

De fosfaat- en basentoestand van de bodem in de Hooilanden in Binnenveld-Oost 2004, met plagadvies

**Opdrachtgever
Staatsbosbeheer
Regio Gelderland**



Giesen & Geurts

Biologische Projecten

V. Geer 5, 7071 PC Uffl.

Tel 0315-640400

Fax 440252

Omslagfoto:

Geplagd perceel.

Inzet van boven naar beneden:

Moerasandijvie,

Geelgroene zegge,

Boorkernen veen,

Boorkernen minerale ondergrond met houtresten.

© 2004 Giesen & Geurts, Ulft.

De inhoud van dit rapport (in het geheel of in delen) mag zonder schriftelijke toestemming van Giesen & Geurts niet door fotocopie, druk of andere middelen worden gereproduceerd (met uitzondering van de opdrachtgever).

Citaten uit dit rapport zijn alleen toegestaan met volledige bronvermelding:

Giesen & Geurts, 2004. De fosfaat- en basentoestand van de bodem in de Hooilanden in Binnenveld-Oost 2004, met plagadvies. Giesen & Geurts, Ulft.

Inhoud

	Inleiding	
	Woord van dank	
I	Terrein en probleemstelling	
1	Terreinbeschrijving	1
2	Probleemstelling	1
3	Onderzoek	1
II	Werkwijze en analysemethoden	
1	Veldwerk	5
1.1	Bemonstering	5
	Bodem	5
	Water	5
1.2	Profielbeschrijving	5
2	Bodemanalyses	5
2.1	Voorbehandeling van de grondmonsters en apparatuur	5
2.2	pH _{KCl}	6
2.3	Organische stof gehalte	7
2.4	Uitwisselbaar Ca, Mg, K en Na	7
2.5	Uitwisselbaar H	8
2.6	Oxalaat extraheerbaar P, Fe en Al	8
2.7	Water extraheerbaar P	9
2.8	Lactaat extraheerbaar P	9
3	Wateranalyses	10
3.1	Voorbehandeling en apparatuur	10
3.2	pH en E.G.V.	10
3.3	Alkaliniteit	10
3.4	Calcium, magnesium, kalium, natrium en ijzer	11
3.5	Fosfaat	11
3.6	Chloride	11
3.7	Sulfaat	12
III	Bespreking van de analyseresultaten	
1	Grond	15
2	Water	17
3	De Bennekomse Meent als referentie	17
IV	Basentoestand	
1	Basenaanwezigheid in grondwater en bodem	21
2	Conclusie	24
V	Fosfaattoestand	
1	Uitgangspunt en theorie	27
2	De fosfaattoestand in de Hooilanden	28
3	Afgraven of niet?	31
4	Wordt een natuurlijke fosfaattoestand bereikt?	32
5	Bespreking per boorpunt	33
6	Enkele referentiewaarden	34
VI	Plagadvies en de gevolgen	
1	Waar afgraven?	39
2	Grondwater en calciumaanvoer	40
3	Reliëf	40
4	Resterende P-verrijkte omstandigheden	40
5	Vegetatieontwikkelingsmogelijkheden	41
	Literatuur	43
	Bijlagen	45

Bijlagen

1	Boorstaatjes 2004.....	47
2a	Analyseresultaten van de bodemonsters.....	51
2b	Resultaten van berekeningen aan de analyseresultaten van de bodemonsters.....	52
3a	Analyseresultaten van de watermonsters.....	53
3b	EGV-IR diagram van de watermonsters.....	54
3c	Het aandeel grond- en regenwater van de watermonsters.....	55
3d	Maucha diagrammen van de watermonsters.....	56
4	Kaart met boorpunten (grondmonsters 2004).....	57
5	Hoogtekaart met boorpunten in 2004 en peilbuizen.....	58
6	Kaart met raaien en boorpunten uit 2000.....	59
7	Foto's van het materiaal uit BP 22 (2004).....	61
8	Maucha diagrammen Bennekomse Meent voorjaar 2000.....	62
9	Maucha diagrammen Bennekomse Meent najaar 2000.....	63

Figuren

1.1	Ligging van de Hooilanden.....	2
3.1	De relatie tussen het organische stof gehalte en het gehalte uitwisselbaar calcium per substraat.....	15
3.2	Oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat per substraat.....	16
3.3	Drie P-fracties per substraattype.....	16
4.1	De zuurneutralisatiecapaciteit van de bodem in relatie tot de calciumverzadiging van de verschillende bodemsubstraattypen.....	21
4.2	Verband tussen de calciumverzadiging van het adsorptiecomplex en de zuurgraad van de verschillende bodemsubstraattypen die in het gebied zijn aangetroffen.....	22
4.3	De zuurneutralisatiecapaciteit van de bodem in relatie tot de calciumverzadiging op verschillende dieptes beneden maaiveld.....	22
4.4	Hoogtekaart met >5,0 m+NAP aanduiding.....	23
5.1	Het verband tussen opgelost en gebonden fosfaat volgens een Langmuir-isotherm.....	27
5.2	Verband tussen fosfaatverzadigingsindex, $P/(Al+Fe)$ of α , van de bodemonsters en het fosfaatgehalte in het bodemvocht boven het niveau van de GLG.....	28
5.3	Fosfaatverzadiging (PSD) in relatie tot de fosfaatgehalte in het bodemvocht.....	29
5.4	De relatie tussen het organische stofgehalte en het ijzergehalte ($Fe_{oxalaat}$).....	30
5.5	Verloop van de fosfaatverzadigingsgraad in de diepte van de onderzochte profielen.....	31
5.6	Verloop van de $P_{lactaat}$ (Pal) waarde in de diepte van het onderzochte profiel.....	32
5.7	De ligging van de boorpunten uit 2002 en 2004.....	33
5.8	De fosfaatverzadigingsindex per boorpunt en diepte.....	35
6.1	Begrenzing van plaggen/afgraven met aangegeven diepte.....	39
6.2	De calciumverzadiging van de bodem op de boorlocaties.....	40

Tabel

5.1	Gehalten met oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat en de fosfaatverzadigingsindex van een viertal plantengemeenschappen in natuurterreinen.....	35
-----	---	----

Inleiding

In De Hooilanden (Binnenveld-Oost bij Veenendaal) zijn in 2001 en 2002 twee percelen geplagd. In de jaren daarna is na een explosieve uitbreiding van wilg, ook veel Pitrus verschenen. De beheereenheid voorzag grote moeilijkheden van het beheer van de resterende percelen die in 2004 zouden worden geplagd. Om deze eventuele problemen voor te kunnen zijn, heeft Staatsbosbeheer Regio Gelderland laten onderzoeken wat de trofiegraad van de bovengrond en ondergrond is en hoe de nalevering van fosfaat zich ontwikkelt.

In dit rapport komen aan de orde:

- ✓ Methoden.
- ✓ Resultaten van analyses en boringen.
- ✓ Evaluatie van de resultaten.

Woord van dank

Wij danken Staatsbosbeheer Regio Gelderland voor deze opdracht. Projectleider bij Staatsbosbeheer is Adrie Hottinga.

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Drs. Rolf Kemmers (Alterra, Wageningen), die wij danken voor zijn bijdrage aan de hoofdstukken IV t/m VI. Tevens gaat onze dank uit naar Joop Vrielink, voor zijn hulp bij de boringen en profielbeschrijvingen.



Giesen & Geurts,
Biologische Projecten,
't Goor 9,
7071 PC Uft.

augustus 2004.



I

Terrein en probleemstelling



1 Terreinbeschrijving

Langs de Grift, tussen Veenendaal en Wageningen, ligt het Binnenveld met o.a. de Bennekomse Meent, de Veenkampen en de Hooilanden. De Hooilanden beslaan ca. 24 ha. en liggen aan de Kooiweg (fig. 1.1).

De Hooilanden worden momenteel ingericht door ‘Dienst Landelijk Gebied’ en zullen daarna worden overgedragen aan Staatsbosbeheer, die het verdere beheer zal uitvoeren.

De bodem van de Hooilanden bestaat uit klei, zand en veen op een pleistocene zandbodem (ARIT, 2000).

Hydrologisch zijn de Hooilanden sterk afhankelijk van de waterstand in de Grift. Het gebied ontvangt kwelwater vanaf de Utrechtse Heuvelrug, maar het water wordt grotendeels afgevangen door het afwateringstelsel en de Grift (ARIT, 2000).

Het maaiveld in de Hooilanden varieert weinig (voor het grootste deel tussen 4,90 en 5,00 m+NAP). In het noordoosten zijn ruggetjes aanwezig tot 5,60 m+NAP en centraal een dalletje tot 4,85 m+NAP. Met een Griftpeil van “normaal winterpeil” 4,3-4,7 m+NAP zou dat betekenen (bij volledige afhankelijkheid van die waterstand) dat de waterstand in de Hooilanden bij “normaal winterpeil” 30-70 cm-mv staan. Zomerpeilen verschillen niet veel van de winterpeilen. ARIT (2000) schat de GLG tussen 65 en 80 cm-mv.

2 Probleemstelling

Van de Hooilanden zijn de vier zuidelijkste percelen (ca. 8 ha) in 2001 en 2002 geplagd (bouwvoor verwijderd). In delen van deze percelen verschijnt nu Pitrus; een bekend verschijnsel dat vaak optreedt na plaggen van hydrologisch niet geïsoleerde percelen (Hottinga, 2004). Door het streefbeeld voor de Hooilanden “vochtige en natte schraallanden”, voorziet de beheerseenheid grote problemen voor de nog te plaggen percelen.

Voordat verdere plagwerkzaamheden worden uitgevoerd is onderzoek aan de trofiegraad van de bodem wenselijk. Vooral de fosfaattoestand van de bouwvoor is hierbij van belang.

3 Onderzoek

Om inzicht te krijgen in de trofiegraad van bodem en water in relatie tot de ontwikkeling van de streefbeeld vegetatie “natte hooilanden”, zijn op een aantal plaatsen boringen uitgevoerd en bodemmonsters verzameld.

Van de drie aanwezige bodemtypes (veen, zand en klei) werden op elf plaatsen op meerdere diepten grondmonsters verzameld. De monsters werden steeds verzameld binnen een horizont, om vermenging te voorkomen. De boringen werden bodemkundig beschreven (bijlage 1), de grondwaterstand en de grondwatertrap werden bepaald, evenals de GLG. Van de profielen werden boorstaatjes gemaakt.

Tevens zijn watermonsters uit zes peilbuizen en twee sloten verzameld.



Fig. 1.1.
Ligging van de Hooilanden.



A wide, flat landscape with green grass and scattered pink flowers under a bright sky. The foreground is dominated by tall green grass with several clusters of small pink flowers. The middle ground shows a flat expanse of similar vegetation leading to a distant line of trees and a clear sky.

II

Werkwijze en analysemethoden





1 Veldwerk

1.1 Bemonstering

Bodem

De locaties van de boringen werden bepaald aan de hand van de verspreiding van de verschillende bodemtypen (kaart in ARIT, 2000). Het aantal monsters per bodemtype was evenredig aan de oppervlakte die de typen beslaan. Tevens werd gelet op de hoogteligging.

De boringen werden uitgevoerd met een Edelmanboor tot een diepte van (meestal) 1,2 m-mv. De profielen werden beschreven (bijlage 1) en getypeerd volgens Klinka. Van het profiel werden de grondwaterstand, GLG en Gt bepaald.

Water

Het water werd met een slangenpomp uit de peilbuizen gepompt. Oppervlaktewater werd bemonsterd door vijf deelmonsters te mengen, die vlak onder het wateroppervlak zijn verzameld.

1.2 Profielbeschrijving

De profielen werden beschreven volgens Klinka. Er werd aangegeven of een horizont geoxideerd of gereduceerd was.

2 Bodemanalyses

2.1 Voorbehandeling en apparatuur

Aanlevering

De 37 grondmonsters zijn in goed afgesloten PE-zakken vervoerd en na ontvangst gecatalogiseerd.

Drogen, malen en opslag

De grond werd zo spoedig mogelijk op schalen uitgespreid en aan de lucht gedroogd (geforceerde ventilatie bij 35°C). De droogtijd bedroeg ca. 24 uur. Nadat de grondmonsters luchtdroog waren, is een representatief deel van het monster gemalen in een kruisslagmolen (fijnheid < 0,5 mm) en gehomogeniseerd. De gemalen grondmonsters zijn opgeslagen in PE-potten bij kamertemperatuur.

Vochtgehalte

Van de luchtdroge grond is (na malen) het vochtgehalte bepaald (4 uur drogen bij 105°C). De afgewogen luchtdroge grond is op dit vochtgehalte gecorrigeerd, zodat alle in de tabellen opgegeven gehalten berekend zijn van oven-droge grond (m.u.v. pH_{KCl}).



Afwegen t.b.v. bepalingen

Om zo homogeen mogelijke submonsters af te wegen, waaraan de bepalingen zijn uitgevoerd, werd op steeds verschillende plaatsen een klein deel van het monster genomen. Dit geeft een acceptabel representatief deelmonster.

Apparatuur

Voor het malen is een Culatti kruisslagmolen gebruikt, voorzien van zeefjes met poriëgrootte 0,5 mm. Voor de pH metingen is een pH-meter (senslon378) met automatische temperatuurcompensatie van HACH gebruikt, samen met een combinatie gel-electrode. Destructies werden uitgevoerd met een regelbaar thermostaatblok (Kjeldatherm van Gerhardt). Spectrofotometrische kleurreacties zijn gemeten met een UV/VIS DR 4000 van HACH en kationen (metalen) zijn gemeten met een AAS Unicam 969 (double beam, background correction, acetyleen/lucht vlam, autosampler en diluter). De uitwisselbaar H werd getitreerd met een autotitrator (Schott Titroline 96).

2.2 pH_{KCl}

Algemeen

De pH van een grondmonster geeft een indicatie van de bodemaciditeit of alkaliniteit. Bij een pH meting wordt de activiteit gemeten van de geïoniseerde H^+ -ionen die in evenwicht zijn met niet-geïoniseerde H^+ -ionen (protonen). Niet-geïoniseerde protonen zijn pas uitwisselbaar bij een relatief hogere pH. Omdat de beschikbaarheid van de meeste plantenvoedingstoffen pH-afhankelijk is, is de pH van de grond een indicatie hiervoor (Page, 1989). Thomas (1967) merkt op dat drie pH's bijzonder informatief zijn:

- 1 $pH < 4$ indiceert de aanwezigheid van vrije zuren in de grond.
- 2 $pH < 5,5$ kan een aanwijzing zijn voor uitwisselbaar aluminium in de grond.
- 3 $pH = 7,8 - 8,2$ indiceert de aanwezigheid van $CaCO_3$ in de grond.

Volgens onze ervaring kunnen deze regels worden uitgebreid met:

- 4 Beneden $pH = 5,5$ à $6,0$ wordt geen $CaCO_3$ gevonden (met de methode volgens Wesemael).
- 5 Boven $pH_{water} = \pm 7,0$ is de pH_{KCl} hoger dan de pH_{water} , onder $pH_{water} = \pm 7,0$ is de pH_{KCl} lager dan de pH_{water} .

Methode

De pH is potentiometrisch gemeten in de bovenstaande vloeistof, van een 1:2,5 mengsel (10 g + 25 ml) van grond en een KCl-oplossing. De pH waarden zijn genoteerd na 20 seconden. Eventuele drift (d.w.z. een duidelijk hogere of lagere pH na 90 sec.) werd genoteerd.

Resultaten

De gemeten waarden zijn op verschillende wijze weergegeven in bijlage 2.



2.3 Organische stofgehalte

Algemeen

Met het organische stofgehalte wordt meestal het gehalte aan organische stof bedoeld dat tijdens het gloeien verloren gaat. Er kunnen tijdens het gloeien echter ook andere stoffen dan organische stof ontwijken c.q. zich ontleden. Voor CaCO_3 , structureel waterverlies en het natriumchloridegehalte kunnen correcties worden toegepast. Wanneer deze gehalten niet bekend zijn wordt gloeien bij lagere temperaturen dan normaal (ca. 850 of 550°C) voorgesteld. Maar ook bij 550°C blijken anorganische bestanddelen structureel gebonden water te verliezen.

Methode

Volgens Mitchell (1932) en Ball (1964) kan verlies van structureel water worden voorkomen als de temperatuur tijdens het gloeien tussen 350°C en 440°C blijft. Deze methode is bij deze analyses toegepast. Tijdens het gloeien was de oventemperatuur 380°C. Ovendroge grond (ca. 2,500 gram) werd in een voorgeloeid kroesje in de koude oven geplaatst en opgewarmd tot 380°C. Deze temperatuur werd ca. 4 uur gehandhaafd. Uit de gewichtsafname werd het organische stof percentage van de ovendroge grond berekend.

Resultaten

De resultaten staan in bijlage 2.

2.4 Uitwisselbaar Ca, Mg, K en Na

Algemeen

In een BaCl_2 - triethanolamine-extract, dat verkregen is via de Bascomb bepaling, worden uitwisselbaar calcium, magnesium, kalium en natrium bepaald. De pH van de BaCl_2 - triethanolamine buffer bedraagt 8,1.

Methode

De gebruikte methode is uitvoerig beschreven in Houba et al (1989) en Temminghoff (2000).

Calcium is met AAS (lucht-acetyleen) bepaald bij een golengte van 422,7 nm en magnesium bij 285,2 nm. Natrium is bepaald bij een golengte van 589 nm en kalium bij 766 nm.

Opmerking

De som van de vier kationen Ca, Mg, K en Na wordt in de literatuur TEB (Total Exchangeable Bases) of ECEC (Effective Cation Exchange Capacity) genoemd. De basenbezetting van de grond wordt berekend uit de CEC en de som van deze vier kationen. In figuren en bijlagen wordt hier CECc gebruikt als berekende CEC (som uitwisselbaar Ca, Mg, K, Na, H).

Resultaten

De resultaten staan in bijlage 2.



2.5 Uitwisselbaar H

Algemeen

De H-bezetting of uitwisselbaar waterstof (soms uitwisselbare aciditeit genoemd) die gemeten wordt, bestaat hoofdzakelijk uit 4 componenten:

- 1 H⁺ ionen, die vrij komen door hydrolyse van uitwisselbaar driewaardig aluminium.
- 2 Idem, maar van NIET uitwisselbaar aluminium.
- 3 H⁺ ionen die vrijkomen uit zwakke zuren, meestal organische stoffen.
- 4 Uitwisselbaar H⁺ (Page, 1989).

Bij een pH van de grond >5,5 zijn punt 2 en 3 het belangrijkste; bij pH <5,5 punt 1; en bij pH <4 punt 4.

Methode

De H-bezetting is bepaald in het Bascomb extract (zie paragraaf 2.4). Het extract wordt met zoutzuur getitreerd met een autotitrator tot pH=5,3 (Page, 1989). Het verschil tussen blanco en monster is het vrijgekomen H⁺.

Opmerking

Bij deze titratie wordt ook dissocieerbaar H⁺ (H₃O⁺), afkomstig van zwakke zuren (humuszuren) meebepaald. Bij aanwezigheid van kleimineralen zouden deze H⁺-ionen worden gebonden en komt er aluminium vrij (Scheffer & Schachtschabel, 1989).

Resultaten

De resultaten van de bepalingen staan in bijlage 2.

2.6 Oxalaat extraheerbaar P, Fe en Al

Algemeen

Door extractie van de grond met een oxaalzuur/ammoniumoxalaatbuffer met pH=3,0 wordt het gehalte 'actief' ijzer, aluminium en P in de grond bepaald. Door deze bepaling kan de fosfaatverzadiging worden berekend, die aangeeft of de grond nog in staat is fosfaat te binden.

Methode

De afgewogen ca. 1,500 g luchtdroge grond wordt met 30 ml buffer gedurende 2 uur in het donker geschud. Daarna wordt gefiltreerd over een glasfilter (Houba et al, 1989). Oxalaat extraheerbaar P, Fe en Al werden met ICP-AES gemeten.

Resultaten

De meetresultaten staan in bijlage 2.



2.7 Water extraheerbaar P

Algemeen

De luchtdroge grond wordt met water geschud bij 130 s/m. De verhouding grond water bedraagt 1:2 (gewicht-volume). De gemeten concentraties blijken gerelateerd aan de fosfaatverzadiging (par. 2.6).

Methode

De afgewogen ca. 15,000 g luchtdroge grond wordt met 30 ml water gedurende 1 uur bij 130 s/m geschud (Koopmans, 2004). Het mengsel wordt gefiltreerd over een glasfilter en in het heldere filtraat wordt $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ gemeten met de molybdaatblauw methode (Walters, 1989; Houba et al, 1989) en uitgedrukt in mg/l (in tegenstelling tot de andere waarden in mg/100g OD grond).

Resultaten

De meetresultaten staan in bijlage 2.

2.8 Lactaat extraheerbaar P

Algemeen

Door extractie van de grond met een melkzuur-azijnzuur-ammonia mengsel (pH=3,75) in een verhouding van w:v=1:20. De methode is ook wel bekend onder de naam 'dubbele lactaat methode' (Egnér et al, 1960; Houba et al, 1989).

P-lactaat is vooral een in de landbouw gebruikte parameter. Takman & Kooijman (2004) noemen grenswaarden; landbouwkundige normaalwaarde 40 mg/100g P_2O_5 als P-lactaat en streefwaarde c.q. natuurlijk niveau van 10 mg/100g P_2O_5 als P-lactaat.

Methode

De afgewogen ca. 1,500 g luchtdroge grond wordt met 30 ml melkzuurbufler gedurende 4 uur geschud en vervolgens gefiltreerd over een glasfilter. Het gehalte $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ wordt in het heldere extract gemeten met de molybdaatblauw methode (Walters, 1989; Houba et al, 1989).

Resultaten

De meetresultaten staan in bijlage 2.



3 Wateranalyses

3.1 Voorbehandeling en apparatuur

A evering, conservering en behandeling

Op de dag waarop de watermonsters zijn verzameld, zijn ze op ons laboratorium afgeleverd. Tijdens het vervoer zijn de monsters in een koelbox gekoeld. Op de dag van ontvangst zijn de pH, EGV en alkaliniteit aan ongefiltreerde monsters gemeten. Daarna zijn de monsters gefiltreerd over een glasfilter (Schleicher & Schuell, GF50; 1,5 μm) en in de koelkast bij ca. 5°C bewaard. Om gesuspendeerde deeltjes uit de monsters te verwijderen werden ze zonodig over een membraanfilter (Schleicher & Schuell, OE 67; 0,45 μm) gefiltreerd, vóórdat er spectrofotometrische metingen werden uitgevoerd. De volgende dag zijn de overige parameters gemeten.

Apparatuur

De bemonstering is uitgevoerd met een slangenpomp (Eijkelkamp, slangenpomp 12Vdc).

De EGV is gemeten met een pH/EC combinatie meter (SenIon 378 van Hach) met een combinatie gel-elektrode en automatische temperatuurcompensatie. De kationen calcium, magnesium, kalium en natrium zijn met een UNICAM 969 Solar vlam AAS gemeten (lucht-acetyleen; zonodig met background-correctie) met sampler en diluter. De spectrofotometrische analyses zijn uitgevoerd met een UV/VIS spectrofotometer DR 4000 (Hach) met sipper module (niet voor sulfaat).

De analyseresultaten staan in bijlage 3.

3.2 pH en E.G.V.

Algemeen

De pH en het E.G.V. van het grondwatermonster zijn direct na ontvangst aan het niet gefiltreerde monster bepaald. Het E.G.V.²⁵ van het grondwater geeft een algemene indicatie over de hoeveelheid in het water opgeloste stoffen.

Methode

De pH is electrometrisch gemeten. Het E.G.V. is gemeten met een geleidbaarheidsmeter met automatische temperatuurcompensatie, waardoor direct het E.G.V.²⁵ kan worden afgelezen.

De analyseresultaten staan in bijlage 3.

3.3 Alkaliniteit

Methode

Een hoeveelheid water is direct na ontvangst van de monsters met verdund zoutzuur getitreerd tegen methylooranje (pH omslag=4,2).



Opmerking

De alkaliniteit of zuurbindend vermogen geeft de bufferende werking van het water aan en wordt bepaald door in water opgelost bicarbonaat, carbonaat en hydroxiden (welke ionen domineren is pH-afhankelijk; zie bij koolzuur) en in veel mindere mate ook door silicaten, fosfaten en andere anionen. In de meeste wateren is echter voornamelijk bicarbonaat aanwezig (Allen, 1989).

3.4 Calcium, magnesium, kalium, natrium en ijzer.

Methode

Het calcium-, magnesium-, kalium-, natrium- en ijzergehalte is met AAS bepaald (Eaton e.a., 1995). Bij calcium en magnesium is lanthaan en bij kalium en natrium is cesium gebruikt om storende invloed van fosfaat, aluminium etc. te elimineren.

Opmerking

Het gehalte van deze kationen kan verhoogd zijn ten gevolge van oplossen door zure neerslag en de verzurende werking van gierbemesting. Natrium kan verhoogd zijn door brakwaterinvloed. De analysesresultaten staan in bijlage 3.

3.5 Fosfaat

Methode

Fosfaat ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) is gemeten met de ascorbinezuurmethode. Hierbij wordt aanwezig orthofosfaat met molybdaat en ascorbinezuur omgevormd tot molybdaatblauw, hetgeen gemeten wordt bij 890 nm.

Opmerking

Fosfaat wordt door ijzer, calcium, en aluminium gebonden onder oxidatieve omstandigheden, b.v. wanneer kwelwater aan de oppervlakte komt of in zuurstofhoudend oppervlaktewater terecht komt. Door ijzerrijke kwel kan fosfaatrijk grondwater dus fosfaatarm worden. De analysesresultaten staan in bijl. 3.

3.6 Chloride

Methode

Het chloridegehalte van het grondwater is spectrofotometrisch bepaald (met kwikthiocynaat en ijzer(III)). Met kwikthiocynaat vormt chloride vrij thiocynaat dat met ijzer(III)-ionen een roodoranje kleurstof vormt. De intensiteit van de kleur is equivalent aan het chloridegehalte en wordt gemeten bij 455 nm.

Opmerking

Het chloridegehalte van het grondwater is o.a. afhankelijk van de geologische geschiedenis van de bodem (mariene herkomst) en van afvalwaterlozingen. Normaal bevat oppervlaktewater en grondwater niet meer dan ca. 100 mg/l Cl (Allen, 1989).

De analysesresultaten staan in bijlage 3.



3.7 Sulfaat

Methode

Het sulfaatgehalte is spectrofotometrisch gemeten bij 450 nm (Hach, 1995). Door toevoeging van bariumchloride en konditioneringsmiddelen wordt een troebeling verkregen die evenredig is aan het gehalte sulfaat in het grondwater.

Opmerking

Met deze methode worden alle sulfaationen die in het water aanwezig zijn bepaald. Geadsorbeerde sulfaat wordt niet meebepaald.

Het sulfaatgehalte bedraagt meestal enkele tientallen milligrammen per liter. Bij de aanwezigheid van gips kan het sulfaatgehalte echter oplopen tot enkele honderden milligrammen per liter (Allen, 1989; Page, 1989). Ook door verontreinigingen t.g.v. gierlozingen kan sulfaat in hogere concentraties in het grondwater aanwezig zijn (Schwedt & Schnepel, 1981).

Onder anaërobe (zuurstofloze) omstandigheden kan sulfaat door bacteriën gereduceerd worden tot sulfide en H_2S (Scheffer & Schachtschabel, 1989).

De analyseresultaten staan in bijlage 3.



III

Bespreking van de analyseresultaten





1 Grond

In bijlage 1 worden de boorprofielen gedetailleerd beschreven. De verzamelde monsters kunnen verdeeld worden in de substraattypen: (gereduceerd)zand, lemig zand, kleilig zand, venige klei en rietzegge veen. Het gereduceerde zand komt op grotere diepte voor, evenals het rietzegge veen. De overige substraattypen kunnen zowel ondiep als dieper voor komen (bijlage 1 en 2).

De bodem pH_{KCl} is meestal zwak zuur. De calciumverzadiging van de onderzochte bodemonsters is tamelijk hoog en ligt tussen ca. 60 en 80%; enkele leem- en organische stofarme monsters (gereduceerd zand) hebben een lagere calciumverzadiging (ca. 40-60%). De grootste hoeveelheden uitwisselbaar calcium worden gemeten in de substraten met het hoogste gehalte organische stof; vooral de venige klei en het rietzegge veen bevatten het meest calcium (fig. 3.1). De spreiding ontstaat doordat een monsterpunt meer of minder onder invloed van grondwater staat.

De meeste monsters bevatten tamelijk veel oxalaat extraheerbaar ijzer en aluminium, waardoor het fosfaatbindend vermogen navenant hoog is. Vooral bij de lemige zanden is de fosfaatverzadiging echter ook hoog. Ook vooral bij de lemige zanden is de $\text{P}_{\text{lactaat}}$ waarde hoog te noemen (hoger dan de landbouwkundige normaaltoestand van 40 mg/100 g P als P_2O_5). In fig. 3.2 zijn de gehalten oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat uitgezet per substraattype. Opvallend is het hoge gehalte fosfaat tegen lagere gehalten ijzer en aluminium bij lemig zand. Bij het rietzegge veen is het fosfaatgehalte het laagst ten opzichte van ijzer en aluminium. De verschillende P-fracties per substraat-

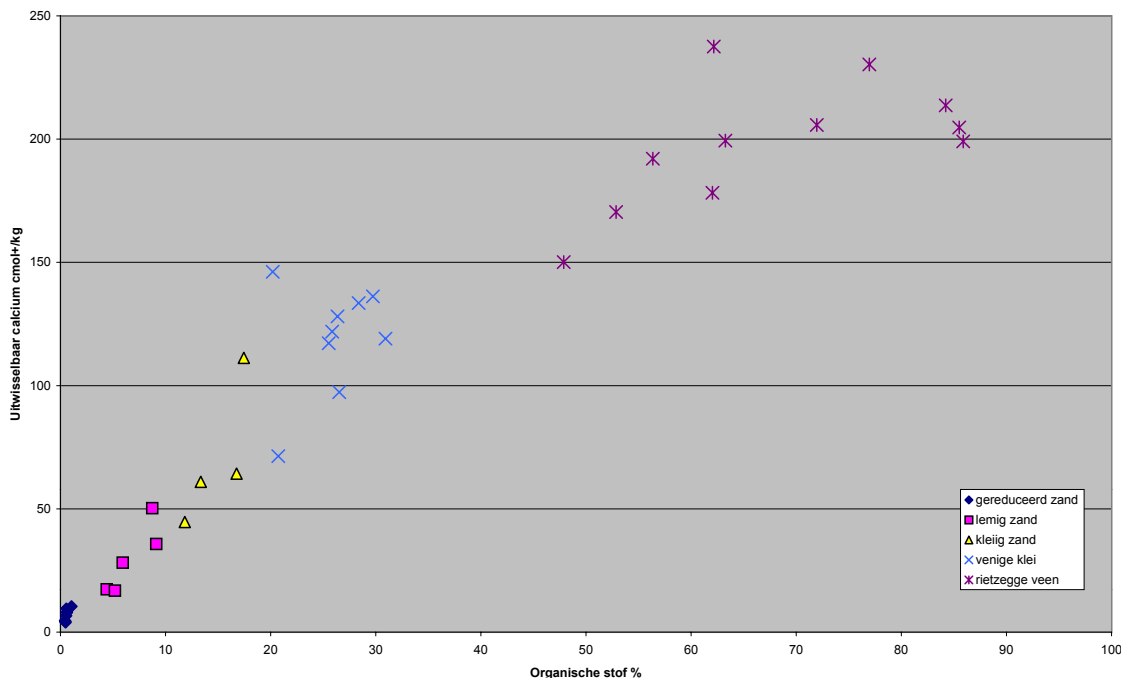


Fig. 3.1.

De relatie tussen het organische stof gehalte en het gehalte uitwisselbaar calcium per substraat. Substraat met veen of klei bevat veel uitwisselbaar calcium.

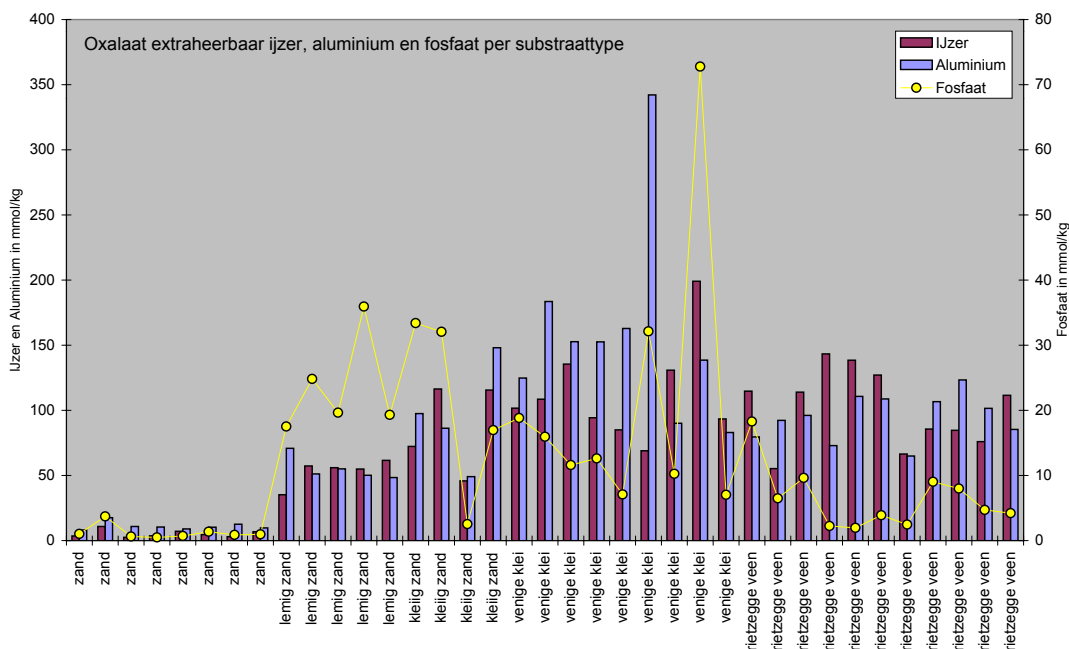


Fig. 3.2. Oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat per substraat. Vooral lemig zand bevat veel fosfaat in relatie tot ijzer en aluminium.

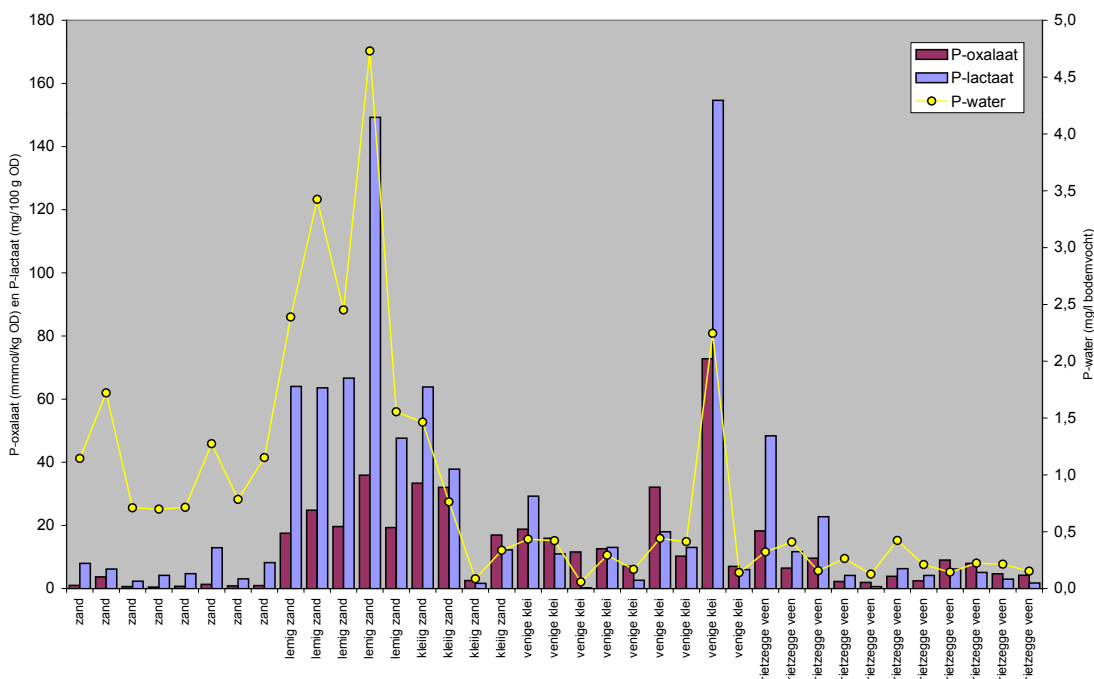


Fig. 3.3. Drie P-fractionen per substraattype. In (gereduceerd) zand en lemig zand worden de hoogste gehalten gemeten. De hoge waarden bij venige klei betreft monster BV8, boorlocatie 23b.



type zijn te zien in fig. 3.3. Lemig zand bevat van alle drie fracties de hoogste gehalten. Opvallend is het hoge gehalte fosfaat in het bodemvocht (P-water) bij het (gereduceerde) zand. Dat bevat het minste ijzer en aluminium (fig. 3.2) en dus het kleinste P-bindende vermogen; daardoor wordt het snel uitgewassen.

2 Water

Het onderzochte grond- en oppervlaktewater kan worden opgevat als zoet, hard tot zeer hard water met calcium als dominant kation en meestal bicarbonaat als dominant anion (in enkele gevallen is sulfaat codominant). De pH ligt in het neutrale bereik en het water is goed gebufferd. De chloride gehalten in de meeste monsters duiden op vervuild water. Ook het fosfaat-P gehalte in de meeste monsters geeft aan dat het water belast tot sterk belast is; uitzondering daarop is de sloot bij PB1, waar het water P-schoon is. Enkele monsters bevatten een substantiële hoeveelheid ijzer, hetgeen duidt op pyrietoxidatie door nitraat, dat mogelijk in het grondwater voorkomt.

Het onderzochte water bevat een groot deel grondwater (bijlage 3c) en de correlatie met standaard grondwater (Li) is hoog (bijlage 3a). Ondanks de tamelijk hoge pH is het water toch kalkoplossend (verzadigingsindex is negatief; bijlage 3a).

Maucha diagrammen laten zien dat het water sterk op grondwater lijkt (lange calcium en bicarbonaat pieken) en dat chloride en sulfaat soms naar voren treden (bijlage 3a en 3d).

3 De Bennekomse Meent als referentie

Het grond- en oppervlaktewater in de Bennekomse Meent zou als referentie gebruikt kunnen worden voor de beoordeling van het water in de Hooilanden.

Vervuiling

In bijlage 8 en 9 zijn Maucha diagrammen te zien van een bemonstering in de Bennekomse Meent uit 2000 (Giesen & Geurts, 2001). Daaruit blijkt dat er in de Bennekomse Meent sprake is van meestal onvervuild grondwater van het calciumbicarbonaat type met een beperkt aandeel regenwater (<50%). Het aandeel grondwater-regenwater verschilt weinig tussen voorjaar en najaar; de kwelstroom is dus vrij constant en de regenwaterinvloed is niet groot.

De Maucha diagrammen in bijlage 3d van de Hooilanden uit 2004 lijken sterk op die van de Bennekomse Meent, maar het aandeel sulfaat en chloride is groter in de Hooilanden. In de Hooilanden is het aandeel grondwater ook bijna steeds groter dan 50%. Ook het water in de sloten is vergelijkbaar in de twee gebieden.

In 2000 is geconstateerd dat de Grift (ter hoogte van de Bennekomse Meent) vervuild is, evenals in 2004 in de Hooilanden; sulfaat, chloride en natrium zijn verhoogd in beide jaren/terreinen.

De fosfaatbelasting van het grondwater is in de Hooilanden lager dan in de Bennekomse Meent (juni van 2000 en 2004), maar in beide terreinen kan het 'belast' genoemd worden (gemiddelden):

Bennekomse Meent 0,533 mg $\text{PO}_4^{3-}\text{-P/l}$ (SD=0,491; n=7); juni 2000.

de Hooilanden 0,176 mg $\text{PO}_4^{3-}\text{-P/l}$ (SD=0,115; n=5); juni 2004.

De Grift is in beide jaren/terreinen vervuild en met fosfaat 'belast', maar lager



dan het grondwater. De nitraatbelasting van het Griftwater was in 2000 in de Bennekomse Meent wel veel hoger dan van het grondwater, maar nog niet hoog (gemeten waarden: 1,3 en 1,4 mg NO₃-N/l).

Calcium

Het calciumgehalte in het grondwater in de vergelijkbare periode (juni) is in beide gebieden nagenoeg hetzelfde (gemiddelden):

Bennekomse Meent 70,4 mg Ca/l (SD=21,7; n=7); juni 2000.

de Hooilanden 67,9 mg Ca/l (SD=22,2; n=5); juni 2004.

Ook de overige gemeten parameters als EGV en alkaliniteit hebben vergelijkbare waarden in de twee terreinen.

Conclusie

De terreincondities voor wat betreft de aanvoer van calcium door het grondwater is in de Bennekomse Meent en de Hooilanden nagenoeg hetzelfde. Het grondwater in de Hooilanden is wel meer belast met chloride, sulfaat en natrium.

De fosfaatbelasting van het grondwater is in de Hooilanden lager dan in de Bennekomse Meent, maar in beide terreinen is het grondwater 'belast' te noemen.

De belasting van het Griftwater lijkt niet dramatisch, maar die conclusie is slechts op enkele metingen gebaseerd. Hier zou nader naar gekeken moeten worden.



IV
Basentoestand





1 Basen in grondwater en bodem

Voor chemische analyse van het grondwater zijn monsters genomen die afkomstig zijn uit geheel geperforeerde buizen. Het verzamelde water moet daarom als een mengmonster over het gehele bodemprofiel worden beschouwd.

Uit de wateranalyses blijkt dat over het algemeen een calciumrijk grondwater-type wordt aangetroffen met hoge waarden van de ionenratio (zie bijl. 3a). Van de watermonsters is de verwantschap berekend met 'kalkrijk grondwater' en 'regenwater'. Het blijkt dat er een belangrijke grondwatercomponent onder het terrein aanwezig is (70-80% bij buis 1 en 3; bijl. 3a), die echter plaatselijk kan zijn vermengd met regenwater (50-80% regenwater bij buis 2, 4 en 5). Hiermee is nog niet duidelijk of de invloed van het grondwater tot in het maaiveld reikt. Om dit nader te analyseren is bodemchemisch onderzoek uitgevoerd.

Daartoe is van de verzamelde bodemmonsters (bijl. 4) de kationenadsorptiecapaciteit (CEC) bepaald en vervolgens de mate waarin het adsorptiecomplex is bezet met Ca-ionen. Deze calciumionen worden door het opkwellende grondwater aangevoerd en vervolgens gebonden aan het adsorptiecomplex. De mate waarin het adsorptiecomplex is bezet met calciumionen wordt de calciumverzadiging genoemd. De calciumverzadiging van de bodem is in evenwicht met de samenstelling van het grondwater. Bij dominantie van calciumionen in het grondwater zal daarom het adsorptiecomplex eveneens gedomineerd worden door calciumionen.

De calciumverzadiging op een bepaalde diepte in de bodem vormt daardoor een indicatie voor de aan- of afwezigheid van kwel. Naarmate meer calciumio-

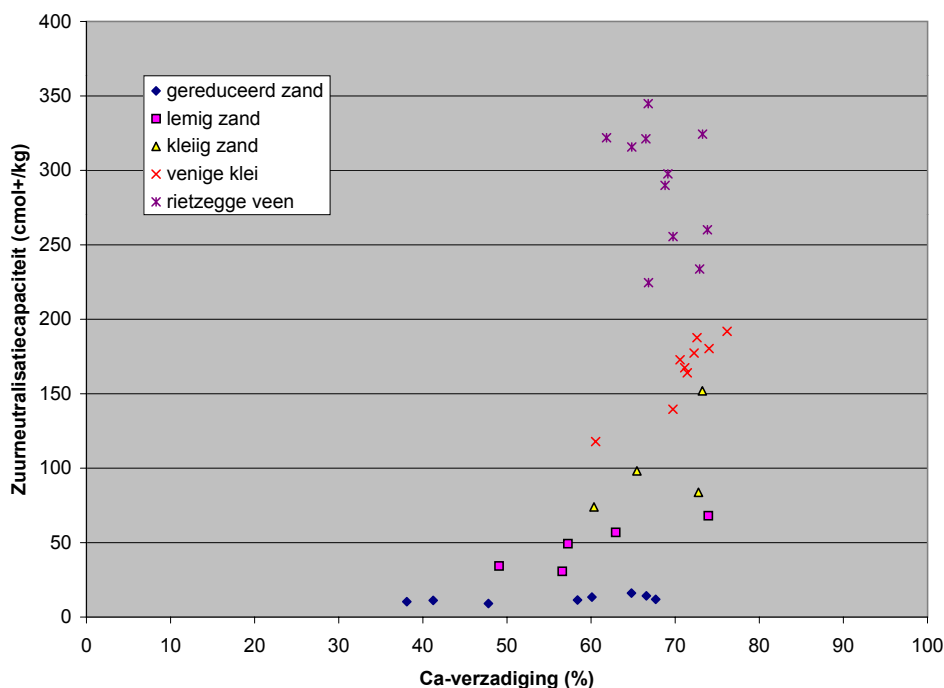


Fig. 4.1. De zuurneutralisatiecapaciteit van de bodem in relatie tot de calciumverzadiging van de verschillende bodemsubstraattypen.

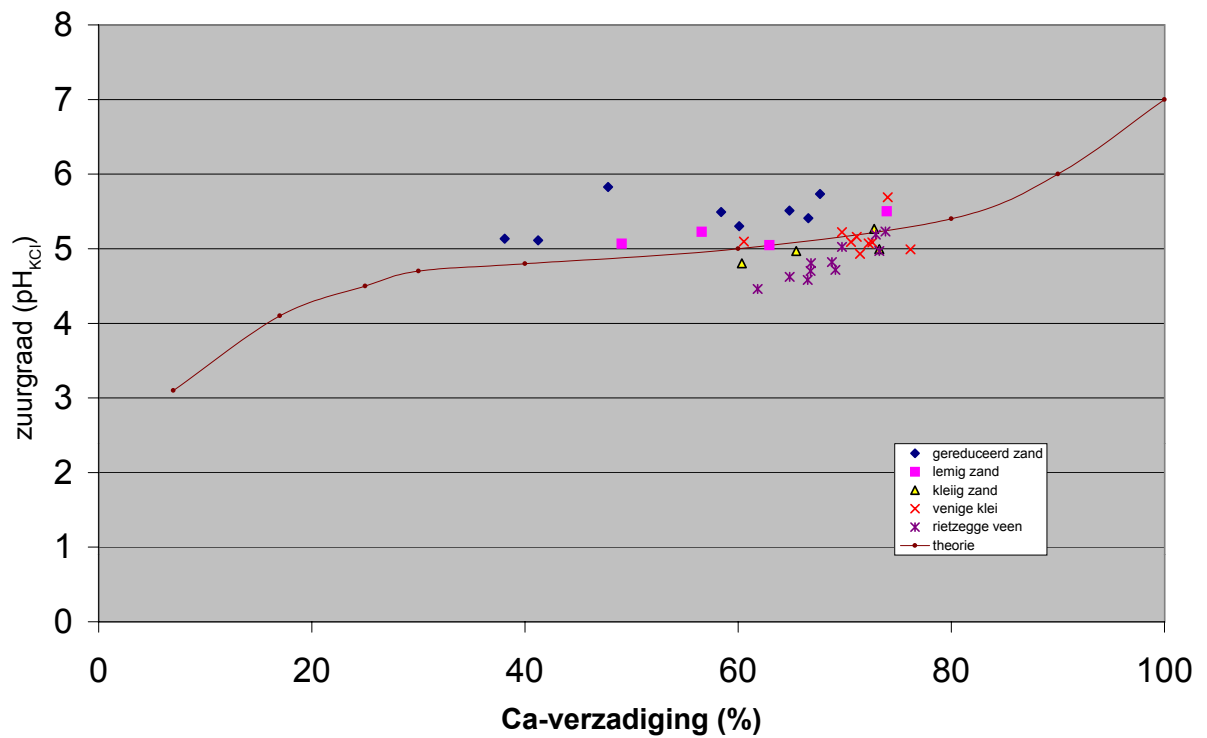


Fig. 4.2. Verband tussen de calciumverzadiging van het adsorptiecomplex en de zuurgraad van de verschillende bodemsubstraattypen die in het gebied zijn aangetroffen. De lijn geeft het theoretische verband weer dat is herleid uit een groot aantal waarnemingen in natuurterreinen.

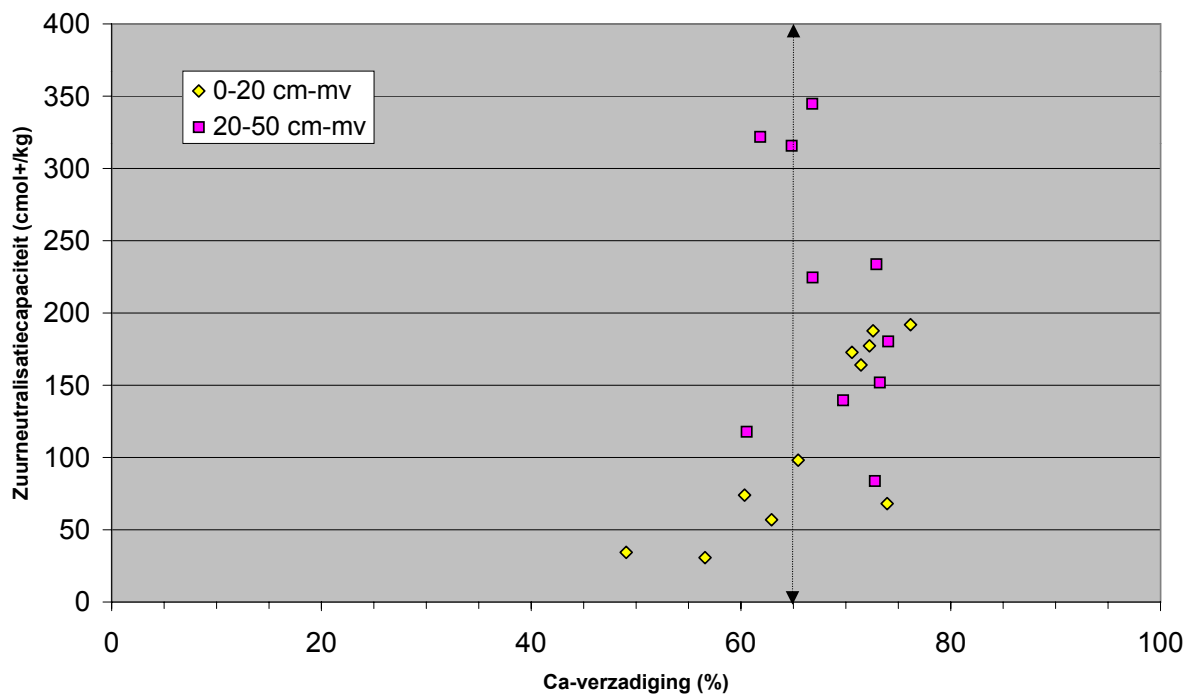


Fig. 4.3. De zuurneutralisatiecapaciteit van de bodem in relatie tot de calciumverzadiging op verschillende dieptes beneden maaiveld. Met een lijn is de grenswaarde van 65% calciumverzadiging aangegeven.



De calciumverzadiging wordt vooral bepaald door de aanwezigheid van gehumificeerde organische stof en klei/leem.

In de zandgronden op grotere diepte is in het Binnenveld (onder GLG) nauwelijks organische stof of leem aanwezig.

Er kan daardoor weinig calcium of andere kationen gebonden worden.

nen door het grondwater worden aangevoerd zal het adsorptiecomplex sterker verzadigd raken. De calciumverzadiging is tevens een maat voor het zuurbufferendvermogen van de bodem. Bij infiltratie van zuur (regen)water in de bodem zullen zuurionen aan het adsorptiecomplex worden gebonden en zal het calcium worden verdrongen; de calciumbezetting wordt dus lager. De aangevoerde zuurionen worden door deze ionenwisseling geneutraliseerd waardoor de zuurgraad wordt gebufferd.

In fig. 4.1 is de zuurneutralisatiecapaciteit (CEC) uitgezet tegen de calciumverzadiging van de bodem, opgesplitst naar substraattype. Er is een groot verschil tussen de substraattypen. Op een aantal plaatsen is een monster verzameld van de zandondergrond onder het niveau van de laagste grondwaterstand (gereduceerd zand). Deze monsters bevatten nauwelijks leem of organische stof en hebben daardoor een lage zuurneutralisatiecapaciteit. De calciumverzadiging van dit gereduceerde zand varieert tussen ca. 40 en 70%. Het blijkt dat bij boring 23b en 26a (zie bijlage 2b en 4) op de diepte van de laagste grondwaterstand een calciumverzadiging <50% voorkomt. Dit is een aanwijzing dat ter plaatse van deze 'zandkop' in het terrein regenwater tot in de ondergrond is doorgedrongen. In de overige boringen komt een calciumverzadiging van 60 - 70% voor, hetgeen op een belangrijke grondwatercomponent wijst.

Van lemig zand, via kleiig zand, venige klei en rietzegge veen neemt de zuurneutralisatiecapaciteit sterk toe (fig. 4.1). Van vrijwel al deze monsters is de calciumverzadiging > 60%, wat duidt op een belangrijke grondwaterinflow. Deze monsters bevatten weinig zuren en hebben daardoor ook een vrij hoge pH_{KCl} (fig. 4.2). Alleen de oppervlakkig voorkomende lemige zandgronden (zandopduiking) hebben een wat lagere calciumverzadiging, wat duidt op enige verzuring.

Om een beter inzicht te krijgen of het kwelwater tot in het maaiveld reikt, is in fig. 4.3 de calciumverzadiging van de bemosterde bovengronden (0-20) en de daaronder gelegen laag (20-50 cm) weergegeven.

Voor basenrijke plantengemeenschappen kan als minimumgrens een calciumverzadiging van 65% worden aangehouden. Van nagenoeg alle monsters met een calciumverzadiging >65% blijkt de maaiveldhoogte onder de huidige hoogtelijn van 5,0 m +NAP te zijn gelegen. De 5,0 m +NAP hoogtelijn kan daarom bij benadering als grens worden aangehouden waaronder het grondwater nog tot in het maaiveld reikt. Boven deze hoogtelijn, wat grofweg overeenkomt met het gebied waar de zandopduiking voorkomt, komt een calciumverzadiging <65% voor. Dit wijst erop dat daar de grondwaterinflow minder sterk aanwezig is en dat een proces van uitspoeling en verzuring op gang is gekomen. Echter door het grote zuurbufferend vermogen van de meeste lemige en kleiige gronden is dit een zeer traag proces. Dit blijkt tevens uit het feit dat op de meeste (niet zandige)

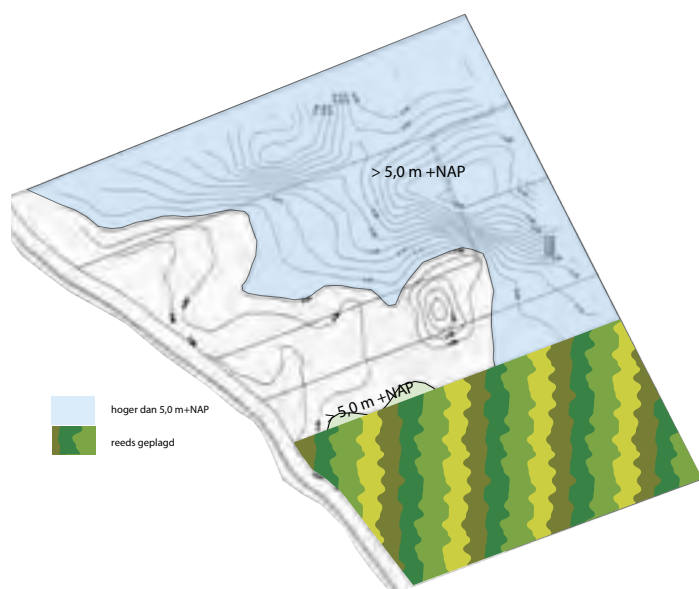


Fig. 4.4.
Hoogtekaart met >5,0 m+NAP aanduiding (zie ook bijlage 5).



bovengronden de pH nog steeds vrij hoog is (zie fig. 4.2).

Het verband tussen zuurgraad en calciumverzadiging ten gevolge van verzuring verloopt volgens de getrokken lijn in fig. 4.2. Uit de positie van de bodemmonsters (de punten liggen in de grafiek op het horizontale deel; dus afname van calcium doet de pH niet direct dalen) en hun grote zuurneutralisatiecapaciteit, kan worden afgeleid dat verzuring van het terrein met uitzondering van de 'zandkop' geen acuut probleem vormt en dat de bodem voorlopig nog over ruim voldoende zuurbuftercapaciteit beschikt.

De termijn waarop de bodem kan verzuren vraagt een modelmatige aanpak met evenwichtsberekeningen tussen vaste en vochtfase voor calcium en pH, hetgeen binnen het kader van dit onderzoek te ver gaat. Wel kan de orde van grootte worden geïllustreerd. Er vanuit gaande dat er 100 cmol Ca²⁺/kg is geadsorbeerd (een lage maar reële schatting, zie analysedata in bijlage 2a) en een bulkdichtheid van 0,45 van de bodem, kan worden berekend dat er in elke dm³ grond ongeveer 17.500 mg Ca²⁺ geadsorbeerd is. Veronderstellend dat de evenwichts concentratie in het bodemvocht voor Ca²⁺ 40 mg/l is en uitgaande van een neerslagoverschot van 300 mm/jr, kan er jaarlijks 120 mg Ca²⁺ uitspoelen als er helemaal geen kwel zou zijn. Het zou dan 145 jaar duren voordat het adsorptiecomplex volledig gestript was van calcium en ca. 25 jaar voordat de Ca-verzadiging onder de 50% zou zijn gedaald (bij het ontbreken van kwel).

Omdat er in het kader van WB21, waarschijnlijk waterbergingsvoorstellen komen voor het lagere deel van het Binnenveld, is het interessant na te gaan of tijdens inundatie kwelwater wordt weggedrukt en wat voor invloed dit zou hebben. Inundatie zou de kwel inderdaad kunnen wegdrukken, maar daar staat tegenover dat inundatie tot zuurstof- en oze omstandigheden leidt, waarbij reducerende processen in de bodem gaan domineren. Reductie is een zogenaamd zuurconsumerend proces. Dit betekent dat zuurionen in het bodemvocht worden geneutraliseerd en een minder zure toestand ontstaat. Bovendien gaat onder zuurstof- en oze omstandigheden de afbraak van organische stof (op een laag pitje) gewoon door, waardoor bicarbonaat wordt gevormd. Inundatie leidt dus altijd tot alkalinisatie: de bodem wordt minder zuur.

2 Conclusie

Uit chemische analyses van water en bodem komt het beeld naar voren dat onder het gehele terrein grondwater voorkomt. Dit grondwater bereikt als kwelwater het maaiveld alleen in de zone van het terrein dat beneden de 5,0 mⁿNAP hoogtelijn is gelegen. In de zone die boven deze hoogtelijn voorkomt (de zandkop) is het kwelwater verdrongen door regenwater, waardoor daar een proces van verzuring op gang is gekomen.



Fosfaattoestand







1 Uitgangspunten en theorie

Algemeen wordt ervan uitgegaan dat fosfaat in de bodem wordt vastgelegd door amorfe (ook wel actieve) ijzer- en aluminiumoxiden. Door extractie van de grond met een ammoniumoxalaatoplossing (Schwertman, 1964; Temminghoff, 2000) wordt het gehalte ijzer- en aluminiumoxiden en het fosfaat dat daaraan is gebonden, bepaald. Uit onderzoek naar het fosfaatbindend vermogen door ijzer- en aluminiumoxiden is naar voren gekomen dat de maximale hoeveelheid fosfaat die kan worden gebonden (PSC) een functie (α) is van het gehalte oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium (o.a. Van Riemsdijk et al. 1984, Van der Zee et al. 1987, Koopmans 2004).

In formule:

$$PSC = \alpha (Fe+Al)_{ox}$$

De gemiddelde waarde van α is mede afhankelijk van andere bodemeigenschappen (organische stof, klei) en varieert tussen 0,30 en 0,80 (Maguire et al., 2001). Voor Nederlandse kalkloze zandgronden wordt een waarde $\alpha = 0,5$ aangehouden (Van der Zee et al., 1988). Een grondsoort waarin de hoeveelheid fosfaat (P_{ox}) overeenkomt met $0,5 (Fe+Al)_{ox}$ wordt daarom als fosfaatverzadigd beschouwd. De P-oxalaat analyse (P_{ox}) wordt als maatgevend beschouwd voor de totale geadsorbeerde P-voorraad, dus zowel de reversibele (i.e. gesorbeerd) als de (quasi-) irreversibele (i.e. in inwendige aggregaten gefixeerde) voorraad. De gesorbeerde fractie komt relatief gemakkelijk beschikbaar, de gefixeerde fractie via een zeer langzame diffusie reactie.

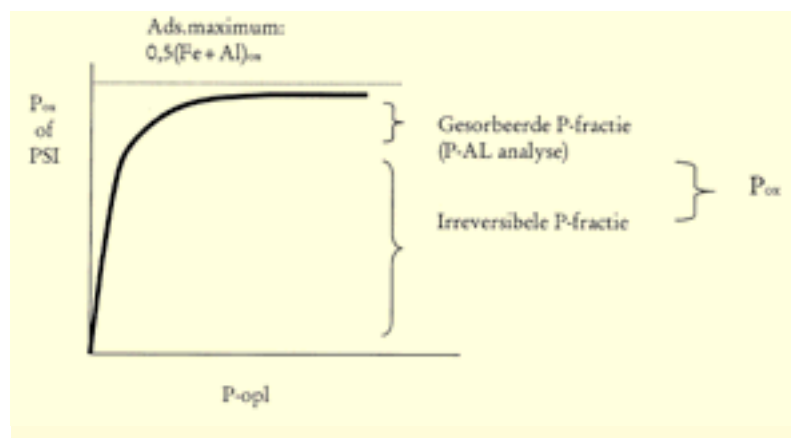
Verondersteld wordt dat het aan de bodem (i.e. aan Fe- en Al-oxiden) geadsorbeerde fosfaat (P_{ox}) in evenwicht verkeert met het fosfaat in het bodemvocht. Deze evenwichtsreactie kan worden weergegeven door een zgn. Langmuir-isotherm. Deze isotherm wordt ook wel een adsorptie- of desorptie-isotherm genoemd en beschrijft het verband tussen het gebonden fosfaat en het opgeloste fosfaat (in mg P/l in het bodemvocht). Fig. 5.1 geeft dit theoretische verband weer.

Op de verticale as kan zowel het absolute fosfaatgehalte (in geval van bepaling van de adsorptie van een bepaald monster) als het fosfaatgehalte in relatie tot het gehalte $(Fe+Al)_{ox}$ worden weergegeven. In het laatste geval wordt de variabele op de verticale as de fosfaatverzadigingsindex ($PSI = P_{ox} / (Fe+Al)_{ox}$) genoemd.

Het verband is in hoge mate niet-lineair en geeft aan hoe de fosfaatcon-

PSC	= maximale fosfaatverzadiging.
PSD	= actuele fosfaatverzadiging.
α	= fosfaatverzadigingsindex.
Fe_{ox}	= oxalaat extraheerbaar ijzer.
Al_{ox}	= oxalaat extraheerbaar aluminium.
P_{ox}	= oxalaat extraheerbaar fosfaat.

Fig. 5.1.
Het verband tussen opgelost (P_{opl}) en gebonden (P_{ox}) fosfaat volgens een Langmuir-isotherm. De irreversibele P-fractie gaat moeilijk in oplossing en verhoogt de P_{opl} . (in oplossing) nauwelijks. De gesorbeerde fractie juist wel.





centratie in het bodemvocht verandert bij een verandering van het gebonden fosfaat. Bij maximale verzadiging neemt de fosfaatconcentratie in het bodemvocht sterk toe, terwijl de gebonden fractie vrijwel ongewijzigd blijft.

Bij desorptie komt in het horizontale deel van de isotherm P vooral vanuit de gesorbeerde (reversibele) fase in oplossing. In het verticale deel van de curve is de P-concentratie in het bodemvocht veel sterker gebufferd en verandert de concentratie nog maar langzaam: in dit deel is de langzame diffusiereactie verantwoordelijk voor het in oplossing komen van de gefixeerde (quasi-irreversibele) P-fractie (Koopmans et al., 2004).

2 De fosfaattoestand in de Hooilanden

In de Hooilanden zijn op elf plekken grondmonsters verzameld (bijl. 4) op verschillende dieptes beneden maaiveld, in een aantal gevallen tot beneden het niveau van de GLG. Fig. 5.2 geeft het gevonden verband weer tussen de fosfaatverzadigingsindex van de bodem en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht. De monsters die onder het niveau van de GLG zijn verzameld werden (in fig. 5.2) buiten beschouwing gelaten, omdat zij vrijwel geen Fe- en Al-oxiden bevatten en nauwelijks bijdragen aan de fosfaatadsorptie (zie ook fig. 5.4 en bijl. 2a).

Het gevonden verband benaderd heel goed het verloop van een Lang-

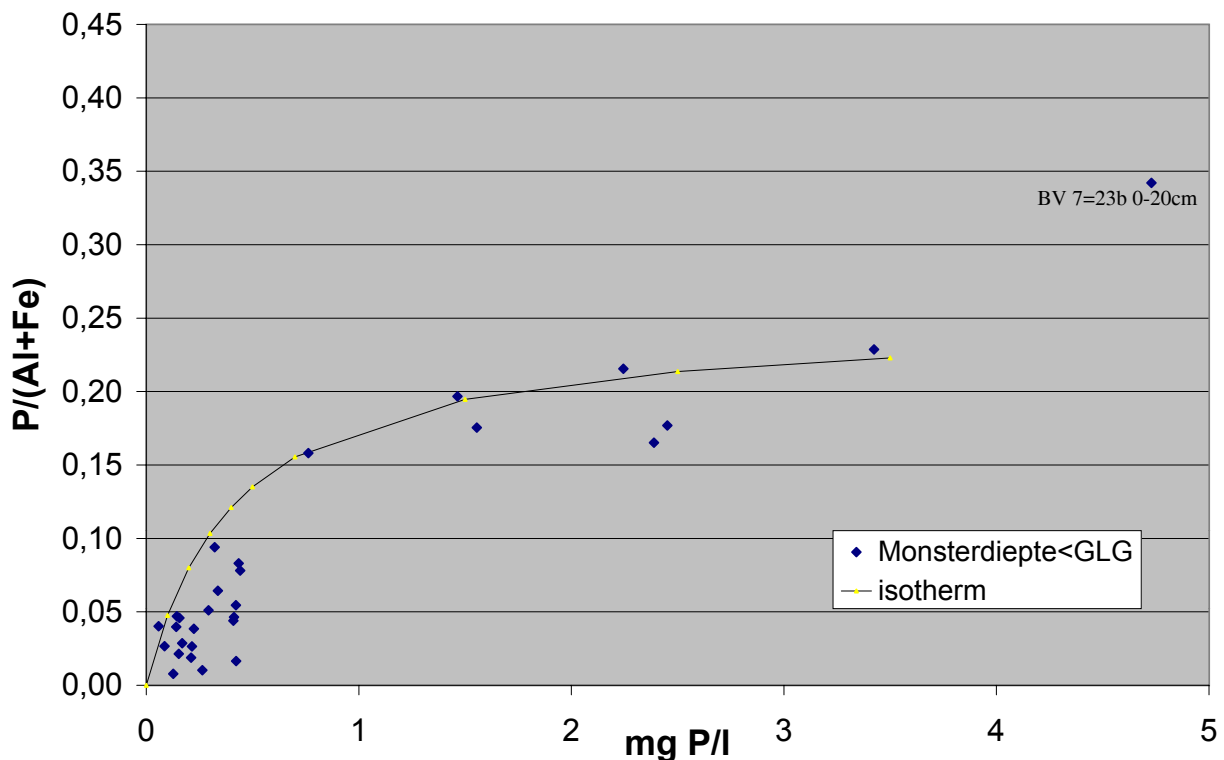


Fig. 5.2.

Verband tussen fosfaatverzadigingsindex, $P/(Al+Fe)$ of α , van de bodemmonsters en het fosfaatgehalte in het bodemvocht boven het niveau van de GLG. De getrokken lijn geeft de passende Langmuir-isotherm weer.



muir-isotherm (fig. 5.1) met een verticaal en een horizontaal traject (één punt vormt hierop een niet te verklaren uitzondering nml. BV7 zie bijl. 4). Volgens de verzamelde gegevens ligt het adsorptiemaximum bij $0,25(\text{Fe}+\text{Al})_{\text{ox}}$. Dit betekent dat de onderzochte gronden een vrij lage adsorptiecapaciteit hebben en onder de waarden vallen die in de literatuur worden vermeld (Maguire et al., 2001). Daarbij moet de kantekening worden gemaakt dat weinig gegevens bekend zijn van kleiige veengronden met hoge organische stofgehalten, zoals verzameld in de Hooilanden. Mogelijk dat opgeloste organische zuren (chelaten) een deel van de Fe- en Al-oxiden afschermen, waardoor ze geen fosfaat kunnen binden en het adsorptiemaximum lager is.

Uitgaande van de gevonden maximale fosfaatverzadiging van $0,25(\text{Fe}+\text{Al})_{\text{ox}}$ is vervolgens de fosfaatverzadigingsgraad (PSD) van de monsters berekend volgens:

$$\text{PSD} = P_{\text{ox}} / 0,25(\text{Fe}+\text{Al})_{\text{ox}}$$

De monsters werden steeds verzameld in horizonten die homogeen in substraateigenschappen waren, zodat het fosfaatgedrag per substraattypen kan worden geanalyseerd. In fig. 5.3 is het verband weergegeven tussen de actuele fosfaatverzadigingsgraad en het opgeloste fosfaat in het bodemvocht per substraattypen. In deze figuur is het eerder genoemde uitzonderlijk punt weggelaten (zie ook fig. 5.2). De monsters zijn gegroepeerd naar bodemsubstraattypen. Daarbij zijn op basis van de profielbeschrijvingen onderscheiden: lemig zand,

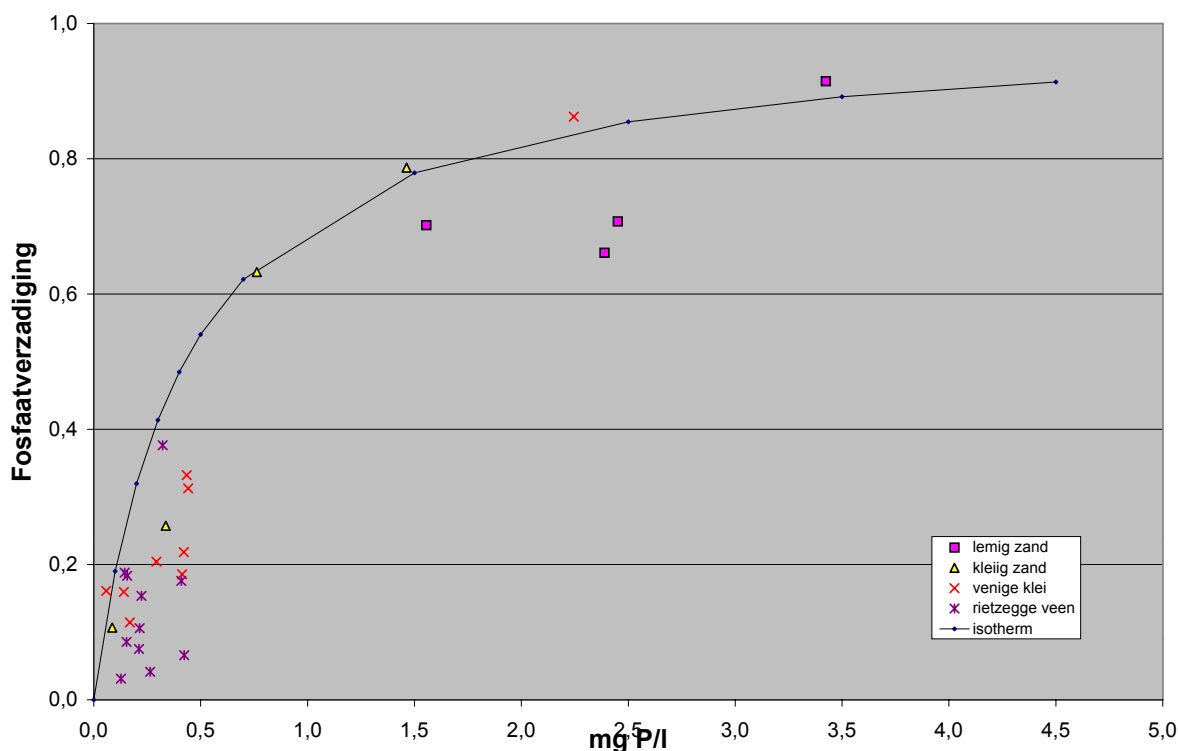


Fig. 5.3.

Fosfaatverzadiging (PSD) in relatie tot de fosfaatconcentratie in het bodemvocht De relatie geldt ongeacht het substraattypen.



kleilig zand, venige klei en rietzegge veen. Deze substraatypen vertonen sterk uiteenlopende gehalten organische stof en Fe_{ox} (zie bijl. 2 en fig. 5.4). In fig. 5.4 zijn het organische stofgehalte en het gehalte ijzeroxiden per substraattype weergegeven.

Uit fig. 5.3 blijkt dat de gevonden isotherm geldig is ongeacht het substraattype: de isotherm omvat elk van de groepen. Kennelijk is het ijzer en aluminiumgehalte het meest bepalend voor het fosfaatadsorptiegedrag. De lemige en de kleilige zandgronden blijken voor meer dan 60% verzadigd te zijn met fosfaat. In dit horizontale deel van de isotherm zal het fosfaat zeer waarschijnlijk in gesorbeerde, makkelijk beschikbare vorm voorkomen. Het fosfaat komt daardoor makkelijk in oplossing en laat hoge fosfaatconcentraties zien in het bodemvocht. De venige kleigronden en het rietzegge veen zijn minder dan 40% verzadigd en omdat zij in het verticale deel van de isotherm zijn gelegen, is het fosfaat hier (quasi-) irreversibel gebonden en wordt de fosfaatconcentratie op een laag niveau gebufferd.

Uit fig. 5.4 wordt duidelijk dat de groep 'gereduceerde zandgronden', die beneden GLG niveau werden verzameld, geen wezenlijke bijdrage leveren aan fosfaatadsorptie, vanwege het zeer lage gehalte ijzer.

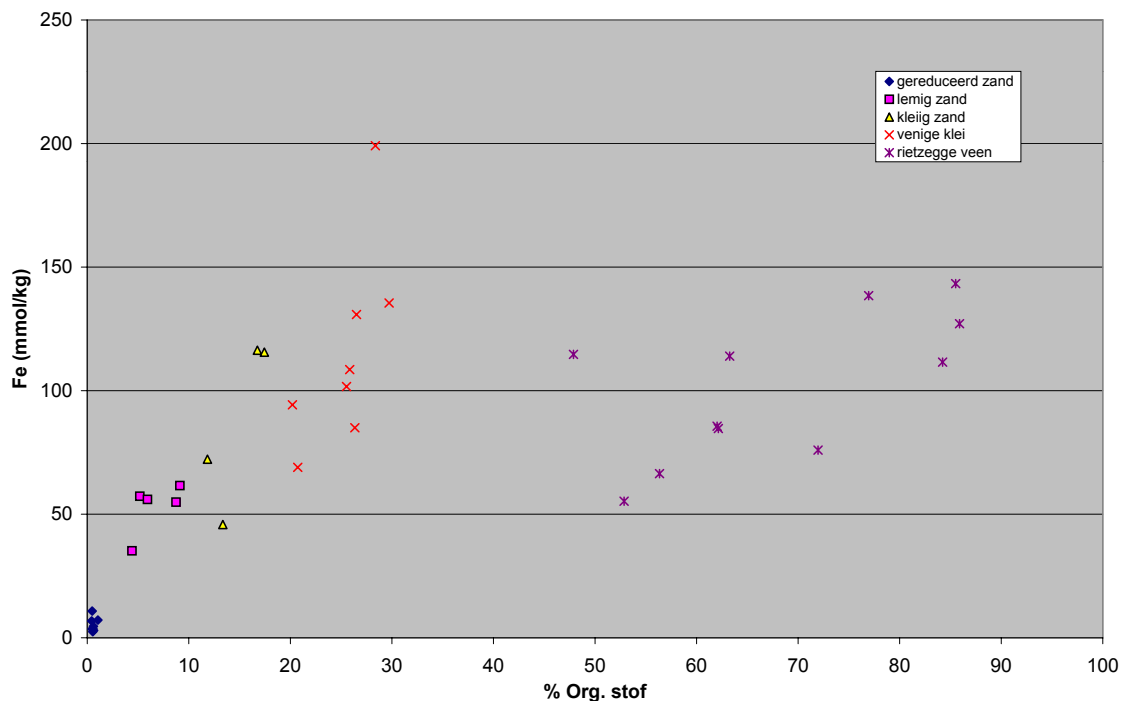


Fig. 5.4.

De relatie tussen het organische stofgehalte en het ijzergehalte (Fe_{ox}). Het blijkt dat het gereduceerde zand (red. zand), dat onder GLG ligt, door het uiterst lage ijzergehalte, niet bijdraagt aan de fosfaatadsorptie.



3 Afgraven of niet ?

Omdat verwijderen van bovengrond zowel positieve effecten (verwijderen overmaat aan voedingsstoffen) als negatieve effecten (verwijderen zuurbuftercapaciteit, bodemorganismen, zaadbank) met zich meebrengt, wordt geadviseerd selectief af te graven op plaatsen waar dit echt noodzakelijk is.

Op basis van bovenstaande analyse luidt het advies af te graven indien de fosfaatverzadigingsgraad boven 0,60 is gelegen. In dit traject ($>0,6$) is sprake van makkelijk beschikbaar komend fosfaat. Daarentegen wordt ont-raden af te graven zodra de bodem een fosfaatverzadigingsgraad lager dan 40% laat zien. In dit lage traject ($<0,4$) is vooral sprake van slechts langzaam beschikbaar komend, gefixeerd fosfaat. Fosfaat komt in dit traject slechts via een zeer langzame diffusiereactie uit de bodem beschikbaar. Deze diffusiereactie is veel langzamer dan de opnamesnelheid door het gewas en vormt daardoor de beperkende factor bij gewasopname.

Fig. 5.5 geeft het profielverloop van de fosfaatverzadiging op de bemonsterde plekken.

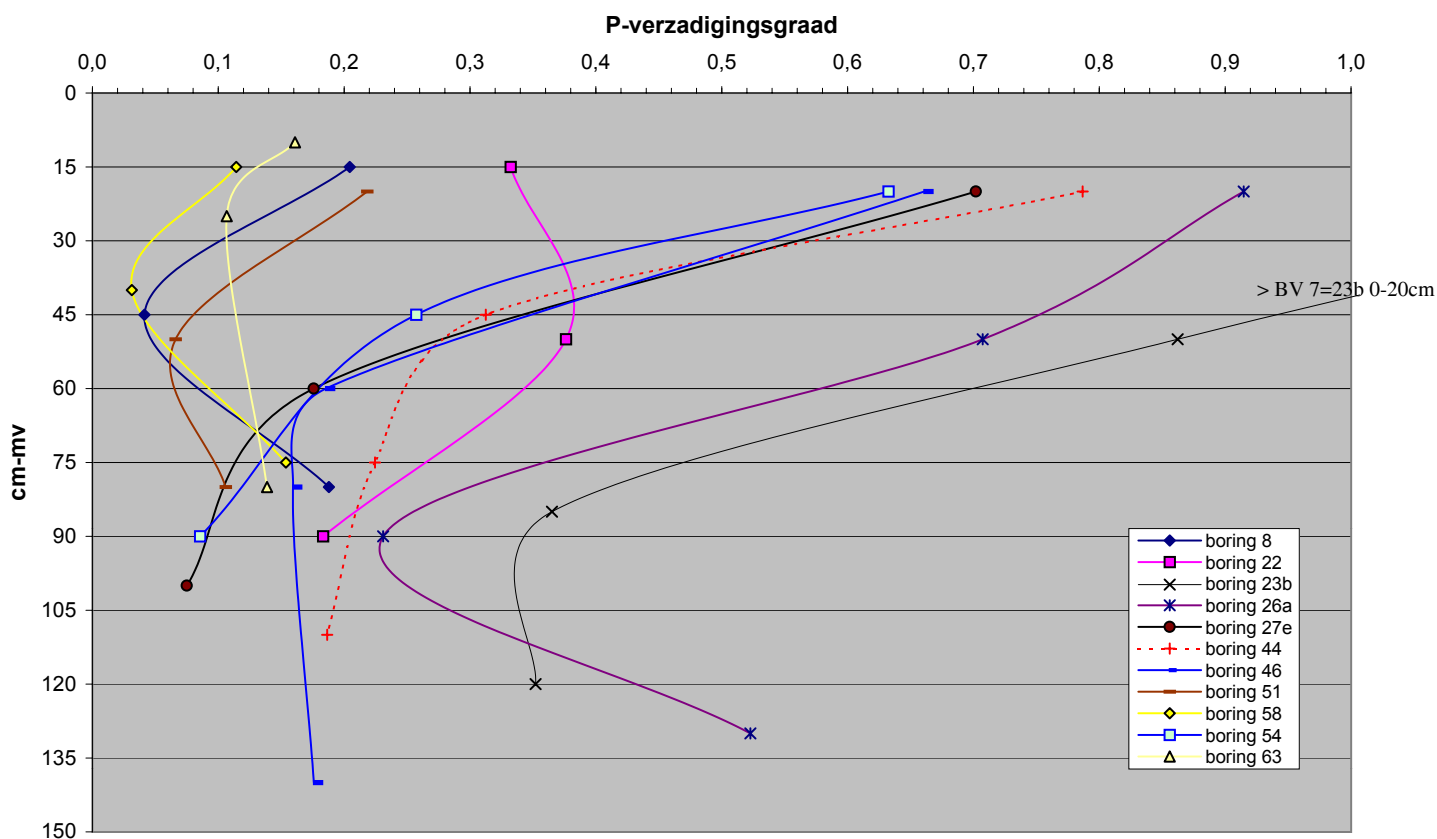


Fig. 5.5.

Verloop van fosfaatverzadigingsgraad in de diepte van de onderzochte profielen. De lagen grond met een fosfaatverzadiging $>0,6$ kunnen worden afgegraven.



4 Wordt een natuurlijke fosfaattoestand bereikt?

Om de gestelde natuurdoelen te bereiken is een natuurlijk fosfaatniveau gewenst (Takman & Kooijman, 2004). De 'streefwaarde' is 10 mg $P_2O_5/100$ g OD (ovendroge grond) bepaald als Pal (zie paragraaf 2.6). Door deze auteurs wordt een 'landbouwkundige normaaltoestand' van 40 mg $P_2O_5/100$ g OD genoemd, bepaald als Pal.

Om te zien of deze waarden bereikt kunnen worden door de voorgestelde af te graven diepte (aangegeven met een balkje), is in fig. 5.6 het diepteverloop van Pal per boring getoond. In de meeste te plaggen gevallen wordt een Pal-waarde bereikt die ligt tussen de 'streefwaarde' en de 'landbouwkundige normaaltoestand'. Alleen bij de monsters in de zandkop in het noordwesten is dat niet het geval.

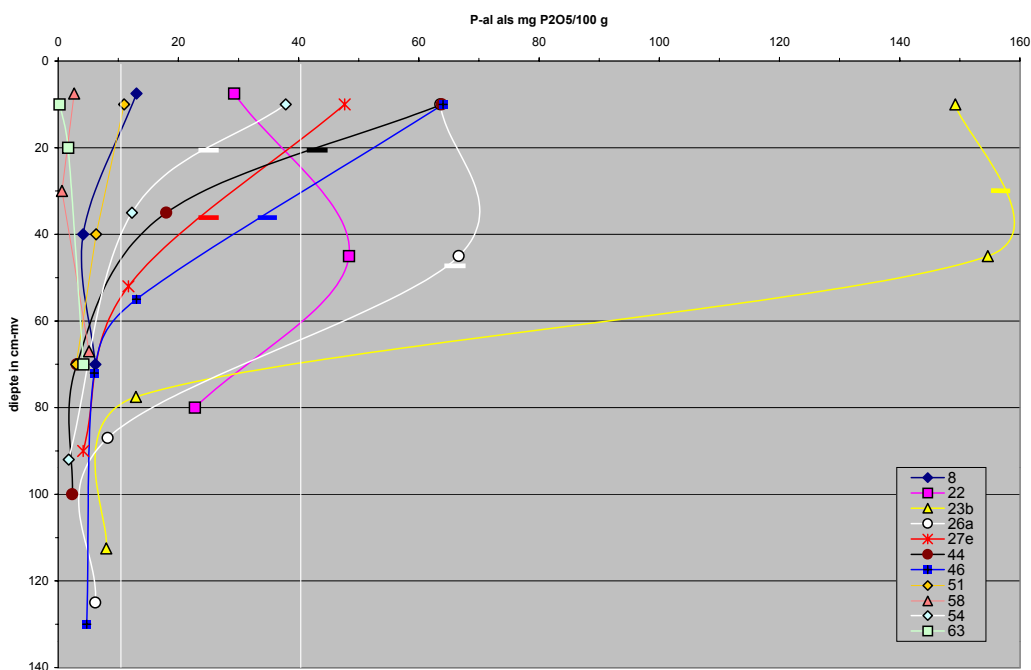


Fig. 5.6.

Verloop van de Pal waarde in de diepte van het onderzochte profiel. Het balkje in de curve geeft de af te graven diepte aan.

In de meeste te plaggen gevallen wordt een Pal bereikt die ligt tussen de 'landbouwkundige normaaltoestand' en de 'streefwaarde', m.u.v. de zandkop in het noordwesten (23b en 26a).



5 Bespreking per boorpunt

Boring 8 (geplagd)

Over het gehele traject is de fosfaatverzadigingsgraad lager dan 20%, zodat op deze plek niet dieper hoeft te worden geplagd. De dagzomende laag met humeuze zware klei heeft bovendien een calciumverzadiging van 76% wat een indicatie is dat op deze plek kwel tot in het maaiveld reikt.

Boring 63 (geplagd)

In dit profiel is de fosfaatverzadigingsgraad over de gehele diepte lager dan 16%, zodat ook hier niet dieper hoeft te worden geplagd dan eerder is gedaan. De kwel reikt tot in de dagzomende kleiige veenlaag, wat kan worden afgeleid uit een calciumverzadiging van meer dan 72%.

Boring 58 (geplagd)

In deze boring is de fosfaatverzadigingsgraad tot in de gereduceerde zone lager dan 11%. Ook hier is eerder voldoende diep geplagd. De dagzomende weinig kleiige laag heeft een calciumverzadiging van meer dan 72%, wat wijst op kwel tot in het maaiveld.

Boring 54

Deze boring is gemaakt in een zandige kop die lijkt te worden omgrensd door de 5,0 m⁺NAP-hoogtelijn. De zandige bovengrond (oud bezandingsdek?) is voor meer dan 60% met fosfaat verzadigd en dient te worden afgegraven tot een diepte van ca. 20 cm-mv. De daaronder gelegen laag met humeuze zware klei geeft een fosfaatverzadiging die lager is dan 26% en een calciumverzadiging van meer dan 73%. Na afgraven zal de nieuwe dagzomende horizont binnen het bereik liggen van het kwelwater.

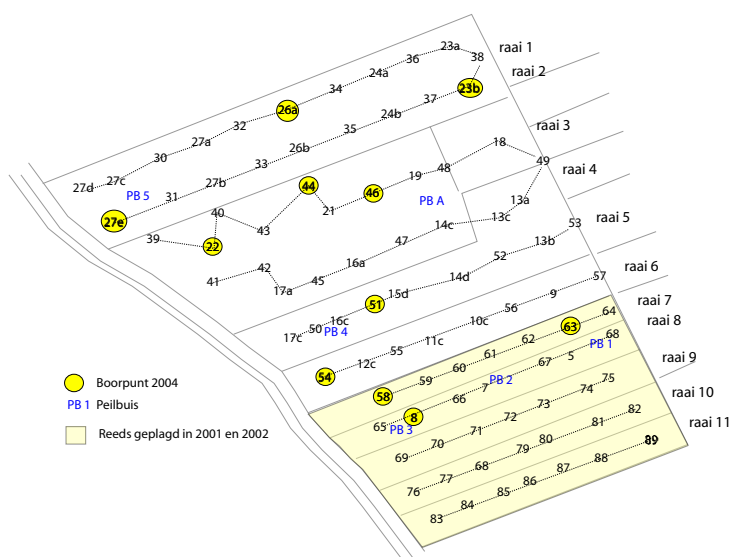


Fig. 5.7.
De ligging van de boorpunten uit 2000 en uit 2004.

Boring 51

In deze boring blijft over de gehele diepte de fosfaatverzadigingsgraad onder de 22%, zodat afgraven niet wenselijk is. De calciumverzadiging van de dagzomende horizont is groter dan 70% en wijst op kwelinvloed tot in het maaiveld.

Boring 22

De dagzomende horizont bestaat uit zware venige klei en heeft een fosfaatverzadiging van 33%, zodat afgraven niet nodig of wenselijk is. Ook in de diepere bodemlagen blijft de fosfaatverzadiging lager dan de kritische grens van 40%. De calciumverzadiging van de bovenste bodemhorizont bedraagt ruim 71%, wat duidt op kwel tot in het maaiveld.



Boring 44

De dagzomende horizont bestaat uit 20 cm lemig zand (een vermoedelijk opgebracht zanddek) en heeft een fosfaatverzadiging van bijna 80%. De daaronder gelegen venige kleilaag heeft een fosfaatverzadiging van 31%, zodat kan worden volstaan met afgraven tot deze venige kleilaag. Na afgraven komt op deze plek een horizont aan het maaiveld met een calciumverzadiging van net 60%, wat wijst op een verminderde invloed van opkwellend grondwater.

Boring 46

Evenals de vorige boring dagzoomt hier een (35 cm) dikke zandlaag met een te hoge (66%) fosfaatverzadiging. Deze laag dient tot een diepte van 35 cm te worden afgegraven. De na afgraven dagzomende horizont bestaat uit venige klei met een fosfaatverzadigingsgraad van minder dan 20% en een calciumverzadiging van bijna 70%. Na afgraven van de 35 cm dikke zandlaag zal dus een horizont dagzomen met een voldoende lage fosfaatverzadiging en met kwelinvloed tot in het maaiveld.

Boring 27e, 26a en 23b

Deze drie boringen die in hetzelfde perceel zijn gelegen, hebben alle drie een 35 tot 50 cm dikke dagzomende zandlaag gemeen, die sterk fosfaatverzadigd is. Boringen 26a en 23b bezitten een volledig zandig profiel en lijken deel uit te maken van een zandopduiking die grofweg wordt gemarkeerd door de 5,0 m⁺NAP hoogtelijn en zich ten noordoosten daarvan uitstrekt. Mogelijk is de toplaag van deze zandopduiking in het verleden deels afgegraven en is het zand als deklaag uitgespreid over het omringende kleiige veen, om de draagkracht ervan te vergroten. Bij boring 27e is de fosfaatverzadigde zandlaag ca. 35 cm dik. Bij boring 26a en 23b daalt de fosfaatverzadiging pas op een diepte van ca. 70 cm-mv onder een acceptabel niveau van 40%. In de nieuwe dagzomende horizonten van de zandopduiking is een lage calciumverzadiging aanwezig, wat wijst op een regenwater invloed. Afgraven bij boring 23b: ca. 30 cm, bij boring 26a: ca. 45 cm en bij boring 27e: ca. 35 cm. Bij boring 27e blijft dan nog een fosfaatrest achter, omdat anders tot 75 cm diep (fig. 5.5) zou moeten worden afgegraven! Een onrealistische diepte.

6 Enkele referentiewaarden

Van een aantal natuurgebieden werd in een ander verband eveneens de fosfaattoestand onderzocht. Het betreft gebieden met Blauwgraslanden (*Cirsio-Molinietum*; Groot Zandbrink, Punthuizen, Stroothuizen, Lemselermaten, de Reitma), Kleine zegge gemeenschappen (*Caricion curto-nigrae*; Korenburgerveen, Wyldlanden, Ulekryte), Veldrusgemeenschappen (*Juncion acuti ori*; Meeuwenkampje, Taarlo) en Dotterbloemhooilanden (*Cathion palustris*; Veenkampen, Lage Made, Reestdal). Van de gemeenschappen in deze gebieden zijn in tabel 5.1 het gemiddelde en de standaardafwijking van verschillende bodemparameters weergegeven (oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium, fosfaat en de fosfaatverzadigingsindex; $PSI = P_{ox} / (Al + Fe_{ox})$).

Door vergelijking met de waarden uit tabel 5.1 kan worden afgeleid dat zelfs na afgraven op de meeste plaatsen in de Hooilanden de fosfaatverzadigingsindex ($P/Fe+Al$) hoger is dan in de huidige Blauwgraslandvegetaties. Wel komen de waarden overeen met die welke bij Dotterbloemhooilanden worden aangetroffen.

In fig. 5.8 is per boorpunt de waarden van de fosfaatverzadigingsindex



weergegeven en de te bereiken resultaten. Slechts op sommige plaatsen kan de waarde voor Blauwgrasland worden bereikt c.q. benaderd.

Tabel 5.1

Gehalten met oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat en de fosfaatverzadigingsindex (PSI) van een viertal plantengemeenschappen in natuurterreinen.

		Fe	Al	P	P/(Al+Fe)	
		mmol/kg				
		-				
<i>Cirsio-Molinietum</i>	n=24	Gemiddelde	78,5	29,5	2,5	0,04
		SD	118,7	33,1	2,2	0,02
<i>Caricion curto-nigrae</i>	n=11	Gemiddelde	143,2	76,3	9,1	0,04
		SD	69,3	41,7	5,2	0,02
<i>Juncion acuti ori</i>	n=8	Gemiddelde	429,8	89,7	17,1	0,04
		SD	250,0	63,3	10,9	0,02
<i>Calthion palustris</i>	n=6	Gemiddelde	198,3	73,8	23,4	0,14
		SD	201,0	43,3	20,7	0,18

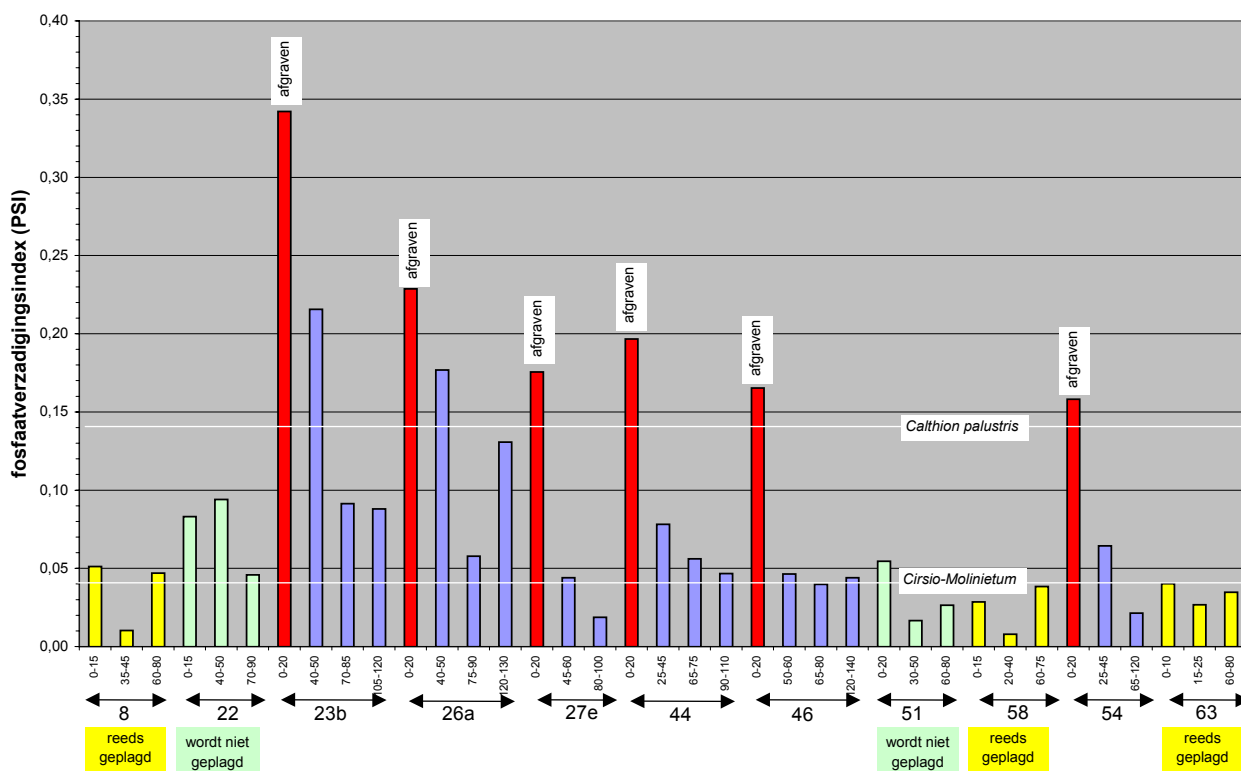


Fig. 5.8.

De fosfaatverzadigingsindex per boorpunt en diepte.

Met witte lijnen zijn grenswaarden voor twee vegetaties aangegeven (zie tabel 5.1). Voor de lagen die met rode kolommen zijn weergegeven wordt advies tot afgraven gegeven. In de meeste gevallen wordt de waarde voor Blauwgrasland (*Cirsio-Molinietum*; $PSI=0,04$), ook na plagen niet gehaald. De waarde voor Dotterbloemhooiland (*Calthion palustris*; $PSI=0,14$) wordt naar alle waarschijnlijkheid wel gehaald.



VI

Plagadvies en de gevolgen







Waarom niet dieper afgraven dan 5,0 m+NAP?

Wanneer dieper dan 5,0 m+NAP zou worden afgegraven, zou meer kwelwater de wortelzone kunnen bereiken. Het nadeel is echter dat dan de hoogtegradiënt van noordoost (hoger) naar zuidwest (lager) verloren gaat, omdat het noordoosten dan lager komt te liggen dan de gronden bij de Grift. Het gevaar bestaat dat daardoor een plas ontstaat. Door de grens van 5,0 m+NAP blijft wel plaatselijk wat meer fosfaat achter.

1 Waar afgraven?

In fig 6.1 zijn de contouren aangegeven waar afgraven wordt aanbevolen. De contouren zijn vastgesteld door extrapolatie/interpretatie van de boringen en grondanalyses in 2004 naar de boringen uit 2000 (zie bijlage 4 en 6).

Op basis van de voorgaande analyse wordt aanbevolen in het noordelijke deel de huidige 5,0 m+NAP hoogtelijn aan te houden als grens ten noordoosten waarvan de bodem dient te worden afgegraven, om de fosfaatverzadiging tot een aanvaardbaar laag niveau terug te brengen. Omdat de dikte van de af te graven (zandige) laag toeneemt met de NAP-hoogte van het maaiveld, kan over het gehele vlak als nieuwe maaiveldhoogte 5 m+NAP worden aangehouden. Dit impliceert dat een variabele laagdikte, oplopend tot 50 cm op de hoogste delen van de zandopduiking, zal worden afgegraven. Alleen dicht tegen de Grift aan (boring 27e) blijft dan nog een wat rijkere bovengrond achter. Besloten zou kunnen worden dit deel van het perceel tot 35 cm-mv af te graven.

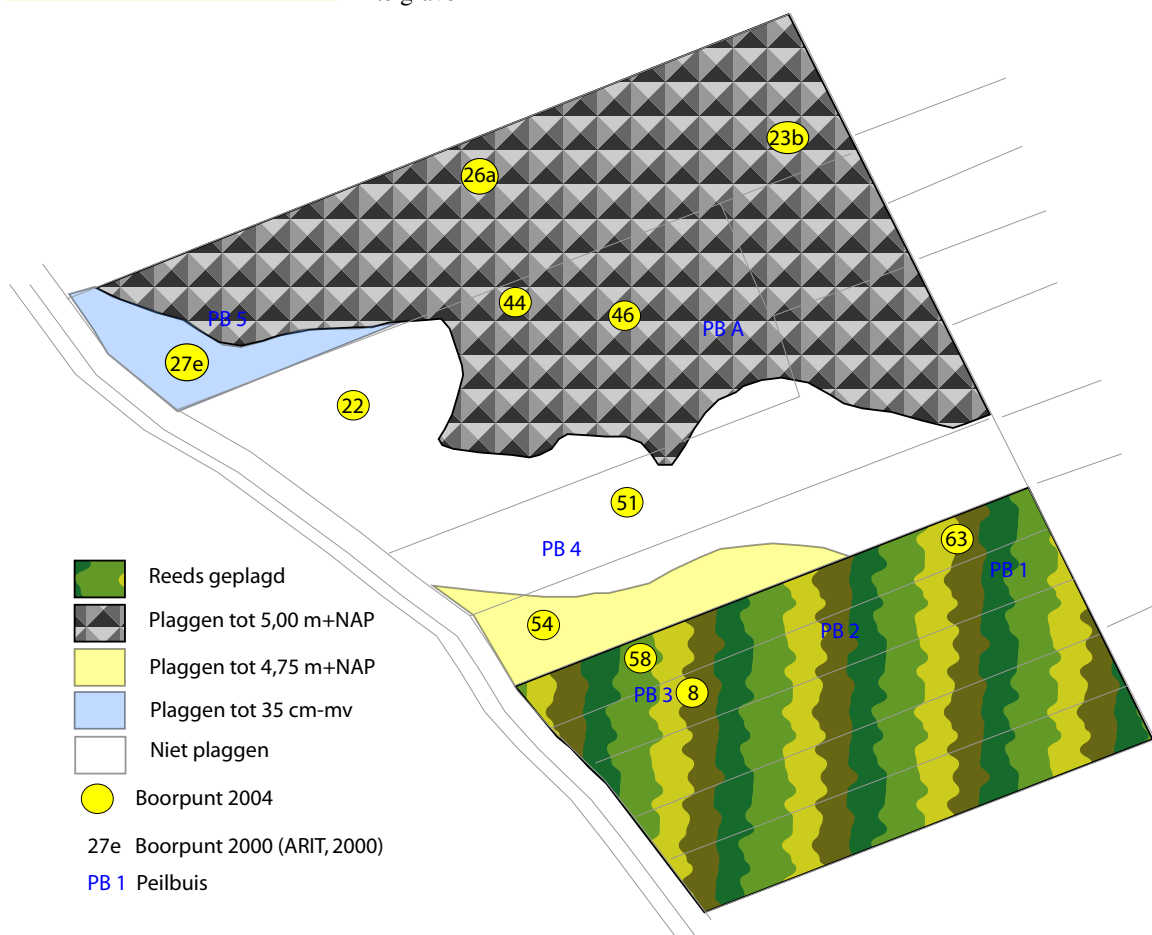


Fig. 6.1.

Begrenzing van plaggen met aangegeven plagdiepte. Vooral in het noordoosten dient de daar aanwezige zandkop te worden afgegraven.



In het zuidelijk gelegen deel wordt aanbevolen een maaiveldhoogte van 4,75 m+NAP aan te houden bij het afgraven van een zanddek dat grenst aan het reeds eerder afgeplagde deel.

2 Grondwater en calciumaanvoer

De calciumverzadiging van de huidige en na afplaggen dagzomende horizon-ten (fig. 6.2) wijst op langdurige perioden met kwelinvloed tot in het maaiveld. Door aanpassing van het Griftpeil en de ophoging van slootbodems in het terrein, zal de kwelinvloed verder kunnen worden versterkt.

Alleen van de zandgrond op boorpunt 26a, in het noordoosten, is de calciumverzadiging relatief laag. Soms is de calciumverzadiging van diepere lagen ook laag, doordat het zand geen leem bevat (zie ook kader op pag. 23).

3 Reliëf

Door afgraving zal het oorspronkelijke reliëf in het terrein in afgevlakte vorm kunnen blijven gehandhaafd. Van noordoost naar zuidwest zal door de plagmaatregelen een gradiënt ontstaan met toenemende kwelinvloed.

4 Resterende P-verrijkte omstandigheden

De plagmaatregelen nemen niet weg dat in de noordoostelijke zone van het terrein plaatselijk enigszins P-verrijkte omstandigheden kunnen blijven bestaan, omdat fosfaat daar tot op grote diepte in de grond is doorgedrongen. Dieper afgraven verlaagt wel de P-verrijking, maar tegelijkertijd ontstaat in het noordoosten dan een laagte die lager ligt dan het deel bij de Grift; de gradiënt is verdwenen.

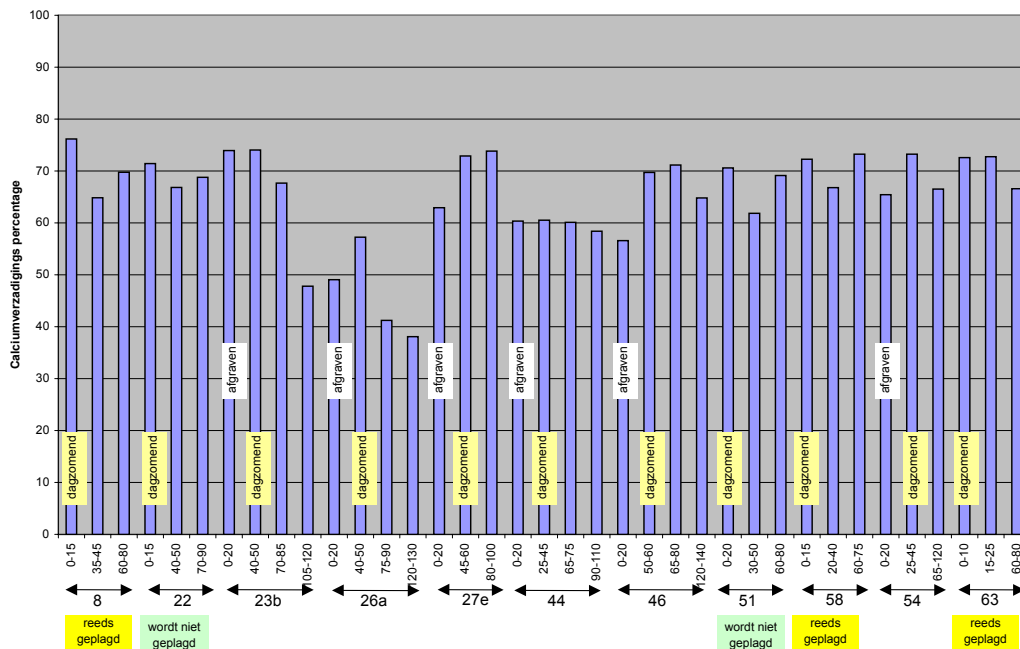


Fig. 6.2.

De calciumverzadiging van de bodem op de boorlocaties. In de figuur is aangegeven waar wordt afgegraven en welke diepte gaat dagsomend na afgraven.



5 Vegetatieontwikkelingsmogelijkheden

Op de meeste plaatsen zal na afgraven een fosfaattoestand ontstaan die elders wordt aangetroffen in Dotterbloemhooilanden. Daarom lijkt Blauwgrasland als vegetatiedoeltype in de Hooilanden niet overal tot de reële mogelijkheden te behoren. Gezien de fosfaatverzadigingsgraad is dit misschien in de toekomst wel mogelijk na het plaggen en het verschrallingsbeheer op de boorlocaties 8, 27e, 46, 51, 58 en 63, omdat de waarde in de daar straks dagzomende lagen lager dan 0,6 is (fig. 5.5). Op deze locaties ligt de fosfaatverzadigingsindex na plaggen ook lager dan, of in de buurt van 0,04 (voor o.a. *Cirsio-Molinion*; zie tabel 5.1).

Wel lijkt een wat rijker vegetatietype als de Associatie van Boterbloem en Waterkruiskruid (*Ranunculo-Senecionetum aquaticae*; subdoeltype vochtig schraalland) tot de mogelijkheden te behoren. De zuurgraad van de bodem en de trofiegraad lijken op de indicaties van Schipper (2002).





Literatuur

- Allen, St.E. (ed.), 1989. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publ., Oxford.
- ARIT (Adviesburo voor Ruimtelijke Inrichting En techniek), 2000. Inrichtingsplan van het natuurontwikkelingsgebied 'De Hooilanden' in Binnenveld-Oost. Reeuwijk.
- Ball, D.F., 1964. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non calcareous soils. *J. Soil Sci.*, 15: 84-92.
- Eaton, A.D., L.S. Clesceri & A.E. Greenberg (ed.), 1995. Standard Methods for the examination of water and wastewater. APHA/AWWA/WEF.
- Giesen & Geurts, 2001. Bemonstering en chemische analyse van grond- en oppervlaktewater uit Staatsbosbeheer reservaten 2000. Uift.
- Hach, 1995. Procedures manual DR4000. Loveland.
- Haarman, F.G., A.J.M. van den Broek & A.S. Roelandse, 2003. Antiverdrogingsonderzoek Binnenveld. Rapport Royal Haskoning 9M6275, 's-Hertogenbosch.
- Hesse, P.R., 1971. A textbook of soil chemical analysis. Clowes & Sons, London.
- Hieltjes, A. & A. Breemsma, 1983. Bemonsterings- en voorbehandelingsmethoden, Hfdst. 3. In: Chemische bodemonderzoekmethoden voor bodemkenmerken en anorganische stoffen, serie bodembescherming nr. 21. Staatsuitgeverij. Den Haag.
- Hottinga, A., 2004. Notitie 'Terreincondities en beheer na plaggen' Binnenveld Hooilanden. Staatsbosbeheer, Arnhem.
- Houba, V.J.G., J.J. van der Lee, I. Novozamsky & I. Walinga, 1989. Soil and Plant analysis. Part 5: Soil Analysis Procedures. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding. L.U. Wageningen.
- Keizer, M.G., V.J.G. Houba & Th.M. Lexmond, 1987. Bemonstering van bodem en vegetatie ten behoeve van chemische analyses. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding. L.U. Wageningen.
- Koopmans, G.F. 2004. Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Wageningen University and Research Centre. PhD. Wageningen.
- Koopmans G.F., W.J. Chardon, P.A.I Ehlert, J. Dolfing, R.A.A. Suurs, O. Oenema, and W.H. van Riemsdijk. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil *J. Envir. Qual.* 33.
- Maguire, R.O., R.H. Foy, J.S. Bailey & J.T. Sims. 2001. Estimation of the phosphorus sorption capacity of acidic soils in Ireland. *European Journal of Soil Science* 52: 479-487.
- Merck, 1983. Schnelltest Handbuch. Darmstadt.
- Mitchell, J., 1932. The origin, nature and importance of soil organic constituents having base exchange properties. *J. Am. Soc. Agron.*, 24: 256-275.
- Novozamsky, I., V.J.G. Houba, R. van Eck & W. van Vark, 1983. A novel digestion technique for multi-element plant analysis. *Comm. in Soil Sci. Plant Anal.*, 14 (3): 239-248.
- Page, A.L. (ed.), 1989. Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and micro-



- biological properties (Sec. ed.). *Agronomy*, 9(2). Am. Soc. Agr., Soil Sc. Soc. A., Madison (USA).
- Scheffer, F. & P. Schachtschabel, 1989.* Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- Scheffer, F. & B. Ulrich, 1960.* Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. III. Teil. Humus und Humusdüngung Bd. 1. Morphologie, Biologie, Chemie und Dynamik des Humus. F. Enke, Stuttgart. 2de druk.
- Schipper, P., 2002.* Catalogus vegetatietypen, 2002. Staatsbosbeheer Driebergen.
- Schwedt, G. & F.M. Schnepel, 1981.* Analytisch-chemisches Umweltpraktikum. Anleitung zur Untersuchung von Luft, Wasser und Boden. G. Thieme Verlag, Stuttgart.
- Schwertmann, U. 1964.* Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. p. anzenernaehr. Dueng. Bodenkd.* 105: 194-202.
- Takman, B. & G. Kooijman, 2004.* Beheersrichtlijnen in relatie met de gewenste trofiegraad. Visie Staatsbosbeheer, Zwolle.
- Temminghoff, E.J.M. (ed.), 2000.* Methodology of chemical soil and plant analysis. Subdepartment Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen University.
- Thomas, G.W., 1967.* Problems encountered in soil testing methods. In: Soil testing and plant analysis, Part 1. *Soil Sci. Soc. of Am. Spec. Pub.*, 2: 37-54.
- Van der Zee, S.E.A.T.M., L.G.J. Fokkink, and W.H. van Riemsdijk. 1987.* A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 599-604
- Van der Zee, S.E.A.T.M., M.M. Nederlof, W.H. van Riemsdijk, and F.A.M. de Haan. 1988.* Spatial variability of phosphate adsorption parameters. *J. Environm. Qual.* 17: 682-688.
- Van Riemsdijk, W.H., L.J.M. Boumans, and F.A.M. de Haan. 1984.* Phosphate sorption by soils: I. A model for phosphate reaction with metal-oxides in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:537-541.
- Walinga, I., W. van Vark, V.J.G. Houba & J.J. van der Lee, 1989.* Plant analysis procedures. *Soil and Plant Analysis, Part 7.* Universiteit Wageningen.
- Walters, G.L. (ed.), 1989.* Water analysis handbook. Hach, Loveland.



Bijlagen



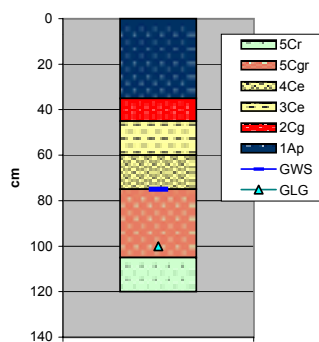


Bijlage 1.

Boorstaatjes 2004. Boorpunten 23b, 26a en 27e (raai 1 en 2).

23b (raai 2)

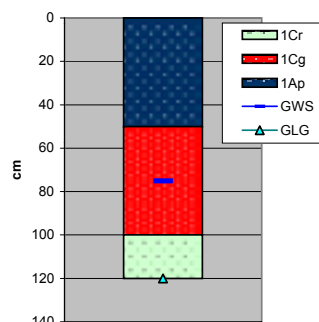
Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
					III	cm	cm
1Ap	sterk lemig, fijn zand					0-35	35
2Cg	venig, sterk lemig zand					35-45	10
3Ce	zeer sterk lemig, uiterst fijn zand (meerbodem)					45-60	15
4Ce	onherkenbaar zwart veen					60-75	15
5Cgr	zwak lemig, matig fijn zand					75-105	30
5Cr	zwak lemig, matig fijn zand					105-120	15
GLG							100
GWS							75



23b (raai 2)

26a (raai 1)

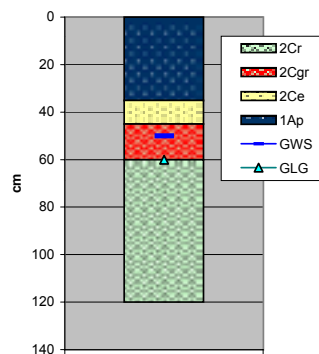
Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
					III	cm	cm
1Ap	sterk lemig, zeer fijn zand					0-50	50
1Cg	zwak lemig, matig fijn zand, roestig					50-100	50
1Cr	zwak lemig, matig fijn zand					100-120	20
GLG							120
GWS							75



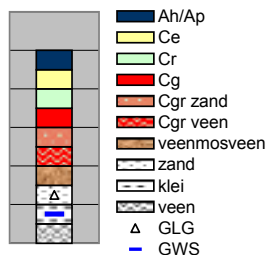
26a (raai 1)

27e (raai 2)

Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
					II	cm	cm
1Ap	zeer sterk lemig, zeer fijn zand met lutum					0-35	35
2Ce	zeer lemig, venig zand					35-45	10
2Cgr	riet-zeggeveen					45-60	15
2Cr	riet-zeggeveen					60-120	60
GLG							60
GWS							50



27e (raai 2)



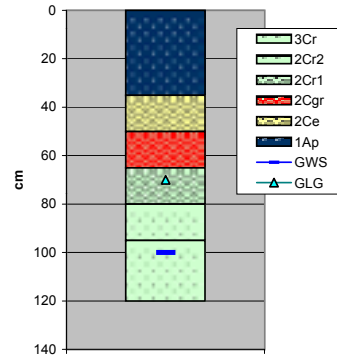


Bijlage 1.

Boorstaatjes 2004. Boorpunten 46, 44 en 22 (raai 3).

46 (raai 3)

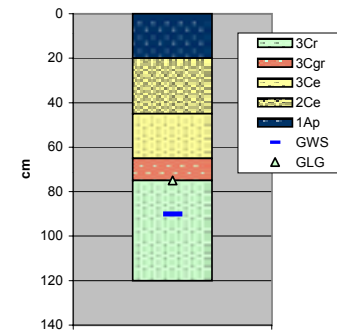
Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
1Ap	fijn zand				II	0-35	35
2Ce	kleilig verweerd veen					35-50	15
2Cgr	net-zeggeveen					50-65	15
2Cr1	net-zeggeveen					65-80	15
2Cr2	sterk lemig, venig zand					80-95	15
3Cr	zwak lemig, zeer fijn zand					95-120	25
GLG							70
GWS							100



46 (raai 3)

44 (raai 3)

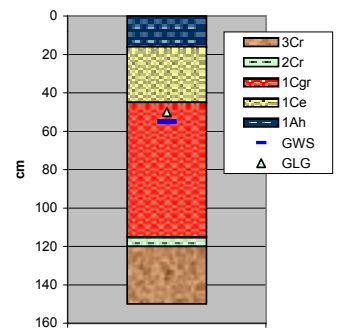
Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
1Ap	zwak lemig, zeer fijn zand				II/III	0-20	20
2Ce	kleilig veen					20-45	25
3Ce	zwak lemig, zeer fijn zand					45-65	20
3Cgr	zwak lemig, zeer fijn zand					65-75	10
3Cr	zwak lemig, zeer fijn zand					75-120	45
GLG							75
GWS							90



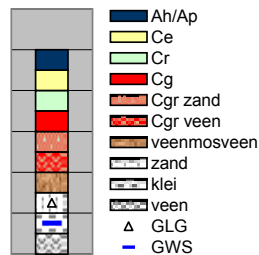
44 (raai 3)

22 (raai 3)

Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
1Ah	zware venige klei				II	0-16	16
1Ce	kleilig veen					16-45	29
1Cgr	net-zeggeveen					45-115	70
2Cr	zeer sterk lemig, uiterst fijn zand (meerbodem)					115-120	5
3Cr	veenmosveen					120-150	30
GLG							50
GWS							55



22 (raai 3)



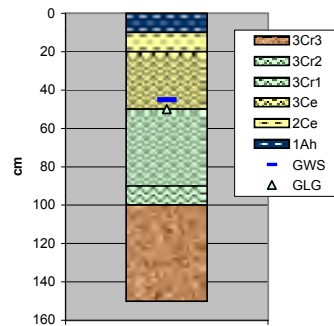


Bijlage 1.

Boorstaatsjes 2004. Boorpunten 51, 54 en 58 (geplagd) (raai 5, 6 en 7).

51 (raai 5)

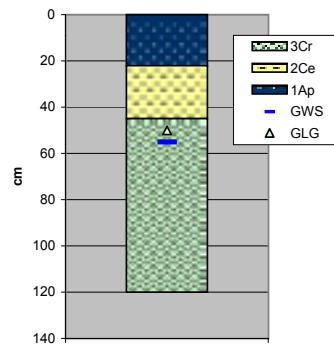
Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
					II	cm	cm
1Ah	venige klei met zand					0-10	10
2Ce	zwarte, venige klei					10-20	10
3Ce	niet-zeggeveen					20-30	30
3Cr1	niet-zeggeveen					50-90	40
3Cr2	kleilig, riet-zeggeveen					90-100	10
3Cr3	veenmosveen					100-150	50
GLG							50
GWS							45



51 (raai 5)

54 (raai 6)

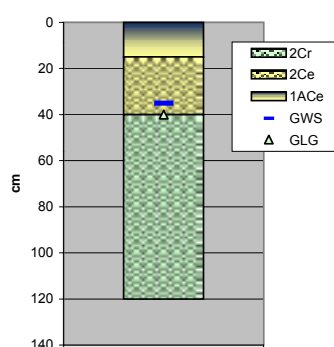
Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
					I/II	cm	cm
1Ap	fijn zand met korrelige klei					0-22	22
2Ce	zeer humeuze, zwarte klei					22-45	23
3Cr	riet-zeggeveen					45-120	75
GLG							50
GWS							55



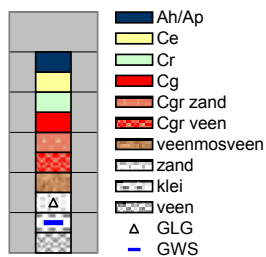
54 (raai 6)

58 (raai 7)

Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	diepte	dikte laag
					II	cm	cm
1ACe	zwarte venige klei					0-15	15
2Ce	riet-zeggeveen					15-40	25
2Cr	riet-zeggeveen					40-120	80
GLG							40
GWS							35



58 (raai 7)



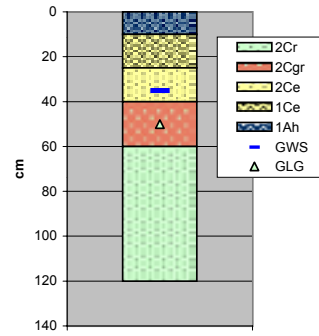


Bijlage 1.

Boorstaatjes 2004. Boorpunten 63 en 8 (beide geplagd; raai 7 en 8).

63 (raai 7)

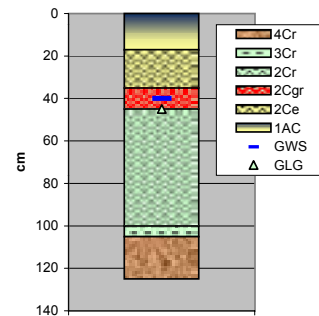
Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	klepte	dikte laag
					I/II	cm	cm
1Ah	kleilig veraard veen					0-10	10
1Ce	niet-zeggeveen					10-25	15
2Ce	sterk lemig, zeer fijn zand					25-40	15
2Cgr	zwak lemig, zeer fijn zand					40-60	20
2Cr	zwak lemig, zeer fijn zand					60-120	60
GLG							50
GWS							35



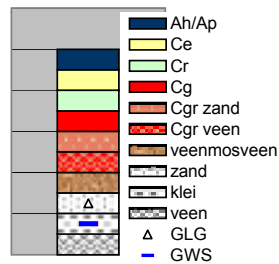
63 (raai 7)

8 (raai 8)

Horizont	Omschrijving	heterogeen/gelaagd	geoxideerd	gereduceerd	Grondwatertrap	klepte	dikte laag
					I/II	cm	cm
1AC	zeer humeuze, zware klei					0-17	17
2Ce	niet-zeggeveen					17-35	18
2Cgr	niet-zeggeveen					35-45	10
2Cr	niet-zeggeveen					45-100	55
3Cr	slappe zware klei					100-105	5
4Cr	veenmosveen					105-125	20
GLG							45
GWS							40



8 (raai 8)



Bijlage 2a.

Analysesresultaten van de bodemonsters.

Intern nr.	Locatie nr geplagd	Boring nr.	Bemonsterde diepte cm	Horizont	Substraat type	GLG cm-mv	Gt	Datum	pH KCl	Org. stof %	Bascom pH=8,1					Oxalaat extractie					Water extractie		Lactaat extractie	
											Uitwisselbaar					mg/100 g					P		P	
											Ca	Mg	K	Na	H	Fe	Al	P	Fe	Al	P	P	P2O5	
											cmol+/kg					mmol/kg					mg/l		hg/100 g	
BV 1	8	1	0-15	1Ac	venige klei	45	I/II	7-6-04	4,99	20,20	146,15	5,52	0,92	1,00	38,28	526,5	411,7	39,1	94,3	152,6	12,6	0,293	2,84	13,03
BV 2	8	2	35-45	2Cgr	rietzegge veen	45	I/II	7-6-04	4,62	85,51	204,69	5,52	0,16	1,70	103,65	800,3	196,7	6,9	143,3	72,9	2,2	0,264	0,91	4,16
BV 3	8	3	60-80	2Cr	rietzegge veen	45	I/II	7-6-04	5,02	62,02	178,24	2,73	0,19	1,49	72,89	478,2	287,8	28,0	85,6	106,7	9,0	0,144	1,35	6,19
BV 4	22	1	0-15	1Ah	venige klei	50	II	7-6-04	4,93	25,53	117,18	5,30	0,80	0,38	40,37	567,8	336,7	58,3	101,7	124,8	18,8	0,435	6,39	29,27
BV 5	22	2	40-50	1Cgr	rietzegge veen	50	II	7-6-04	4,81	47,88	150,08	5,87	0,75	0,79	67,09	640,5	214,7	56,6	114,7	79,6	18,3	0,322	10,56	48,39
BV 6	22	3	70-90	1Cgr	rietzegge veen	50	II	7-6-04	4,82	63,26	199,43	4,39	0,91	1,26	83,90	636,6	259,2	29,8	114,0	96,1	9,6	0,156	4,96	22,75
BV 7	23b	1	0-20	1Ap	lemig zand	100	III	7-6-04	5,50	8,74	50,32	2,70	0,90	0,08	14,05	306,7	135,2	111,3	54,9	50,1	35,9	4,729	32,57	149,26
BV 8	23b	2	40-50	2Cgr	venige klei	100	III	7-6-04	5,69	28,37	133,50	7,55	3,89	0,93	34,46	1112,0	373,8	225,4	199,1	138,5	72,8	2,245	33,75	154,65
BV 9	23b	3	70-85	5Cgr	zand	100	III	7-6-04	5,73	0,61	8,05	0,45	0,52	0,02	2,85	25,7	27,6	4,2	4,6	10,2	1,4	1,274	2,82	12,94
BV 10	23b	4	105-120	5Cr	zand	100	III	7-6-04	5,83	0,48	4,35	0,24	0,45	0,02	4,05	19,9	22,0	3,2	3,6	8,2	1,0	1,145	1,74	8,00
BV 11	26a	1	0-20	1Ap1	lemig zand	120	III	7-6-04	5,07	5,18	16,84	1,48	1,15	0,02	14,84	320,0	138,2	76,9	57,3	51,2	24,8	3,424	13,87	63,58
BV 12	26a	2	40-50	1Ap2	lemig zand	120	III	7-6-04	4,93	5,92	28,23	1,75	0,70	0,05	18,59	312,8	148,5	60,8	56,0	55,0	19,6	2,451	14,54	66,65
BV 13	26a	3	75-90	1Cg	zand	120	III	7-6-04	5,11	0,44	4,62	0,28	0,19	0,02	6,10	38,2	26,3	3,0	6,8	9,7	1,0	1,152	1,80	8,23
BV 14	26a	4	120-130	1Cr	zand	120	III	7-6-04	5,13	0,49	3,94	0,27	0,23	0,02	5,89	60,4	47,4	11,5	10,8	17,6	3,7	1,721	1,35	6,18
BV 15	27e	1	0-20	1Ap1	lemig zand	60	II	7-6-04	5,05	9,12	35,81	2,15	0,28	0,06	18,61	344,1	130,7	59,8	61,6	48,4	19,3	1,555	10,40	47,65
BV 16	27e	2	45-60	2Cgr	rietzegge veen	60	II	7-6-04	5,19	52,87	170,43	5,67	0,35	1,09	56,22	308,5	249,1	20,1	55,2	92,3	6,5	0,410	2,55	11,69
BV 17	27e	3	80-100	2Cr	rietzegge veen	60	II	7-6-04	5,23	56,35	192,04	3,41	0,32	1,76	62,58	371,0	175,1	7,6	66,4	64,9	2,5	0,211	0,91	4,17
BV 18	44	1	0-20	1Ap	kleilig zand	75	II/III	7-6-04	4,80	11,83	44,63	2,86	0,42	0,12	25,93	403,7	263,0	103,4	72,3	97,5	33,4	1,464	13,93	63,84
BV 19	44	2	25-45	2Ce	venige klei	75	II/III	7-6-04	5,10	20,73	71,35	3,66	0,36	0,12	42,37	385,1	923,1	99,5	69,0	342,1	32,1	0,441	3,93	18,00
BV 20	44	3	65-75	3Cgr	zand	75	II/III	7-6-04	5,30	0,62	8,04	0,35	0,18	0,02	4,80	16,6	34,0	2,7	3,0	12,6	0,9	0,784	0,67	3,09
BV 21	44	4	90-110	3Cr	zand	75	II/III	7-6-04	5,49	0,54	6,67	0,21	0,21	0,02	4,31	13,9	29,3	1,9	2,5	10,9	0,6	0,710	0,51	2,34
BV 22	46	1	0-20	1Ap	lemig zand	70	II	7-6-04	5,23	4,40	17,38	0,88	0,33	0,03	12,10	196,7	191,1	54,3	35,2	70,8	17,5	2,389	13,97	64,02
BV 23	46	2	50-60	2Cgr	venige klei	71	II	7-6-04	5,22	26,52	97,35	3,75	1,04	0,40	37,05	730,7	243,1	31,7	130,8	90,1	10,2	0,413	2,84	13,03
BV 24	46	3	65-80	2Cr1	venige klei	72	II	7-6-04	5,16	30,93	119,08	2,88	0,86	0,60	43,97	521,6	223,9	21,8	93,4	83,0	7,0	0,141	1,31	6,01
BV 25	46	4	120-140	3Cr	zand	73	II	7-6-04	5,51	1,05	10,43	0,15	0,18	0,07	5,26	40,0	24,1	2,2	7,2	8,9	0,7	0,714	1,03	4,73
BV 26	51	1	0-20	1Ah	venige klei	50	II	7-6-04	5,09	25,85	121,94	6,04	0,88	0,66	43,24	606,1	495,2	49,4	108,5	183,5	15,9	0,421	2,39	10,96
BV 27	51	2	30-50	3Ce	rietzegge veen	50	II	7-6-04	4,46	85,89	199,06	6,34	0,41	1,53	114,58	709,7	293,4	12,1	127,1	108,7	3,9	0,423	1,38	6,32
BV 28	51	3	60-80	3Cr1	rietzegge veen	50	II	7-6-04	4,72	71,97	205,76	3,28	0,37	1,30	86,94	424,2	273,9	14,6	76,0	101,5	4,7	0,215	0,65	2,99
BV 29	58	1	0-15	1ACe	venige klei	40	II	7-6-04	5,07	26,35	128,09	3,98	0,96	0,84	43,41	474,5	439,4	21,9	85,0	162,9	7,1	0,169	0,58	2,65
BV 30	58	2	20-40	2Ce	rietzegge veen	40	II	7-6-04	4,70	76,95	230,32	5,24	0,16	1,35	107,76	773,3	298,6	6,1	138,5	110,7	2,0	0,127	0,13	0,62
BV 31	58	3	60-75	2Cr	rietzegge veen	40	II	7-6-04	4,97	62,15	237,57	3,36	0,17	0,88	82,35	472,9	332,7	24,7	84,7	123,3	8,0	0,224	1,12	5,12
BV 32	54	1	0-20	1Ap	kleilig zand	50	II	7-6-04	4,97	16,75	64,26	3,78	0,45	0,06	29,63	649,9	232,8	99,3	116,4	86,3	32,0	0,763	8,26	37,84
BV 33	54	2	25-45	2Ce	kleilig zand	50	II	7-6-04	4,99	17,44	111,28	4,97	0,79	0,17	34,74	645,5	399,4	52,5	115,6	148,0	17,0	0,337	2,68	12,27
BV 34	54	3	65-120	3Cr	rietzegge veen	50	II	7-6-04	4,58	84,23	213,66	5,91	0,20	0,81	100,63	622,9	230,3	13,0	111,5	85,4	4,2	0,153	0,38	1,75
BV 35	63	1	0-10	1Ah	venige klei	50	I/II	7-6-04	5,08	29,72	136,24	4,01	0,73	0,72	45,97	756,7	412,0	35,9	135,5	152,7	11,6	0,058	0,05	0,22
BV 36	63	2	15-25	1Ce	kleilig zand	50	I/II	7-6-04	5,27	13,35	60,96	1,36	0,09	0,26	21,11	255,9	132,4	7,8	45,8	49,1	2,5	0,086	0,36	1,66
BV 37	63	3	60-80	2Cr	zand	50	I/II	7-6-04	5,41	0,56	9,48	0,22	0,14	0,05	4,35	20,4	28,1	1,5	3,7	10,4	0,5	0,699	0,92	4,20



Giesen & Geurts

Bijlage 2b.

Resultaten van berekeningen aan de analyseresultaten van de bodemonsters.

Intern nr.	Locatie nr. geplagd	Boring nr.	Bemonsterde diepte cm	Horizont	Substraat type	GLG cm-mv	Gt	Datum	P verzadiging		Som basen cmol+/kg	CECc basen+H	Bezettings%					H/Ca
									index	PSD			Ca	Mg	K	Na	H	
									α				%					
BV 1	8	1	0-15	1Ac	venige klei	45	I/II	7-6-04	0,05	0,20	153,6	191,9	76,2	2,9	0,5	0,5	20,0	0,26
BV 2	8	2	35-45	2Cgr	rietzegge veen	45	I/II	7-6-04	0,01	0,04	212,1	315,7	64,8	1,7	0,0	0,5	32,8	0,51
BV 3	8	3	60-80	2Cr	rietzegge veen	45	I/II	7-6-04	0,05	0,19	182,6	255,5	69,7	1,1	0,1	0,6	28,5	0,41
BV 4	22	1	0-15	1Ah	venige klei	50	II	7-6-04	0,08	0,33	123,7	164,0	71,4	3,2	0,5	0,2	24,6	0,34
BV 5	22	2	40-50	1Cgr	rietzegge veen	50	II	7-6-04	0,09	0,38	157,5	224,6	66,8	2,6	0,3	0,3	29,9	0,45
BV 6	22	3	70-90	1Cgr	rietzegge veen	50	II	7-6-04	0,05	0,18	206,0	289,9	68,8	1,5	0,3	0,4	28,9	0,42
BV 7	23b	1	0-20	1Ap	lemig zand	100	III	7-6-04	0,34	1,37	54,0	68,1	73,9	4,0	1,3	0,1	20,7	0,28
BV 8	23b	2	40-50	2Cgr	venige klei	100	III	7-6-04	0,22	0,86	145,9	180,3	74,0	4,2	2,2	0,5	19,1	0,26
BV 9	23b	3	70-85	5Cgr	zand	100	III	7-6-04	0,09	0,37	9,0	11,9	67,7	3,8	4,4	0,1	24,0	0,35
BV 10	23b	4	105-120	5Cr	zand	100	III	7-6-04	0,09	0,35	5,0	9,1	47,8	2,6	4,9	0,2	44,5	0,93
BV 11	26a	1	0-20	1Ap1	lemig zand	120	III	7-6-04	0,23	0,91	19,5	34,3	49,1	4,3	3,3	0,1	43,2	0,88
BV 12	26a	2	40-50	1Ap2	lemig zand	120	III	7-6-04	0,18	0,71	30,7	49,3	57,2	3,6	1,4	0,1	37,7	0,66
BV 13	26a	3	75-90	1Cg	zand	120	III	7-6-04	0,06	0,23	5,1	11,2	41,2	2,5	1,7	0,2	54,4	1,32
BV 14	26a	4	120-130	1Cr	zand	120	III	7-6-04	0,13	0,52	4,5	10,3	38,1	2,6	2,2	0,2	56,9	1,49
BV 15	27e	1	0-20	1Ap1	lemig zand	60	II	7-6-04	0,18	0,70	38,3	56,9	62,9	3,8	0,5	0,1	32,7	0,52
BV 16	27e	2	45-60	2Cgr	rietzegge veen	60	II	7-6-04	0,04	0,18	177,5	233,8	72,9	2,4	0,2	0,5	24,0	0,33
BV 17	27e	3	80-100	2Cr	rietzegge veen	60	II	7-6-04	0,02	0,08	197,5	260,1	73,8	1,3	0,1	0,7	24,1	0,33
BV 18	44	1	0-20	1Ap	kleilig zand	75	II/III	7-6-04	0,20	0,79	48,0	74,0	60,3	3,9	0,6	0,2	35,1	0,58
BV 19	44	2	25-45	2Ce	venige klei	75	II/III	7-6-04	0,08	0,31	75,5	117,9	60,5	3,1	0,3	0,1	36,0	0,59
BV 20	44	3	65-75	3Cgr	zand	75	II/III	7-6-04	0,06	0,22	8,6	13,4	60,1	2,6	1,3	0,1	35,8	0,60
BV 21	44	4	90-110	3Cr	zand	75	II/III	7-6-04	0,05	0,19	7,1	11,4	58,4	1,8	1,8	0,2	37,8	0,65
BV 22	46	1	0-20	1Ap	lemig zand	70	II	7-6-04	0,17	0,66	18,6	30,7	56,6	2,9	1,1	0,1	39,4	0,70
BV 23	46	2	50-60	2Cgr	venige klei	71	II	7-6-04	0,05	0,19	102,5	139,6	69,7	2,7	0,7	0,3	26,5	0,38
BV 24	46	3	65-80	2Cr1	venige klei	72	II	7-6-04	0,04	0,16	123,4	167,4	71,1	1,7	0,5	0,4	26,3	0,37
BV 25	46	4	120-140	3Cr	zand	73	II	7-6-04	0,04	0,18	10,8	16,1	64,8	0,9	1,1	0,5	32,7	0,50
BV 26	51	1	0-20	1Ah	venige klei	50	II	7-6-04	0,05	0,22	129,5	172,8	70,6	3,5	0,5	0,4	25,0	0,35
BV 27	51	2	30-50	3Ce	rietzegge veen	50	II	7-6-04	0,02	0,07	207,3	321,9	61,8	2,0	0,1	0,5	35,6	0,58
BV 28	51	3	60-80	3Cr1	rietzegge veen	50	II	7-6-04	0,03	0,11	210,7	297,7	69,1	1,1	0,1	0,4	29,2	0,42
BV 29	58	1	0-15	1ACe	venige klei	40	II	7-6-04	0,03	0,11	133,9	177,3	72,3	2,2	0,5	0,5	24,5	0,34
BV 30	58	2	20-40	2Ce	rietzegge veen	40	II	7-6-04	0,01	0,03	237,1	344,8	66,8	1,5	0,0	0,4	31,2	0,47
BV 31	58	3	60-75	2Cr	rietzegge veen	40	II	7-6-04	0,04	0,15	242,0	324,3	73,2	1,0	0,1	0,3	25,4	0,35
BV 32	54	1	0-20	1Ap	kleilig zand	50	II	7-6-04	0,16	0,63	68,6	98,2	65,5	3,8	0,5	0,1	30,2	0,46
BV 33	54	2	25-45	2Ce	kleilig zand	50	II	7-6-04	0,06	0,26	117,2	151,9	73,2	3,3	0,5	0,1	22,9	0,31
BV 34	54	3	65-120	3Cr	rietzegge veen	50	II	7-6-04	0,02	0,09	220,6	321,2	66,5	1,8	0,1	0,3	31,3	0,47
BV 35	63	1	0-10	1Ah	venige klei	50	I/II	7-6-04	0,04	0,16	141,7	187,7	72,6	2,1	0,4	0,4	24,5	0,34
BV 36	63	2	15-25	1Ce	kleilig zand	50	I/II	7-6-04	0,03	0,11	62,7	83,8	72,8	1,6	0,1	0,3	25,2	0,35
BV 37	63	3	60-80	2Cr	zand	50	I/II	7-6-04	0,03	0,14	9,9	14,2	66,6	1,6	1,0	0,4	30,5	0,46

Intern nr.	nr.	Datum	Locatie	EGV	pH	Ca	Mg	K	Na	Fe	SO4	Cl	HCO3	PO4
				mS/m					mg/l			mmol/l	mg/l	P
BW 1	PB 1	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	63,9	6,30	82,15	7,24	1,53	42,80	11,86	113,70	56,15	3,15	0,060
BW 2	PB 2	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	40,8	6,11	58,91	2,98	0,86	23,14	3,77	0,03	51,10	2,80	0,224
BW 3	PB 3	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	63,3	6,32	96,13	3,50	1,15	28,56	21,58	0,08	67,90	5,31	0,351
BW 4	PB 4	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	48,3	6,46	38,15	3,52	2,53	12,13	35,76	58,54	47,05	2,22	0,105
BW 5	PB 5	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	46,1	6,65	64,25	9,52	1,58	14,17	7,24	67,70	32,40	2,75	0,140
BW 6	PB A (ijzeren buis)	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	19,6	7,42	25,32	1,59	0,57	9,92	0,06	0,00	13,50	1,50	0,038
BW 7	Opp. w. bij PB 1	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	29,8	9,90	40,75	2,40	1,92	18,67	3,55	0,04	48,95	1,77	0,008
BW 8	Opp. w. bij Grift	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	63,6	8,33	70,28	9,31	2,93	42,90	0,00	50,74	84,95	2,80	0,059

Intern nr.	nr.	Datum	Locatie	K	A	K+A	dKA	ECc	ECm	dEC	IR	grond water	regen water	zee	pH sat 10°C	Verzadiging index	Stuifzand watertype	correlatie met			
				mmol+-/l	%	%	mS/m	%	%	%	%	Li	At	Th	Rh						
BW 1	PB 1	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	7,2	7,1	14,3	0,9	66,9	63,9	-4,7	72,1	70,4	29,3	0,3	7,53	-1,23	F2CaMix +	81	-10	50	74
BW 2	PB 2	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	4,4	4,3	8,7	1,8	41,6	40,8	-2,1	67,1	50,2	49,6	0,2	7,68	-1,57	F2CaHCO3,	91	-40	17	53
BW 3	PB 3	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	7,5	7,3	14,8	1,7	66,5	63,3	-5,1	71,5	82,4	17,3	0,3	7,23	-0,91	F3CaHCO3	96	-47	35	60
BW 4	PB 4	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	4,7	4,8	9,5	-0,7	50,0	48,3	-3,5	58,9	32,1	67,6	0,2	7,97	-1,51	F2CaMix	84	-15	50	72
BW 5	PB 5	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	5,0	5,1	10,1	-0,5	48,4	46,1	-4,9	77,8	55,2	44,6	0,1	7,67	-1,02	F2CaHCO3	93	-28	26	49
BW 6	PB A (ijzeren buis)	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	1,8	1,9	3,7	-1,1	20,2	19,6	-3,1	76,8	21,6	78,4	0,1	8,27	-0,85	g1CaHCO3,	91	-46	-5	27
BW 7	Opp. w. bij PB 1	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	3,3	3,2	6,4	2,0	31,7	29,8	-6,3	59,6	34,4	65,4	0,2	8,02	1,88	F1CaHCO3,	80	-30	5	49
BW 8	Opp. w. bij Grift	07.06.04	Bennekomse Hooilanden	6,2	6,3	12,5	-0,4	67,8	63,6	-6,6	59,4	59,5	40,1	0,4	7,64	0,69	F2CaMix ,	78	-19	57	87

K	som kationen	Li	grondwater	g	oligohalien-zoet (Cl=5-30)
A	som anionen	At	regenwater	F	zoet water (Cl=30-150)
ECc	berekende EGV	Th	zeewater	1	matig hard water
ECm	gemeten EGV	RH	Rijnwater	2	hard water
dKA	afwijking ionensom			3	zeer hard water
dEC	afwijking EGV				
IR	Ion Ratio				
pHsat	calcium verzadigings pH				

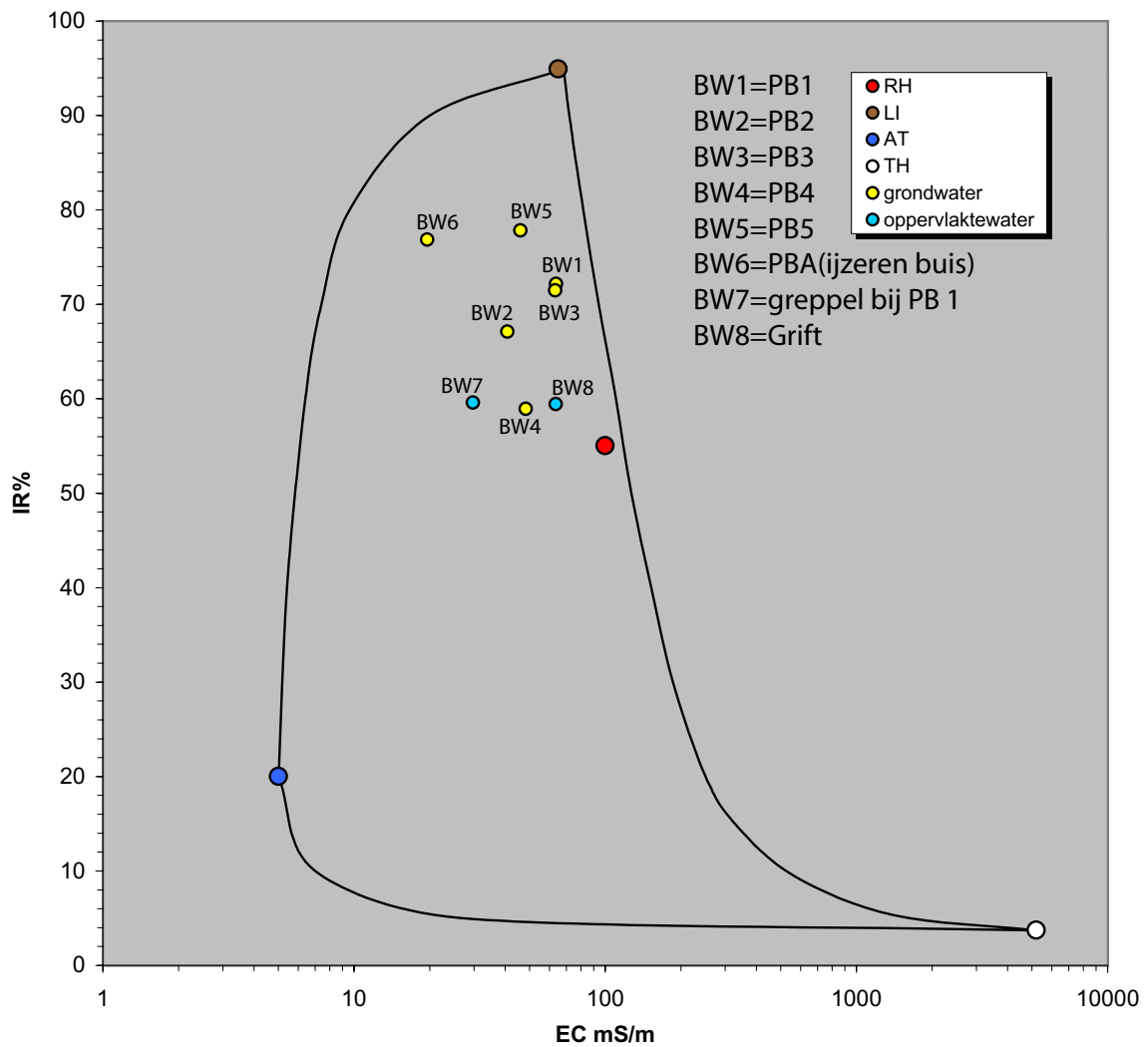
Bijlage 3a.

Analysesresultaten van de watermonsters.



Bijlage 3b.

EGV-IR diagram van de watermonsters.





Bijlage 3c.

Aandeel grond- en regenwater van de watermonsters.

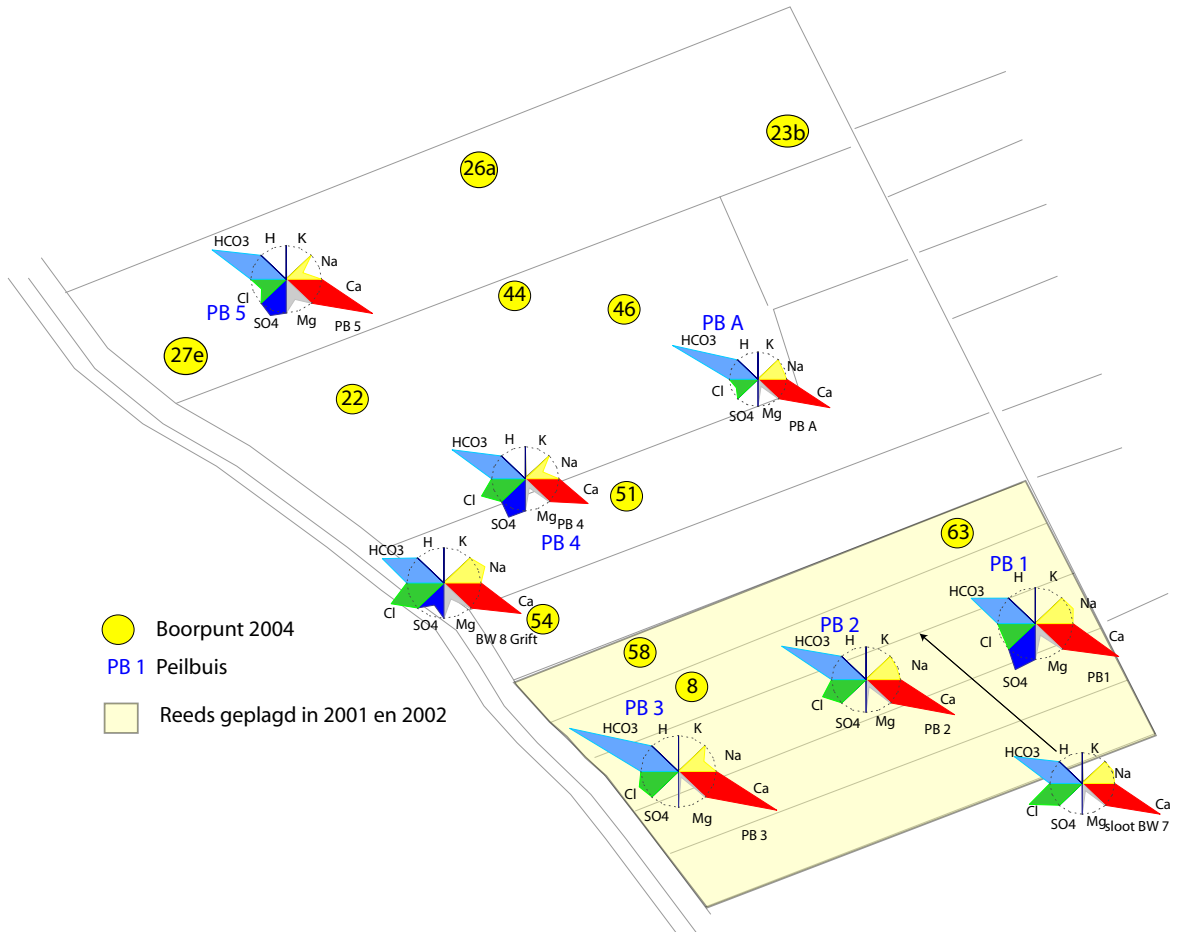
Blauw: grondwater (LI); geel: regenwater (AT).





Bijlage 3d.

Maucha diagrammen van de watermonsters. Linksonder, ter vergelijking, Maucha diagrammen van standaardwatermonsters.



Grondwater (LI)

Regenwater (AT)

Zeewater (TH)

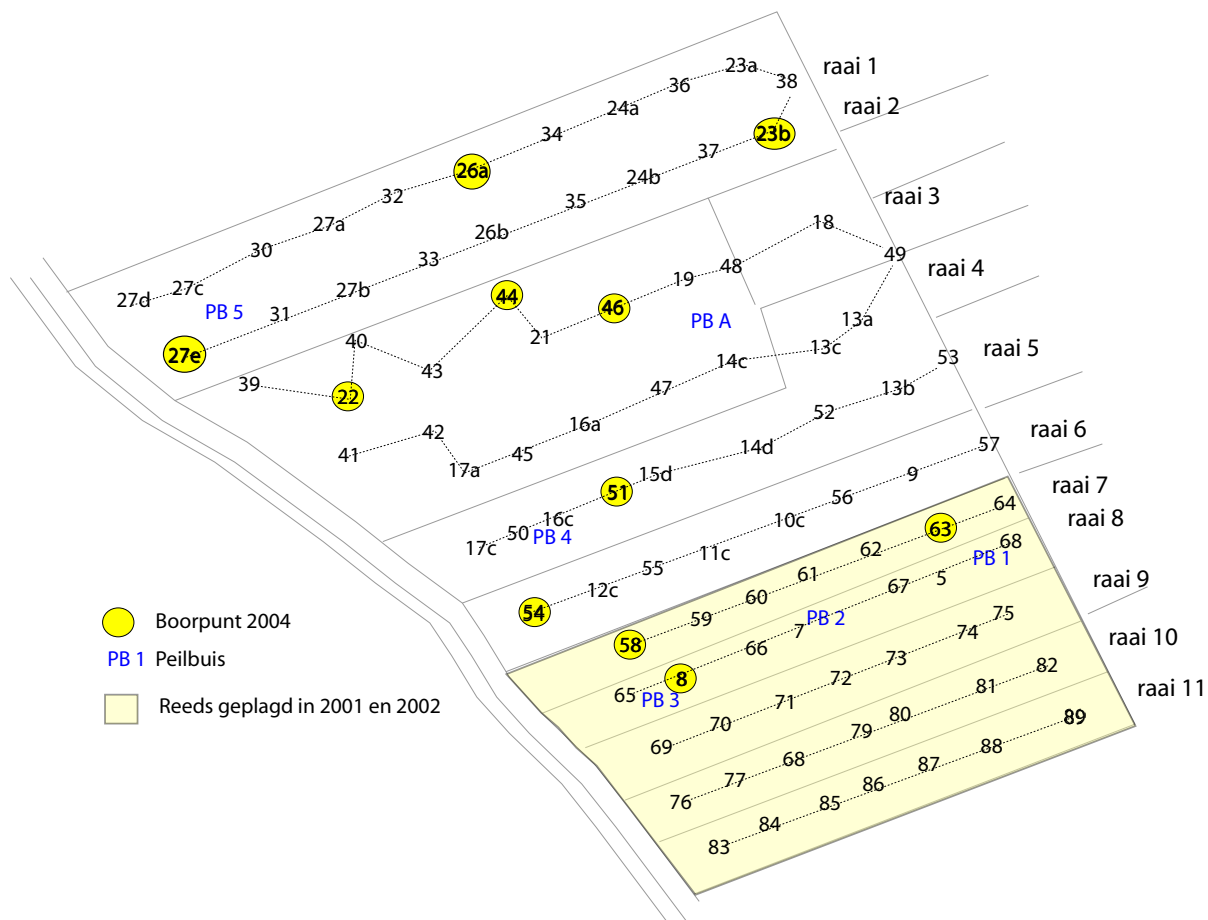
Rijnwater (RH)

Mauchadiagrammen van
Standaardreferentiemonsters



Bijlage 4.

Kaart met boorpunten (grondmonsters 2004).





Giesen & Geurts

Bijlage 5.

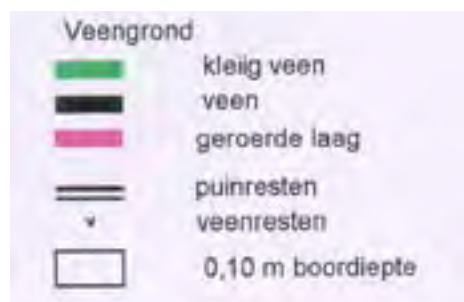
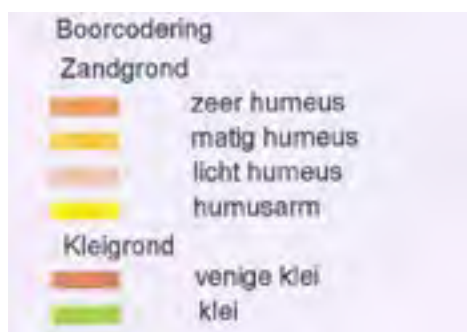
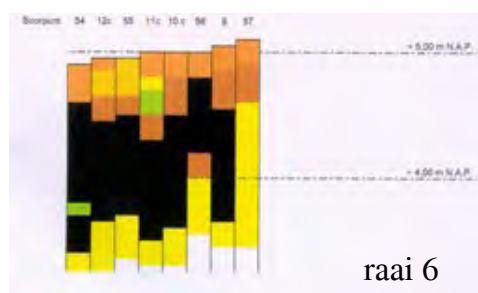
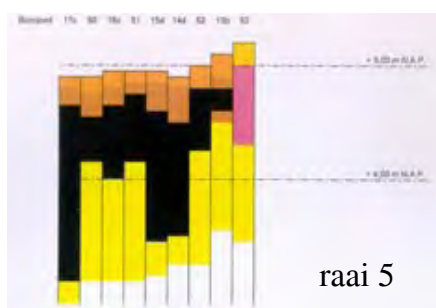
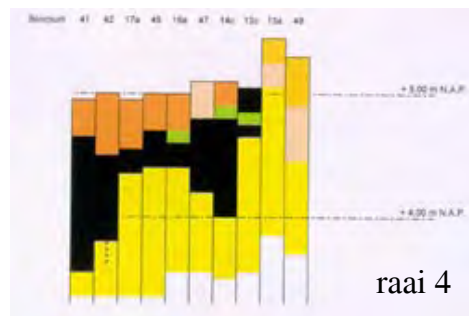
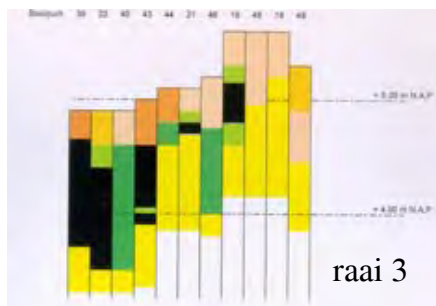
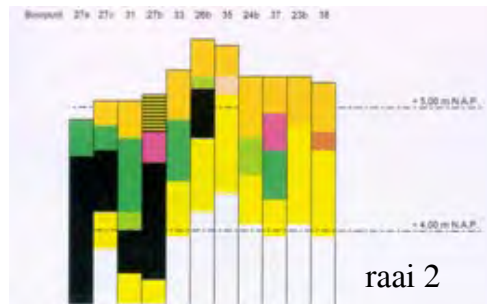
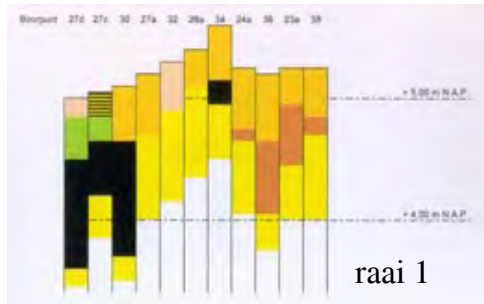
Hoogtekaart met boorpunten in 2004 en peilbuizen.





Bijlage 6.

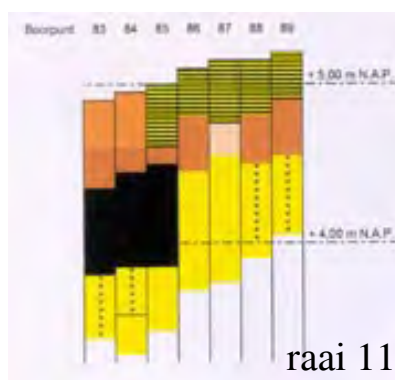
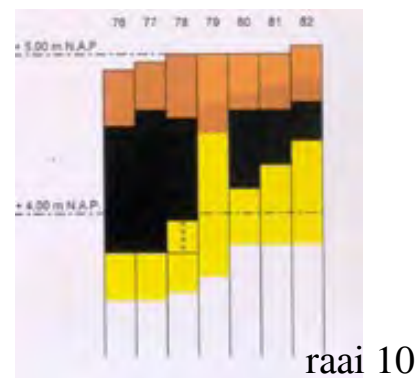
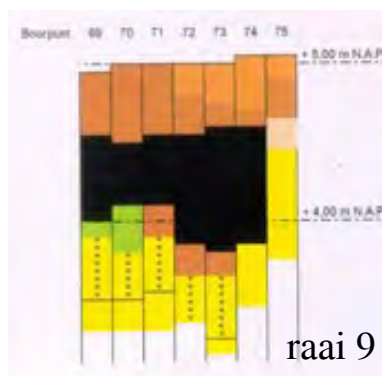
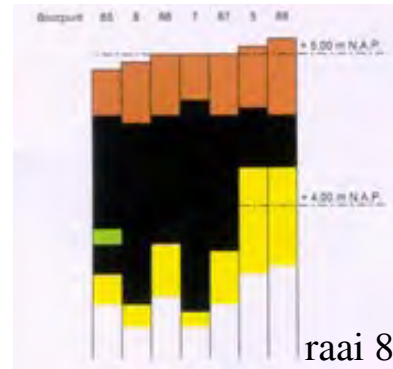
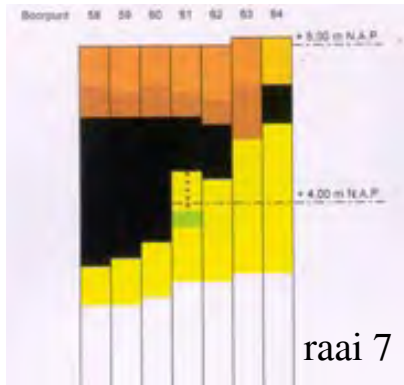
Kaart met raaien en boorpunten uit 2000 (uit: Adviesburo voor Ruimtelijke Inrichting En Techniek, 2000).





Bijlage 6.

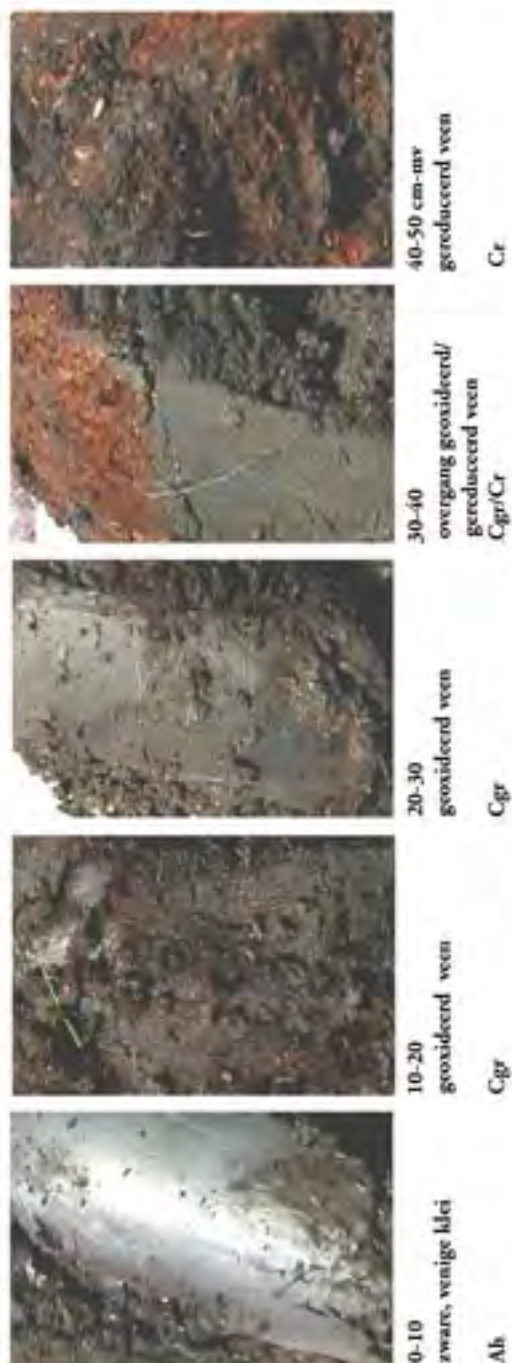
Kaart met raaien en boorpunten uit 2000 (uit: Adviesburo voor Ruimtelijke Inrichting En Techniek, 2000).





Bijlage 7.

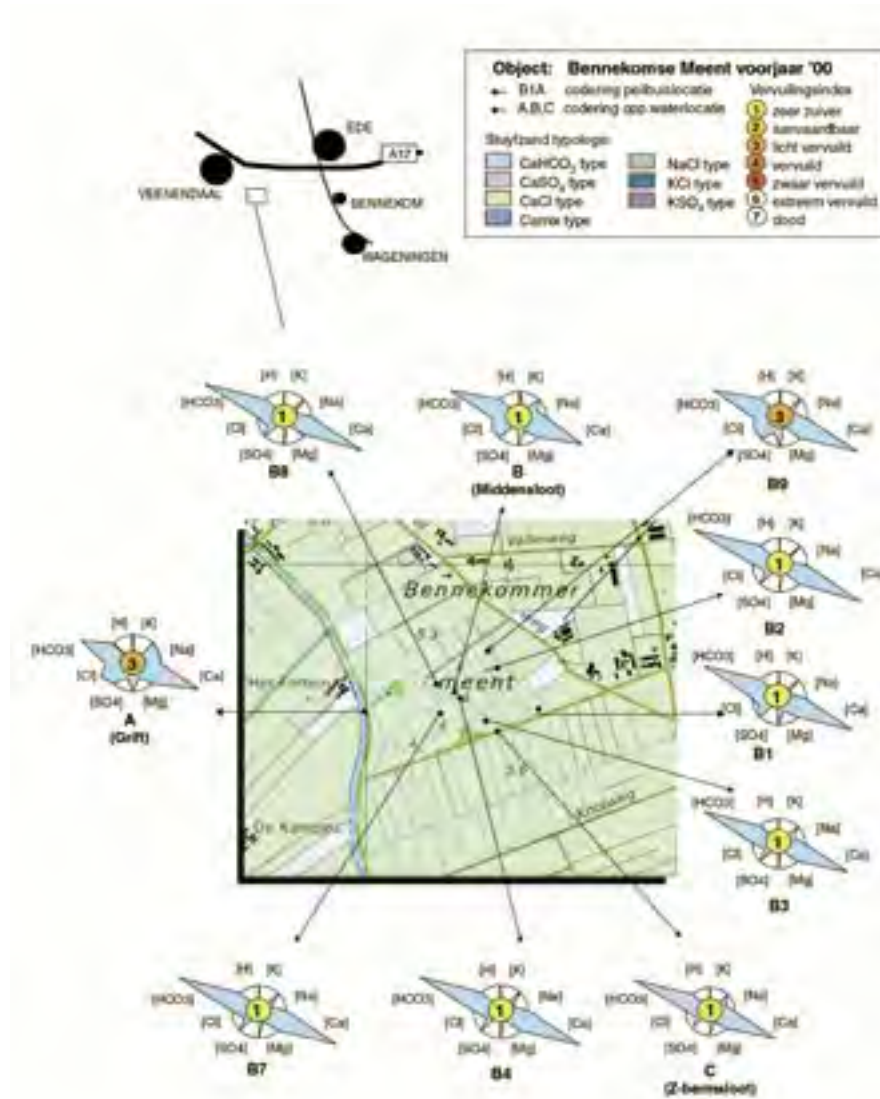
Foto's van het materiaal uit BP 22 (2004).





Bijlage 8.

Maucha diagrammen van grond- en oppervlaktewater in de Bennekomse Meent van het voorjaar van 2000.





Bijlage 9.

Maucha diagrammen van grond- en oppervlaktewater in de Bennekomse Meent van het najaar van 2000.

