

*De fosfaat- en basentoestand
van de bodem van percelen langs
de Groenlose Slinge bij Beltrum,
met plagadvies*

Giesen & Geurts



Biologische Projecten



dienst Landelijk gebied
voor ontwikkeling en beheer

De fosfaat- en basentoestand van de bodem van percelen langs de Groenlose Slinge bij Beltrum, met plagadvies

**Opdrachtgever
Dienst Landelijk Gebied
Regio Oost**



Giesen & Geurts

Biologische Projekten

't Goor 9, 7071 PC Ulft.

Tel 0315-640 460

Fax 640 252

Omslagfoto:

Overzicht van het onderzochte terrein.

© 2005 Giesen & Geurts, Uft.

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, 2005. De fosfaat- en basentoestand van de bodem van percelen langs de Groenlose Slinge bij Beltrum, met plagadvies. Giesen & Geurts, Uft. DLG, Arnhem.

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
2	Bodemanalyses	5
3	Wateranalyses	7
III	Bespreking van de resultaten	
1	Grond	11
2	Grondwater	13
3	Grondwaterhuishouding	15
IV	Basentoestand	
	Basen in grondwater en bodem	21
	Grondwater	21
	Bodem	21
	De basentoestand in het terrein bij Beltrum	22
	Conclusie	23
V	Fosfaattoestand	
	Uitgangspunten en theorie	27
	De fosfaattoestand in het onderzochte terrein bij Beltrum	28
	Conclusie en advies	30
VI	Plagadvies en de effecten	
1	Waar plaggen?	35
2	Effecten van het plaggen op de basentoestand	36
3	Effecten van het plaggen op de fosfaattoestand	38
4	Effecten van plaggen op de grondwaterhuishouding	39
5	Vegetatieontwikkelingsmogelijkheden	41
	Enkele referentiewaarden	41
	Mogelijkheden in Beltrum	42
6	Samenvattende conclusies en advies	42
	Literatuur	45
	Bijlagen	
1a+b	Analyseresultaten en berekende parameters van de bodemonsters uit Beltrum	48
2	Analyseresultaten van de watermonsters en daaruit berekende waarden	50
3	De locatie van de boorpunten, grondmonsters en de peilbuizen in Beltrum	51
4	Situatie van de geplaatste peilbuizen met stamgegevens	52
5	EGV-IR diagram van de watermonsters	53
6a-d	Boorstaten van de onderzochte locaties	54
7	Correlatiematrix van de geanalyseerde bodemparameters	58
8	Bodemkaart van het onderzoeksgebied in 2005	59
9	Correlatiematrix van de watermonsters in de peilbuizen	60
10	Duurlijnen van peilbuis 1a+b en 2a+b	61
	Duurlijnen van peilbuis 3a+b, 4b en 5b	62
	Duurlijnen van peilbuis 6b en 7b	63
11	De gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) op de boorlocaties	64
12	Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 1a+b en 2a+b	65
	Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 3a+b en 4b	66
	Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 5b en 6b	67
	Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 7b	68

Figuren

1.1	Ligging van de onderzochte percelen	2
3.1	Enige basengerelateerde parameters per substraattype	11
3.2	Oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat per substraat	12
3.3	Drie P-fracties per substraattype	12
3.4	Maucha-diagrammen van de verzamelde watermonsters	14
3.5	Vergelijking van sulfaat, EGV, IonRatio, calcium en chloride in ondiepe en diepe buizen	15
3.6	Vergelijking van pH, bicarbonaat, magnesium en fosfaat in ondiepe en diepe buizen	15
3.7	Grondwaterstandsverloop t/m 21-10-2005	16
3.8	Duurlijnkarakteristieken van de peilbuiswaarnemingen in 2005	16
4.1	Verband tussen de calciumverzadiging van het adsorptiecomplex en de zuurgraad van de bodemonsters opgesplitst naar diepteklassen	21
4.2	De zuurneutralisatiecapaciteit van de bodem in relatie tot de calciumverzadiging van verschillende bodemsubstraattypen	22
5.1	Het verband tussen opgelost en gebonden fosfaat volgens een Langmuir-isotherm	27
5.2	Verband tussen fosfaatverzadigingsindex van de bodemonsters en het fosfaatgehalte in het bodemvocht	28
5.3	Verband tussen de fosfaatverzadigingsgraad (PSD) en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht in verschillende bodemhorizonten	29
5.4	Relatie tussen P_{av} gehalte en de fosfaatverzadigingsindex	31
5.5	Verloop van de fosfaatverzadigingsgraad in de diepte van de onderzochte profielen	32
5.6	De P_{av} waarde in de diepte van het onderzochte profiel	32
6.1	Begrenzing van plagdieptes	35
6.2	Kaart met ruimtelijke verspreiding van zware klei en zavel na plaggen	37
6.3	De fosfaatverzadigingsindex en de fosfaatverzadigingsgraad per geanalyseerde boring	38
6.4	Transect door het onderzochte terrein ter hoogte van de peilbuizen 2 t/m 5	39
6.5	De nieuwe GHG na uitvoering van het plagadvies	40

Tabel

3.1	Duurlijnkarakteristieken van de peilbuiswaarnemingen in 2005	17
3.2	GHG, GLG en GVG waarden op basis van hydromorfe kenmerken van de bodem en metingen van de grondwaterstand in 2005	17
4.1	Gemiddelde waarden van de zuurneutralisatiecapaciteit en de calciumverzadiging van de monsters per substraattype	23
5.1	Gemiddelde waarden per horizont van oxalaat extraheerbaar P, Fe en Al	30
6.1	Aantal boringen waarbij een bepaald type substraat werd aangetroffen in de laag 0-30 en de laag 30-50 cm-mv	36
6.2	Gemiddelden en uitersten van de fosfaatverzadigingsindex en de fosfaatverzadigingsgraad per horizont	38
6.3	Literatuurwaarden voor enkele plantengemeenschappen voor wat betreft het grondwaterregiem	39
6.4	Gemiddelde gehalten met standaardafwijking van oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat en de fosfaatverzadigingsindex van een viertal plantengemeenschappen/verbonden in natuurterreinen	41

Inleiding

In de omgeving van Beltrum, langs de Groenlose Slinge, liggen enkele landbouwgronden, die zijn aangewezen voor natuurontwikkeling. In het kader van de ruilverkaveling Beltrum-Eibergen wordt voor deze percelen een inrichtingsplan opgesteld

Het betreft een aantal maïsakkers en graslanden links en rechts van de Slinge. Om na te gaan of in deze percelen natuurontwikkeling een kans heeft, werd onderzocht wat de voedings- en de basentoestand van de bovengrond is. Door de Dienst Landelijk Gebied wordt gedacht aan de ontwikkeling van dotterbloemhooiland en aan de rechterzijde van de Slinge een retentiebekken.

In dit rapport komen aan de orde:

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

Woord van dank

Wij danken de Dienst Landelijk Gebied te Arnhem voor deze opdracht. Contactpersoon bij DLG was de heer C. Buddingh.

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Drs. Rolf Kemmers (Alterra, Wageningen), die wij danken voor zijn bijdrage. Tevens gaat onze dank uit naar Joop Vrielink, voor zijn hulp bij de boringen en profielbeschrijvingen. De eigenaren van de percelen danken we voor hun toestemming.



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

oktober 2005.



I Terrein en probleemstelling



1 Terreinbeschrijving

Langs de Slinge, tussen Groenlo en Ruurlo, liggen links en rechts van de Goormanslatweg een aantal maïsakkers en graslanden (fig. 1.1). Het reservaatgebied beslaat ca. 29 ha.

De bodem van het reservaatgebied bestaat uit zware klei, zware en zeer lichte zavel en lemig zand, met op enkele plaatsen een veenlaag in de ondergrond. Op enkele hogere plaatsen is een ontwikkeling in de richting van een podzol.

Hydrologisch staan de percelen onder invloed van een ontwaterings-sloot langs de westrand, en de Slinge. Grondwater komt nu op enkele plaatsen aan of vlak onder maaiveld; de GHG is gemiddeld 14 cm-mv (0-32) en de GLG is gemiddeld 113 cm-mv (87-142).

Het maaiveld in de onderzochte percelen varieert weinig (voor het grootste deel tussen 16,25 en 17,00 m+NAP). In een geïsoleerd liggend bosje is een podzol aanwezig met een maximum hoogte van 18,00 m+NAP. In het oostelijke deel ligt een ruggetje van maximaal 17,25 m+NAP. Langs de oostrand van de Slinge, in een bosperceel van Staatsbosbeheer, liggen de laagste delen, namelijk 16,25-16,50 m+NAP.

2 Probleemstelling

De westelijke percelen en een deel van de oostelijke percelen, zijn aangewezen voor natuurontwikkeling van bloemrijk grasland en/of vochtig schraalland. Gezien de agrarische voorgeschiedenis en de visuele bemestingsgraad, wordt verwacht dat deze doelstelling niet haalbaar is zonder verwijdering van de voedselrijke bouwvoor.

3 Onderzoek

Om inzicht te krijgen in de trofiegraad van bodem en water in relatie tot de ontwikkeling van de streefbeeld vegetatie “bloemrijk grasland en/of vochtig schraalland”, zijn op een aantal plaatsen boringen uitgevoerd en bodemonsters verzameld. Tevens zijn een aantal peilbuizen geplaatst om de grondwaterstand te volgen en een bemonsteringsronde van het grondwater uit te voeren.

Van de aanwezige bodemtypes werden op tien plaatsen op meerdere diepten grondmonsters verzameld (mengmonster). De monsters werden steeds verzameld binnen een horizont, om vermenging te voorkomen. De boringen werden bodemkundig beschreven (bijlage 6a-d), de grondwatertrap en de GLG en GHG werden geschat. Van de profielen werden boorstaatjes gemaakt en de bodemeenheid toegekend. In het veld werden het percentage humus, luthum, leem en de M50 vastgesteld.

Tevens zijn watermonsters uit tien peilbuizen verzameld.



Fig. 1.1.
Ligging van de onderzochte percelen.



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 (bodemkaart DLG). 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 6a-d) en getypeerd volgens Klinka.

Peilbuizen en water

Op drie plaatsen werd een set van een ondiepe en een diepe peilbuis geplaatst (een ondiepe buis werd alleen daar geplaatst waar volgens oude boringen de GHG voldoende hoog was om ook in drogere tijd water te voeren). In die ondiepe buis kan de invloed van de A-horizont en regenwater op eventueel aangevoerd grondwater worden vastgesteld. Op nog vier plaatsen werden diepe buizen geplaatst voor de meting van de grondwaterstand en het bemonsteren van grondwater. Van deze tien buizen werden er drie in een raai, dwars op de Slinge geplaatst (vaststellen drainerende werking van de Slinge).

Het water werd met een slangenpomp uit de peilbuizen gepompt.

De grondwaterstand werd door derden, buiten onze invloed, opgenomen.

1.2 Profielbeschrijving

De profielen werden beschreven volgens Klinka. Er werd aangegeven of een horizont geoxideerd of gereduceerd was (bijlage 6a-d). Van het profiel werden de grondwaterstand, GHG, GLG en Gt bepaald. Tijdens het veldwerk werd door middel van de bruistest het kalkgehalte bepaald.

2 Bodemanalyses

Voorbehandeling en apparatuur

De 30 grondmonsters zijn in goed afgesloten PE-zakken vervoerd en na ontvangst gecatalogiseerd. De grond werd zo spoedig mogelijk op schalen uitgespreid en aan de lucht gedroogd (geforceerde ventilatie bij 35°C). De droogtijd bedroeg ca. 15 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 poriegrootte 0,5 mm. Voor de pH metingen is een pH-meter (sensIon378) 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}

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 CaCO₃ in de grond.
- Volgens onze ervaring kunnen deze regels worden uitgebreid met:
- 4 Beneden pH = 5,5 à 6,0 wordt geen CaCO₃ gevonden (met de methode volgens Wesemael).
 - 5 Boven pH_{water} = ±7,0 is de pH_{KCl} hoger dan de pH_{water}, onder pH_{water} = ±7,0 is de pH_{KCl} lager dan de pH_{water}.

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.

De gemeten waarden zijn op verschillende wijze weergegeven in bijlage 1.

2.3 Organische stofgehalte

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 ontleiden. Voor CaCO₃, 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.

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. Owendroge grond (ca. 2,500 gram) werd in een voorgegloeid 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 owendroge grond berekend.

De resultaten staan in bijlage 1.

2.4 Uitwisselbaar Ca, Mg, K en Na

In een BaCl₂ - triethanolamine-extract, dat verkregen is via de Bascomb bepaling, worden uitwisselbaar calcium, magnesium, kalium en natrium bepaald. De pH van de BaCl₂ - triethanolamine buffer bedraagt 8,1.

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

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

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).

De resultaten staan in bijlage 1.

2.5 Uitwisselbaar H

De H-bezetting of uitwisselbaar waterstof (soms uitwisselbare aciditeit genoemd) die gemeent 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.

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⁺.

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 aluminium vrij (Scheffer & Schachtschabel, 1989).

De resultaten van de bepalingen staan in bijlage 1.

2.6 Oxalaat extraheerbaar P, Fe en Al

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.

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.

De meetresultaten staan in bijlage 1.

2.7 Water extraheerbaar P

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).

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 PO₄³⁻-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).

De meetresultaten staan in bijlage 1.

2.8 Lactaat extraheerbaar P

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 & Kooyman (2004) noemen grenswaarden; landbouwkundige normaalwaarde 40 mg/100g P₂O₅ als P-lactaat en streefwaarde c.q. natuurlijk niveau van 10 mg/100g P₂O₅ als P-lactaat.

De afgewogen ca. 1,500 g luchtdroge grond wordt met 30 ml melkzuurbuffer gedurende 4 uur geschud en vervolgens gefiltreerd over een glasfilter. Het gehalte PO₄³⁻-P wordt in het heldere extract gemeten met de molybdaatblauw methode (Walters, 1989; Houba et al, 1989).

De meetresultaten staan in bijlage 1.

3 Wateranalyses

3.1 Voorbehandeling en apparatuur

Aflevering, 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).

3.2 pH en E.G.V.

De pH en het E.G.V. van het grondwatermonster zijn direct na ontvangst aan het niet gefil-



treerde monster bepaald. Het E.G.V.²⁵ van het grondwater geeft een algemene indicatie over de hoeveelheid in het water opgeloste stoffen.

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 analysesresultaten staan in bijlage 2.

3.3 Alkaliniteit

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

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.

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.

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 2.

3.5 Fosfaat

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

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. 2.

3.6 Chloride

Het chloridegehalte van het grondwater is spectrofotometrisch bepaald (met kwikthiocyanaat en ijzer(III)). Met kwikthiocyanaat vormt chloride vrij thiocyanaat 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.

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 2.

3.7 Sulfaat

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.

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 analysesresultaten staan in bijlage 2.



III

Bespreking van de resultaten





1 Grond

In bijlage 6 worden de boorprofielen gedetailleerd beschreven. De verzamelde monsters kunnen verdeeld worden in de substraattypen: leemarm zand, zwak lemig zand, sterk lemig zand, zeer lichte zavel, zware zavel en zware klei. Gereduceerd zand komt op grotere diepte voor (>100 cm-mv). De overige substraattypen kunnen zowel ondiep als dieper voor komen (bijlage 6).

De bodem pH_{KCl} is matig zuur tot basisch. De gemiddelde pH_{KCl} van de horizonten Ap, Cg en Cr verschillen niet veel van elkaar (Ap=5,3, Cg= 5,1 en Cr=5,5).

De calciumverzadiging van de onderzochte bodemmonsters wisselt per substraattypen; de hoogste Ca-bezetting werd gemeten in zware klei en zware zavel (gemiddeld 65,4%; komt voor in horizont Cg en Apg), de laagste in zwak lemig zand (gemiddeld 23,7%; komt voor in horizont Ap, Cg en Cr). Verder is de Ca-bezetting in de substraten lichte zavel, sterk en zwak lemig zand nagenoeg gelijk (fig. 3.1). Kijkt we naar de onderscheiden horizonten dan blijkt er nauwelijks verschil te constateren (in de horizonten Ap, Cg en Cr ligt het gemiddelde Ca% rond 30%). De waargenomen substraten komen dus verspreid over de horizonten voor.

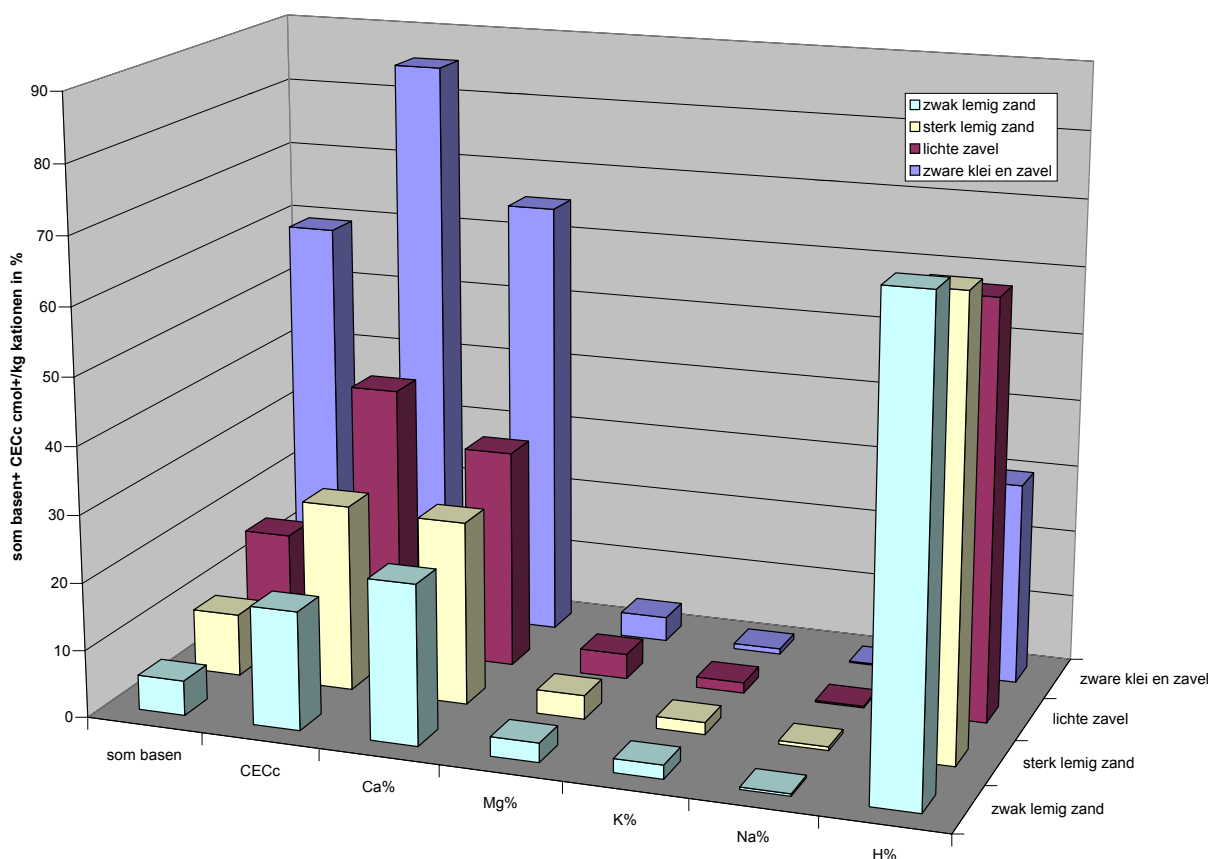


Fig. 3.1.

Enige basengerelateerde parameters per substraattypen (gemiddelden). Substraat met meer leem of klei bevat het meeste uitwisselbare calcium en het minste uitwisselbare H.

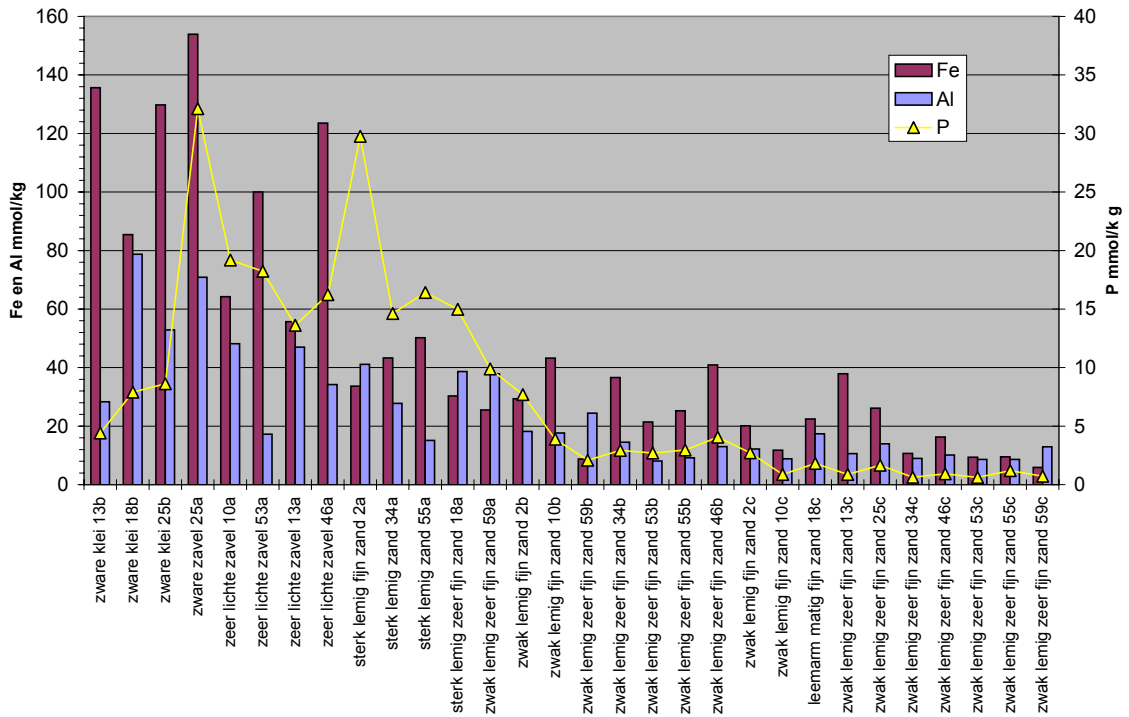


Fig. 3.2. Oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat per substraat. Vooral lichte zavel en sterk lemig zand bevat veel fosfaat in relatie tot ijzer en aluminium.

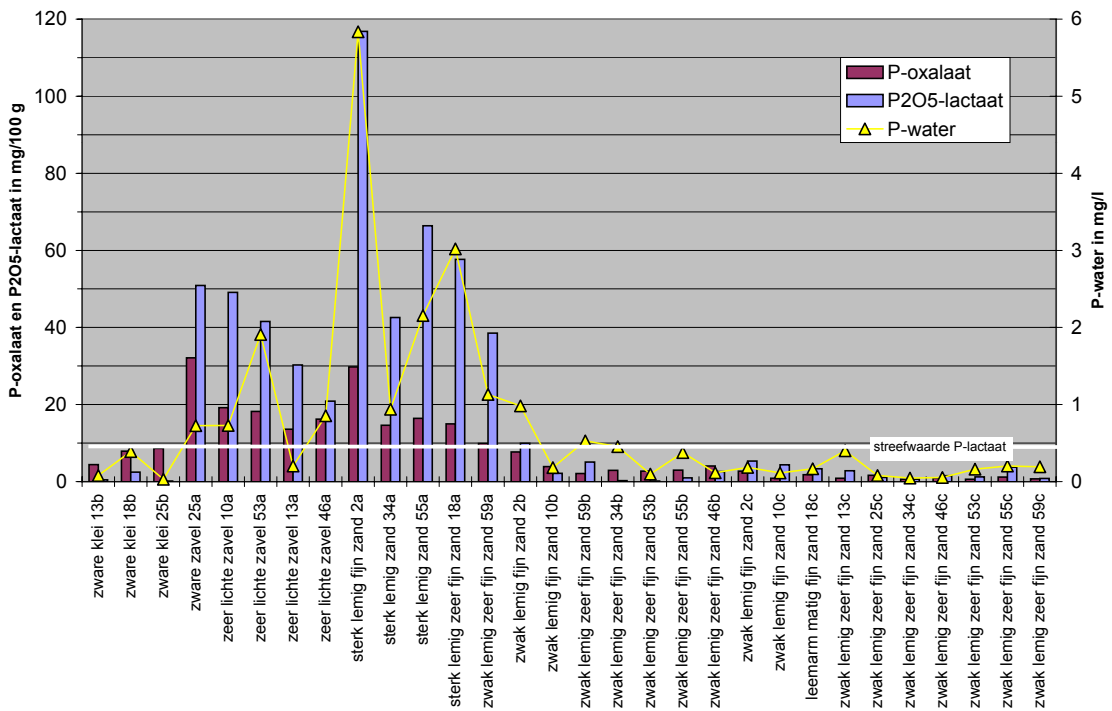


Fig. 3.3. Drie P-fracties per substraat-type. In lichte zavel en sterk lemig zand worden de hoogste gehalten gemeten. In zware klei en zwak lemig zand in de horizonten Cg en Cr, zijn de waarden laag; P-lactaat is daar zelfs lager dan de streefwaarde.



Vooral klei en zavel, en in mindere mate sterk lemig zand, bevatten veel oxalaat extraheerbaar ijzer en aluminium, waardoor het fosfaatbindend vermogen navenant hoog is. In zavel en sterk lemig zand is echter oxalaat extraheerbaar fosfaat ook hoog. In zwak lemig zand is oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat lager dan in de eerder genoemde substraten (fig. 3.2).

Als we naar drie P-fracties (fig. 3.3) kijken zien we een vergelijkbaar beeld. De hoogste P-waarden worden gemeten in lichte zavel en sterk lemig zand. Dat geldt ook voor de P_{lactaat} waarden, die in die substraten de streefwaarde van 10 mg $P_2O_5/100$ g (Takman & Kooijman, 2004) overschrijden.

2 Grondwater

Het onderzochte grondwater kan worden opgevat als oligohalien (5-30 mg Cl/l) tot zoet (<150 mg Cl/l), hard tot extreem hard water met calcium als dominant kation en meestal bicarbonaat als dominant anion (in één geval is sulfaat dominant). De pH ligt in het zwak zure bereik (5,5 < pH < 6,5) en het water is meestal goed gebufferd met bicarbonaat en calcium (60-166 mg Ca/l in de diepe buizen). Het water is toch kalkoplossend (verzadigingsindex is negatief; bijlage 2). De chloride gehalten in de meeste monsters duiden op schoon tot matig vervuild (resp. <18 en 18-35 mg Cl/l) water. Ook het fosfaat-P gehalte in de meeste monsters geeft aan dat het water belast is. Enkele monsters bevatten een substantiële hoeveelheid ijzer, maar dat gaat niet samen met hoge sulfaatgehalten zodat dit niet duidt op pyrietoxidatie. In buis 3b en 4b is het sulfaatgehalte verhoogd. Kalium is in meerdere gevallen verhoogd (>5 mg K/l), hetgeen op invloed door gierbemesting duidt.

De IonRatio is in de meeste buizen hoog (>70%); alleen in buis 1a lager met 49,8%. Dat wijst op een hoog aandeel grondwater, hetgeen ook blijkt uit de berekende percentages (bijlage 2). Ook de EGV duidt op grondwater met matig lange tot lange verblijftijd. De invloed van regenwater is alleen hoog te noemen in de buizen 1a en 2a. De similariteit met standaard grondwater is in alle buizen (m.u.v. 4b met $CaSO_4$ -type water) hoog (>80%).

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 (fig. 3.4).

Invloed A-horizont op grondwater

Aan meerdere parameters is te zien dat het grondwater in de horizonten net onder de A-horizont, onder invloed staat van deze A-horizont (voedselrijk) en regenwater (verdunding; fig. 3.5 en 3.6). Zo zijn de parameters EGV, Ca, Mg, Na, SO_4 , IR en HCO_3 in de ondiepe buis lager door infiltrerend regenwater (verdunding). De pH is in ondiepe buizen nauwelijks lager.

Daarentegen worden zichtbaar PO_4 -P, Cl en soms K door regenwater naar lager gelegen horizonten getransporteerd. Het fosfaatgehalte van het water vlak onder de A-horizont is 2-3 maal zo hoog als in dieper grondwater.

Vooraf in buis 1a is de IonRatio lager dan van dieper grondwater. In het water in de ondiepe buis is het aandeel regenwater aanzienlijk hoger (bijlage 2).

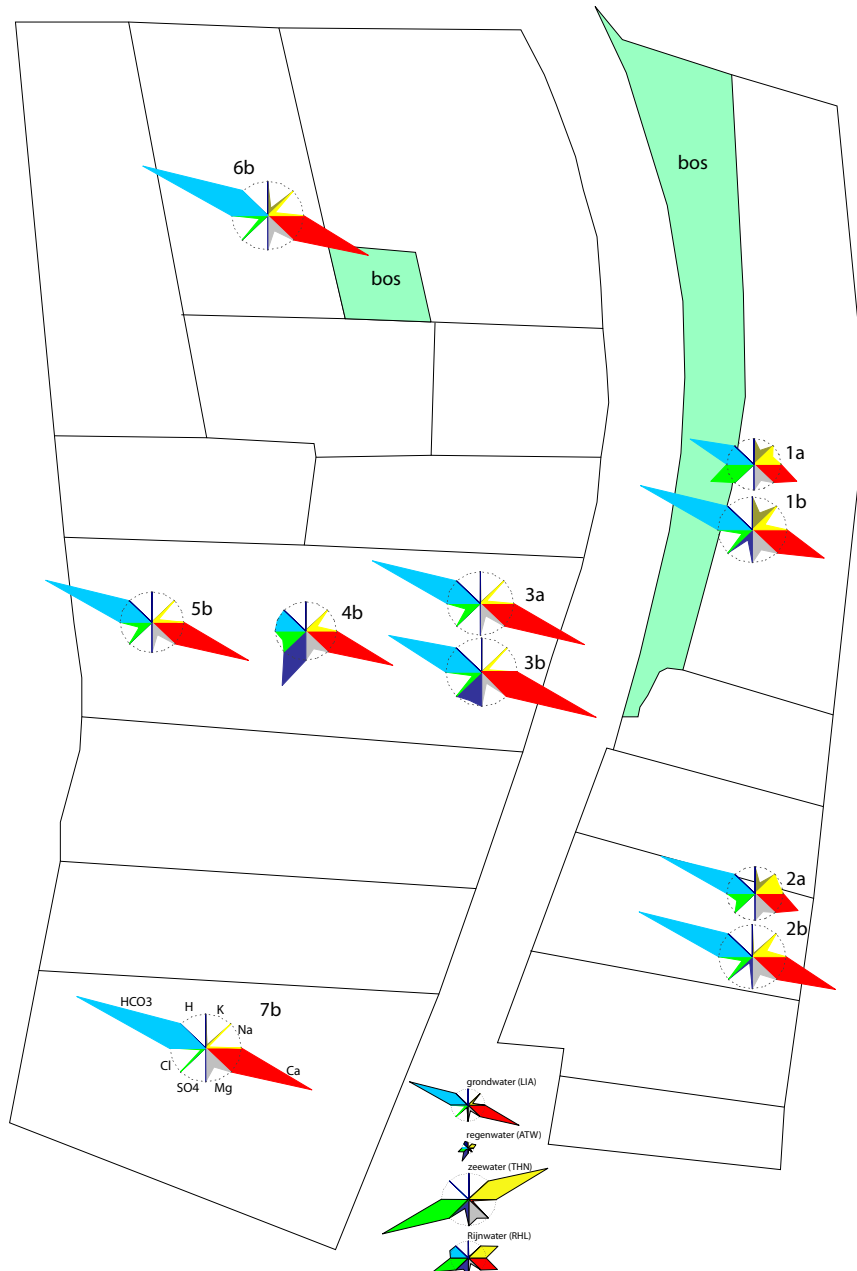


Fig. 3.4.

Maucha-diagrammen van de verzamelde watermonsters. Bij het diagram van buis 7b staat welke ionen overeenkomen met de kleuren. Tevens is een diagram van standaard watermonsters afgebeeld. Goed is te zien dat het water in de diepe buizen (b) op grondwater lijkt en ook buis 3a. In buis 3b en 4b is duidelijk invloed door sulfaat. Het water in de ondiepe buizen 1a en 2a is nog grondwaterachtig, maar ondervindt verdunning door regenwater.



Fig. 3.5.
Vergelijking van
sulfaat, EGV,
IonRatio, calcium
en chloride in
ondiepe en diepe
buizen.

De meeste waar-
den zijn lager in
ondiepe buizen.
Chloride is in de
ondiepe buizen
soms hoger.

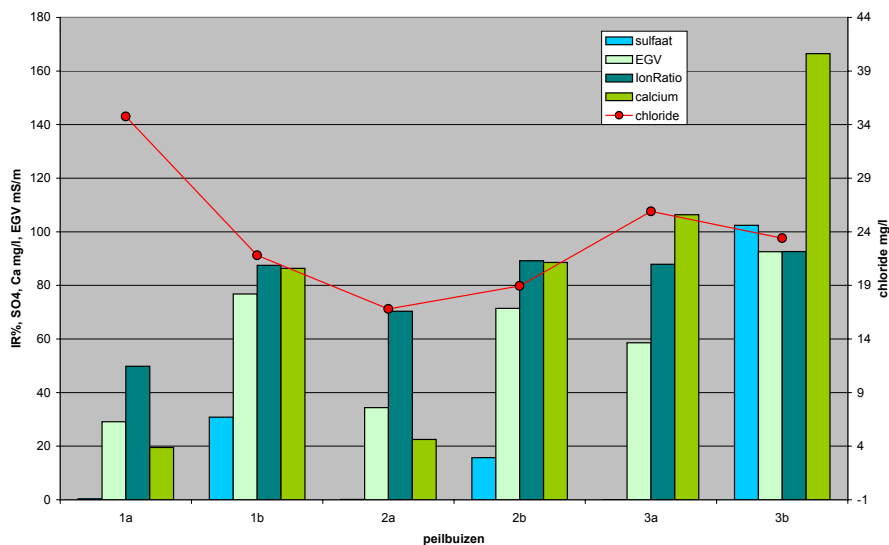
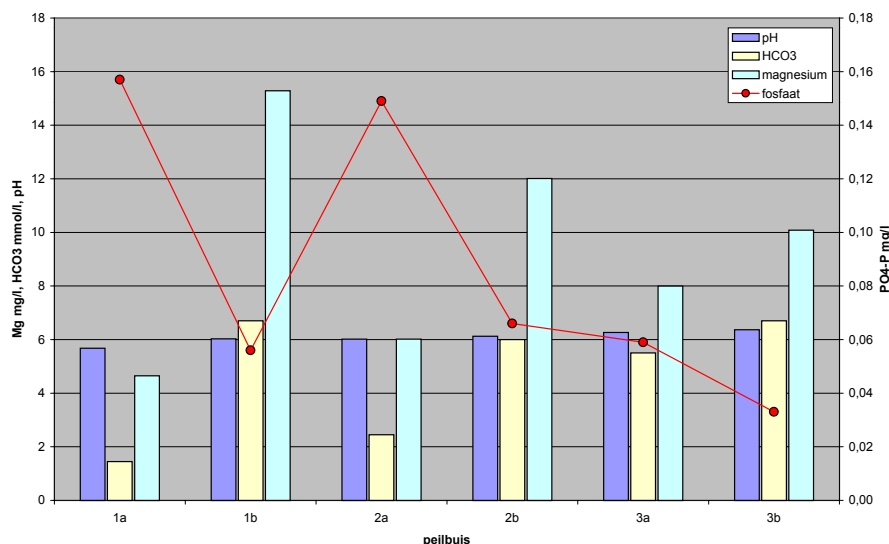


Fig. 3.6.
Vergelijking van
pH, bicarbonaat,
magnesium en
fosfaat in ondiepe
en diepe buizen.

De meeste waar-
den zijn lager in
ondiepe buizen.
Fosfaat is in de
ondiepe buizen
hoger.
De pH verschilt
nauwelijks in de
ondiepe en diepe
buizen.



3 Grondwaterhuishouding

Van het gebied zijn uit het verleden geen hydrologische gegevens bekend. Afgaand op de hydromorfe kernen van de bodem kunnen waarden voor de GHG en GLG worden opgegeven en de GVG worden berekend (tabel 3.2). Uit deze hydromorfe kenmerken blijkt dat de GHG op 14 cm-mv ligt (gemiddeld over alle boringen). Na plaggen van gemiddeld 30 cm zou dat betekenen dat de GHG gemiddeld 16 cm boven maaiveld ligt.

Volgens de grondwaterstandmetingen in 2005 (van 15-2 tot 21-10; 250 dagen) is het verloop in de buizen synchroon (fig. 3.7) en is de waterstand in de buizen sterk gecorreleerd (bijlage 9). Een eventuele grondwaterstandmonitoring in de buizen 2a+b, 6b en 7b lijkt, gezien hun spreiding in het gebied en hun correlatie met de overige buizen, voldoende voor het gehele terrein. De in tabel 3.2) en bijlage 11) opgegeven waarden voor GHG en GLG (op basis van

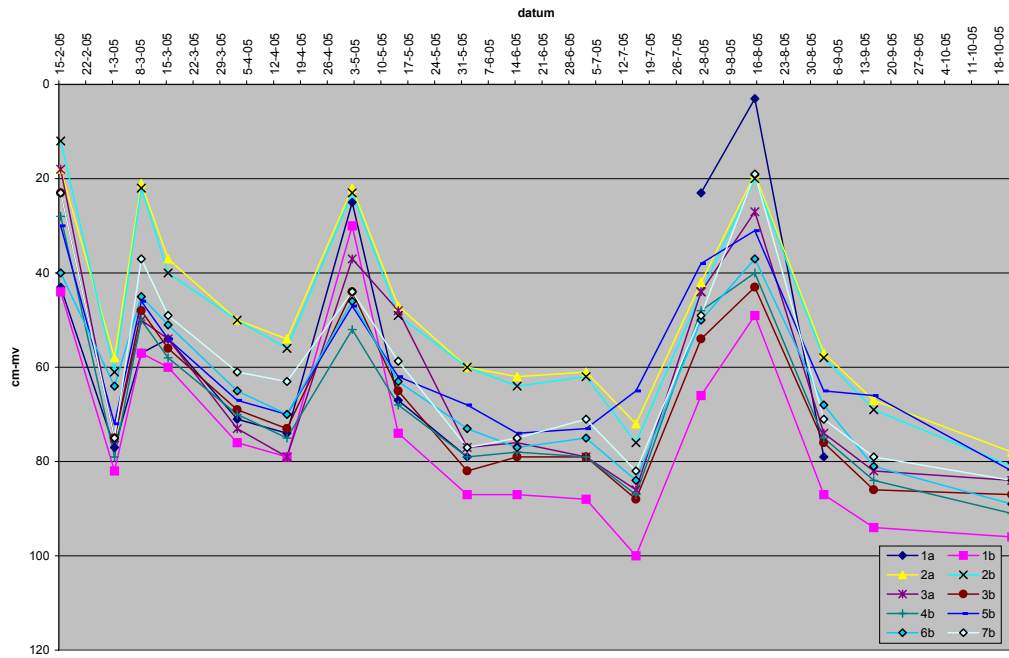


Fig. 3.7.
Grondwaterstandsverloop t/m 21-10-2005.

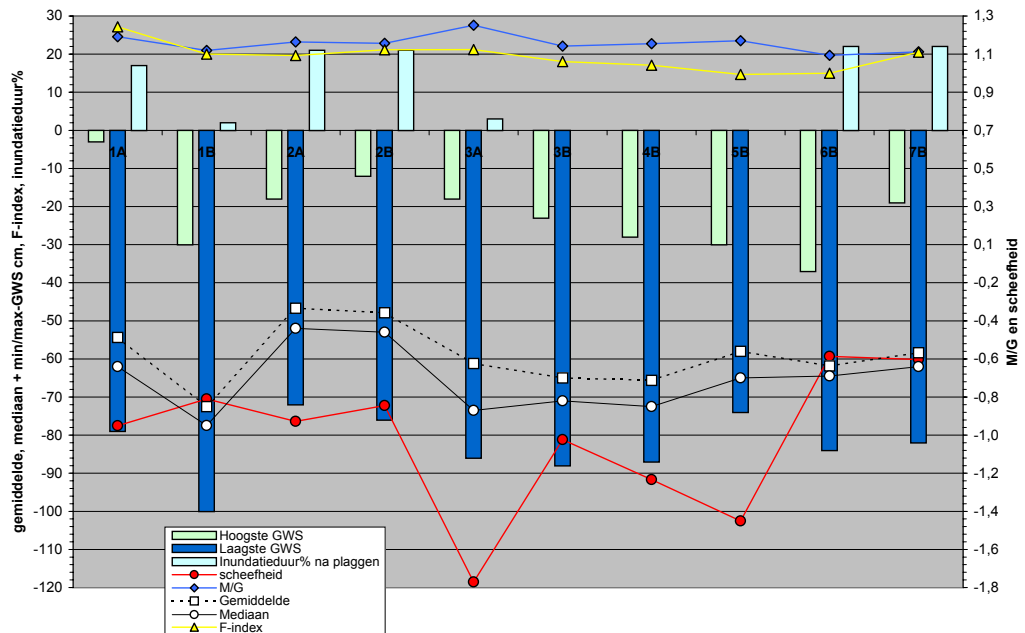


Fig. 3.8.
Duurlijnkarakteristieken van de peilbuiswaarnemingen in 2005.



Tabel 3.1.
Duurlijnkarakteristieken van de peilbuiswaarnemingen in 2005.

Parameter	eenheid	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4B	5B	6B	7B
Gemiddelde (G)	cm-mv	54	73	47	48	61	65	66	58	62	58
Standaardafwijking	cm	26	20	18	19	21	18	17	15	15	20
Mediaan (M)	cm-mv	62	78	52	53	74	71	73	65	65	62
M/G		1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1
Hoogste waterstand	cm-mv	3	30	18	12	18	23	28	30	37	19
Laagste waterstand	cm-mv	79	100	72	76	86	88	87	74	84	82
F-index (213 dagen)	cm/14d	27	20	20	21	21	18	17	15	15	21
Amplitude	cm	76	70	54	64	68	65	59	44	47	63
Inundatieduur huidig	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inundatieduur na plaggen	%	17	2	21	21	3	0	0	0	22	22
Inundatieduur na plaggen	dagen/jaar	62	7	77	77	11	0	0	0	80	80
Scheefheid (Sachs)		-0,9	-0,8	-0,9	-0,8	-1,7	-1,0	-1,2	-1,4	-0,5	-0,6
N	aantal	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Tabel 3.2.
GHG, GLG en GVG waarden (resp. gemiddelde hoogste, laagste en voorjaarsgrondwaterstand) op basis van hydromorfe kenmerken van de bodem en metingen van de grondwaterstand in 2005 (250 dagen). m=gemeten, h=hydromorfe kenmerken, GH3 en GL3=gemiddelde van de drie hoogste en drie laagste waterstanden. * gemiddelden over alle boringen (69). ** gemiddelden over alle waterstandsmetingen.

waarden in cm-mv		1a	1b	2a	2b	3a	3b	4b	5b	6b	7b	gem.	
GHGm	op basis van waterstandsmetingen	GH3 metingen 2005	17	41	19	18	27	37	39	33	41	26	30**
GLGm		GL3 metingen 2005	78	97	72	75	84	87	87	76	85	82	82**
GVGm		meting 2-april-2005	71	76	50	50	73	69	70	67	65	61	65**
GVGm		idem na plaggen	36	41	25	25	43	39	40	37	20	16	32**
GHGh	op basis van hydromorfe kenmerken	hydromorfe kenmerken	5	10		0	20	5	25	15	14*		
GLGh		hydromorfe kenmerken	100	100		80	120	110	115	80	110*		
GVGh		berekend uit GHGh en GLGh	29	33		21	45	31	48	33	37*		
GVGh		idem na plaggen	-7	8		-9	15	0	3	-12	6*		

hydromorfe kenmerken van de bodem) komen niet overeen met de gemeten grondwaterstanden. De GHGm en GVGm (op basis van de gemeten grondwaterstanden) liggen dieper en de GLGm ligt ondieper dan de waarden op basis van hydromorfe kenmerken. In 2005 is de hoogste grondwaterstand dus (incidenteel) lager dan in het verleden of de hydromorfe kenmerken zijn fossiel.

De duurlijnen van de grondwaterstand zijn weergegeven in bijlage 10. Door de vorm van de duurlijnen (hol, bol of sigmoïd) is aan te geven of sprake is van kwel of infiltratie. De duurlijn van de buizen 1a+b, 3a+b, 4b, 5b zijn hol van vorm, hetgeen duidt op infiltratie. De duurlijnen van de diepe b-buizen hiervan vertonen aan het eind een lichte bolle vorm; de uitzakking tot de laagste waterstanden gaat langzamer. De duurlijnen van de buizen 2a+b, 6b en 7b zijn in meer of mindere mate sigmoïd, dwz. een korte periode met hoge grondwaterstanden, waarna de grondwaterstand snel daalt gevolgd door een meer geleidelijker daling.

Door de duurlijnkarakteristiek M/G~1 (fig. 3.8 en tabel 3.1) wordt de korte tijd met hoge grondwaterstanden bevestigd. De negatieve scheefheid laat zien dat de mediaan dieper ligt dan het gemiddelde, hetgeen op duidt op het overheersen van lagere grondwaterstanden (Van Wirdum e.a., 2004). De



F-index (gemiddelde fluctuatie per 14 dagen) is tamelijk hoog, dwz. dat grote fluctuaties optreden (zie ook fig. 3.7).

De berekende inundatieduur na plaggen laat zien dat deze ter hoogte van de centrale rug bij de buizen 3, 4 en 5 ook na plaggen nul zal zijn. In de buizen 2a+b, 6b en 7b is een korte inundatieduur (ca 20%=70-80 dagen.jr) berekend. Uit de wateranalyses is gebleken dat we daar te maken hebben met water met een hoog aandeel lithoclien grondwater.

Groenlose Slinge

Het huidige stuwpeil van de Groenlose Slinge, ter hoogte van het onderzochte terrein, is 15,83 m+NAP. Dit is ongeveer de gemiddelde in 2005 gemeten grondwaterstand in het westelijke deel van het onderzochte terrein. De grondwaterstand daalt naar de Slinge toe (tabel 3.1; 58, 66 en 65 cm-mv in de buizen 5b, 4b en 3b; zie ook fig. 6.4). De hoogste in de buizen gemeten grondwaterstand ligt ca. 35 cm boven het gemiddelde en dus ook boven het stuwpeil van de Slinge. In het oostelijke deel van het onderzochte terrein is het beeld vergelijkbaar, maar de grondwaterstanden zijn daar wat hoger (buis 2b gemiddeld 48 cm-mv). De drainagebasis van de westelijke randsloot is ongeveer gelijk aan de gemiddelde gemeten grondwaterstand.

Het verloop van de duurlijnen (korte tijd hoge waterstand en snel uitzakken) wordt veroorzaakt door de drainerende werking van de Groenlose Slinge en van de randsloot.

Conclusie

De terreincondities voor wat betreft de aanvoer van calcium door het grondwater zijn in het onderzochte terrein goed. Het grondwater is goed gebufferd, maar met fosfaat 'belast'. Dat kan door uitspoeling van de grond veroorzaakt zijn. Op sommige locaties is een veenlaag aanwezig, die door droogvallen kan oxideren. Daardoor kunnen voedingsstoffen en sulfaat vrijkomen (zoals in buis 3b).

De A-horizont veroorzaakt verrijking van het grondwater. Infiltrerend regenwater verdunt het grondwater in eronder gelegen horizonten.

Bij de grondwaterhuishouding is (volgens de metingen van de grondwaterstand in 2005) sprake van voornamelijk infiltratie en wegzijging. Hierop gebaseerd, komt de grondwaterstand na plaggen op sommige plaatsen boven maaiveld. Gebaseerd op de hydromorfe kenmerken van de bodem, zou verwacht mogen worden dat de inundatie hoger en langduriger is. Het verschil kan ontstaan zijn door de relatieve korte meetperiode met incidentele lagere grondwaterstanden, of doordat de hydromorfe kenmerken fossiel zijn. Vergelijking met naburige buizen laat zien dat er waarschijnlijk geen sprake is van extreem lage waterstanden (gegevens Waterschap Rijn en IJssel).

De Groenlose Slinge en de westelijke randsloot draineren het onderzochte terrein. Echter verhoging van het stuwpeil van de Slinge en de drainagebasis van de sloot zou deze werking kunnen verminderen c.q. opheffen.



IV
Basentoestand





1 Basen in grondwater en bodem

Grondwater

Uit de wateranalyses blijkt dat over het algemeen een calciumrijk grondwater-type wordt aangetroffen, met hoge waarden van de ionenratio (zie bijl. 2). Van de watermonsters is de verwantschap berekend met 'kalkrijk grondwater' en 'regenwater'. Het blijkt dat een belangrijke grondwatercomponent onder het terrein aanwezig is (>53%, bij de ondiepe buizen 1a en 2a <20%; bijl. 2), die echter plaatselijk kan zijn vermengd met regenwater (>80% regenwater bij buis 1a en 2a). 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

Bodem

De basentoestand van de bodem is afhankelijk van zowel de aard van het moedermateriaal als de positie van de standplaats in een hydrologisch systeem (Kemmers et al. 2002). Klei- en zavelgronden hebben door hun mineralogische samenstelling (o.a lutumgehalte) een geringe verwerkingssnelheid en zijn over het algemeen basenrijker en minder zuur dan bijvoorbeeld zandgronden.

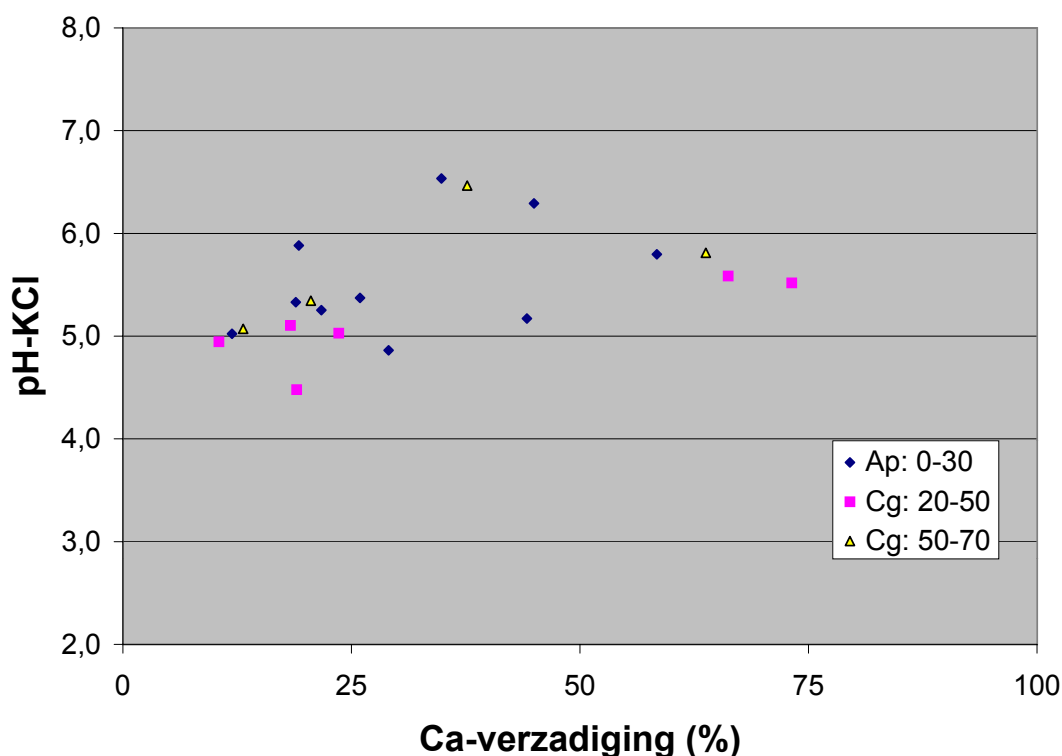


Fig. 4.1. Verband tussen de calciumverzadiging van het adsorptiecomplex en de zuurgraad (pH_{KCl}) van de bodemonsters, opgesplitst naar diepteklassen. Ondanks meestal lage calciumverzadiging (<50%) is de pH toch tamelijk hoog, hetgeen moet worden toegeschreven aan het substraattype (zavel en leemgrond met veel lutum). De calciumverzadiging heeft weinig invloed op de bodem-pH.

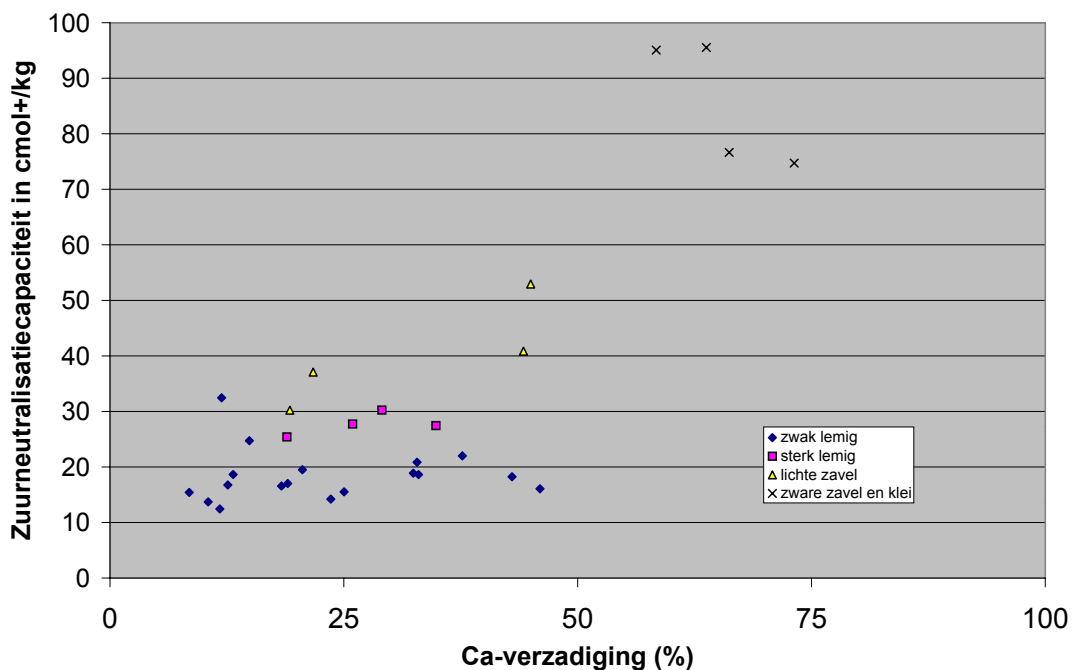


Fig. 4.2.

De zuurneutralisatiecapaciteit van de bodem in relatie tot de calciumverzadiging van de verschillende bodemsubstraattypen. Alleen bij zware zavel en klei is de calciumverzadiging >50%. De grote variatie in calciumverzadiging van het lemige zand wordt veroorzaakt door de variatie van het leemgehalte.

Daarnaast kan door aanvoer van met name calciumhoudend water de basenverzadiging van de bodem in kwelgebieden aanzienlijk hoger zijn dan die in infiltratiegebieden, waar juist basen uitspoelen en verzuringsprocessen aanwezig zijn. Naarmate de basenverzadiging hoger is, zal de pH van de bodem op een hoger niveau liggen.

De basentoestand in het terrein bij Beltrum

Uit de boorbeschrijvingen blijkt dat de ondergrond (Cr-horizont; >100 cm-mv) van de bemonsterde gronden kalkhoudend is. Deze monsters worden gekenmerkt door een instabiele pH_{KCl} (pH-drift, zie bijlage 1; wijst op aanwezigheid van kalk). De aanwezigheid van kalk zorgt op deze diepte voor de buffering van de pH op een hoog niveau. Door de aanwezigheid van kalk zal op deze diepte een betrekkelijk hoge concentratie Ca-ionen in oplossing zijn (zie bijlage 2 voor het gehalte in grondwater). Alleen in geval van een kwelflux zullen deze Ca-ionen met de vochtstroom richting maaiveld getransporteerd kunnen worden en zich daar kunnen hechten op het kationenadsorptiecomplex. In dat geval mag daar een hoge basen- c.q. calciumverzadiging van het adsorptiecomplex verwacht worden. De basenverzadiging van de categorie diepe monsters (>100 cm-mv) zal verder niet in beschouwing worden genomen, omdat kalk er de belangrijkste zuurbuffer is.

De bovenliggende horizonten (0-70 cm-mv) zijn kalkloos. In kalkloze gronden wordt de pH gebufferd door ionenwisselingsprocessen op het kationenadsorptiecomplex van de bodem. Naarmate het kationenadsorptiecomplex



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

In de zandgronden op grotere diepte is geen of weinig organische stof of leem aanwezig.

Er kan daardoor weinig calcium of andere kationen gebonden worden.

een hogere basenverzadiging (met name door calcium) heeft, kunnen meer zuurionen worden geneutraliseerd en zal de pH op een hoger niveau gebufferd zijn. Naarmate de basenverzadiging lager is, zal de pH op een steeds lager niveau gebufferd worden. Van alle monsters is de potentiële kationenadsorptiecapaciteit (CEC) bepaald, wat een maat is voor het zuurbufferend vermogen (of zuurneutralisatiecapaciteit) van het monster. De mate waarin deze zuurbuffer verbruikt is, wordt weergegeven door de calciumverzadiging van het adsorptiecomplex. Naarmate de calciumverzadiging lager is, zal de zuurbuffer verder zijn uitgeput en zal de pH lager zijn.

Fig. 4.1 geeft het verband weer tussen de calciumverzadiging en de pH_{KCl} van de monsters, opgesplitst naar diepteklassen. Opvallend is dat in de diepteklasse 0-30 cm-mv slechts één monster (boring 25a) een calciumverzadiging >50% heeft. De overige monsters uit deze diepteklasse hebben een calciumverzadiging tussen 12% en 45%. Ondanks deze over het algemeen lage calciumverzadiging (12-45%) is de pH_{KCl} vrijwel overal hoger dan 5. Deze hoge pH-waarden bij een relatief lage calciumverzadiging, lijken te moeten worden toegeschreven aan de aard van het substraat (zavel- en leemgronden met hoge percentages lutum). In fig. 4.2 is de calciumverzadiging uitgezet tegen de zuurneutralisatiecapaciteit (ZNC) van het monster uitgesplitst naar substraattypen. Fig. 4.2 laat zien dat er een relatie bestaat tussen de zuurneutralisatiecapaciteit en het substraattypen. Van de zwak lemige gronden, via de sterk lemige gronden en de lichte zavelgronden, neemt de zuurneutralisatiecapaciteit toe in de richting van de zware zavel- en kleigronden, ongeacht op welke diepte (of hoogte boven het grondwaterniveau) dit substraat voorkomt. Uit fig. 4.2 blijkt dat de monsters met de hoogste zuurneutralisatiecapaciteit de hoogste calciumverzadiging bezitten (zware zavel en klei) en dat de monsters met de laagste calciumverzadiging de laagste zuurneutralisatiecapaciteit hebben (zwak lemig). De laagste calciumverzadiging komt voor in de zwak lemige bovengrond (0-30 cm-mv) van boorpunt 59, dat bodemkundig is getypeerd als een podzolgrond.

Uit de gemiddelde waarden van de calciumverzadiging en de zuurneutralisatiecapaciteit per substraattypen (tabel 4.1) kan worden afgeleid dat deze parameters positief gecorreleerd zijn: de calciumverzadiging en de zuurneutralisatiecapaciteit van de monsters zijn hoger naarmate de monsters een zwaardere textuur (% lutum en leem) hebben.

Tabel 4.1. Gemiddelde waarden van de zuurneutralisatiecapaciteit (ZNC) en de calciumverzadiging van de monsters per substraattypen.

Substraattypen	ZNC	Ca-verzadiging
	cmol+/kg	%
zwak lemig zand	19.27	19.35
sterk lemig zand	27.72	27.19
lichte zavel	40.27	32.53
zware zavel en klei	85.49	65.38

Conclusie

Uit de analyse van de basenverzadiging kan worden geconcludeerd, dat het niet waarschijnlijk is dat de basenverzadiging van de bovengronden (0-30 cm-mv) op peil wordt gehouden door aanvoer van calciumhoudend kwelwater uit



de kalkhoudende ondergrond. Er lijkt eerder sprake van een netto neerwaarts gerichte waterstroming (infiltratie), dat op de onderzochte boorpunten leidt tot een uitspoeling van basen en een dalende calciumverzadiging. Geconcludeerd kan worden dat de basenverzadiging vooral bepaald wordt door de aard van het substraat. Naarmate de gronden een hoger gehalte lutum en leem bevatten is de zuurneutralisatiecapaciteit groter en de calciumverzadiging hoger. De horizonten met een substraat van zware zavel en klei bezitten de grootste zuurneutralisatiecapaciteit. De uitspoeling van basen (waaronder calcium) is bij zware zavel en klei daarom het kleinst, zodat de calciumbezetting lang in stand blijft.



V
Fosfaattoestand





Uitgangspunten en theorie

Inleiding

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 (Schwertmann, 1964) 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:

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

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

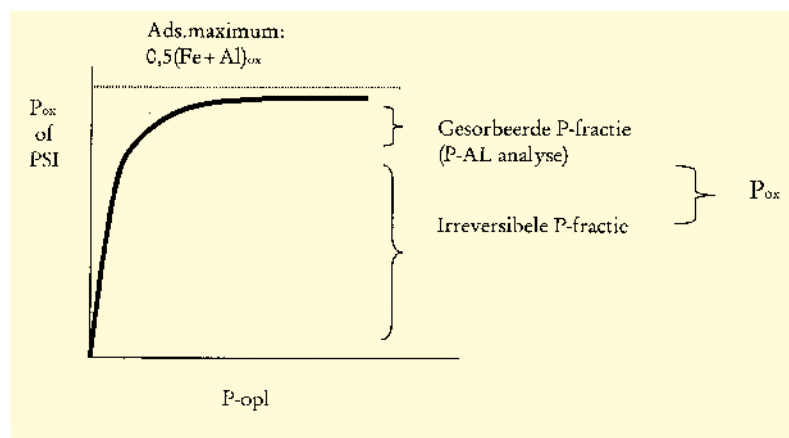
De gemiddelde waarde van α is mede afhankelijk van andere bodemeigenschappen (Org. stof, klei) en varieert tussen 0,30 en 0,80 (Maguire et al., 2001). Voor Nederlandse kalkloze zandgronden wordt een waarde $\alpha = 0,5$ aangehouden (Van der Zee et al., 1988). Een grond waarin de hoeveelheid fosfaat (P_{ox}) overeenkomt met $0,5(Fe+Al)_{ox}$ wordt daarom als fosfaatverzadigd beschouwd. Uit empirisch onderzoek in de Hooilanden van het Wageningse Binnenveld kwam een waarde $\alpha = 0,25$ naar voren (Giesen & Geurts, 2004).

De P-oxalaat analyse (P_{ox}) wordt als maatgevend beschouwd voor de totale geadsorbeerde P-voorraad, dus zowel de reversibele (gesorbeerd) als de (quasi-)irreversibele (in inwendige aggregaten gefixeerde) voorraad. De gesorbeerde P-fractie komt relatief gemakkelijk beschikbaar, de gefixeerde P-fractie via een zeer langzame diffusie reactie.

Pw-getal (mg P/l bodemvocht) en P-AL (mg $P_2O_5/100g$) komen voort uit de sfeer van de landbouwvoorlichting en dienen als basis voor bemestingsadviezen voor resp. bouwland (Pw) en grasland (P-AL). Beide variabelen hebben betrekking op de reversibel geadsorbeerde P-pool.

Verondersteld wordt dat het aan de bodem (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

Fig. 5.1.
Het verband tussen opgelost ($P_{opl}=Pw$) en gebonden fosfaat (P_{ox}) en/of fosfaatverzadigingsindex (PSI) volgens een Langmuir-isotherm.
De irreversibele P-fractie gaat moeilijk in oplossing en verhoogt de P-opl. (in oplossing) nauwelijks. Bij de gesorbeerde fractie is dit juist wel het geval.





opgeloste fosfaat (P in mg/L). 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 fosfaatconcentratie in het bodemvocht verandert bij een verandering van het gebonden fosfaat. Bij maximale verzadiging neemt de fosfaatconcentratie sterk toe, terwijl de gebonden fractie vrijwel ongewijzigd blijft.

Bij desorptie in het horizontale deel van de isotherm komt fosfaat vooral vanuit de gesorbeerde (reversibele) fase in oplossing. In het verticale deel van de curve is de P-concentratie 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). De helling van de curve geeft de bindingsterkte van irreversibele P-fractie aan.

De fosfaattoestand in het onderzochte terrein bij Beltrum

In de verschillende bouwland- en graslandpercelen werden op 10 plekken grondmonsters verzameld op verschillende dieptes beneden maaiveld, tot ongeveer het niveau van de GLG (bijlage 6).

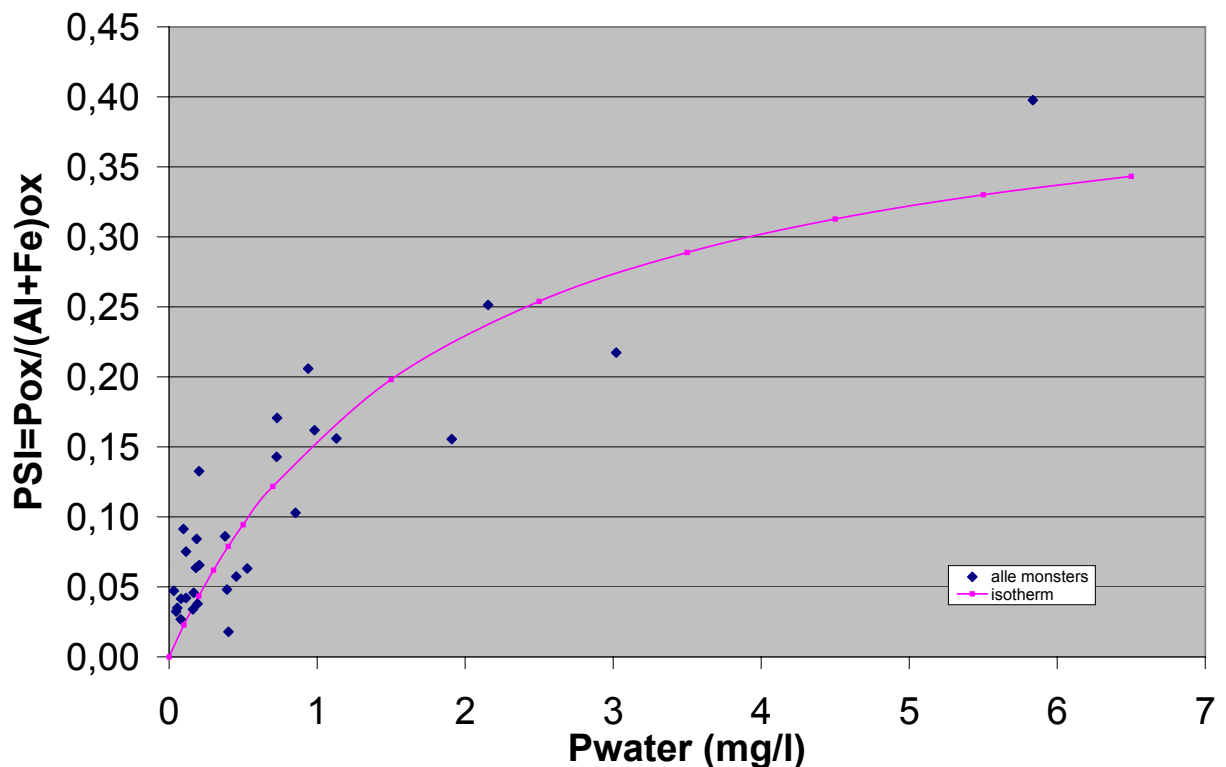


Fig. 5.2.

Versand tussen fosfaatverzadigingsindex ($PSI = P / (Al+Fe) = \alpha$), van de bodemmonsters en het fosfaatgehalte in het bodemvocht. De getrokken lijn geeft de passende Langmuir-isotherm weer. De minder steile helling van de curve, in vergelijking met die in fig 5.1, geeft aan dat de bindingsterkte van de irreversibele P-fractie lager is.



In fig. 5.2 is het verband weergegeven tussen opgelost fosfaat en de fosfaatverzadigingsindex: $P_{ox}/(Fe+Al)_{ox}$ voor alle monsters. In de figuur is tevens de via een regressieanalyse afgeleide Langmuir-isotherm weergegeven. Uit regressieanalyse ($r^2=0,76$) blijkt dat het adsorptiemaximum is gelegen bij $0,44(Fe+Al)_{ox}$. Dit betekent dat deze gronden een fosfaatadsorptiecapaciteit hebben die redelijk overeenkomt met de theorie (Van der Zee et al., 1988).

Uitgaande van de gevonden maximale fosfaatverzadiging van $0,44(Fe+Al)_{ox}$ is vervolgens de fosfaatverzadigingsgraad (PSD) van de monsters berekend volgens:

$$PSD = P_{ox} / 0,44(Fe+Al)_{ox}$$

De monsters werden steeds verzameld binnen eenzelfde bodemhorizont en op verschillende dieptes. Omdat de diepte waarop per horizont werd bemonsterd enigszins varieerde, zijn bij de interpretatie een aantal diepteklassen onderscheiden met als grenswaarden: Ap(g): 0-30 cm-mv, C(g): 20-50 cm-mv, C(g): 50-70 cm-mv en Cr: >100 cm-mv. In fig. 5.3 is het verband weergegeven tussen de actuele fosfaatverzadigingsgraad (PSD) en het opgeloste fosfaat in de bodemvochttoplossing per horizont en diepteklasse.

Uit fig. 5.3 blijkt dat de bouwvoor (Ap-horizont) over het algemeen matig sterk (25-60%) en plaatselijk sterk verzadigd (90%) is met fosfaat. In deze Ap-horizont is fosfaat reversibel gebonden, waardoor fosfaat vrij gemakkelijk beschikbaar komt, wat zich uit in hoge concentraties fosfaat in het

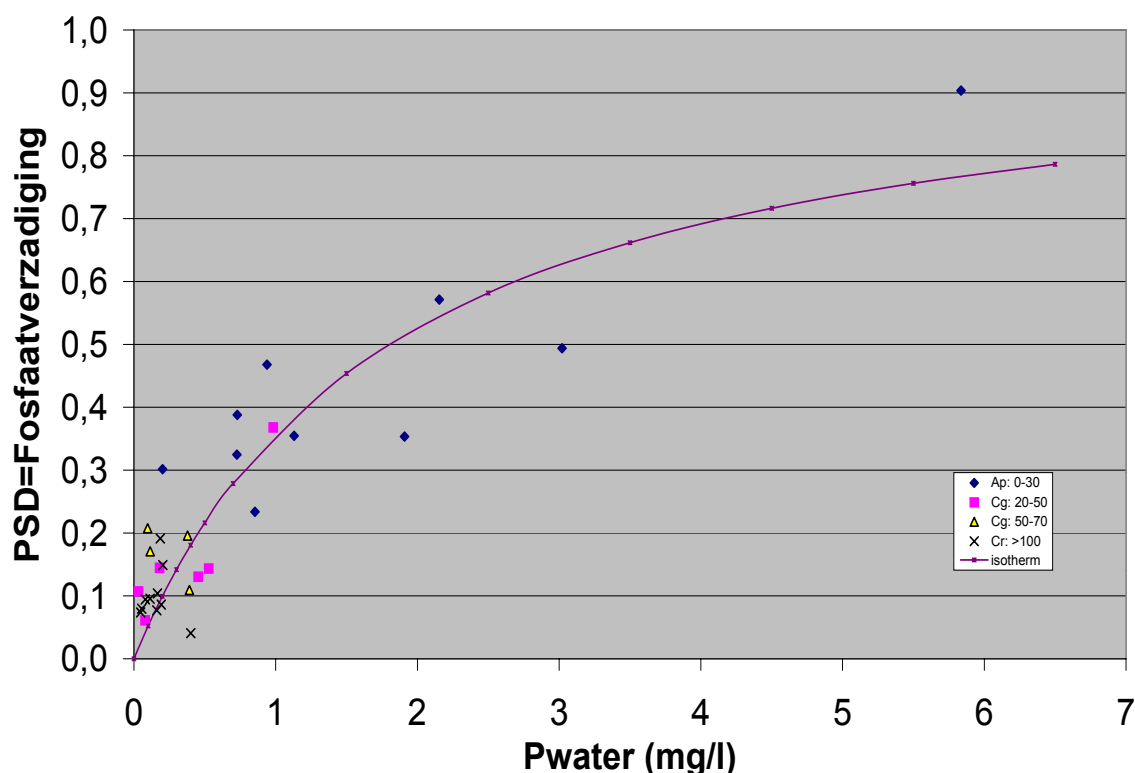


Fig. 5.3.

Verband tussen de fosfaatverzadigingsgraad (PSD) en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht in verschillende bodemhorizonten.



bodemvocht. De dieper gelegen horizonten hebben, op een enkele uitzondering na, een fosfaatverzadiging <20%. Fosfaat is in deze diepere horizonten sterk geadsorbeerd en komt moeilijk in oplossing. Dientengevolge zijn de fosfaatconcentraties daar laag. Het uitzonderlijke monster uit de diepteklasse 20-50 cm-mv is van dezelfde locatie afkomstig als het uitzonderlijke monster uit de Ap-horizont (Boring 2). Mogelijk is dit het effect van een lokale, sterke bemesting, zodat het fosfaat is 'doorgeslagen' naar een diepere horizont.

De verschillende horizonten hebben een uiteenlopende textuur, variërend van zwak lemig fijn zand tot zware zavel en klei. Uit de goede correlatie tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat (fig. 5.2) ongeacht substraattype of bodemhorizont, kan worden afgeleid dat vooral de gehalten van ijzer- en aluminiumoxiden $(Al+Fe)_{ox}$ bepalend zijn voor het gedrag van fosfaat, en dat dit gedrag zich weinig lijkt aan te trekken van het type substraat of bodemhorizont.

In tabel 5.1 zijn de gemiddelde waarden per horizont van P_{ox} , Fe_{ox} en Al_{ox} weergegeven.

Tabel 5.1

Gemiddelde waarden per horizont van oxalaat extraheerbaar P, Fe en Al. Verschillende superscripts bij de waarden geven een significant verschil aan.

Horizont	P_{ox}	Fe_{ox}	Al_{ox}	$(Fe+Al)_{ox}$
	mmol/kg			
Ap	18,5 ^a	68,0	37,8	105,8 ^a
Cg	4,7 ^b	55,6	26,5	82,1 ^a
Cr	1,2 ^c	17,0	11,2	28,2 ^b

Uit tabel 5.1, met de gemiddelde waarden per horizont van P_{ox} , Fe_{ox} en Al_{ox} , blijkt dat de bouwvoor (Ap-horizont) in absolute zin een significant hoger P_{ox} gehalte heeft dan de onderliggende horizonten. Ook blijkt dat er geen significant verschil is tussen de fosfaatadsorptiecapaciteit $(Fe+Al)_{ox}$ van de Ap en de onderliggende Cg-horizont, waaruit kan worden afgeleid dat met name de Ap-horizont verrijkt is met fosfaat, want $(Fe+Al)$ zijn in de horizont Ap en Cg ongeveer gelijk. In de gereduceerde horizont (Cr) komt in absolute zin het laagste fosfaatgehalte en de laagste fosfaatadsorptiecapaciteit voor.

In fig. 5.4 is een relatie weergegeven tussen de fosfaatverzadigingsindex en het P-Al gehalte. Een P-Al gehalte kleiner dan 10 mg $P_2O_5/100g$ wordt door SBB (Takman & Kooijman, 2004) gebruikt als streefwaarde voor gronden met natuurontwikkeling.

Uit fig. 5.4 kan worden afgeleid dat alle Ap-horizonten (0-30 cm-mv) een hogere P-Al waarde hebben dan de streefwaarde van 10. Deze zelfde horizont bleek zich tevens te onderscheiden door hoge fosfaatconcentraties in het bodemvocht (zie fig. 5.3).

Uit de analyse van de boorbeschrijvingen blijkt dat de gemiddelde dikte van de Ap-horizont 30,7 cm bedraagt, met een standaardafwijking van 6,9 cm (n=68).

Conclusie en advies

Op basis van de verschillende chemische analyses kan geconcludeerd worden dat fosfaat vooral geaccumuleerd is in de Ap-horizont, die zich tot ca. 30 cm diepte uitstrekt.



Door de minder steile helling van de curve in fig 5.2 en 5.3, blijkt dat de bindingsterkte van de irreversibele P-fractie (zie fig. 5.1) laag is; er gaat snel P in oplossing. Daardoor wordt geadviseerd al bij een lage fosfaatverzadiging (PSD=0,25) te plagen (fig. 5.5).

In alle Ap-horizonten komen P-Al waarden voor die hoger zijn dan de streefwaarde die bij natuurontwikkeling wordt aangehouden. In dieper gelegen horizonten komt, op een enkele lokale uitzondering na in boring 2b, fosfaat voor in sterk gefixeerde vorm, dat slechts moeilijk in oplossing komt. Het verwijderen van de Ap-horizont tot aan de Cg-horizont lijkt daarom voldoende, om streefwaarden van P-Al < 10 te kunnen realiseren (fig. 5.6).

Plaggen kan worden uitgevoerd op basis van visuele kenmerken (sterk kleurverschil tussen Ap- en Cg-horizont).

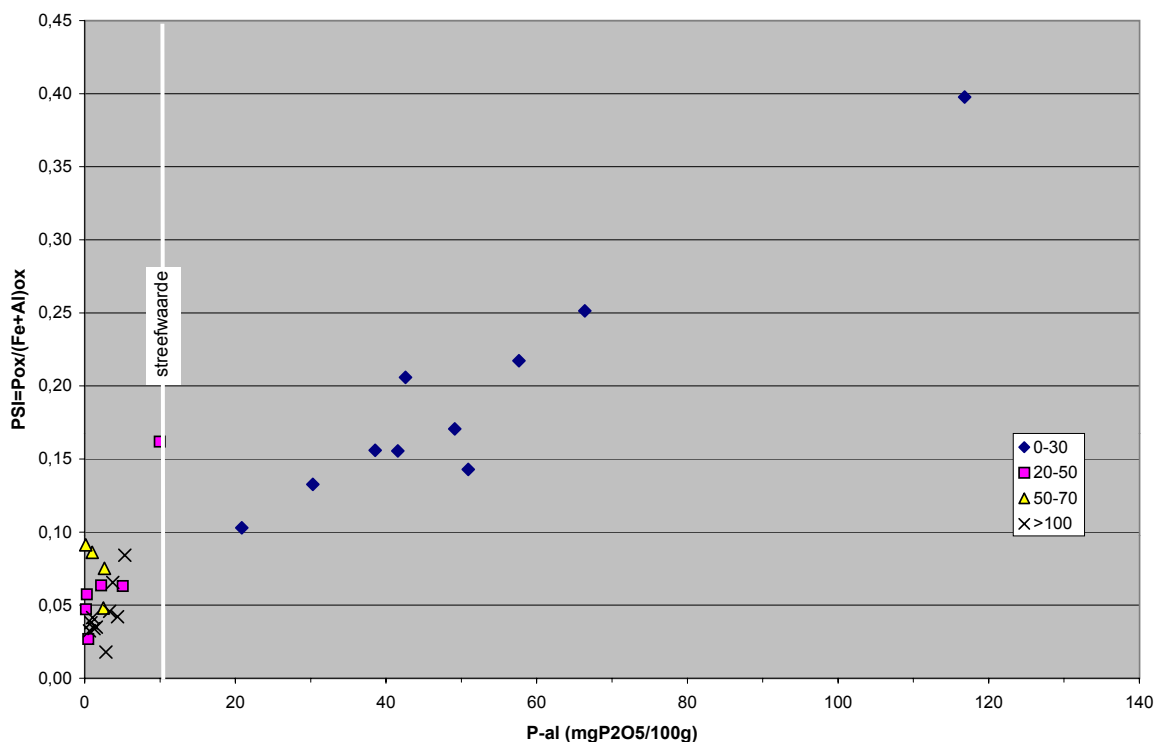


Fig. 5.4.

Relatie tussen P_{Al} gehalte en de fosfaatverzadigingsindex ($P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$). De data zijn gegroepeerd naar diepteklasse. Met een witte lijn is de kritische grenswaarde van $P_{Al} = 10 \text{ mgP}_2\text{O}_5/100\text{g}$ aangegeven.

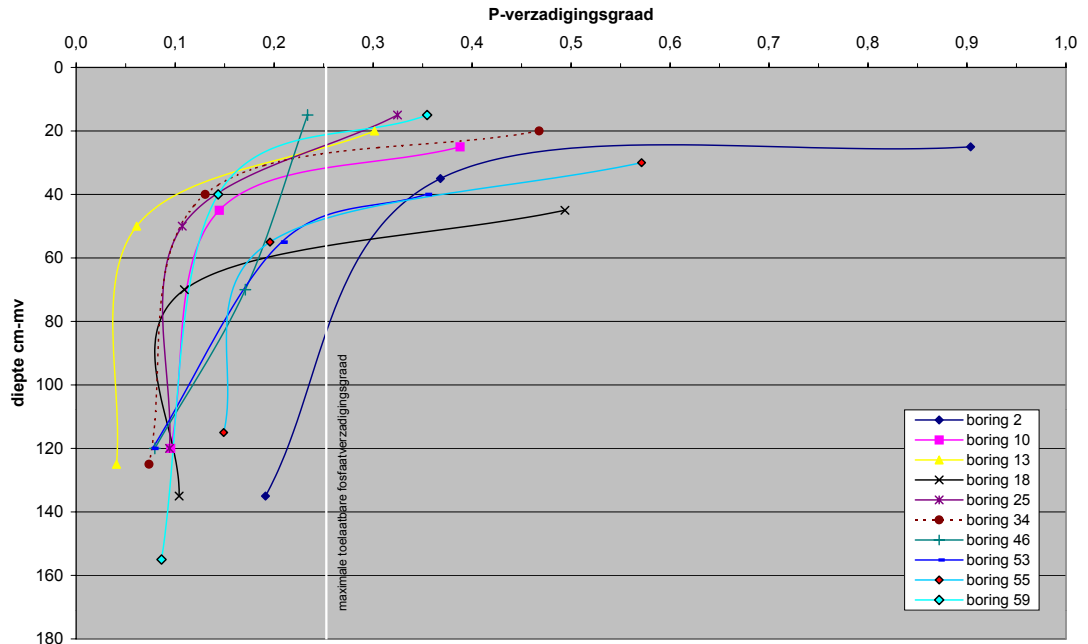


Fig. 5.5. Verloop van fosfaatverzadigingsgraad in de diepte van de onderzochte profielen. De grondlagen met een fosfaatverzadiging >0,25 kunnen worden afgegraven. Bij boring 2 heeft de Cg-horizont ook nog een hoge P-verzadigingsgraad.

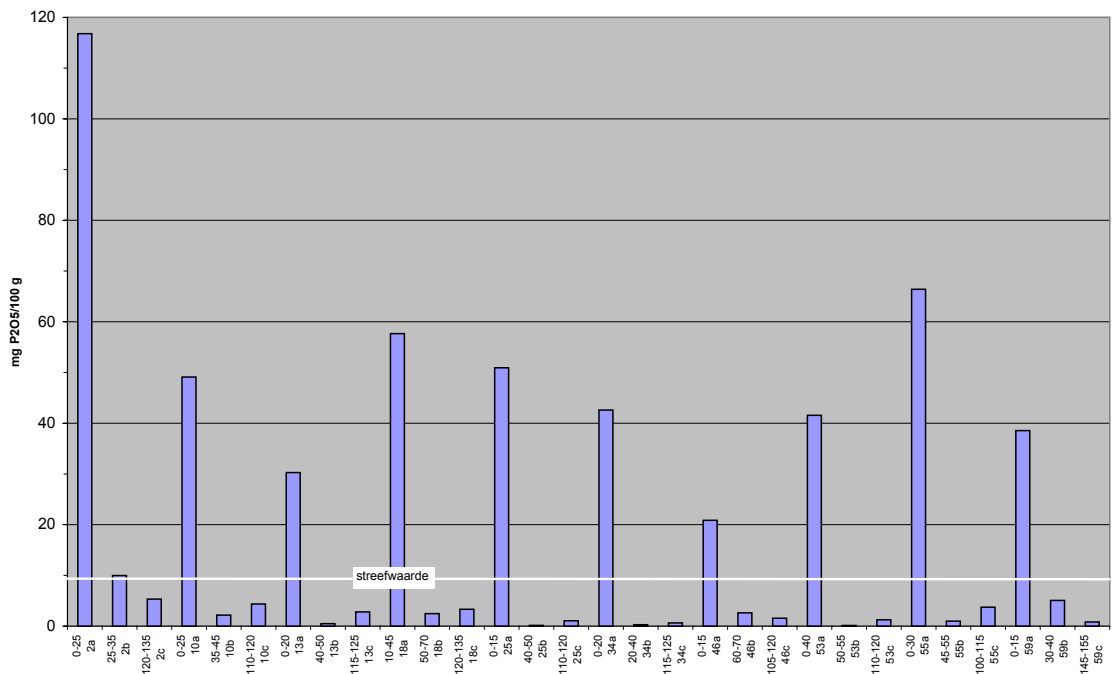


Fig. 5.6. De P_{at} waarde in de diepte van het onderzochte profiel. De lijn geeft de streefwaarde voor natuurontwikkeling aan. Alle a-boringen hebben een P_{at} groter dan de streefwaarde.



VI

Plagadvies en de effecten





1 Waar plaggen?

In fig. 6.1 is aangegeven waar en tot welke diepte zou moeten worden afgegraven. Hierdoor wordt een fosfaattoestand bereikt die natuurontwikkeling mogelijk maakt. De diepte tot waarop zou moeten worden afgegraven, is vastgesteld door bepaling van de fosfaatverzadiging en extrapolatie hiervan naar het gehele terrein. De horizonten met een hoge fosfaatverzadiging (Ap-horizont) worden verwijderd en er ontstaat een voedselarme situatie, met voor een deel hoge calciumverzadiging aan het maaiveld.

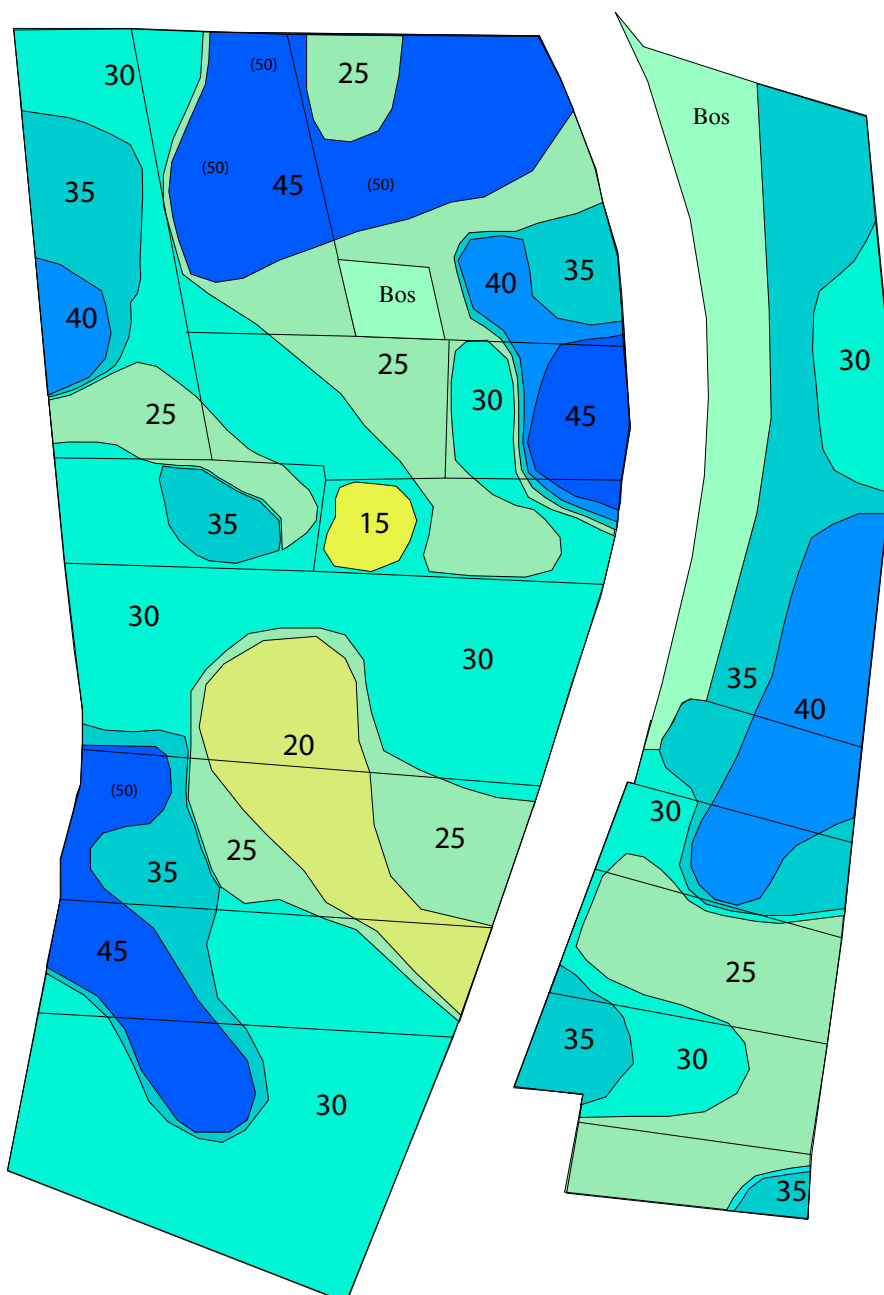


Fig. 6.1.
Begrenzing van plagdieptes.
Tussen verschillende diepte(klassen) kan een glooiende overgang gecreëerd worden.
Soms worden tussen haakjes afwijkende, plaatselijke diepten aangegeven.



2 Effecten van het plaggen op de basentoestand

Op basis van de fosfaattoestand van de bodem werd geadviseerd dat de Ap-horizont (ca. 30 cm dik) zou moeten worden afgegraven, om te kunnen voldoen aan de fosfaat-streefwaarden voor natuurontwikkeling. Het plaggen van de Ap-horizont zal tot gevolg hebben dat de zuurneutralisatiecapaciteit van het bodemprofiel verandert en dat zich aan het nieuwe maaiveld een nieuwe basentoestand zal instellen, afhankelijk van het nieuwe dagzomende substraattype.

Tabel 6.1.

Aantal boringen (N) waarbij een bepaald type substraat werd aangetroffen in de laag 0-30 en de laag 30-50 cm-mv. Totaal aantal boringen is 69.

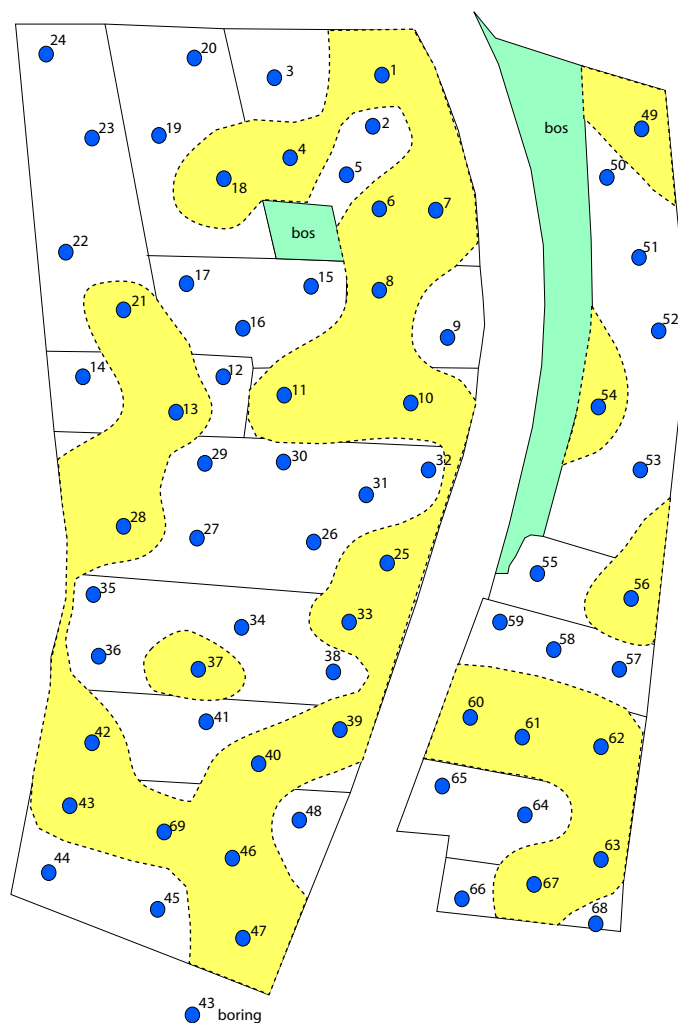
Substraat	N	
	0-30 cm-mv	30-50 cm-mv
zwak lemig zand	6	32
sterk lemig zand	22	3
lichte zavel	34	5
zware zavel en klei	7	26
kleilig veen	0	3

Op basis van alle boorpuntgegevens (bijlage boringen 2005) is in tabel 6.1 een frequentieverdeling gepresenteerd van substraattypen per diepteklasse. Uit tabel 6.1 kan worden afgeleid dat de huidige dagzomende horizonten (0-30) voornamelijk bestaan uit sterk lemig en licht zavelig substraat. Dit impliceert dat het grootste deel van het onderzochte terrein aan het maaiveld een calciumverzadiging heeft die varieert tussen gemiddeld 27,2% en 32,5% (tabel 6.1 en bijlage 1) en een ZNC (zuurneutralisatiecapaciteit) die varieert tussen 27,7 en 40,3 cmol⁺/kg. Na plaggen van een laag van ca. 30 cm dikte nemen vooral de substraattypen zwak lemig en zware zavel en klei aan het maaiveld in areaal toe. De consequentie hiervan is dat het areaal met zowel een lage calciumverzadiging (gemiddeld 19,4%) als een hoge calciumverzadiging (gemiddeld 65,4%) zal toenemen (tabel 6.1). Op soortgelijke wijze zal ook de ZNC veranderen in de richting van meer extreme waarden. Door afgraving zullen er dus meer extreme milieus met betrekking tot de calciumverzadiging en de ZNC ontstaan. Een ruimtelijke analyse is nodig om de consequenties van plaggen voor de verdeling van substraattypen aan het maaiveld in beeld te brengen. Door extrapolatie van de chemische analyses van de verzamelde grondmonsters naar de 69 boringen, kon een kaart worden getekend met de globale begrenzing van zware klei en zware zavel na plaggen (fig. 6.2). Daaruit blijkt dat voor een flink deel van het terrein een calciumverzadiging van gemiddeld 64,8% te verwachten is. In het overige deel zal de calciumbezetting 27,2-32,5% bedragen.

Na plaggen zal de grondwaterstand zich op een minder diep niveau onder het maaiveld instellen dan in de niet geplagde situatie. Het is geheel afhankelijk van de hydrologische inrichting van het gebied of in de nieuwe situatie kwel het maaiveld zal kunnen bereiken, waardoor het adsorptiecomplex met basen kan worden opgeladen. Op voorhand is hier geen uitspraak over te doen.



Fig. 6.2.
Kaart met de ruimtelijke verspreiding van zware klei en zavel na plaggen. De in geel aangegeven gronden hebben na plaggen een calciumverzadiging van gemiddeld 65,4%. De verspreiding van zware klei in deze kaart volgt globaal de verspreiding van het bodemtype Rn rivierklei (bijlage 8). Bij de overige gronden zal lemig zand aan maaiveld komen, waarvan de gemiddelde calciumverzadiging tussen 27,2 en 32,5% zal liggen. De begrenzing is met een stippellijn aangegeven, omdat deze is bepaald door extrapolatie en daardoor een bepaalde onzekerheid zal vertonen.



Voor de PSI geldt gemiddeld:
zware klei: 0,04 (0,03-0,05)
zwak lemig zand: 0,07 (0,06-0,09; zonder 2b).



3 Effecten van het plaggen op de fosfaattoestand

Het plaggen van de Ap horizont (15-50 cm-mv) zal tot gevolg hebben dat de nieuwe dagzomende horizont een fosfaatverzadigingsgraad zal hebben die op een veel lager niveau ligt dan in de huidige omstandigheden. In tabel 6.2 is een overzicht gegeven van de gemiddelde fosfaatverzadigingsindex per horizont. Hieruit blijkt dat na verwijderen van de Ap horizont een gemiddelde index bereikt wordt van 0,07 (range 0,03-0,09, met als extreme waarde voor boring 2b=0,16). De fosfaatverzadigingsgraad (PSD) zal een gemiddelde waarde bereiken van 0,16 (range 0,06-0,21; met als extreme waarde voor boring 2b=0,37).

In fig. 6.3 is te zien dat na plaggen van de Ap horizont waarden bereikt worden voor de fosfaatverzadigingsindex (PSI) van 0,09 en voor de fosfaatverzadiging van <0,25 (PSD). In fig. 6.3 kan de calciumverzadiging van 65,4% bij de zware klei aangevuld worden met een fosfaatverzadiging van gemiddeld 0,04 en bij zwak lemig zand een PSD van 0,09.

Tabel 6.2.

Gemiddelden en uitersten van de fosfaatverzadigingsindex (PSI) en de fosfaatverzadigingsgraad (PSD) per horizont. Verschillende superscripts bij de waarden geven een significant verschil aan.

Boring 2b heeft wat hogere maxima nl. $PSI=0,16$ en $PSD=0,37$.

	Horizont	Gemiddelde	minimum	maximum
Fosfaatverzadigingsindex PSI	Ap	0,19 ^a	0,10	0,40
	Cg/Ce	0,07 ^b	0,03	0,09
	Cr	0,04 ^c	0,02	0,08
Fosfaatverzadigingsgraad PSD	Ap	0,44 ^a	0,23	0,90
	Cg/Ce	0,16 ^b	0,06	0,21
	Cr	0,10 ^c	0,04	0,19

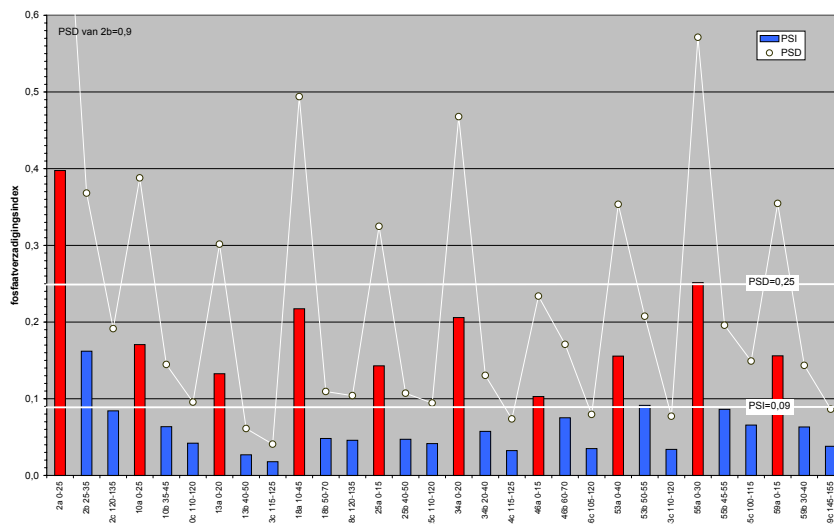


Fig. 6.3. De fosfaatverzadigingsindex (PSI) en de fosfaatverzadigingsgraad (PSD) per geanalyseerde boring. Met witte lijnen zijn de maximale waarden aangegeven. Daardoor is te zien dat met plaggen de beide parameters op de gewenste waarde komen (behalve boring 2b).



4 Effecten van het plaggen op de grondwaterhuishouding

Door het plaggen zal het maaiveld lager komen te liggen. Hierdoor zal het grondwater ook dichterbij het maaiveld komen. Afgaand op de in het veld vastgestelde GHG (hydromorfe kenmerken) werd een nieuwe GHG na plaggen berekend. Daarbij is ervan uitgegaan dat geen hydrologische veranderingen optreden. De nieuwe GHG is weergegeven in fig. 6.5. Door de nieuwe GHG en GLG blijkt de nieuwe Gt slechts hier en daar gewijzigd te zijn. Op enkele plaatsen wijzigt de Gt van III naar II en op één plaats naar Gt=I (boring 58).

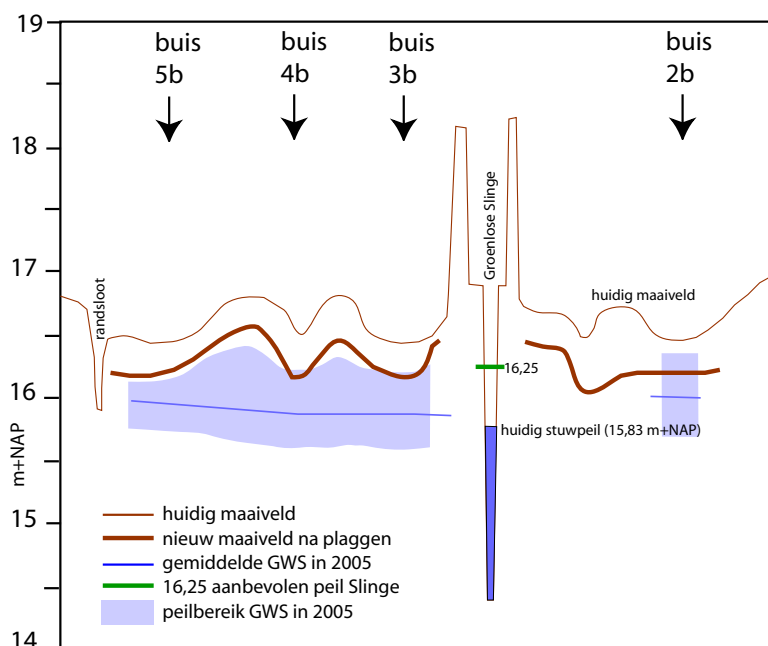
Uit fig. 6.5 blijkt op basis van de hydromorfe kenmerken, dat na plaggen het grondwater over grote delen van het onderzochte terrein gedurende langere tijd boven of aan het maaiveld zou komen te staan. De overschrijdingsduur is afgeleid uit de combinatie van GHG en GLG (Locher & de Bakker, 1990). Uit vergelijking van waterstandskenmerken uit tabel 3.1 en 3.2 met waarden uit tabel 6.3, lijken na het plaggen geschikte omstandigheden te kunnen ontstaan voor gemeenschappen uit het *Junco-Molinion* en het *Calthion palustris*. Daarbij bestaat een discrepantie tussen de waterstanden op basis van hydromorfe bodemkenmerken en de actuele metingen van 2005. Het is mogelijk dat de gemeten grondwaterstanden lager liggen dan gewoonlijk (peilen in naburige buizen duiden daar niet op) of dat de hydromorfe kenmerken van de bodem fossiel zijn.

Tabel 6.3.

Literatuurwaarden voor enkele plantengemeenschappen voor wat betreft het grondwaterregiem.

Verbond	Syntaxon	GVG	GLG	Gemidd. cm-mv	Mediaan cm-mv	M/G	min.	max.	inundatie duur %	Bron
Caricion nigrae	Carici curtae-Agrostietum caninae typicum			26	17	0,65	92	-18	23	Jansen, 1996
Junco Molinion	Cirsio dissecti-Molinietum typicum	19	81	50	49	0,98	137	-2		de Haan, 1992/Kennat
Junco Molinion	Cirsio dissecti-Molinietum nardetosum			61	61	1,00	123	7		de Haan, 1992
Junco Molinion	Cirsio dissecti-Molinietum parnassietosum			43	39	0,91	105	6		de Haan, 1992
Calthion palustris	Crepido-Juncetum acutiflori	10	75				87	8		Kennat
Calthion palustris	Ranunculo-Senecionetum aquatici	10	60				80	-5	lang	Kennat

Fig. 6.4.
Transect door het onderzochte terrein ter hoogte van de peilbuisen 2 t/m 5. Uit de figuur wordt duidelijk dat na afgraven de grondwaterstand (GWS) niet overal aan of boven het maaiveld komt (op basis van gemeten peilen). De gemiddelde GWS is ongeveer gelijk aan het huidige stuwpeil. Verhogen van het stuwpeil van de Slinge zal, door verminderde drainage, de gemiddelde GWS verhogen.



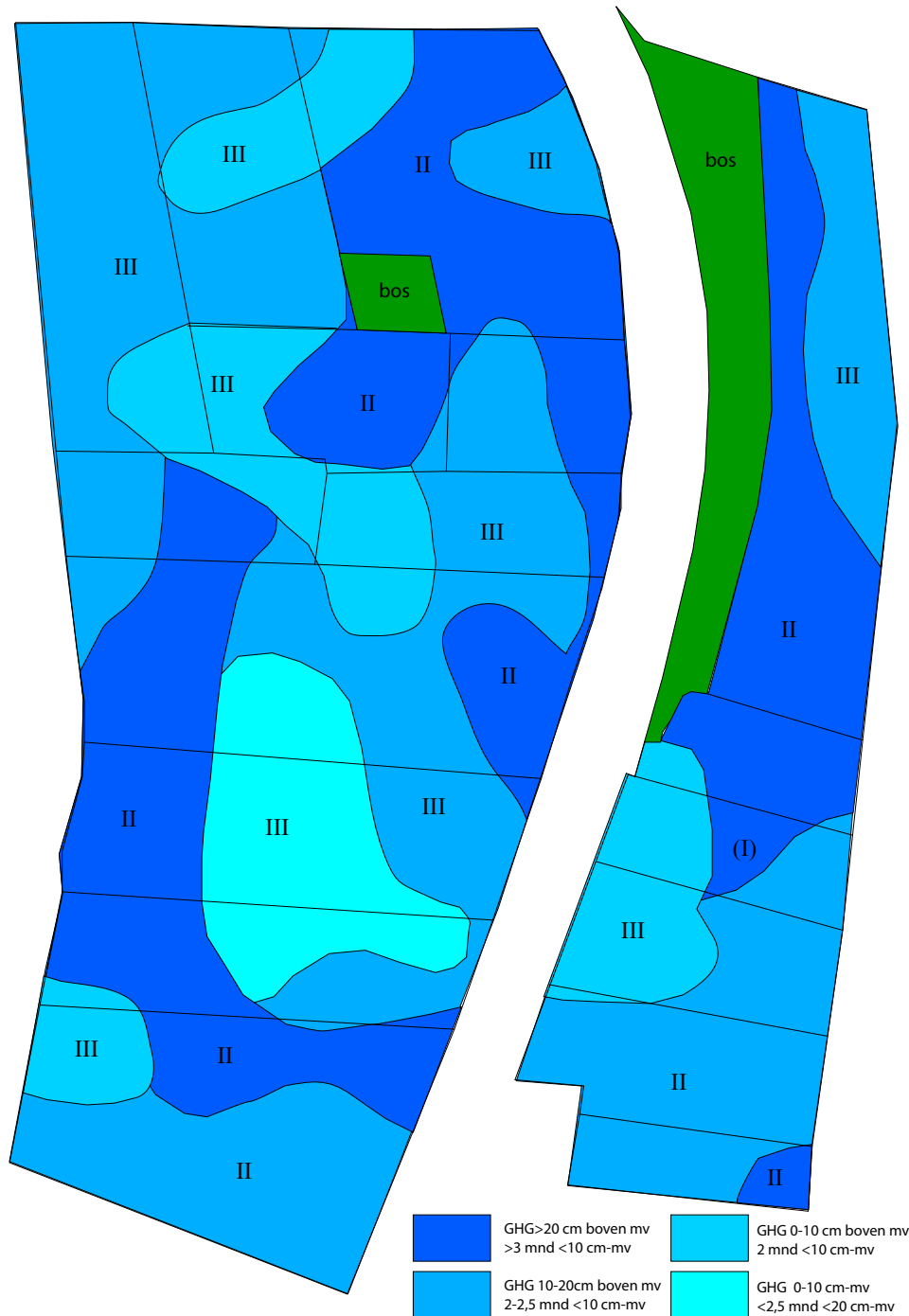


Fig. 6.5.

De nieuwe GHG na uitvoering van het plagadvies in fig. 6.1. De nieuwe GHG is afgeleid van de GHG die in het veld is geschat. Het inundatieniveau en -tijd is afgeleid van het nieuwe maaiveldniveau en de nieuwe Gt na plagen. I, II en III: grondwatertrappen.



Conclusie

Uitgaande van de gemeten grondwaterstanden komt het grondwater na plaggen niet of nauwelijks boven maaiveld (bijlage 10 en 12). Water dat nu soms boven maaiveld staat, is daarom waarschijnlijk regenwater.

Daar tegenover staan hydromorfe waarnemingen van de bodem (GHG en GLG). Die geven aan dat de hoogste waterstanden gemiddeld 16 cm (ca. 10-20 cm) hoger liggen. Op basis van hydromorfe kenmerken, zou dit na plaggen betekenen dat wel grondwater aan of boven maaiveld komt. Het kenmerk GVG (na plaggen) komt dan overeen met de literatuurwaarden uit tabel 6.3. De gemiddelde en mediane gemeten waterstanden zijn wat lager dan in tabel 6.3.

Het draait dus om de actualiteit van de hydromorfe kenmerken of de abiotische omstandigheden geschikt zijn voor de vestiging van de 'natte' plantengemeenschappen uit tabel 6.3. De grondwaterstanden van 2005 zouden te laag zijn voor deze gemeenschappen. Langere meetreeksen zouden dit kunnen uitsluiten. Vergelijking van deze meetreeks met die van naburige buizen tonen aan dat er geen sprake is geweest van een extreem droog jaar.

Waarschijnlijk draineert de Groenlose Slinge met het stuwpeil 15,83 m+NAP te sterk. Verhoging van dit peil tot ca. 16,25 m+NAP zal waarschijnlijk de gemiddelde GWS verhogen tot het toekomstige maaiveld (fig. 6.4). De drainagebasis van de randsloot kan worden verhoogd.

5 Vegetatieontwikkelingsmogelijkheden

Enkele referentiewaarden

Van een aantal natuurgebieden werd in een ander verband eveneens de fosfaat-toestand onderzocht (zie o.a. Giesen & Geurts, 2004). Het betreft gebieden met blauwgraslanden (Groot Zandbrink, Punthuizen, Stroothuizen, Lemselermaten, de Reitma), kleine zegge gemeenschappen (Korenburgerveen, Wyldlanden, Ulekryte), veldrusgemeenschappen (Meeuwenkampje, Taarlo) en dotterbloemhooilanden (Veenkampen, Lage Made, Reestdal). Van de gemeenschappen in deze gebieden zijn in tabel 6.4 de gemiddelde en standaardafwijking van de verschillende bodemparameters weergegeven. Ter vergelijking zijn ook de gemiddelde waarden van de na plaggen dagzomende horizont (Cg) in Beltrum in de tabel opgevoerd.

Tabel 6.4.

Gemiddelde (gem) gehalten met standaardafwijking (sd) van oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat en de fosfaatverzadigingsindex van een viertal plantengemeenschappen/verbonden in natuurterreinen.

Syntaxon	Fe		Al		P		PSI	
	mmol/kg							
	gem	sd	gem	sd	gem	sd	gem	sd
<i>Junco-Molinion</i>	429,8	250,0	89,7	63,3	17,1	10,9	0,04	0,02
<i>Cirsio dissecti-Molinietum</i>	78,5	118,7	29,5	33,1	2,5	2,2	0,04	0,02
<i>Caricion nigrae (Parvocaricetea)</i>	143,2	69,3	76,3	41,7	9,1	5,2	0,04	0,02
<i>Calthion palustris</i>	198,3	201,0	73,8	43,4	23,4	20,7	0,14	0,18
<i>Beltrum in Cg horizont na plaggen</i>	55,6	45,3	26,5	22,5	4,7	2,4	0,07	0,04



Mogelijkheden in Beltrum

De fosfaatverzadigingsindex in Beltrum komt na plaggen in de buurt van die welke ook bij kritische plantengemeenschappen van schrale graslanden wordt gemeten (tabel 6.4 en bijlage 1 voor de individuele waarden). De gemiddelde fosfaatverzadigingsindex (PSI) bedraagt in de Cg horizont in Beltrum 0,07 (range: 0,03-0,16). Alleen bij boring 2 in Beltrum blijkt een hogere fosfaatverzadigingsindex voor te komen die ook wel in *Calthions* wordt gemeten (0,16). De basenverzadiging zal na plaggen op plaatsen waar zware klei dagzoomt hoog en op de overige plaatsen, waar vooral zwak lemig zand zal gaan dagzomen, laag zijn (fig. 6.2).

Eén en ander impliceert dat zowel kleiige basenrijke als zwak lemige basenarme standplaatsen tot ontwikkeling zullen komen, met over het algemeen fosfaatarme, maar plaatselijk ook minder fosfaatarme condities.

Onder voldoende natte omstandigheden lijken op de basenarme, zwak lemige standplaatsen met lage fosfaatbeschikbaarheid, condities aanwezig te zijn waar in potentie kleine zeggenvegetaties (*Caricion nigrae*, zie tabel 6.3 en 6.4) verwacht mogen worden. Onder wat minder natte omstandigheden zouden basenarme varianten van het blauwgrasland (*Cirsio-Molinietum typicum/nardetosum*) in potentie mogelijk zijn.

Op de basenrijke kleiige standplaatsen zijn, ongeacht de fosfaatbeschikbaarheid, onder voldoende natte omstandigheden dotterbloemhooilanden (*Ranunculo-Senecionetum*) te verwachten. De rijkdom van het substraat is de belangrijkste reden dat zich op de kleiige standplaatsen geen schrale vegetatietypen zullen ontwikkelen.

Uit de gemeten grondwaterstanden blijkt het grondwater niet hoog genoeg te komen om vegetatie van natte omstandigheden mogelijk te maken (ook niet na plaggen). De hydromorfe kenmerken van de bodem laten echter zien dat het grondwater wel hoog genoeg zal komen na plaggen. Het calciumgehalte van het grondwater is voldoende hoog om het adsorptiecomplex van de bodem aan te vullen.

Het is niet uit te sluiten, dat plaatselijk op fosfaatrijke locaties pitrusvelden tot ontwikkeling kunnen komen (Kemmers et al., 2004). Onder drogere omstandigheden zijn voedsel- en basenrijke gemeenschappen van de Glanshaver-orde (*Alopecurion pratensis*, *Arrhenatherion elatioris*) te verwachten.

6 Samenvattende conclusies en advies

- ☞ Op basis van de verschillende chemische analyses kan worden geconcludeerd dat fosfaat vooral geaccumuleerd is in de Ap-horizont. In alle Ap-horizonten is de fosfaatverzadiging (PSD) meer dan 25% en gaat snel in oplossing; P_{Al} waarden zijn in Ap-horizonten hoger dan de streefwaarde die bij natuurontwikkeling wordt aangehouden. Verwijderen van de Ap-horizont is daarom noodzakelijk.
- ☞ In dieper gelegen horizonten (Cg en Cr) komt op, een enkele lokale uitzondering na, fosfaat voor in sterk gefixeerde vorm, dat slechts moeilijk in oplossing komt.
- ☞ Het op basis van visuele kenmerken (er is een scherpe scheiding tussen de Ap en Cg horizont) verwijderen van de Ap-horizont tot aan de Cg-horizont, is daarom voldoende om streefwaarden van $P_{Al} < 10$ te kunnen realiseren.
- ☞ Uit de analyse van de basenverzadiging kan worden geconcludeerd dat



het niet waarschijnlijk is dat op dit moment de basenverzadiging van de bovengronden (ca. 0-30 cm-mv) op peil wordt gehouden door aanvoer van calciumhoudend kwelwater uit de kalkhoudende ondergrond.

- ☞ Geconcludeerd kan worden dat de basenverzadiging vooral wordt bepaald door de aard van het substraat. Er lijkt sprake van een netto neerwaarts gerichte waterstroming (infiltratie), die op de onderzochte boorpunten leidt tot een uitspoeling van basen en een dalende calciumverzadiging.
- ☞ Na afgraven van de Ap-horizont (ca. 30 cm (15-45) dik) nemen vooral de substraattypen 'zwak lemig' en 'zware zavel en klei' aan het maaiveld in areaal toe. De consequentie hiervan is dat het areaal met zowel een lage calciumverzadiging (gemiddeld 19,4%) als een hoge calciumverzadiging (gemiddeld 65,4%) zal toenemen.
- ☞ Na afgraven van Ap-horizont wordt, na plaggen en op basis van hydromorfe kenmerken van de bodem, de grondwaterstand voldoende hoog en van voldoende lange duur om vegetatie van natte en vochtige omstandigheden mogelijk te maken. De huidige GHG lijkt over grote delen boven het nieuwe maaiveld te liggen. De waterstandsmetingen bevestigen dit echter niet. Het is niet duidelijk of de hydromorfe kenmerken fossiel zijn.
- ☞ Na afgraven wordt verwacht dat onder voldoende natte omstandigheden, op de basenarme, zwak lemige standplaatsen met lage fosfaatbeschikbaarheid, condities aanwezig zullen zijn, waar in potentie kleine zeggenvegetaties (*Parvocaricetea*) verwacht mogen worden. Onder wat minder natte omstandigheden zouden basenarme varianten van het blauwgrasland (*Junco-Molinion*) in potentie mogelijk zijn. Op de basenrijke kleiige standplaatsen zijn, ongeacht de fosfaatbeschikbaarheid, onder voldoende natte omstandigheden dotterbloemhooilanden (*Calthion palustris*) te verwachten. De rijkdom van het substraat is de belangrijkste reden dat zich op de kleiige standplaatsen geen schrale vegetatietypen zullen ontwikkelen. Onder drogere omstandigheden zijn voedsel- en basenrijke gemeenschappen van de Glanshaver-orde (*Arrhenaterion elatioris*) te verwachten. Door de discrepantie tussen grondwaterstand en hydromorfe kenmerken van de bodem zijn geen éénduidige voorspellingen te doen.
- ☞ De Groenlose Slinge en de westelijke randsloot draineren het onderzochte terrein. Verhoging van het stuwpeil van de Slinge tot het peil van het toekomstige maaiveld (16,25 m+NAP) en verhoging van de drainagebasis van de randsloot, zal het drainerende effect naar verwachting verminderen c.q. opheffen. Daardoor zal naar verwachting de gemiddelde grondwaterstand aanzienlijk hoger worden, waarschijnlijk gelijk aan de in 2005 gemeten hoogste grondwaterstanden (ca. 16,25 m+NAP = ongeveer het peil van het nieuwe maaiveld).





Literatuur

- Allen, St.E. (ed.), 1989.* Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publ., Oxford.
- 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.
- Egnér, H., H. Rhiem & W.R. Domingo, 1960.* Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoff-zustandes de Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbr. Högsk. Ann.*, 26: 199-215 (in German).
- Giesen & Geurts, 2004.* De fosfaat- en basentoestand van de bodem in de Hooilanden in Binnenveld-Oost 2004, met plagadvies. Giesen & Geurts. Ulft. Staatsbosbeheer Dir. Oost.
- Giesen & Geurts, 2005.* De fosfaattoestand van de bodem in Binnenveld Terjeijden en het Turfven. G&G, Ulft. Staatsbosbeheer Dir. Zuid.
- Haan, M.W.A., de, 1992.* De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke vegetatietypen. KIWA rapport 92.015
- Haan, M.W.A., de, 1992.* De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke vegetatietypen. KIWA rapport 92.030.
- Hach, 1995.* Procedures manual DR4000. Loveland.
- 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.
- 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.
- Jansen, A.J.M., 1996.* Hydro-ecologische analyse van Punthuizen (Noord-Oost Twente). KIWA rapport 96.128.
- 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.
- Kemmers, R.H., R. de Waal, S.P.J. van Delft en P. Mekking, 2002.* Ecologische typering van bodems; actuele informatie over bodemkundige geschiktheid voor natuurontwikkeling. *Landschap* 19: 89-103.
- Kemmers, R.H., B. Beltman, A.P. Grootjans, A.J.M. Jansen, G. Kooijman & P.C. Schipper, 2004.* Voorkomen en bestrijden van Pitrus-dominantie in natte schraallanden. *Alterra-rapport*. 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.
- Locher, W.P. & H. de Bakker, 1990.* Bodemkunde van Nederland. 1. Alge-



- mene Bodemkunde. malmberg, Den Bosch.
- 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.
- Page, A.L. (ed.), 1989.* Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties (Sec. ed.). *Agronomy*, 9(2). Am. Soc. Agr., Soil Sc. Soc. A., Madison (USA).
- Sachs, L. 1978.* Angewandte Statistik. Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Springer Verlag, Berlin.
- Scheffer, F. & P. Schachtschabel, 1989.* Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- 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. pflanzenernaehr. 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.
- Wirdum, G. van, P.G.B. de Louw J.Z. Rozemeijer, N.G.F.M. van de Aa, Th.G. Giesen & M.H.J. Geurts, 2004.* Haalbaarheidsstudie inzake natuurbehoud en ontwikkeling in de brongebieden van de Westflank van het Kempens Plateau. TNO rapport NITG 03-236-B.
- Wullink, H.M., 1993.* De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke vegetatietypen. KIWA rapport 93.011



Bijlagen



Bijlage 1a.

Analyseresultaten van de bodemmonsters uit Beltrum.

Intern nr.	Boring nr.	Bemonsterdiepte cm	Horizont	Bodem eenheid	Materiaal	GLG cm-mv	GHG cm-mv	Gt	Datum 2005	pH KCl	Kalk bruistest	Org. stof	Bascomb extractie bij pH=8,1					
										pH	drift	code	%	Uitwisselbaar				
														Ca	Mg	K	Na	H
BG 1	2a	0-25	Ap	zRn	sterk lemig fijn zand	115	10	III	1-2-05	4,86	1	3,49	8,80	1,15	0,91	0,49	18,91	
BG 2	2b	25-35	Cg		zwak lemig fijn zand				1-2-05	5,10	1	0,29	3,04	0,85	0,57	0,10	12,00	
BG 3	2c	120-135	Cr		zwak lemig fijn zand				1-2-05	5,96	6,60	3	0,19	3,88	0,38	0,46	0,08	10,70
BG 4	10a	0-25	Ap	kZg	zeer lichte zavel	115	10	III	1-2-05	5,25	1	5,42	8,05	1,56	0,73	0,10	26,65	
BG 5	10b	35-45	Cg		zwak lemig fijn zand				1-2-05	4,48	1	0,48	3,23	0,80	0,42	0,06	12,51	
BG 6	10c	110-120	Cr		zwak lemig fijn zand				1-2-05	4,82	1	0,11	1,31	0,35	0,28	0,04	13,44	
BG 7	13a	0-20	Apg	Rn	zeer lichte zavel	110	5-10	III	1-2-05	5,17	1	5,54	18,06	1,25	0,44	0,08	21,02	
BG 8	13b	40-50	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	5,52	1	3,74	54,67	1,91	0,49	0,16	17,50	
BG 9	13c	115-125	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	6,29	6,81	3	0,35	7,39	0,26	0,25	0,06	8,11
BG 10	18a	10-45	Ap	cZg	sterk lemig zeer fijn zand	115-125	25	III*	1-2-05	6,53	1	3,63	9,56	1,22	0,26	0,08	16,32	
BG 11	18b	50-70	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	5,81	1	6,40	60,92	4,03	1,05	0,14	29,40	
BG 12	18c	120-135	Cr		leemarm matig fijn zand				1-2-05	6,25	6,68	3	0,36	6,12	0,36	0,34	0,04	12,01
BG 13	25a	0-15	Apg	Rn	zwak lemig zeer fijn zand	110	0	III	1-2-05	5,80	1	11,20	55,52	3,25	0,91	0,19	35,20	
BG 14	25b	40-50	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	5,59	1	3,42	50,74	3,35	0,43	0,21	21,91	
BG 15	25c	110-120	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	6,13	6,44	2	0,68	6,84	0,30	0,20	0,07	13,43
BG 16	34a	0-20	Apg	tZg	sterk lemig zand	120	20-25	III/III*	1-2-05	5,33	1	2,58	4,81	0,49	0,23	0,05	19,86	
BG 17	34b	20-40	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	5,03	1	0,38	3,35	0,66	0,35	0,05	9,80	
BG 18	34c	115-125	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	6,07	6,64	3	0,13	6,15	0,33	0,26	0,05	11,86
BG 19	46a	0-15	Apg	Rn	zeer lichte zavel	105	15	III	1-2-05	6,29	1	6,82	23,81	2,14	0,25	0,16	26,58	
BG 20	46b	60-70	Cgr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	6,47	6,83	3	0,52	8,29	0,49	0,26	0,03	12,93
BG 21	46c	105-120	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	7,30	7,68	3	0,30	7,84	0,40	0,31	0,20	9,49
BG 22	53a	0-40	Ap	kZg	zeer lichte zavel	95-105	10	III	2-2-05	5,88	1	2,81	5,81	1,09	0,85	0,07	22,40	
BG 23	53b	50-55	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	5,07	1	0,08	2,46	0,61	0,46	0,05	15,07	
BG 24	53c	110-120	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	5,58	1	0,08	2,11	0,45	0,40	0,05	13,74	
BG 25	55a	0-30	Apg	Zg	sterk lemig zand	80-95	5-10	II/III	2-2-05	5,37	1	2,15	7,19	1,13	0,65	0,03	18,74	
BG 26	55b	45-55	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	5,35	1	0,30	4,01	0,73	0,41	0,04	14,32	
BG 27	55c	100-115	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	5,86	6,23	1	0,32	3,69	0,48	0,35	0,03	20,19
BG 28	59a	0-15	Ap	tZn	zwak lemig zeer fijn zand	135-145	30	V*	2-2-05	5,02	1	2,87	3,87	0,70	0,50	0,04	27,35	
BG 29	59b	30-40	Ce		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	4,95	1	0,21	1,44	0,35	0,25	0,06	11,62	
BG 30	59c	145-155	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	5,09	1	0,17	1,46	0,50	0,36	0,03	10,08	
gemiddelde																		
										zwak lemig zand	5,66		6,19	55,46	1,14	0,72	0,17	26,00
										sterk lemig zand	5,45		5,15	13,93	1,51	0,57	0,10	24,16
										zeer lichte zavel	5,24		2,96	7,59	0,99	0,51	0,16	18,46
										zwak lemig zand	5,20		0,29	4,27	0,49	0,35	0,06	12,43
gemiddelde																		
										Ap horizont	5,32		4,65	14,55	1,40	0,57	0,13	23,30
										Cg horizont	5,08		1,58	19,21	1,38	0,47	0,09	15,71
										Cr horizont	5,51		0,27	4,68	0,38	0,32	0,06	12,30

Intern nr.	Boring nr.	Bemonsterdiepte cm	Horizont	Bodem eenheid	Materiaal	GLG cm-mv	GHG cm-mv	Gt	Datum 2005	Oxalaatextractie						Water extractie		Lactaat extractie			
										Fe			Al			P			P	P	P2O5
										mg/100 g			mmol/kg			mg/l			mg/100 g		
BG 1	2a	0-25	Ap	zRn	sterk lemig fijn zand	115	10	III	1-2-05	188,1	111,0	92,1	33,7	41,1	29,7	5,835	50,97	116,79			
BG 2	2b	25-35	Cg		zwak lemig fijn zand				1-2-05	163,7	49,0	23,8	29,3	18,2	7,7	0,983	4,35	9,97			
BG 3	2c	120-135	Cr		zwak lemig fijn zand				1-2-05	112,3	32,9	8,4	20,1	12,2	2,7	0,186	2,32	5,33			
BG 4	10a	0-25	Ap	kZg	zeer lichte zavel	115	10	III	1-2-05	358,7	130,0	59,4	64,2	48,2	19,2	0,729	21,43	49,11			
BG 5	10b	35-45	Cg		zwak lemig fijn zand				1-2-05	241,6	47,6	12,0	43,3	17,6	3,9	0,181	0,95	2,18			
BG 6	10c	110-120	Cr		zwak lemig fijn zand				1-2-05	65,9	23,7	2,7	11,8	8,8	0,9	0,114	1,90	4,36			
BG 7	13a	0-20	Apg	Rn	zeer lichte zavel	110	5-10	III	1-2-05	311,1	126,7	42,2	55,7	47,0	13,6	0,202	13,21	30,28			
BG 8	13b	40-50	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	757,4	76,4	13,7	135,6	28,3	4,4	0,078	0,21	0,48			
BG 9	13c	115-125	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	211,8	28,6	2,7	37,9	10,6	0,9	0,401	1,22	2,80			
BG 10	18a	10-45	Ap	cZg	sterk lemig zeer fijn zand	115-125	25	III*	1-2-05	169,2	104,3	46,4	30,3	38,7	15,0	3,020	25,16	57,66			
BG 11	18b	50-70	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	477,1	212,4	24,5	85,4	78,7	7,9	0,391	1,08	2,47			
BG 12	18c	120-135	Cr		leemarm matig fijn zand				1-2-05	125,3	46,9	5,6	22,4	17,4	1,8	0,166	1,45	3,32			
BG 13	25a	0-15	Apg	Rn	zwak lemig zeer fijn zand	110	0	III	1-2-05	859,7	191,2	99,5	153,9	70,9	32,1	0,727	22,22	50,92			
BG 14	25b	40-50	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	724,7	142,7	26,7	129,8	52,9	8,6	0,032	0,07	0,15			
BG 15	25c	110-120	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	145,9	37,6	5,2	26,1	13,9	1,7	0,080	0,46	1,06			
BG 16	34a	0-20	Apg	tZg	sterk lemig zand	120	20-25	III/III*	1-2-05	241,7	74,9	45,3	43,3	27,7	14,6	0,939	18,59	42,59			
BG 17	34b	20-40	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	204,4	39,2	9,1	36,6	14,5	2,9	0,453	0,12	0,28			
BG 18	34c	115-125	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	59,4	24,1	2,0	10,6	8,9	0,6	0,047	0,28	0,63			
BG 19	46a	0-15	Apg	Rn	zeer lichte zavel	105	15	III	1-2-05	689,8	92,2	50,2	123,5	34,2	16,2	0,854	9,11	20,86			
BG 20	46b	60-70	Cgr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	228,3	35,1	12,5	40,9	13,0	4,1	0,114	1,14	2,61			
BG 21	46c	105-120	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				1-2-05	91,0	27,3	2,9	16,3	10,1	0,9	0,055	0,68	1,56			
BG 22	53a	0-40	Ap	kZg	zeer lichte zavel	95-105	10	III	2-2-05	558,3	46,6	56,5	100,0	17,3	8,2	1,909	18,13	41,55			
BG 23	53b	50-55	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	119,7	21,8	8,3	21,4	8,1	2,7	0,097	0,06	0,13			
BG 24	53c	110-120	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	52,5	23,3	1,9	9,4	8,6	0,6	0,161	0,54	1,24			
BG 25	55a	0-30	Apg	Zg	sterk lemig zand	80-95	5-10	III/III	2-2-05	280,3	40,8	50,9	50,2	15,1	16,4	2,155	28,98	66,40			
BG 26	55b	45-55	Cg		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	140,8	24,8	9,2	25,2	9,2	3,0	0,378	0,43	0,99			
BG 27	55c	100-115	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	53,0	23,3	3,7	9,5	8,6	1,2	0,204	1,63	3,73			
BG 28	59a	0-15	Ap	tZn	zwak lemig zeer fijn zand	135-145	30	V*	2-2-05	142,5	102,2	30,6	25,5	37,9	9,9	1,130	16,82	38,55			
BG 29	59b	30-40	Ce		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	48,7	65,9	6,5	8,7	24,4	2,1	0,528	2,21	5,06			
BG 30	59c	145-155	Cr		zwak lemig zeer fijn zand				2-2-05	33,0	34,9	2,2	5,9	12,9	0,7	0,193	0,36	0,81			
gemiddelde																					
										zwak lemig zand	704,7	155,7	41,1	126,2	57,7	13,3	0,307	5,89	13,51		
										sterk lemig zand	479,5	98,9	52,1	85,9	36,6	16,8	0,924	15,47	35,45		
										zeer lichte zavel	219,8	82,7	58,7	39,4	30,7	18,9	2,987	30,92	70,86		
										zwak lemig zand	123,4	34,5	7,0	22,1	12,8	2,3	0,255	1,18	2,71		
gemiddelde																					
										Ap horizont	379,9	102,0	57,3	68,0	37,8	18,5	1,750	22,46	51,47		
										Cg horizont	310,6	71,5	14,6	56,6	26,5	4,7	0,323	1,06	2,43		
										Cr horizont	95,0	30,2	3,7	17,0	11,2	1,2	0,161	1,08	2,57		



Bijlage 2.

Analyseresultaten van de watermonsters en daaruit berekende waarden.

K=som gemeten kationen, A=som gemeten anionen; K+A=som alle gemeten ionen;

dKA=afwijking ionensom; ECc en ECm=berekende en gemeten EGV; afwijking tussen gemeten en berekende EGV; IR=IonRatio.

Intern nr.	Buis nr.	Datum	Locatie	EGV	pH	Ca	Mg	K	Na	Fe	SO4	Cl	HCO3	PO4-P
				mS/m	mg/l								mmol/l	mg/l
BW 1	1a	8-3-05	Beltrum	29,1	5,68	19,500	4,646	12,900	9,800	12,254	0,32	34,75	1,45	0,157
BW 2	1b	8-3-05	Beltrum	76,8	6,03	86,336	15,287	41,054	17,211	0,047	30,80	21,80	6,70	0,056
BW 3	2a	8-3-05	Beltrum	34,4	6,02	22,500	6,018	11,134	14,047	4,506	0,10	16,80	2,45	0,149
BW 4	2b	8-3-05	Beltrum	71,4	6,12	88,537	12,013	7,258	17,354	8,041	15,72	18,95	6,00	0,066
BW 5	3a	8-3-05	Beltrum	58,6	6,27	106,354	7,995	2,720	7,300	1,257	0,08	25,90	5,50	0,059
BW 6	3b	8-3-05	Beltrum	92,6	6,37	166,500	10,084	1,114	10,407	0,498	102,40	23,40	6,70	0,033
BW 7	4b	8-3-05	Beltrum	46,8	6,05	61,700	8,000	2,131	9,100	0,000	96,93	28,90	1,00	0,024
BW 8	5b	8-3-05	Beltrum	45,8	6,44	80,168	6,546	0,905	6,258	0,000	0,32	18,65	4,40	0,007
BW 9	6b	8-3-05	Beltrum	88,1	6,39	148,956	14,222	22,015	12,478	0,000	0,04	21,00	9,35	0,012
BW 10	7b	8-3-05	Beltrum	82,1	6,48	149,656	17,100	8,755	4,214	0,000	1,04	11,65	8,90	0,016

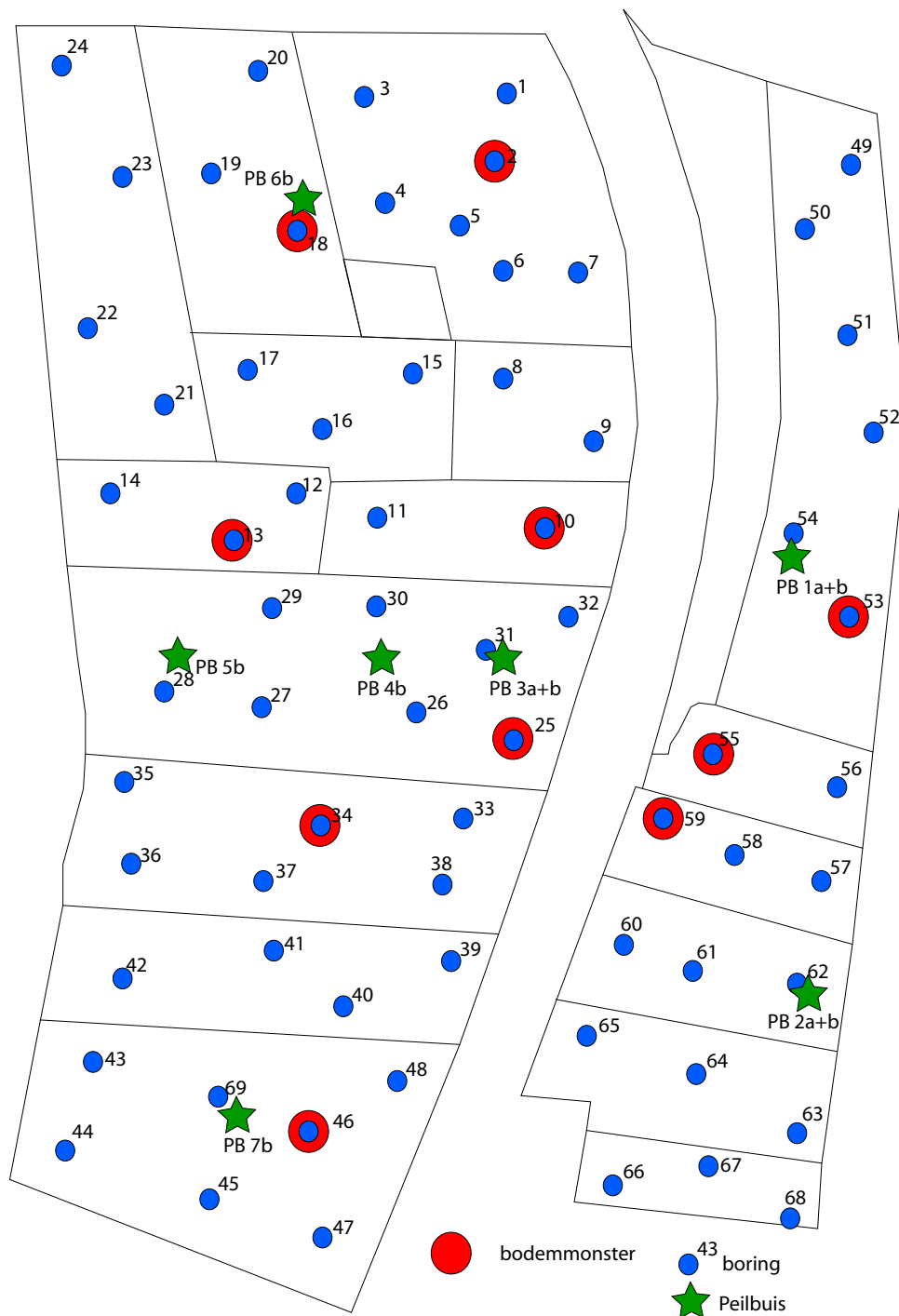
Intern nr.	Buis nr.	Datum	Locatie	K	A	K+A	dKA	ECc	ECm	dEC	IR
				mmol+/-l			%	mS/m		%	%
BW 1	1a	8-3-05	Beltrum	2,8	2,5	5,2	6,1	30,9	29,1	-6,1	49,8
BW 2	1b	8-3-05	Beltrum	7,4	8,0	15,3	-3,9	76,2	76,8	0,7	87,5
BW 3	2a	8-3-05	Beltrum	2,8	2,9	5,7	-3,2	36,1	34,4	-5,0	70,3
BW 4	2b	8-3-05	Beltrum	6,8	6,9	13,6	-0,7	71,8	71,4	-0,6	89,2
BW 5	3a	8-3-05	Beltrum	6,4	6,2	12,7	1,4	59,9	58,6	-2,2	87,9
BW 6	3b	8-3-05	Beltrum	9,6	9,5	19,1	0,8	94,9	92,6	-2,5	92,6
BW 7	4b	8-3-05	Beltrum	4,2	3,8	8,0	4,4	47,7	46,8	-1,9	79,1
BW 8	5b	8-3-05	Beltrum	4,8	4,9	9,8	-1,0	47,8	45,8	-4,4	88,4
BW 9	6b	8-3-05	Beltrum	9,7	9,9	19,7	-1,2	90,9	88,1	-3,2	92,6
BW 10	7b	8-3-05	Beltrum	9,3	9,3	18,5	0,2	85,0	82,1	-3,5	95,8

Intern nr.	Buis nr.	Datum	Locatie	grond	regen	zee	pH sat	Verzadiging	Stuyfzand	Similariteitscoëfficiënt met			
				water			10°C	index	watertype	rLi	rAt	rTh	rMo
				%			%						
BW 1	1a	8-3-05	Beltrum	16,1	83,8	0,2	8,40	-2,7	F1CaHCO3	81	-49	19	50
BW 2	1b	8-3-05	Beltrum	74,7	25,2	0,1	7,19	-1,2	g3CaHCO3+	95	-60	51	55
BW 3	2a	8-3-05	Beltrum	19,0	80,9	0,1	8,12	-2,1	g2CaHCO3+	90	-60	21	37
BW 4	2b	8-3-05	Beltrum	76,7	23,2	0,1	7,21	-1,1	g3CaHCO3+	98	-57	47	56
BW 5	3a	8-3-05	Beltrum	92,2	7,8	0,1	7,17	-0,9	g3CaHCO3	99	-56	26	43
BW 6	3b	8-3-05	Beltrum	144,8	-44,8	0,1	6,94	-0,6	g3CaHCO3+	93	-41	55	64
BW 7	4b	8-3-05	Beltrum	53,1	46,8	0,1	8,12	-2,1	g0CaSO4	62	4	37	54
BW 8	5b	8-3-05	Beltrum	69,4	30,5	0,1	7,37	-0,9	g3CaHCO3	99	-56	16	35
BW 9	6b	8-3-05	Beltrum	129,5	-29,5	0,0	6,83	-0,4	g4CaHCO3+	98	-60	45	53
BW 10	7b	8-3-05	Beltrum	130,3	-30,3	0,0	6,85	-0,4	g4CaHCO3+	99	-60	39	48



Bijlage 3.

De locatie van de boorpunten, grondmonsters en de peilbuizen in Beltrum.





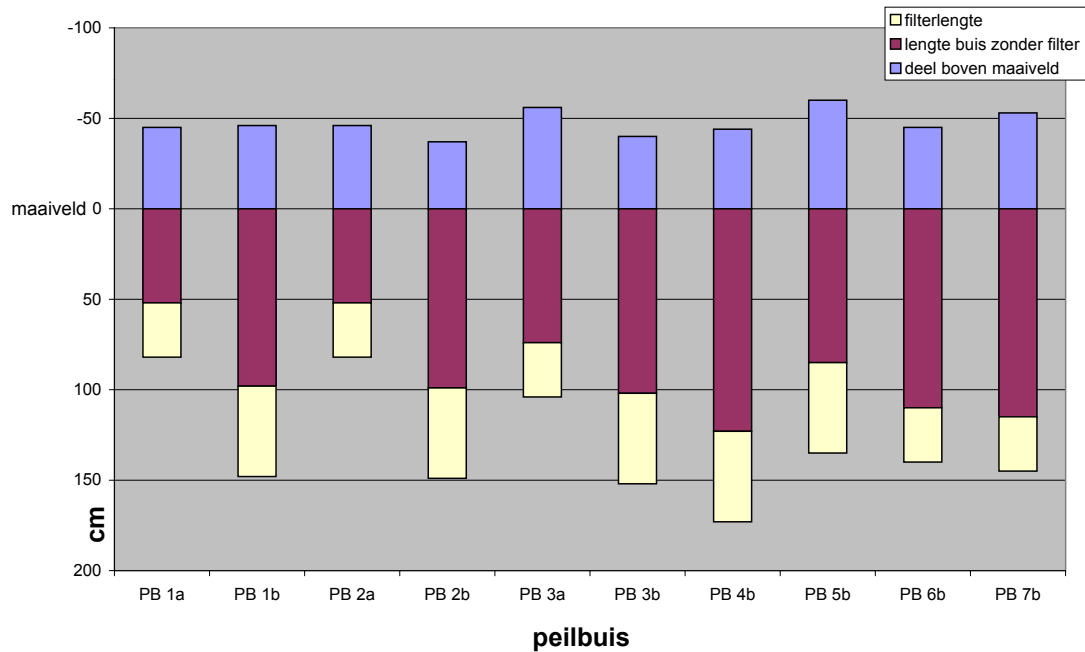
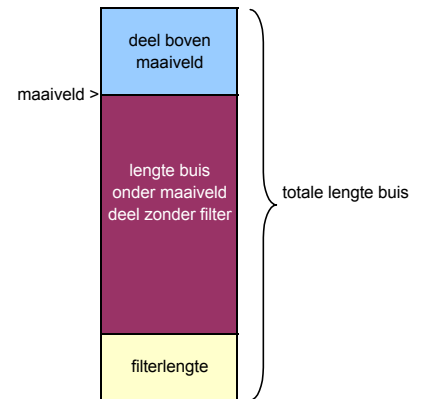
Bijlage 4.

Situatie van de geplaatste peilbuizen met stamgegevens.

Peilbuisgegevens
 Peilbuis 1 t/m 7
Beltrum
 Langs Goormanslatweg/Slinge
 7-2-05

waterstand=bovenzijde waterpeil tot maaiveld

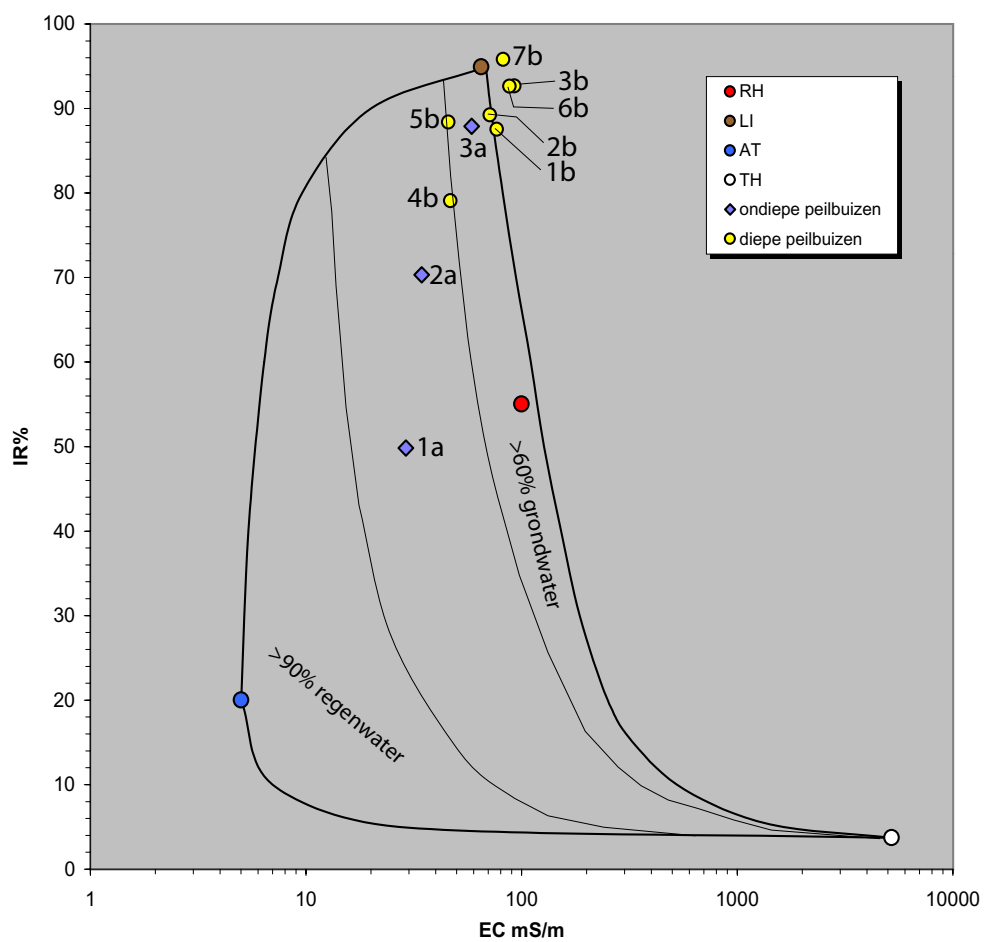
Peilbuis nr.	Opm.	deel boven maaiveld cm	totale lengte buis cm	lengte buis onder mv cm	filter lengte cm	waterstand 8-3-05 cm-mv
PB 1a	ondiep	-45	127	82	30	57
PB 1b	diep	-46	194	148	50	57
PB 2a	ondiep	-46	128	82	30	21
PB 2b	diep	-37	186	149	50	22
PB 3a	ondiep	-56	160	104	30	50
PB 3b	diep	-40	192	152	50	48
PB 4b	diep	-44	217	173	50	50
PB 5b	diep	-60	195	135	50	46
PB 6b	diep	-45	185	140	30	45
PB 7b	diep	-53	198	145	30	37





Bijlage 5.

EGV-IR diagram van de watermonsters.





Bijlage 6a.

Boorstaten van de onderzochte locaties.

Boring nr.	diepte	horizon	humus %	lutum %	leem %	M50	Bodem eenheid	Gt	GHG cm-mv	GLG	Verwerkt	Roestig/gereduceerd	Humeus	Materiaal
1	0-30 30-45 45-80 80-100	1Apg 2Ahb 2Cg 3Cg	4 12 40	20	20	140	zRn	III	10	115		roestig	matig rijk	sterk lemig zeer fijn zand zware zavel zware klei zwak lemig zeer fijn zand
2	0-25 25-120 120-140	1Ap 1Cg 1Cr	4			22 14 14	140 140 140	tZg	III	10	115/125		gereduceerd	matig sterk lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
3	0-25 25-45 45-115 115-120	1Ap 1Ce 1Cg 1Cgr	3			17 14 14 14	140 140 140 140	tZn	III	20	>120		roestloos roestig deels gereduceerd	matig zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
4	0-25 25-50 50-75 75-110	1Apg 2Ahp 3Cg 4Cgr	3 40			17 14 14	140 140 140	zWk	III/IV	15/20	130		roestig zwak roestig	matig zwak lemig zeer fijn zand veraard kleilig veen zware klei zwak lemig zeer fijn zand
5	0-25 25-35 35-100 100-120	1Apg 2Cg 3Cg 3Cr	4	6 40		24 14 14	140 130 130	tZg	III	0	105		veel roest gereduceerd	matig sterk lemig zeer fijn zand zware klei zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
6	0-40 40-55 55-75 75-115 115-120	1Apg 2Cg 3Cg 3Cgr 3Cr	4	6 40		25 14 14 14	140 135 135 135	tZg	III	10	120		sterk roestig roestig zwak roestig gereduceerd	matig sterk lemig zeer fijn zand zware klei zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
7	0-35 35-55 55-85 85-115 115-120	1Ap 2Cg 3Cg 3Cgr 3Cr	4	7 40		27 14 14 14	140 135 135 135	tZg	III	10	110/120		sterk roestig roestig zeer zwak roestig gereduceerd	matig sterk lemig zeer fijn zand zware klei zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
8	0-30 30-50 50-115 115-120	1A/2Cg 2Cg 3Cg 3Cr	3	16 45		13 13	135 135	Rn	III	10	115	verwerkt	sterk roestig zwak roestig gereduceerd	matig lichte zavel zware klei zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
9	0-45 45-60	1A/Cg 1Cg	4	16		15	140	kZg/Rn	III	10	115	verwerkt	roestig	matig lichte zavel zwak lemig zeer fijn zand
10	0-25 25-32 32-80 80-115 115-120	1Ap 2Cg 3Cg 3Cgr 3Cr	4	12 40		15 15 15	140 140 140	kZg	III	10	115		sterk roestig veel roest zwak roestig gereduceerd	matig zeer lichte zavel zware klei zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
11	0-15 15-40 40-80 80-105 105-120	1Ap 2Cg 3Cg 3Cgr 3Cr	4	16 40		15 15 15	130 130 130	kZg/Rn	III	15	110	licht verwerkt	sterk roestig zwak roestig zeer zwak roestig gereduceerd	matig lichte zavel zware klei zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
12	0-25 25-80 80-110 110-112	1Apg 1Cg 1Cgr 1Cr	3			20 15 15 15	140 140 140 140	tZg	III	15/20	115		roestig zeer zwak roestig gereduceerd	matig sterk lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zeer fijn zand
13	0-35 35-65 65-110 110-120	1Apg 2Cg 3Cgr 3Cr	5	10 40		35 14 14	140 135 135	Rn	III	5/10	110		sterk roestig zwak roestig gereduceerd	matig zeer lichte zavel zware klei zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
14	0-30 30-40 40-60 60-80	1A/Cg 1Cg 1A/Cg 1Cr	3			17 14 13	140 130 130	tZg	III	10	110	heterogeen verwerkt verwerkt	veel roest sterk roestig gereduceerd	matig zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand lichte klei zwak lemig zeer fijn zand
15	0-25 25-50 50-60 60-100	1Apg 1A/Cg 1Cg 1Cgr	3 2	7 7		35 25 15 14	140 140 135 135	tZg	II/III	0/5	85	verwerkt verwerkt verwerkt	matig matig sterk roestig sterk roestig	matig zeer sterk lemig zeer fijn zand sterk lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
16	0-30 30-50 50-80 80-100	1Apg 1A/Cg 1Cg 1Cgr	4			18 18 14 14	140 140 140 140	tZg	III	5	110	verwerkt	zwak roestig	matig sterk lemig zeer fijn zand sterk lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
17	0-30 30-90 90-100	1Apg 1Cg 1Cgr	3			30 15 15	140 140 140	tZg	III	15/20	120/130	licht verwerkt	roestig zeer zwak roestig	matig sterk lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand zwak lemig zeer fijn zand
18	0-45 45-70 70-110 110-120	1Ap 2A/Cg 3Cg 3Cr	3 4			18 12 8	140 160 160	cZg	III*	25	115/125	verwerkt	gereduceerd	matig sterk lemig zeer fijn zand zware klei zwak lemig zeer fijn zand leemarm matig fijn zand
19	0-30 30-50 50-80	1Apg 1A/Cg 1Cg	3 2	6 12		26 35 14	140 130 130	cZg	III*	25	120/130	verwerkt	sterk roestig roestig	matig sterk lemig zeer fijn zand lichte zavel zwak lemig zeer fijn zand
20	0-35 35-60 60-85 85-100	1Apg 1A/Cg 1A/Cr 1Cr	3 2 4	7 10 6		27 20 25 15	140 140 140 140	kZg/Rn	III	15	115	licht verwerkt verwerkt verwerkt	matig roestig gereduceerd	matig sterk lemig zeer fijn zand zeer lichte zavel sterk lemig zand zwak lemig zeer fijn zand



Bijlage 6b.

Boorstaten van de onderzochte locaties.

Boring nr.	diepte	horizon	humus %	lutum %	leem %	M50	Bodem eenheid	Gt	GHG cm-mv	GLG	Verwerkt	Roestig/gereduceerd	Humeus	Materiaal
21	0-25	1Apg	4	10			Rn/kZg	III	15	115			matig	zeer lichte zavel
	25-55	1Cg		18							iets gelaagd	roestig		zware klei
	55-80	2Cg			15	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	80-100	2Cgr			15	140								zwak lemig zeer fijn zand
22	0-40	1Apg	3	10	30	140	kZg	III	20	115/125	licht verwerkt	zwak roestig	matig	zeer lichte zavel
	40-80	2Cg			14	140								zwak lemig zeer fijn zand
23	0-35	1A/Cg	3	16			kZg	III	20	120	licht verwerkt		matig	lichte zavel
	35-80	1Cg			14	140						roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	80-100	1Cgr			14	140						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
24	0-30	1Apg	4	16			kZg	III	15	115			matig	lichte zavel
	30-45	2Cg			14	135						sterk roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	45-60	1Cg		40								zeer sterk roestig		zware klei
	60-110	2Cgr			14	130					iets gelaagd	zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
25	0-30	1Apg	6	18			Rn	III	0	110	iets heterogeen		sterk	zware klei
	30-60	1Cg		40								sterk roestig		zware klei
	60-80	2Cg			15	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	80-100	2Cgr			15	140								zwak lemig zeer fijn zand
26	0-30	1A/Cg	4	14			kZg	III	10	110	verwerkt		matig	lichte zavel
	30-65	1Cg			15	140								zwak lemig zeer fijn zand
	65-70	2Cg		30								roestig		slappe zware zavel
	70-110	3Cgr			15	140						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
27	0-20	1A/C	3		16	140	tZn	III*/IV*	30	>120	licht verwerkt		matig	zwak lemig zeer fijn zand
	20-30	1Ce			14	140						roesteloos		zwak lemig zeer fijn zand
	30-100	1Cg			14	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
28	0-30	1A/Cg	6	15			Rn	III	5/10	110			zeer	lichte zavel
	30-55	1Cg		35								sterk roestig		zware klei
	55-80	2Cg			15	135								zwak lemig zeer fijn zand
	80-105	2Cgr			15	135								zwak lemig zeer fijn zand
29	0-30	1Apg	4	15			kZg	III	10	110	iets verwerkt		matig	lichte zavel
	30-60	2Cg1			16	140						sterk roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	60-90	2Cg2			14	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
30	0-30	1Apg	3	7	26	140	cZg	III	20	120	iets verwerkt		matig	sterk lemig zeer fijn zand
	30-40	1Cg1			14	135						sterk roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	40-90	1Cg2			14	135						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
31	0-30	1Apg	7	10	35	140	kV/k	II/III	0	80			zeer	zeer lichte zavel
	30-80	2Ce	55	10								gereduceerd	veem	kleilig veraard broekveen
	80-120	3Cr		40										slappe zware klei
32	0-30	1Apg	5	12	30	140	kZg	III	10	115			matig	zeer lichte zavel
	30-80	2Cg			14	140						zeer roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	80-100	1Cgr			14	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
33	0-25	1Apg	4	12			Rn	III	8	110			matig	zeer lichte zavel
	25-50	1Cg		40								sterk roestig		zware klei
	50-80	2Cg			14	135						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
34	0-20	1Apg	3	6	26	140	tZg	III/III*	20/25	120			matig	sterk lemig zand
	20-50	1Cg			14	135						zeer sterk roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	50-95	1Cg2			14	135						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	95-115	1Cgr			14	135						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
35	0-50	1Apg	3	7	28	140	zEz/cZ	III	10	110	opgebracht dek		matig	sterk lemig zeer fijn zand
	50-85	2Cgr		40								deels gereduceerd		zware klei
	85-100	2Cr			14	140						gereduceerd		zwak lemig zeer fijn zand
36	0-35	1Apg	4	10			kZg	III	15	110	licht verwerkt		matig	zeer lichte zavel
	35-80	2Cg			14	140						roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	80-110	2Cgr			14	140						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
37	0-25	1Apg	3		18	140	tZg	III*	30	>60			matig	sterk lemig zeer fijn zand
	25-60	1Cg			14	140						zeer roestig		zwak lemig zeer fijn zand
38	0-25	1Apg	3	13			kZg	III	10	115			matig	lichte zavel
	25-40	2Cg1			14	140						zeer roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	40-60	2Cg2			14	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
39	0-20	1Apg	4	13			Rn	III	20	120	iets verwerkt		matig	lichte zavel
	20-50	1Cg/2Cg										zeer roestig		zand+zware klei
	50-70	2Cg			14	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
40	0-30	1A/Cg	3	20			Rn	III	15	120	verwerkt gelaagd		matig	zware zavel
	30-60	1Cg			20							roestig		zware zavel
	60-80	2Cgr			14	140						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand



Bijlage 6c.

Boorstaten van de onderzochte locaties.

Boring nr.	diepte	horizont	humus %	lutum %	leem %	M50	Bodem eenheid	Gt	GHG cm-mv	GLG	Verwerkt	Roestig/gereduceerd	Humeus	Materiaal			
41	0-30	1A/Cg	3			20	140	tZg	III*	25/30	120/135	verwerkt	matig	sterk lemig zeer fijn zand			
	30-40	1Cg1				14	140							zwak lemig zeer fijn zand			
	40-60	1Cg2				14	140							zwak lemig zeer fijn zand			
42	0-45	1Apg	8	14			Rn	III	15	120	licht verwerkt gelaagd	roestig zeer zwak roestig	zeer	lichte zavel			
	45-75	1Cg	25/40											zware zavel + zware klei			
	75-100	2Cgr	14	140										zwak lemig zeer fijn zand			
43	0-13	1Apg	5	14			Rn	III/III*	25	120/135	verwerkt	matig	matig	lichte zavel			
	13-35	1A/1Cg	2	8										zeer lichte zavel			
	35-60	2Cg	30											lichte klei			
	60-80	3Cg		14										135	zwak lemig zeer fijn zand		
	80-95	3Cgr		14										135	zwak lemig zeer fijn zand		
44	0-30	1A/Cg	3			20	140	tZg	III	15	>90	verwerkt	matig	sterk lemig zeer fijn zand			
	30-70	1Cg				14	140							zwak lemig zeer fijn zand			
	70-90	1Cgr				14	140							zwak lemig zeer fijn zand			
45	0-30	1Apg	3	18			kVz	III	15	100	licht verwerkt	matig	matig	zware zavel			
	30-60	1A/Cg	35											veraard kleilig veen			
	60-80	3Cgr		14										140	zwak lemig zeer fijn zand		
	80-100	3Cr		14										140	zwak lemig zeer fijn zand		
46	0-15	1Apg	4	12			Rn	III	15	105	heterogeen	matig	matig	zeer lichte zavel			
	15-55	1A/Cg	3	14/40										lichte zavel + zware klei			
	55-105	2Cgr		15										145	zwak lemig zeer fijn zand		
	105-120	2Cr		12										155	zwak lemig zeer fijn zand		
47	0-30	1Apg	3	14			Rc	III	15	110	licht verwerkt	matig	matig	lichte zavel			
	30-40	1Cg												40	zware klei		
	40-60	2Cg												14	135	zwak lemig zeer fijn zand	
48	0-40	1A/Cg	3	35			Rn	III	15	115/120	verwerkt	matig	matig	matig humeuze zware klei			
	40-70	2Cg												14	145	zwak lemig zeer fijn zand	
49	0-35	1Apg	4	7	27	140	Rn	V	20/25	120/130		matig	matig	sterk lemig zeer fijn zand			
	35-70	2Cg												40	zware klei		
	70-90	3Cg													14	140	zwak lemig zeer fijn zand
	90-110	3Cgr													14	140	zwak lemig zeer fijn zand
50	0-35	1Apg	3	7	30	140	zWk	III	10	115		matig	matig	sterk lemig zeer fijn zand			
	35-40	1Cg												15	140	zwak lemig zeer fijn zand	
	40-65	2C												65	40	broekveen	
	65-84	3Cg															slappe zware klei
	84-100	4Cgr													17	130	zwak lemig zeer fijn zand
51	0-30	1Apg	3	20			Rn	III	10	110	licht verwerkt	matig	matig	zware zavel			
	30-55	1Cg												30	lichte klei		
	55-70	2Cg												14	140	zwak lemig zeer fijn zand	
	70-110	2Cgr												8	180	leemarm matig fijn zand	
	110-120	2Cr												14	135	zwak lemig zeer fijn zand	
																	kalkhoudend
52	0-30	1Apg	3	14			Rn	III	10	110	licht verwerkt	matig	matig	lichte zavel			
	30-40	2Cg												15	130	zwak lemig zeer fijn zand	
	40-60	3Cg												9	35	zware klei	
	60-90	4Cgr												14	135	zwak lemig zeer fijn zand	
																	zeer zwak roestig
53	0-40	1A/Cg	3	9	30	135	kZg	III	10	95/105	verwerkt	matig	matig	zeer lichte zavel			
	40-55	2Cg												14	135	zwak lemig zeer fijn zand	
	55-95	2Cgr												14	135	zwak lemig zeer fijn zand	
54	0-35	1Apg	3	15			Rn	III	5/10	100	licht verwerkt gelaagd	matig	matig	lichte zavel			
	35-65	1Cg												35	zware klei		
	65-100	2Cgr												14	145	zwak lemig zeer fijn zand	
	100-120	2Cr												14	145	zwak lemig zeer fijn zand	
55	0-35	1Apg	3	6	30	140	Zg	II/III	5/10	80/95		matig	matig	sterk lemig zand			
	35-55	1Cg												15	135	zwak lemig zeer fijn zand	
	55-80	1Cgr												15	135	zwak lemig zeer fijn zand	
	80-120	1Cr												15	135	zwak lemig zeer fijn zand	
																	kalk>105
56	0-40	1Apg	3	15			Rn	III	10	110	licht verwerkt bedolven A	matig	matig	lichte zavel			
	40-50	1Ab												4	25	zware klei	
	50-80	2Cg												15	145	zwak lemig zeer fijn zand	
57	0-35	1A/Cg	3	14			kZg	III	15	110	verwerkt	matig	matig	lichte zavel			
	35-85	2Cg												15	130	zwak lemig zeer fijn zand	
	85-110	2Cgr												15	130	zwak lemig zeer fijn zand	
	110-120													15	130	zwak lemig zeer fijn zand	
58	0-40	1A/Cg	3	15			Rn	II/III	10	90	verwerkt	matig	matig	lichte zavel			
	40-60	1Cg/2Cg															leemarm zand + lichte zavel
	60-100	2Cr												14	140	zwak lemig zeer fijn zand	
59	0-30	1Ap	4		14	140	tZn	V*	30	135/145	licht verwerkt	matig	matig	zwak lemig zeer fijn zand			
	30-50	1Ce												12	140	zwak lemig zeer fijn zand	
	50-100	1Cg												12	140	zwak lemig zeer fijn zand	
60	0-25	1Apg	6	12			Rn	III	20	115	50 cm verwerkt	zeer	zeer	lichte zavel			
	25-50	1Cg												40	zware klei		
	50-65	2Cg												14	140	zwak lemig zeer fijn zand	
	65-95	2Cgr												14	140	zwak lemig zeer fijn zand	



Bijlage 6d.

Boorstaten van de onderzochte locaties.

Boring nr.	diepte	horizon	humus %	lutum %	leem %	M50	Bodem eenheid	Gt	GHG cm-mv	GLG	Verwerkt	Roestig/gereduceerd	Humeus %	Materiaal
61	0-25	1Apg	4	25			kZg	III	20	>100	licht verwerkt		matig	lichte klei
	25-35	1Cg		40								sterk roestig		zware klei
	35-50	2Cg			14	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
62	0-25	1Apg	7	12			Rn	III	10	100	licht verwerkt		zeer	lichte zavel
	25-45	1Cg		40								sterk roestig		zware klei
	45-75	2Cg			13	150						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	75-95	2Cgr			13	150						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
63	0-25	1Apg	5	10			Rn	III	10/15	105			matig	zeer lichte zavel
	25-45	1A/Cg	7	10/40							verwerkt			lichte zavel + zware klei
	45-50	1Cg		40								sterk roestig		zware klei
	50-90	2Cgr			13	140					kalk>90			zwak lemig zeer fijn zand
64	0-30	1Apg	5	17			kZg	III	10	95	verwerkt		matig	lichte zavel
	30-70	2Cg			14	135						roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	70-85	2Cgr			14	135						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	85-100	2Cr			14	145						gereduceerd		zwak lemig zeer fijn zand
65	0-35	1Apg	3		18	140	tZg	III/III*	20/25	120	verwerkt		matig	sterk lemig zeer fijn zand
	35-85	1Cg			12	145						zeer roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	85-100	1Cgr			12	145						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
66	0-25	1Apg	5	7	28	140	tZg	III	10	>110	licht verwerkt		matig	lemig zeer fijn zand
	25-55	1Cg1			15	140						zeer roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	55-80	1Cg2			10	170						zwak roestig		leemarm matig fijn zand
	80-105	1Cgr			10	150						zeer zwak roestig		leemarm matig fijn zand
67	0-25	1Apg	6	14			Rn	III	10	110	licht verwerkt		zeer	lichte zavel
	25-60	1Cg		40								sterk roestig		zware klei
	60-80	2Cg			12	165						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	80-95	2Cgr			14	145						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
68	0-35	1A/Cg	4	7	28	135	tZg	III	10/15	110	verwerkt		matig	sterk lemig zand
	35-65	1Cg1			22	135						zeer roestig		sterk lemig zeer fijn zand
	65-80	1Cg2			14	140						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	80-105	1Cgr			14	140						zeer zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
69	0-45	1Apg	3	11			Rn	III	15	80	verwerkt		matig	zeer lichte zavel
	45-60	2A/Cg	2	12/40							>60 kalkrijk			lichte zavel/zware klei
	60-80	3Cg			14	145						zwak roestig		zwak lemig zeer fijn zand
	>80	3Cr			10	155						gereduceerd		zwak lemig zeer fijn zand

Indeling grondwatertrappen en tijdsduurklassen

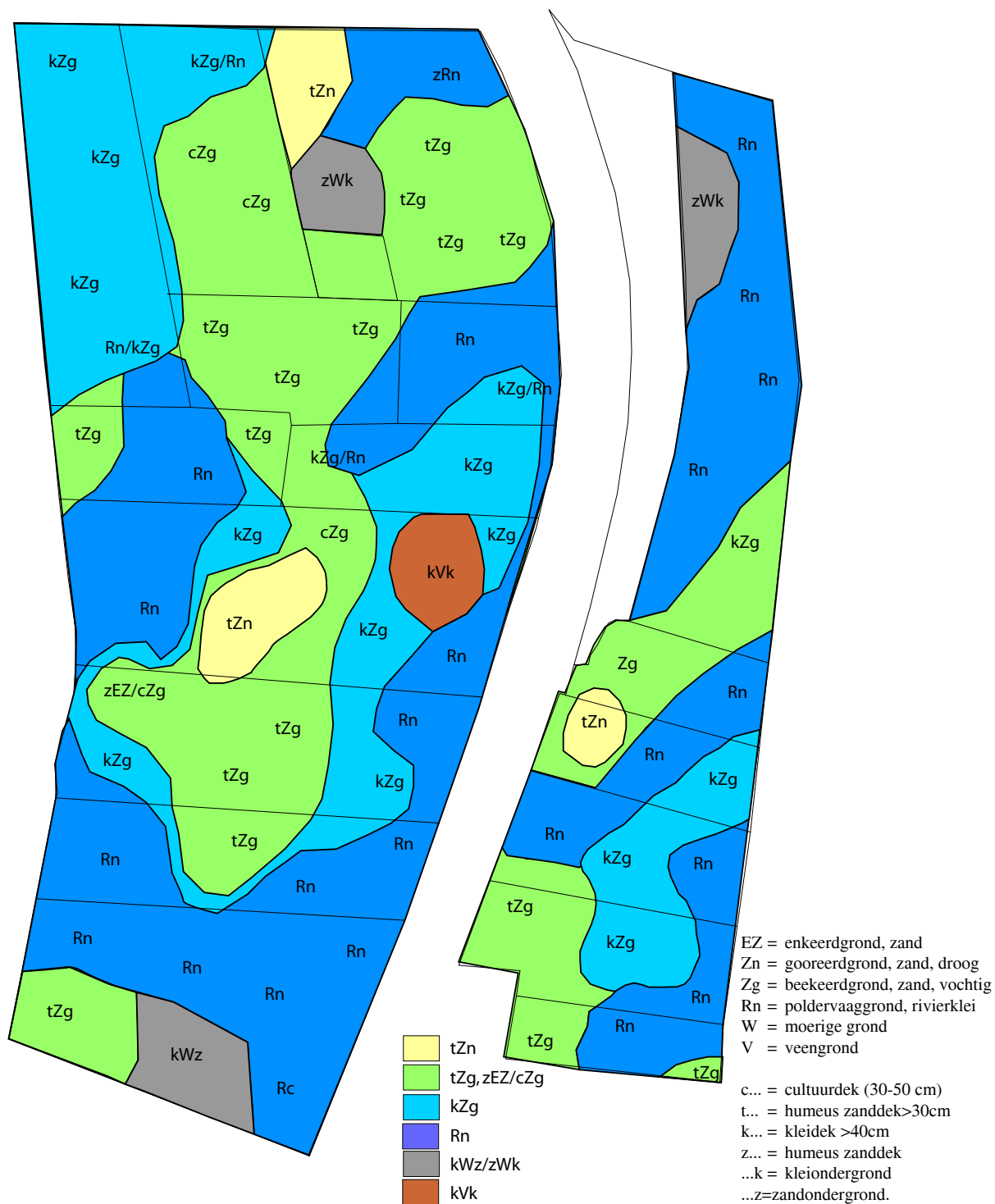
Gt	GHG cm-mv	GLG	Tijdsduur van GWS maanden		
			<40	<80	<120
I	-	<50	>10	-	-
II	-	50-80	<10	>10	-
III	<40	80-120	<5	5-10	>10
IV	>40	80-120	<1	1-10	>10
V	<40	>120	<5	-	5-10

Code	Hoofdklasse
E	dikke eerdgrond
Z	kalkhoudend zand
R	rvierkleigrond
W	moerige grond



Bijlage 8.

Bodemkaart van het onderzoeksgebied in 2005. Per boring is de codering weergegeven.





Bijlage 9.

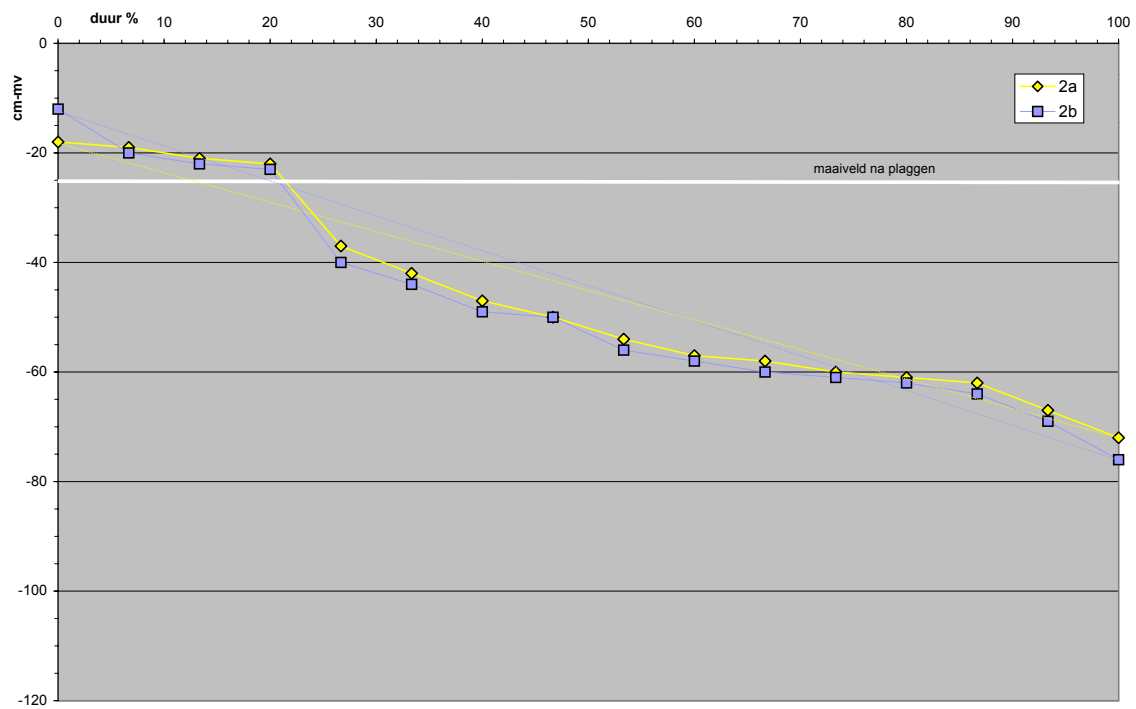
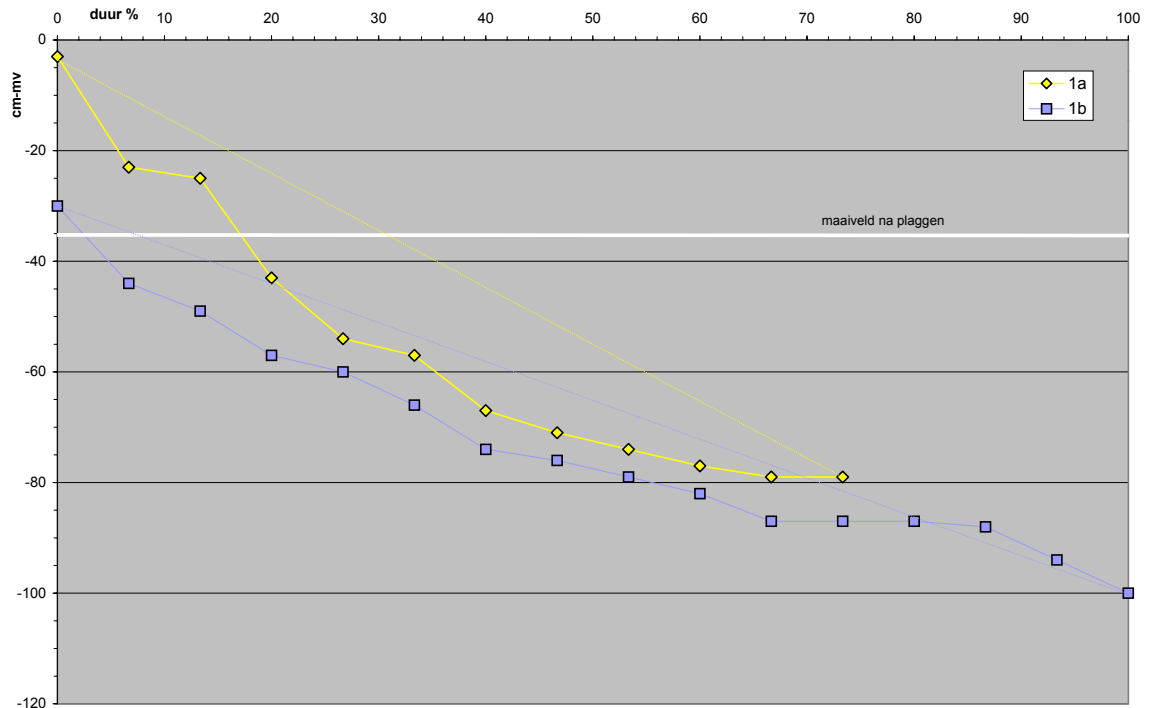
Correlatiematrix van de waterstanden in de peilbuizen.

	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4b	5b	6b	7b
1a	1,00									
1b	0,80	1,00								
2a	0,78	0,96	1,00							
2b	0,75	0,95	1,00	1,00						
3a	0,83	0,90	0,93	0,93	1,00					
3b	0,75	0,94	0,96	0,97	0,96	1,00				
4b	0,81	0,89	0,95	0,96	0,96	0,98	1,00			
5b	0,88	0,81	0,87	0,87	0,92	0,90	0,95	1,00		
6b	0,86	0,93	0,97	0,96	0,93	0,95	0,95	0,89	1,00	
7b	0,82	0,89	0,97	0,97	0,94	0,96	0,97	0,91	0,95	1,00



Bijlage 10

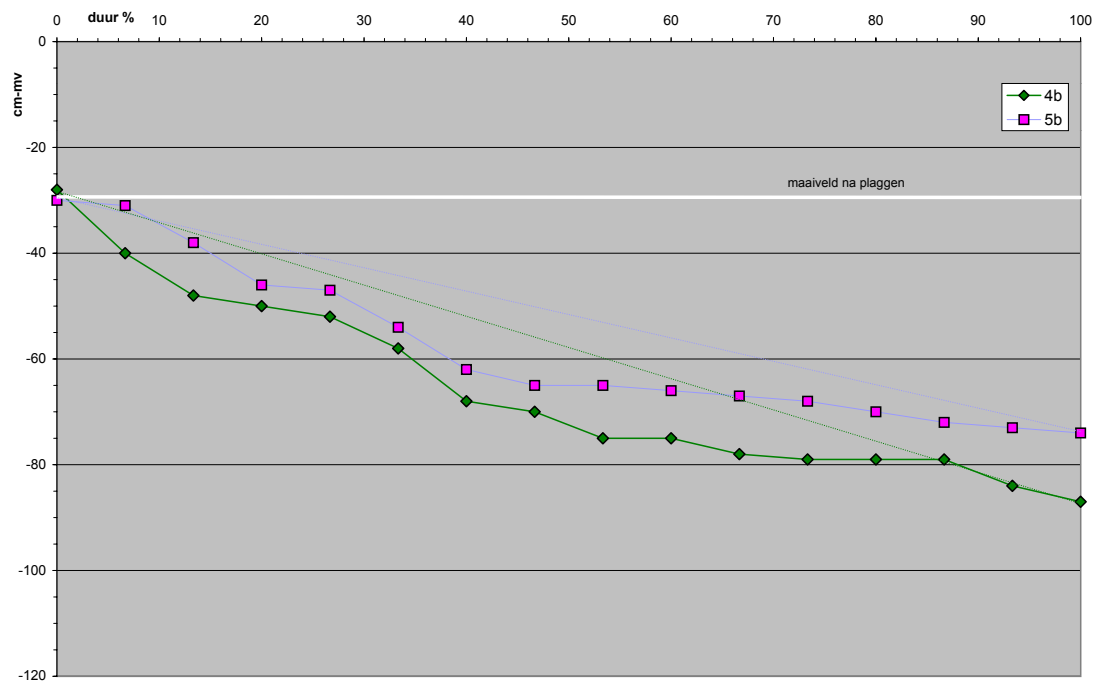
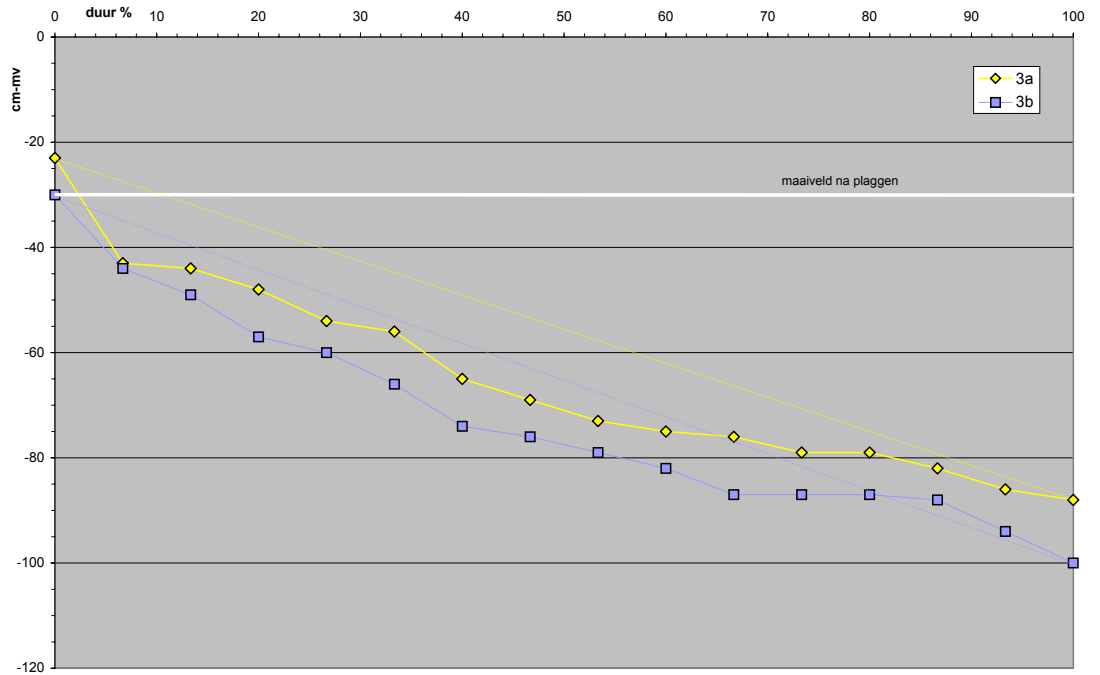
Duurlijnen van peilbuis 1a+b (boven) en buis 2a+b (onder). Het hoogste en laagste punt zijn met een lijn verbonden om duidelijk te maken of de lijn bol, hol of sigmoïd is.





Bijlage 10, vervolg.

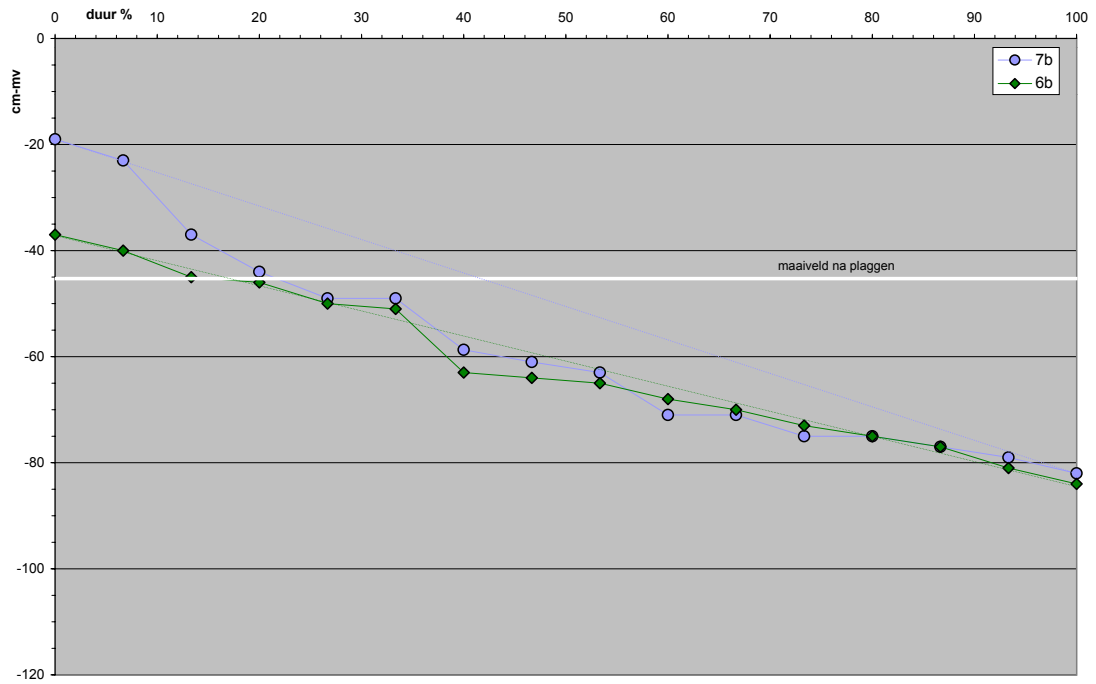
Duurlijnen van peilbuis 3a+b (boven) en buis 4b en 5b (onder). Het hoogste en laagste punt zijn met een lijn verbonden om duidelijk te maken of de lijn bol, hol of sigmoïd is.





Bijlage 10, vervolg.

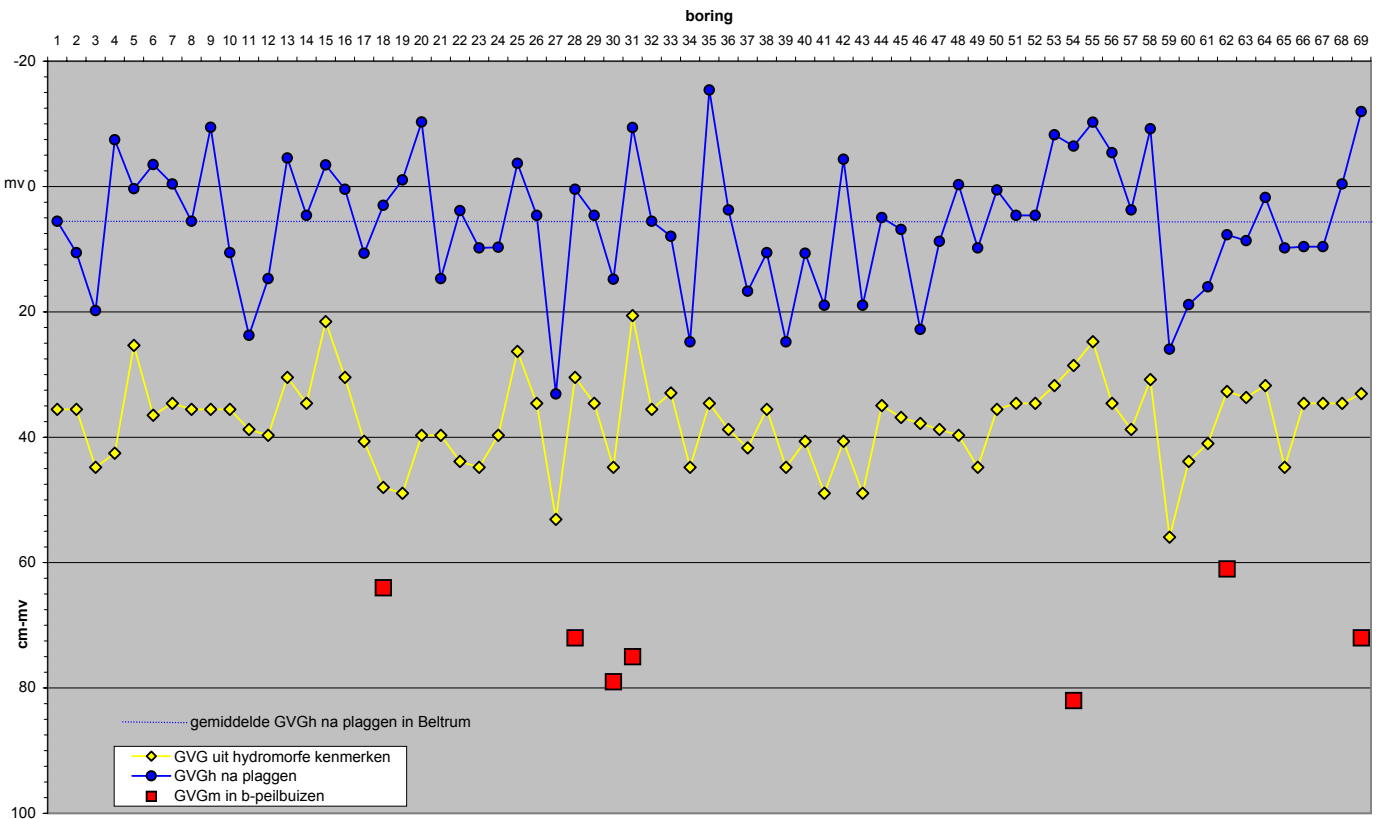
Duurlijnen van peilbuis 6b en 7b. Het hoogste en laagste punt zijn met een lijn verbonden om duidelijk te maken of de lijn bol, hol of sigmoïd is.





Bijlage 11.

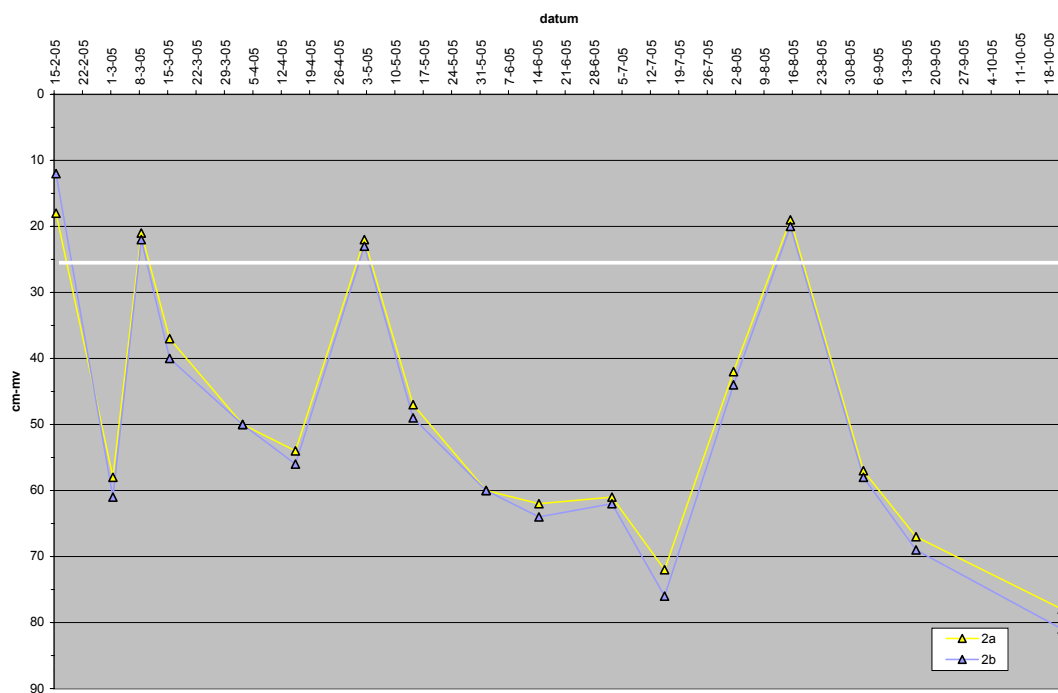
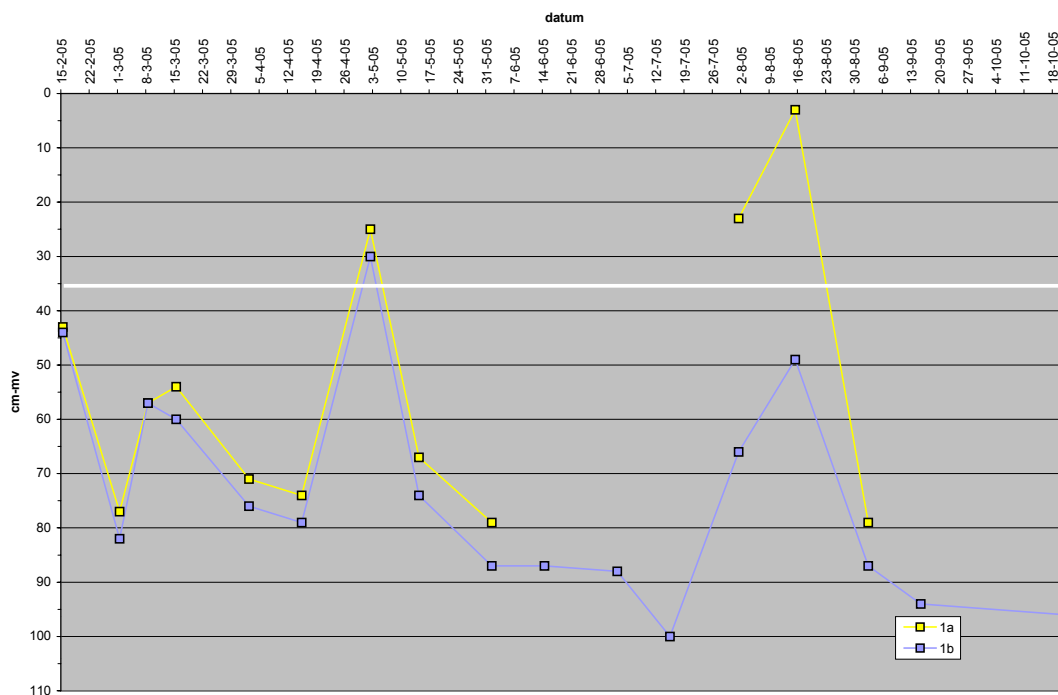
De gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) op de boortlocaties, berekend uit de in het veld vastgestelde GHG en GLG. Tevens is de in de peilbuizen gemeten voorjaarswaterstand aangegeven. De blauwe lijn geeft de situatie aan na plaggen.





Bijlage 12.

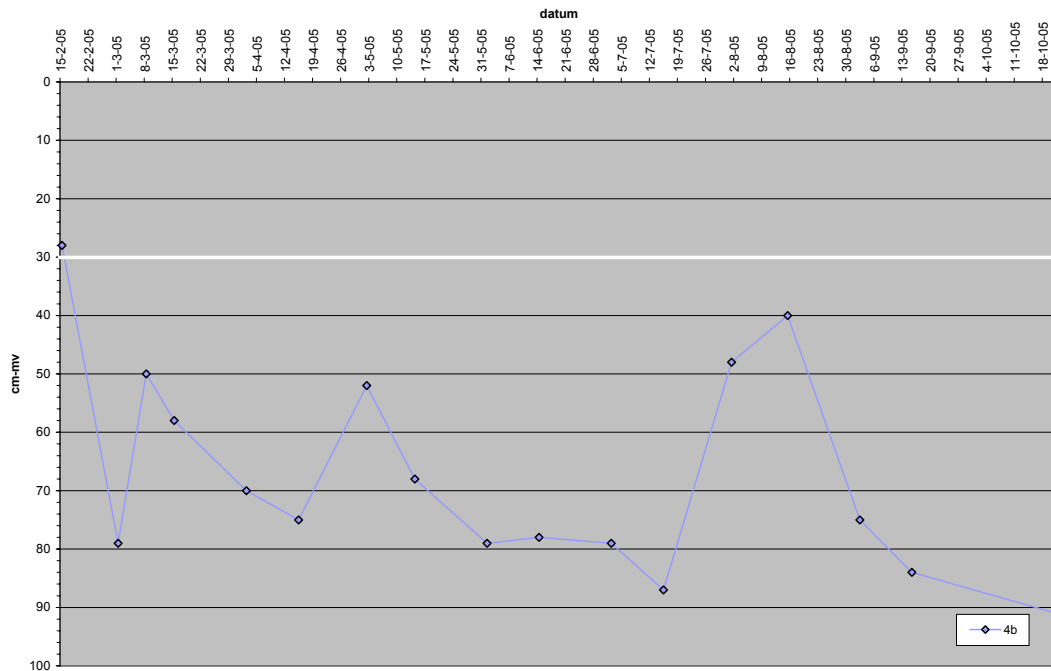
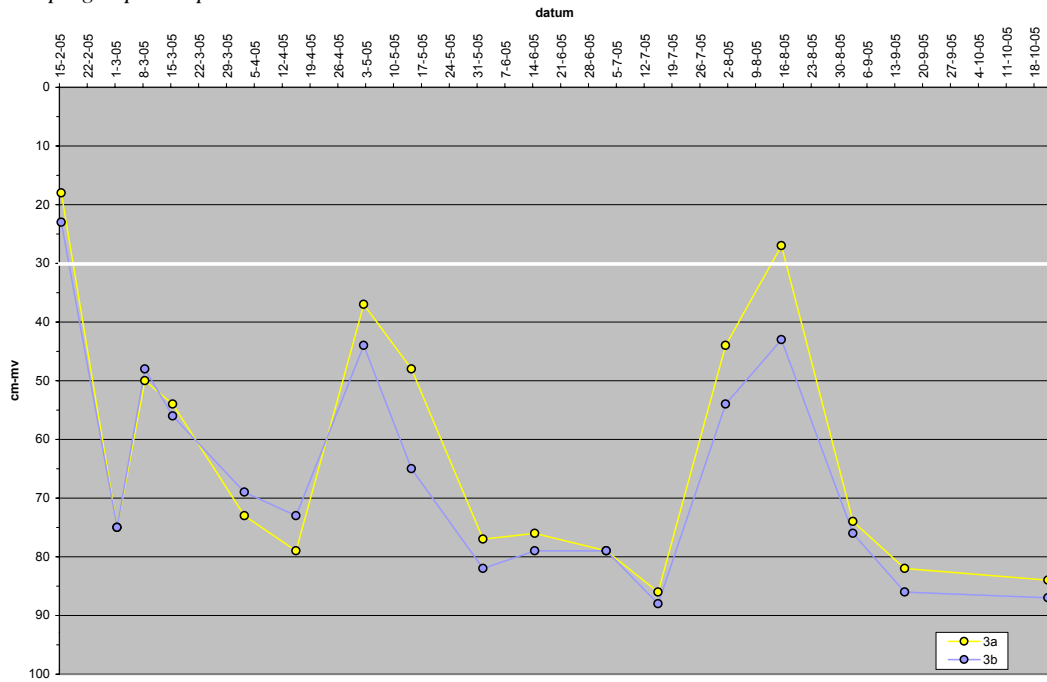
Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 1a+b (boven) en 2a+b (onder). De witte lijn geeft de plagdiepte ter plaatse aan.





Bijlage 12, vervolg.

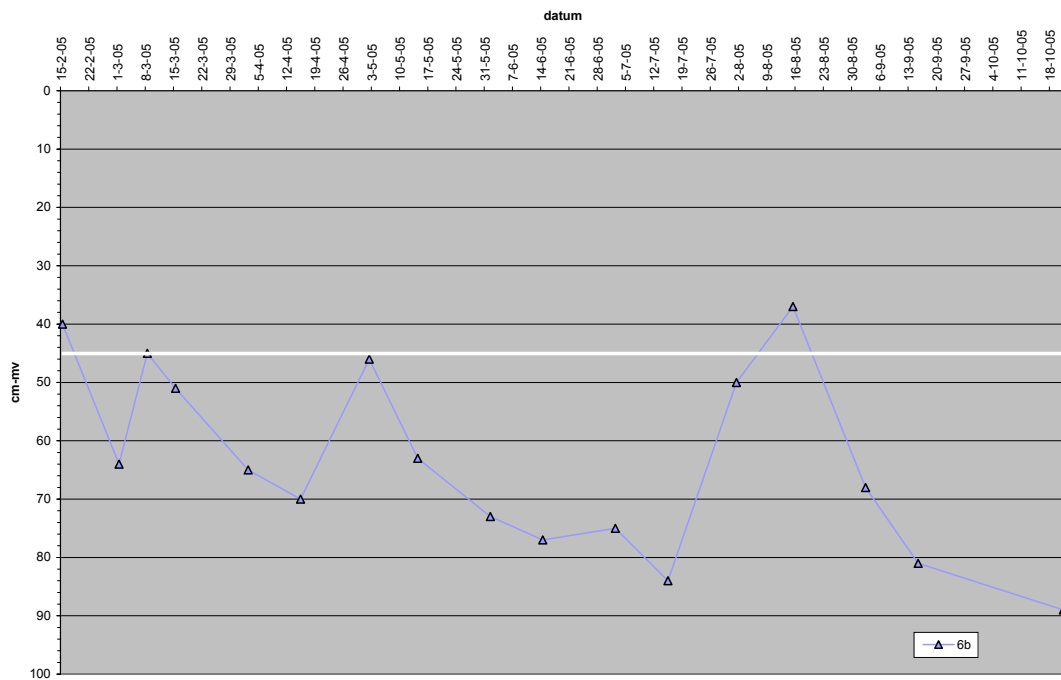
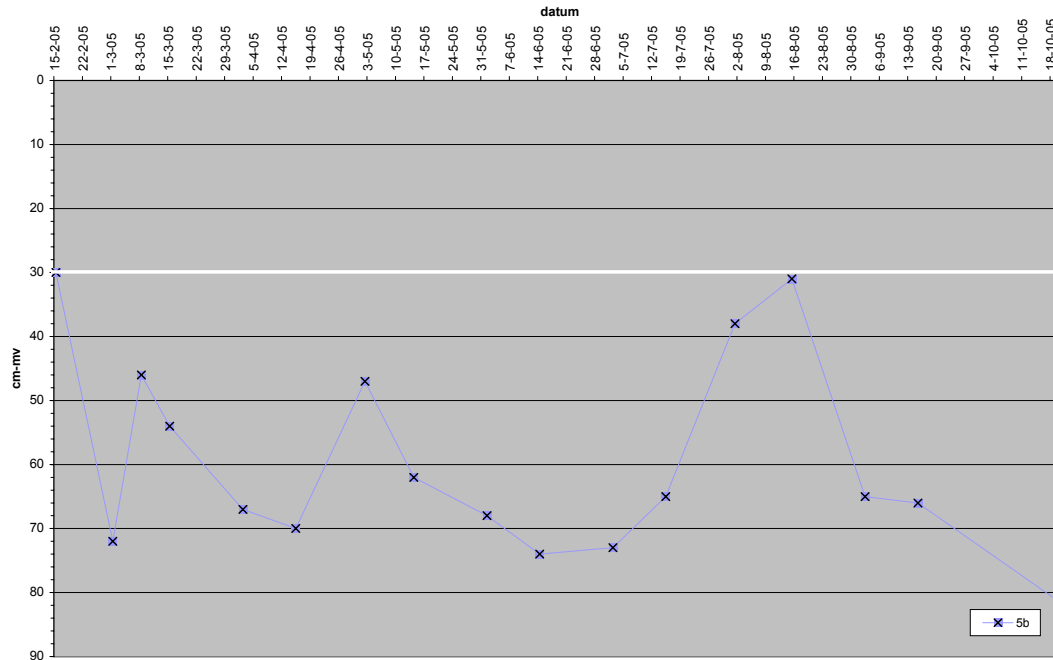
Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 3a+b (boven) en 4b (onder). De witte lijn geeft de plagdiepte ter plaatse aan.





Bijlage 12, vervolg.

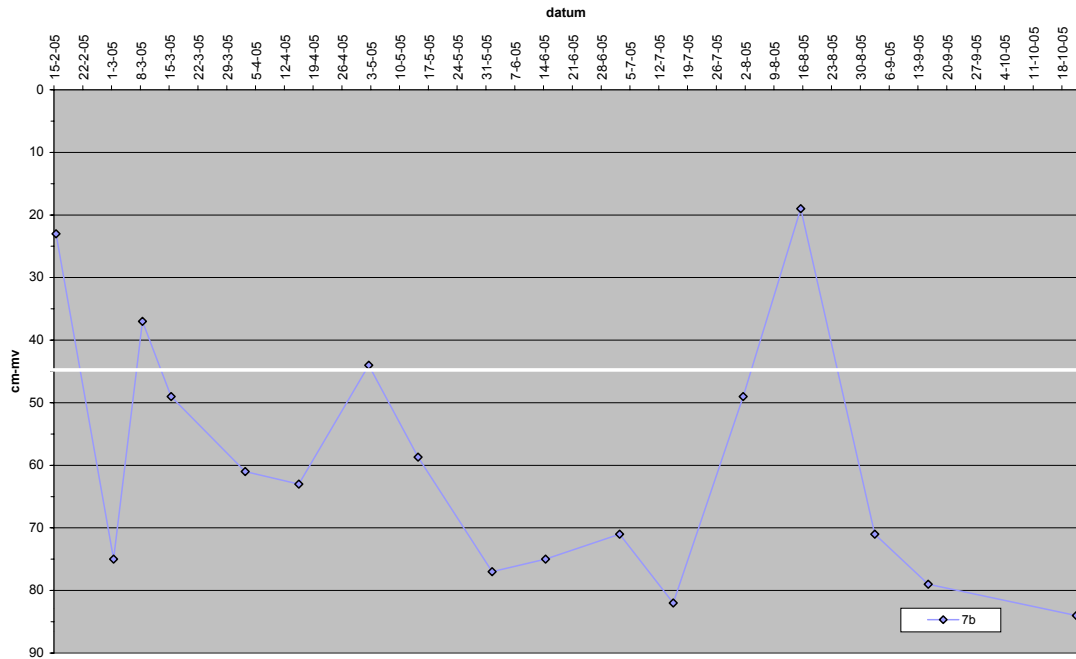
Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 5b (boven) en 6b (onder). De witte lijn geeft de plagdiepte ter plaatse aan.





Bijlage 12, vervolg.

Het verloop van de waterstanden in de peilbuis 7b. De witte lijn geeft de plagdiepte ter plaatsse aan.





*Opdrachtgever
Dienst Landelijk Gebied
Regio Oost
Arnhem*