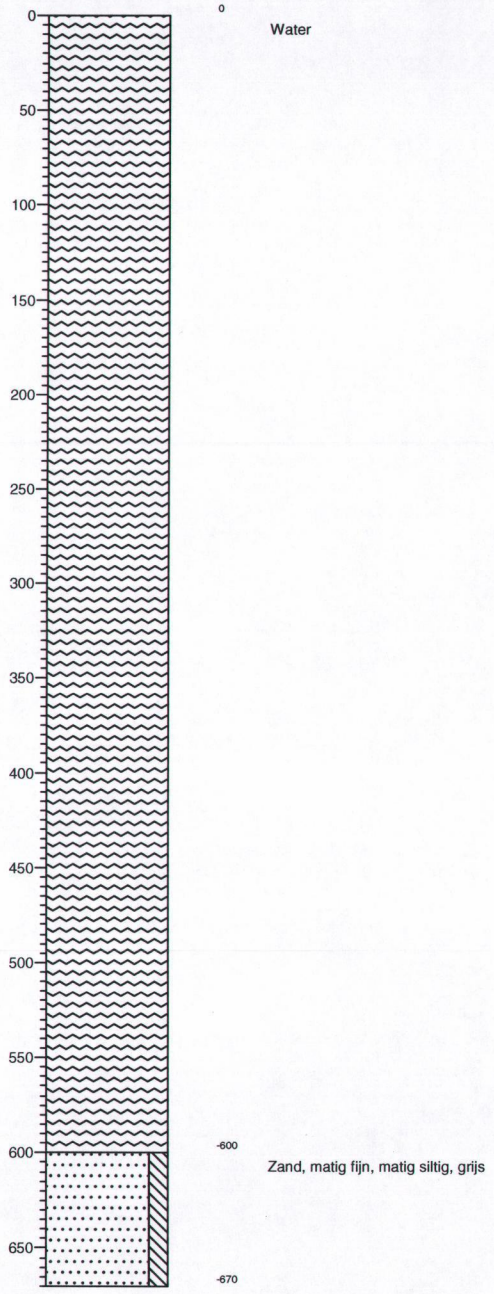
Schaal 1: 40

Projectcode: 20060495A

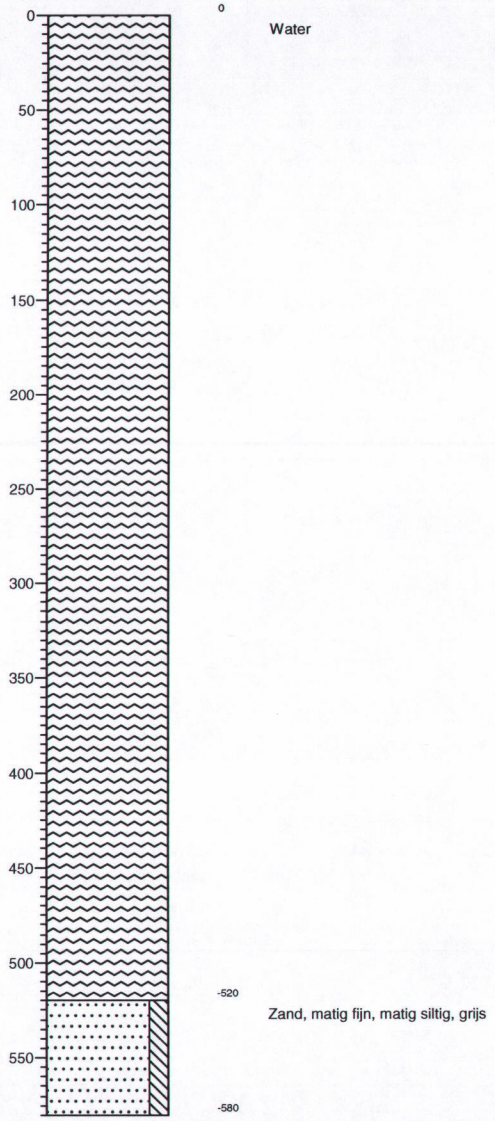
Datum: 19-06-2006

Lokatienaam: prinsenbeek

07



08



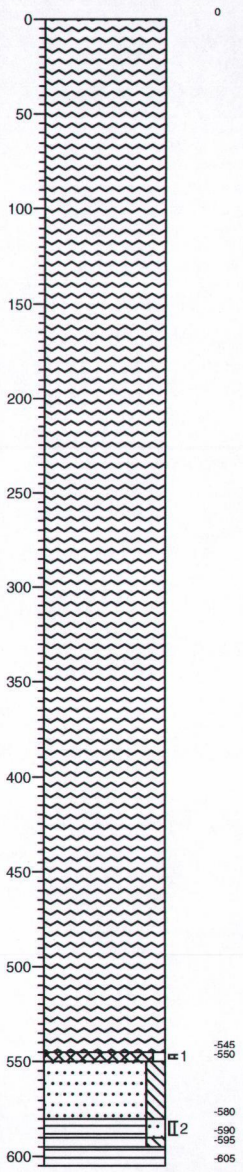
Schaal 1: 40

Projectcode: 20060495A

Datum: 19-06-2006

Lokatienaam: prinsenbeek

09



0 Water

-545 / -550 Slib, slap, zwak zandig, grijs

Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

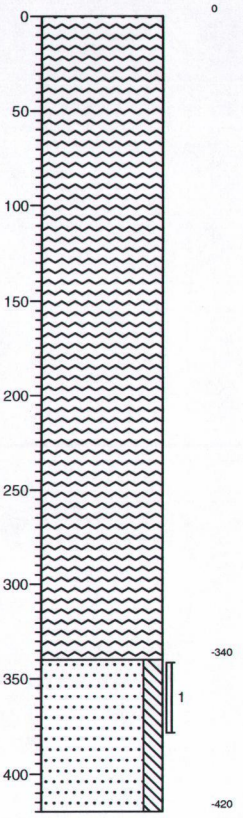
-580

-590 / -595 Veen, matig zandig, bruin

-605 Zand, matig fijn, matig siltig, grijs

Veen, bruin

10



0 Water

-340 Zand, matig fijn, matig siltig, grijs, eerste 5 cm heel klein beetje slib.

-420

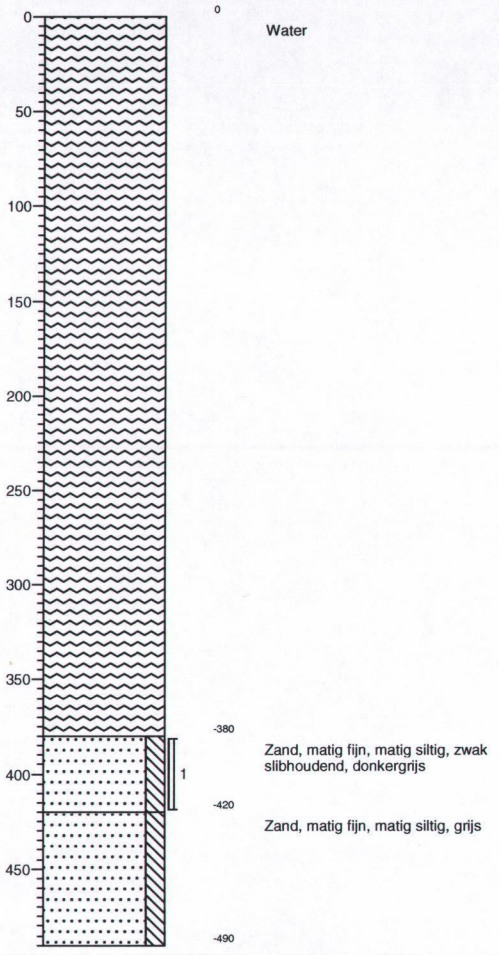
Schaal 1: 40

Projectcode: 20060495A

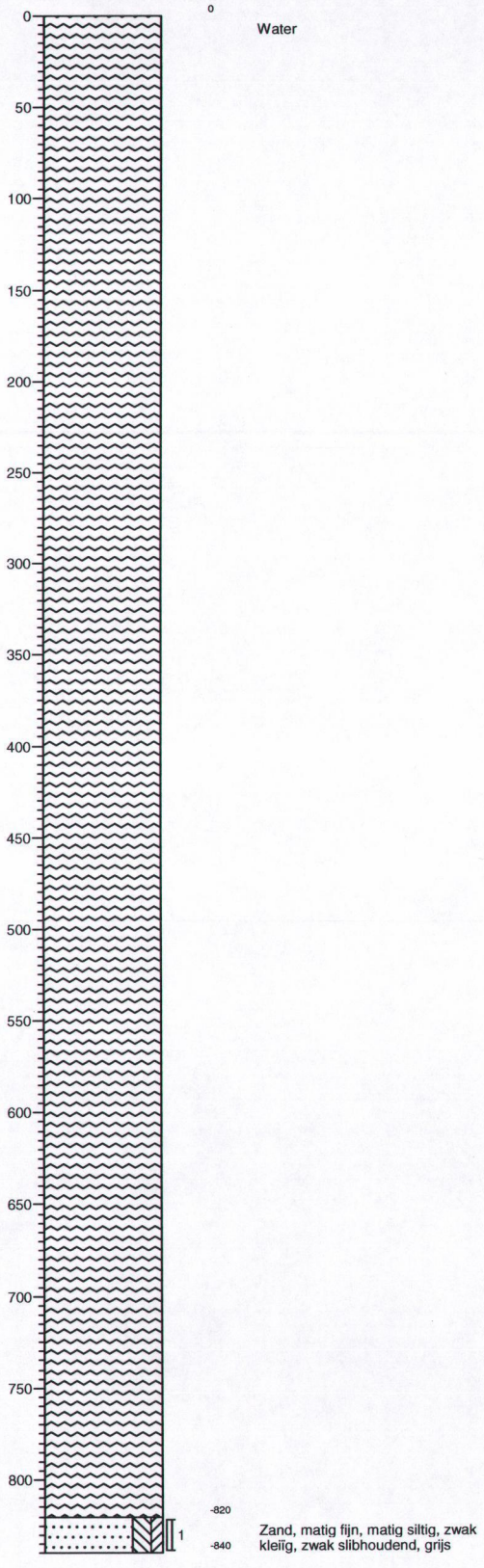
Datum: 19-06-2006

Lokatienaam: prinsenbeek

A05



DIPUNT



Schaal 1: 40

Projectcode: 20060495A

Datum: 19-06-2006

Lokatienaam: prinsenbeek