Natte voeten voor Schokland

In opdracht van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek

Postbus 1600
3800 BP Amersfoort
www.archis.nl

Natte voeten voor Schokland

Inrichting hydrologische zone
Archeologische monitoring 2003-2004
Een evaluatie van de waterhuishoudkundige maatregelen

A. Smit
G. Mol
R.M. van Heeringen

Alterra–Rapport 1160

Alterra, Wageningen, 2005

REFERAAT

Sander Smit, Gerben Mol, Robert van Heeringen, 2005. *Natte voeten voor Schokland. Inrichting hydrologische zone. Archeologische monitoring 2003-2004. Een evaluatie van de waterhuishoudkundige maatregelen.* Wageningen, Alterra–Rapport 1160. 79 blz. 29 fig.; 5 tab.; 11 ref.; 2 bijlagen.

Ten oosten van Schokland zijn in 2003 waterhuishoudkundige maatregelen getroffen om de freatische grondwaterstand te verhogen. Dit is onder andere gedaan om de archeologische vindplaatsen aldaar beter te conserveren. Het behoud *in situ* van veel archeologische vindplaatsen is namelijk gebaat bij een zuurstofloze omgeving. Zuurstof draagt door oxidatie bij aan de afbraak van archeologische materialen. In deel I van dit rapport worden diverse metingen aan de bodem besproken die in het kader van project 'archeologische monitoring Schokland 2003-2004' zijn gedaan. Op vier archeologische locaties zijn de freatische grondwaterstand, de redoxpotentiaal en de zuurgraad gemonitoord. In deel II worden de effecten van de waterhuishoudkundige maatregelen op de freatische grondwaterstand ten oosten van Schokland geëvalueerd. In de hydrologische zone (het gebied waar een grondwaterstandsverhoging zou moeten plaatsvinden) is duidelijk sprake van een verhoging van de freatische grondwaterstanden. In het agrarische gebied ten oosten van de hydrologische zone is nauwelijks sprake van een wijziging van de grondwaterstanden. De gevonden verhoging van de freatische grondwaterstanden in de hydrologische zone draagt bij aan een verbeterde conservering van de daar gelegen archeologische vindplaatsen. Toch zou er op basis van de resultaten van deel I en II moeten worden her-overwogen waar in het gebied nog zou kunnen worden ingezet op een verdere optimalisatie van het behoud *in situ*. Soms kan namelijk een kleine verandering in het bodemmilieu leiden tot een grote verbetering voor het behoud *in situ*. Eventuele inrichtingsmaatregelen moeten wel zorgvuldig, met gevoel voor het archeologische erfgoed, worden uitgevoerd.

Trefwoorden: Schokland, archeologie, conservering, behoud *in situ*, grondwaterstand

ISSN 1566-7197

Eerste auteur's e–mail: paleoterra@planet.nl

Dit rapport verschijnt tevens als deel 124 in de serie Rapportage Archeologische Monumentenzorg van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek te Amersfoort (*www.archis.nl*).

Dit rapport kunt u bestellen door €20,– over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra–Rapport 1160. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e–mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

[Alterra–Rapport 1160/februari/2005]

Inhoudsopgave

Woord vooraf **7**

Samenvatting **9**

I Archeologische monitoring 2003-2004 **11**

1 Inleiding op deel I **13**
1.1 Kader van het onderzoek 13
1.2 Doelstelling 15

2 Onderzoeksopzet en methoden **17**
2.1 Inleiding 17
2.2 Rivierduin J125 17
2.3 Meten van de freatische grondwaterstand 17
2.4 Bodemprofielen 22
2.5 Meten van de redoxpotentiaal en de zuurgraad 25
2.6 Freatische grondwaterstanden voor en na de aanleg van de hydrologische zone 26

3 Resultaten en discussie **29**
3.1 Presentatie van de meetresultaten 29
3.2 Neerslag en verdamping januari 2003 - oktober 2004 30
3.3 Freatische grondwaterstanden voor en na de aanleg van de hydrologische zone 30
3.4 Pleistocene rug P14 32
3.5 Rivierduin E170 35
3.6 Terp De Zuidert 36
3.7 Rivierduin J125 40

4 Conclusies en aanbevelingen **41**

II Een evaluatie van de waterhuishoudkundige maatregelen **43**

5 Inleiding op deel II **45**

6 Aanpak **47**

7 Resultaten **51**
7.1 Locatie PB001 53
7.2 Locaties PB002, P14-6 en P14-7 54

7.3 Locatie PB003 55
7.4 Locatie PB004 56
7.5 Locatie PB005 57
7.6 Locatie PB006 58
7.7 Locaties PB007 en DZ-6 59
7.8 Locatie PB008 60
7.9 Locatie PB009 61

8 Conclusies en Aanbevelingen **63**

Bibliografie **65**

Bijlage 1: Sitedossier vindplaats J125. **67**

Bijlage 2: Overzicht meetresultaten. **69**

Woord vooraf

Opbouw van dit rapport

Het rapport dat voor u ligt bestaat uit twee delen. Om met het tweede deel te beginnen, dit deel behandelt de evaluatie van de waterhuishoudkundige maatregelen ten oosten van Schokland. Deze evaluatie is uitgevoerd met behulp van tijdreeksanalyse van grondwaterstandgegevens, een methode die inmiddels gangbaar is. Het eerste deel van dit rapport behandelt de archeologische monitoring Schokland 2003-2004. In dit deel worden de resultaten van het tweede deel meegenomen. Er zijn twee redenen waarom het rapport in twee delen is gesplitst. Ten eerste zijn de methoden en technieken voor archeologische monitoring nog volop in ontwikkeling. Dit betekent dat de tekst van het eerste deel niet alleen aan de kennis over Schokland bij wil dragen, maar ook gezien moet worden als een stap in de ontwikkeling van archeologische monitoring. De tijdreeksanalyse die in het tweede deel wordt toegepast daarentegen is inmiddels voldoende uitgekristalliseerd om het als standaard onderzoek te kunnen typeren. De tweede reden om het rapport in twee delen te splitsen is dat deel I resulteert uit de samenwerking tussen de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek en Paleo Terra. Deel II is gezamenlijk geschreven door Alterra en Paleo Terra. Vanwege deze verschillende samenwerkingsverbanden verschijnt dit rapport in twee versies: als deel 1160 in de serie Alterra-rapporten en als deel 124 in de serie Rapportages Archeologische Monumentenzorg.

Verantwoording en dank

De auteurs zijn dank verschuldigd aan de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek en de provincie Flevoland voor de financiering van het onderzoek. Met het Waterschap Zuiderzeeland is prettig samengewerkt in de vrije uitwisseling van meetgegevens. Het veldwerk voor het onderzoek is uitgevoerd op vier locaties: De Zuidert, P14, E170 en J125. Op deze plaats willen wij de grondeigenaren bedanken die het onderzoek mede mogelijk gemaakt hebben: het Flevolandschap (De Zuidert en P14), Hans Geluk (E170) en Jan-Willem Bos (J125).

Sander Smit, Gerben Mol, Robert van Heeringen

Wageningen, februari 2005

Samenvatting

Ten oosten van Schokland zijn in 2003 waterhuishoudkundige maatregelen getroffen om de freatische grondwaterstand te verhogen. Dit is onder andere gedaan om de archeologische vindplaatsen aldaar beter te conserveren. Het behoud *in situ* van veel archeologische vindplaatsen is namelijk gebaat bij een zuurstofloze omgeving. Zuurstof draagt door oxidatie bij aan de afbraak van archeologische materialen.

In deel I van dit rapport wordt verslag gedaan van het project 'archeologische monitoring Schokland 2003-2004'. Op vier archeologische locaties, P14, De Zuidert, E170 en J125, zijn de freatische grondwaterstand, de redoxpotentiaal en de zuurgraad gedurende een jaar gemonitoord. De geconstateerde verhoging van de freatische grondwaterstanden als gevolg van de waterhuishoudkundige maatregelen (zie deel II) draagt bij aan een beter behoud *in situ* van de vindplaats P14. Ook de beschoeiing aan de voet van De Zuidert zal beter bewaard blijven door het gestegen grondwater. De terp De Zuidert zelf echter lijkt niet te zijn beïnloed door de veranderde waterhuishouding. De grondwaterstandmetingen op E170 en J125 zijn te dicht bij een sloot uitgevoerd; de resultaten hebben daardoor alleen zeggingskracht over een smalle strook nabij de sloten. De redoxpotentiaal loopt meestal in de pas met de grondwaterstand, onder het grondwater is de redoxpotentiaal gunstiger voor de conservering van het archeologische erfgoed dan daarboven. De redoxpotentiaal metingen nuanceren het beeld dat uit de grondwaterstand metingen naar voren komt. Uit de zuurgraad metingen blijkt dat er op dit moment een (niet accuut) gevaar van verzuring dreigt voor de top van De Zuidert en P14-6.

In deel II worden de effecten van de waterhuishoudkundige maatregelen tot nu toe op de freatische grondwaterstand ten oosten van Schokland geëvalueerd. Deze evaluatie is gebaseerd op een serie meetreeksen in 13 peilbuizen. De meeste meetreeksen lopen sinds april 2000 en lopen op het moment van schrijven van deze rapportage nog steeds door. In de evaluatie zijn de gegevens t/m oktober 2004 gebruikt. De metingen uit de periode voor de maatregelen zijn gebruikt om een inschatting van het 'oude' regime te maken. Hiervoor is gebruik gemaakt van tijdreeksanalyse om te komen tot klimaatrepresentatieve berekeningen van de GHG en de GLG. De metingen uit de periode na de maatregelen zijn gebruikt om na te gaan welke wijzigingen tot nu toe zijn opgetreden. De conclusie is dat in de hydrologische zone (het gebied waar een grondwaterstandsverhoging zou moeten plaatsvinden) duidelijk sprake is van een verhoging van de freatische grondwaterstanden. In het agrarische gebied ten oosten van de hydrologische zone is nauwelijks sprake van een wijziging van de grondwaterstanden. De bufferzone die de hydrologische zone scheidt van het agrarische gebied geeft een gemengd beeld te zien, soms verandert er iets en soms ook niet. De gevonden verhoging van de freatische grondwaterstanden in de hydrologische zone draagt bij aan een verbeterde conservering van de daar gelegen archeologische vindplaatsen.

Op basis van de resultaten van deel I en II gezamenlijk wordt geconcludeerd dat moet worden her-overwogen waar in het gebied in te zetten op behoud *in situ*. Soms kan een kleine verandering in het bodemmilieu leiden tot een grote verbetering voor het behoud *in situ*. Soms is alleen met ingrijpende maatregelen een verbetering van de huidige situatie te bereiken. Eventuele inrichtingsmaatregelen moeten zorgvuldig, met gevoel voor het archeologische erfgoed, worden uitgevoerd. Tijdens eventuele inrichtingswerkzaamheden is dagelijkse archeologische begeleiding op locatie aan te bevelen.

Deel I

Archeologische monitoring 2003-2004

Hoofdstuk 1

Inleiding op deel I

1.1 Kader van het onderzoek

In de periode van oktober 2003 tot en met november 2004 is op en rond Schokland een vervolg uitgevoerd op het project 'Monitoring Schokland 2001-2002' waarvan verslag is gedaan in het rapport *A Pilot Study on the Monitoring of the Physical Quality of Three Archaeological Sites at the UNESCO World Heritage Site at Schokland, Province of Flevoland, the Netherlands* [1] (figuur 1.1). Beide onderzoeken moeten gezien worden als pilotprojecten om te komen tot een standaardmethode voor archeologische monitoring (SAM). [2] Het accent van het hier gepresenteerde vervolgproject ligt anders dan in het eerste project. In het eerste project is zowel onderzoek gedaan naar de kwaliteit van archeologische materialen als naar het bodemmilieu van de archeologische vindplaatsen. In het project Schokland 2003-2004 is alleen onderzoek gedaan naar het bodemmilieu. Dit is echter wel wat uitgebreider gebeurd doordat meerdere redox- en pH-metingen zijn gedaan.

Inrichting van de hydrologische zone aan de oostkant van Schokland

De aanleiding tot archeologische monitoring op en rond Schokland is de aanleg van een hydrologische zone aan de oostkant van Schokland (figuur 1.2). Het primaire doel van deze zone is het tegengaan van het wegzakken van Schokland in de ondergrond. Daarnaast is het de bedoeling de degradatie van diverse archeologische vindplaatsen te verminderen. Door het oppervlaktewaterpeil ten oosten van Schokland te verhogen wordt het gebied natter, waardoor de klink en oxidatie van klei en veen zullen verminderen. Hierdoor zal het voormalige eiland Schokland minder snel wegzakken en zullen de archeologische resten minder snel degraderen. Het opzetten van het oppervlaktewaterpeil met deze doelen is een unieke operatie. Er is daarom besloten de veranderingen in de bodem te monitoren, om na te gaan of de beoogde doelen gerealiseerd worden.

[1] Van Heeringen, Mauro & Smit 2004
[2] zie *www.archis.nl*

Figuur 1.1. *De Noordoostpolder, provincie Flevoland, met de ligging van het Werelderfgoedmonument Schokland en omgeving. Schaal 1:250 000.*

Freatisch grondwatermeetnet van het Waterschap Zuiderzeeland in de omgeving van Schokland

Naast het onderzoek waarvan deel I van dit rapport verslag doet, worden de hydrologische veranderingen rond Schokland gevolgd door het Waterschap Zuiderzeeland. Waar de nadruk vanuit de erfgoedzorg ligt op de gevolgen voor archeologische vindplaatsen, ligt de nadruk van de monitoring door het Waterschap Zuiderzeeland op de hydrologische processen. De resultaten van het Waterschap zijn voorlopig neergelegd in de rapporten Anonymus (2004a) en Anonymus (2004b). In het kader van de archeologische monitoring 2003-2004 is een deel van de meetreeksen van het Waterschap in samenhang met de resultaten van de archeologische monitoring nader bestudeerd (zie deel II). De resultaten van deel II worden in de discussie van deel I reeds meegenomen.

Figuur 1.2. *De inrichting van de hydrologische zone aan de oostkant van Schokland*

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het project 'Archeologische monitoring 2003-2004' is tweeledig. Ten eerste is het doel te onderzoeken of er reeds verschillen zichtbaar zijn in de grondwaterstanden op (delen van) de archeologische vindplaatsen 'De Zuidert', 'P14' en 'E170' ten opzichte van de uitgangssituatie van voor het instellen van de hydrologische zone. De achtergrond hiervan is ten eerste de vraag op welke vindplaatsen de hydrologische maatregelen wel of geen effect hebben. Daarnaast is het wellicht mogelijk tussentijdse aanbevelingen te doen ten aanzien van de hydrologische maatregelen. Om deze vragen te beantwoorden worden de resultaten uit deel II van dit rapport meegenomen.

Het tweede doel van dit project is nader onderzoek naar de redoxpotentiaal en zuurgraad op de archeologische vindplaatsen op en rond Schokland. Na analyse van de resultaten van het project 2001-2002 is gebleken dat voor zowel de redoxpotentiaal als de zuurgraad extra gegevens wenselijk zijn omdat hiermee betere uitspraken over de mogelijkheden tot conservering van archeologisch materiaal mogelijk zijn. Ook is er nog een vierde vindplaats aan het projectgebied toegevoegd: 'J125', om zodoende de geografische spreiding van de onderzoeksresultaten te verbeteren.

Hoofdstuk 2

Onderzoeksopzet en methoden

2.1 Inleiding

De archeologische vindplaatsen die in het onderzoek betrokken zijn sluiten aan op de onderzoeks locaties uit 2001-2002. Ook in de periode 2003-2004 zijn de vindplaatsen P14, E170 en De Zuidert onderzocht. Aan deze vindplaatsen is als vierde nog J125 toegevoegd, zowel om de geografische spreiding van vindplaatsen op en rond Schokland te verbeteren als om op een vindplaats te meten buiten de invloed van de hydrologische zone (figuur 2.1). Het gaat om een met rivierduinvindplaats E170 vergelijkbare vindplaats. Het sitedossier van de vindplaats is opgenomen als bijlage 1.

2.2 Rivierduin J125

Tijdens een veldverkenning in 1984 werden een aantal vuurstenen artefacten op een klein rivierduin op de kavels J125 en J126 aangetroffen. In het daaropvolgende jaar is door de Universiteit van Amsterdam (Instituut voor Pre- en Protohistorie) op het hoogste gedeelte van het duin een kleinschalige opgraving uitgevoerd (Hogestijn, 1990). Een aantal met houtskool gevulde sporen zijn geïnterpreteerd als mogelijke haardkuilen. Een ^{14}C-monster leverde een datering op rond de overgang van het Mesolithicum naar het Neolithicum (Swifterbantcultuur?; 6645 ± 40 BP) (Peeters et al., 2004). Rond de kuilen en op de flanken zijn vuurstenen artefacten aangetroffen. Op het diepste punt van de opgravingsput (ca. 5,8 m beneden NAP) werden in het duinzand enkele aardewerkscherven aangetroffen. Het verloop van de afvallagen op de flanken van het duin maakte geen onderdeel van de verkenning uit.

2.3 Meten van de freatische grondwaterstand

Voor het meten van de freatische grondwaterstand zijn op de archeologische vindplaatsen P14, E170 en J125 steeds twee peilbuizen geplaatst (tabel 2.1; figuur 2.2, 2.3 en 2.5). Een deel van het archeologische materiaal ligt steeds in het zand van het duin of de rug, maar een belangrijk deel ligt ook langs de helling en wordt

Figuur 2.1. *Het voormalige eiland Schokland met de begrenzing van het Werelderfgoedmonument. Schaal 1:62 500. De onderzoekslocaties zijn als volgt aangegeven: a dekzandrug P14; b rivierduin E170; c terp De Zuidert; d rivierduin J125.*

Tabel 2.1. *Archeologische monitoring Schokland 2003-2004. Peilbuizen.*

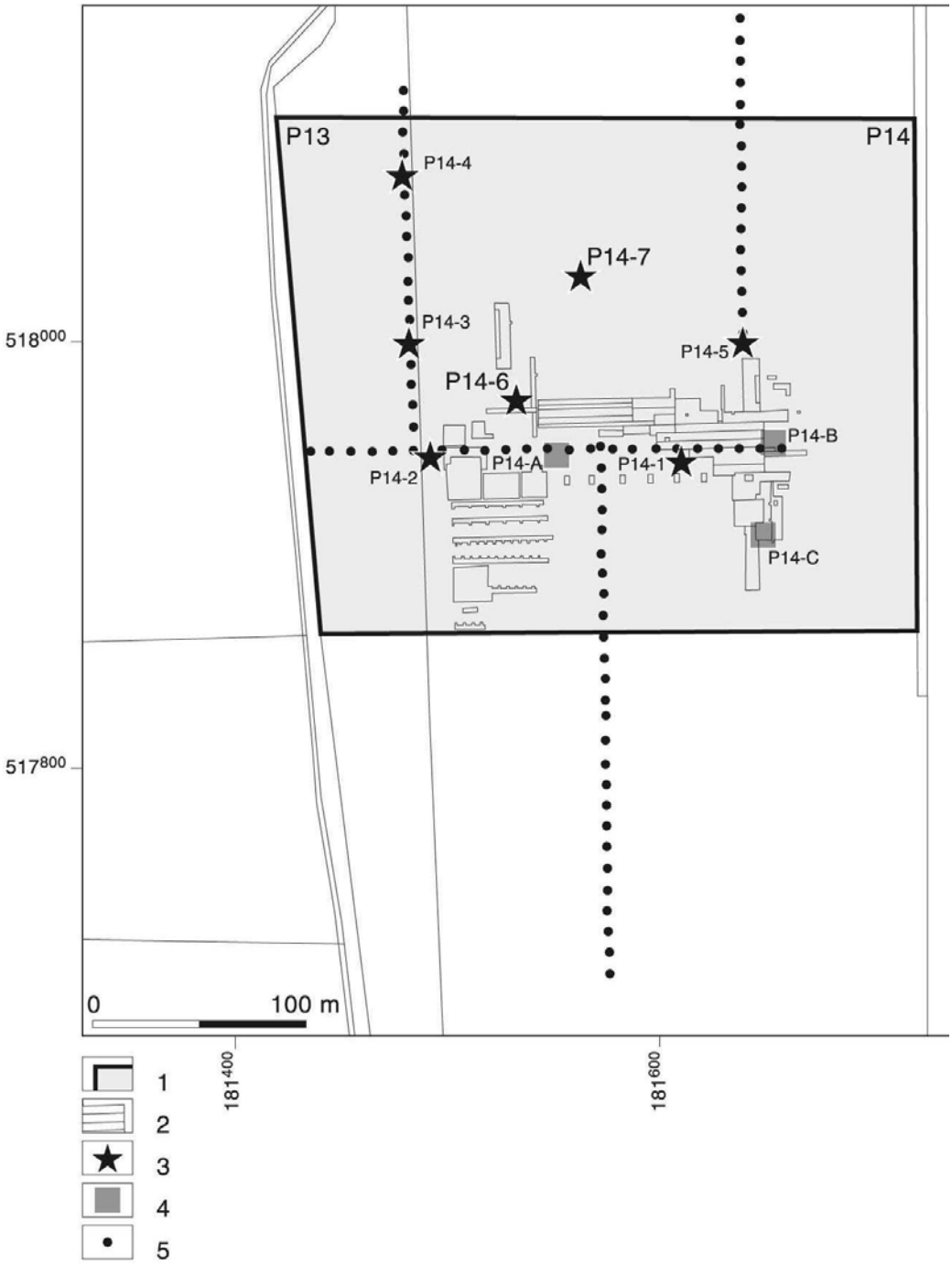
Peilbuis	RD coördinaten X	Y	Maaiveld cm tov NAP	Start metingen	Einde metingen	Diepte filter m onder mv	Afstand tot sloot meter
P14-6	181544,17	517988,78	-233	16/10/2003	01/09/2004	1,00-2,00	46
P14-7	181573,33	518048,78	-319	16/10/2003	29/10/2004	1,10-2,10	>50
E170-5	179830,61	514596,24	-371	16/10/2003	25/11/2004	1,10-2,10	1
E170-6	179830,80	514588,42	-391	16/10/2003	25/11/2004	1,40-2,40	1
DZ-4	181413,86	515731,50	-182	24/11/2003	25/11/2004	1,50-2,50	10
DZ-5	181435,34	515731,65	+39	16/10/2003	25/11/2004	1,80-2,80	n.v.t.
DZ-6	181456,78	515734,67	-257	16/10/2003	25/11/2004	1,10-2,10	8,5
J125-1	180042,42	518934,05	-415	27/11/2003	10/08/2004	0,70-1,70	4
J125-2	180042,73	518830,26	-428	29/11/2003	11/08/2004	1,10-2,10	4

afgedekt door veen- en/of de kleilagen. Gezien de sterk verschillende lithologische samenstelling (zand versus veen en/of klei) kan het conserverend vermogen van beide bodemtypen sterk verschillen. De peilbuizen P14-6, E170-5 en J125-1 zijn derhalve bovenop de rivierduinen geplaatst, terwijl de peilbuizen P14-7, E170-6 en J125-2 steeds op de met veen en/of klei afgedekte flanken gesitueerd.

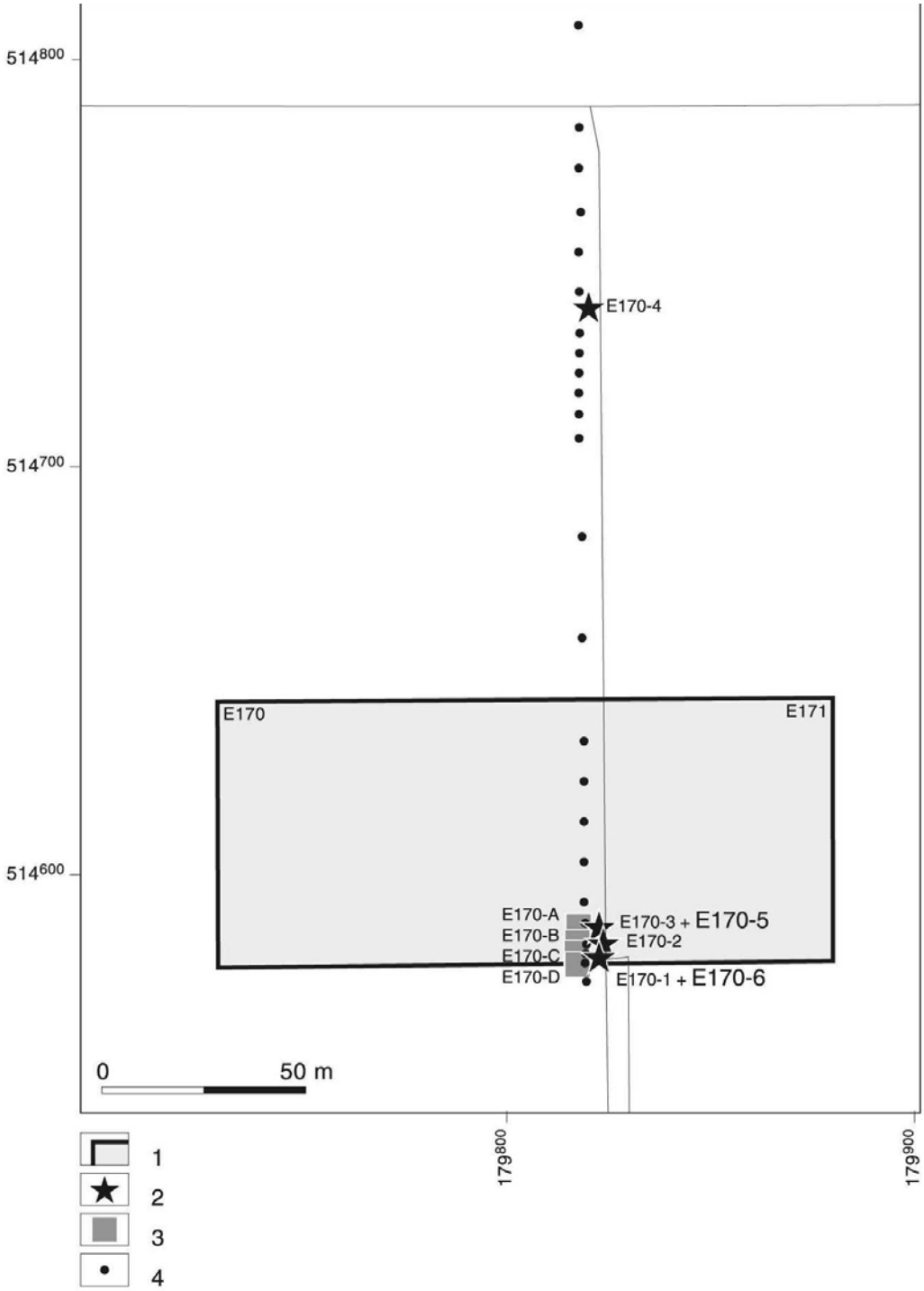
Op locatie De Zuidert zijn drie peilbuizen gezet in de direkte omgeving van de peilbuizen uit het onderzoek in 1999-2002 (figuur 2.4). Peilbuis DZ-4 staat direct naast de eigenlijke terp De Zuidert, óp het voormalige eiland Schokland. Peilbuis DZ-5 staat op ongeveer het hoogste punt van de terp. Peilbuis DZ-6 staat weer direct naast De Zuidert, maar dan naast het voormalige eiland.

Op elk van de genoemde locaties is een peilbuis geplaatst om de freatische grondwaterstand te monitoren (figuur 2.6). De filters van de peilbuizen zijn tamelijk ondiep geplaatst, maar wel zo diep dat ze naar verwachting niet droog zouden vallen tijdens een periode met een lage grondwaterstand. Op deze manier kan de freatische grondwaterstand bepaald worden. Wanneer de filters van peilbuizen op grotere diepte (bijvoorbeeld vijf meter onder maaiveld) worden geplaatst bestaat de kans dat niet de freatische grondwaterstand, maar de regionale grondwaterstand, wordt gemeten. Voor de conservering van archeologische vindplaatsen is juist de freatische grondwaterstand van belang omdat die bepaalt of er al dan geen water in de bovenste bodemlagen aanwezig is. De exacte dieptes ten opzichte van maaiveld waarop de peilbuisfilters zijn geplaatst, zijn gegeven in tabel 2.1. De lengte van de filters zelf is steeds één meter.

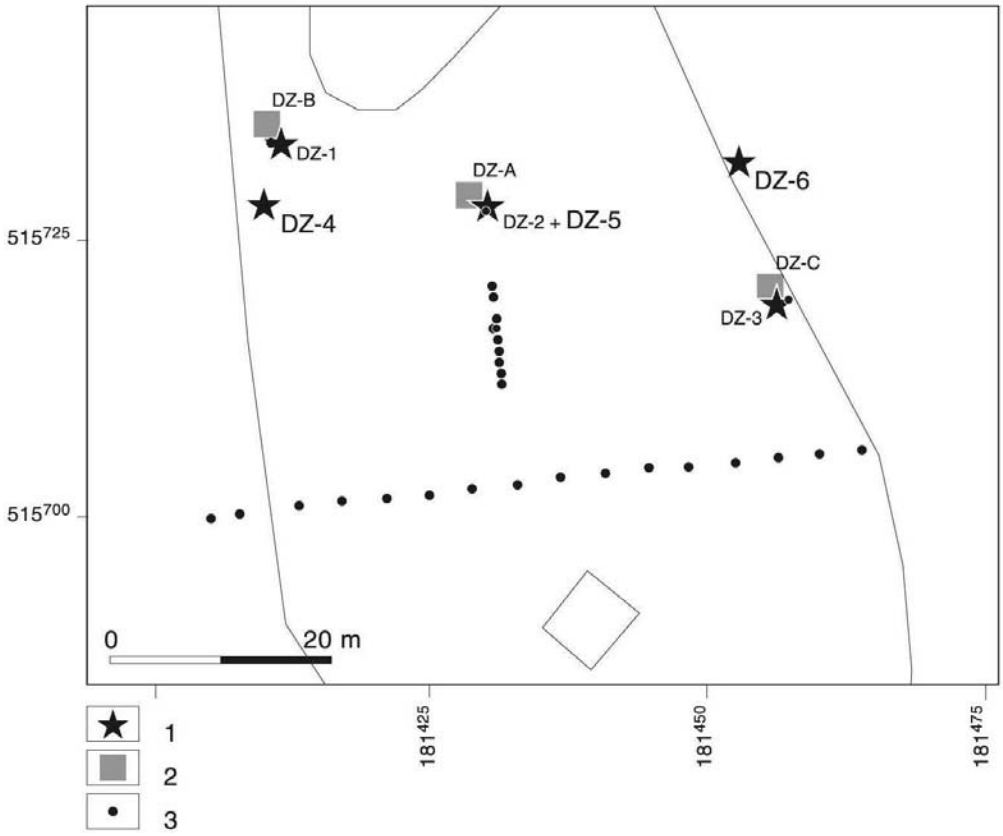
Voor de interpretatie van de gevonden freatische grondwaterstanden is het van belang de afstand van de peilbuizen tot de dichtstbijzijnde sloot te weten. Deze zijn in het veld gemeten en worden in tabel 2.1 weergegeven. De peilbuizen op J125 en vooral E170 staan dicht naast een sloot. Dit is niet een ideale situatie, maar de plaatsing nabij een sloot was een voorwaarde van de landeigenaren. Door de peilbuizen nabij een sloot te plaatsen ondervindt de eigenaar nauwelijks hinder tijdens agrarische werkzaamheden. Het nadeel van plaatsing dicht bij een sloot is dat het effect van de sloot op de freatische grondwaterstand (te) groot kan zijn. Uit de resultaten zal blijken of dat op E170 en/of J125 het geval is geweest. De peilbuizen op J125 mochten bovendien pas geplaatst worden na de periode van landbewerking in het najaar van 2003 en zijn verwijderd direct voorafgaand aan de aardappeloogst in 2004. De peilbuizen op P14 en De Zuidert zijn op de voor dit onderzoek meest ideale plaatsen gezet. Op De Zuidert was dit geheel zonder risico, omdat de terp al lange tijd als grasland wordt onderhouden. Op P14 was de situatie iets minder



Figuur 2.2. *Dekzandrugvindplaats P14. Locatie van de peilbuizen 6 en 7 (2003-2004) ten opzichte van eerder onderzoek (1999-2002) (Van Heeringen* et al.*, figuur 15). Legenda: 1 monument; 2 opgravingsputten (1982-1990); 3 peilbuis; 4 bodemprofiel en archeo-monsters; 5 boring.*



Figuur 2.3. *Rivierduinvindplaats E170. Locatie van de peilbuizen 5 en 6 (2003-2004) ten opzichte van eerder onderzoek (1999-2002) (Van Heeringen* et al. *2004, figuur 16). Legenda: 1 monument; 2 peilbuis; 3 bodemprofiel en archeo-monsters; 4 boring.*

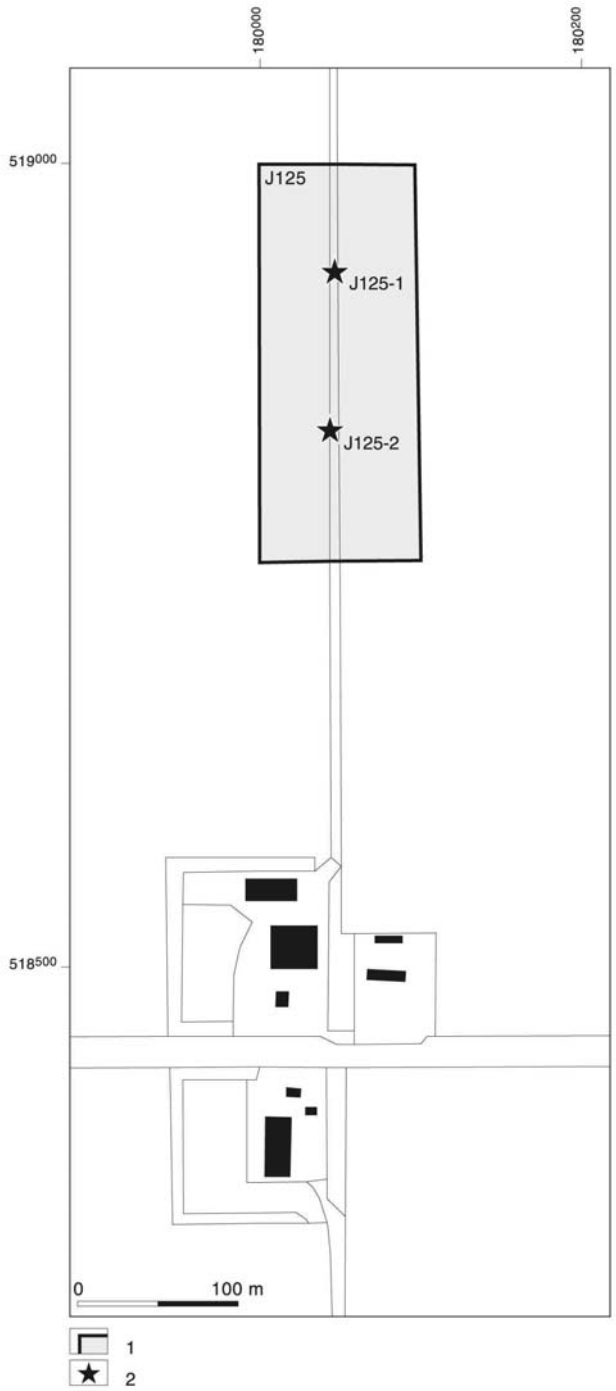


Figuur 2.4. *Terp De Zuidert. Locatie van de peilbuizen 4, 5 en 6 (2003-2004) ten opzichte van eerder onderzoek (1999-2002) (Van Heeringen* et al. *2004, figuur 17). Legenda: 1 peilbuis; 2 bodemprofiel en archeo-monsters ; 3 boring.*

duidelijk, omdat het perceel recent opnieuw is/wordt ingericht. Onverwacht maaien van een deel van het perceel heeft er toe geleid dat beide peilbuizen vlak voor het einde van de onderzoeksperiode kapot zijn gegaan. De gegevens van P14 zijn dus van een iets kortere periode. De exacte periodes waarover grondwaterstanden zijn verkregen zijn vermeld in tabel 2.1. In elk van de peilbuizen is gedurende de meetperiode vier maal per dag de grondwaterstand gemeten. Een deel van de peilbuizen was uitgerust met een diver, een deel met een minitroll (figuur 2.7). Beide apparaten meten en registreren volautomatisch de waterstand in een peilbuis. Er zijn gedurende de meetperiodes geen storingen opgetreden.

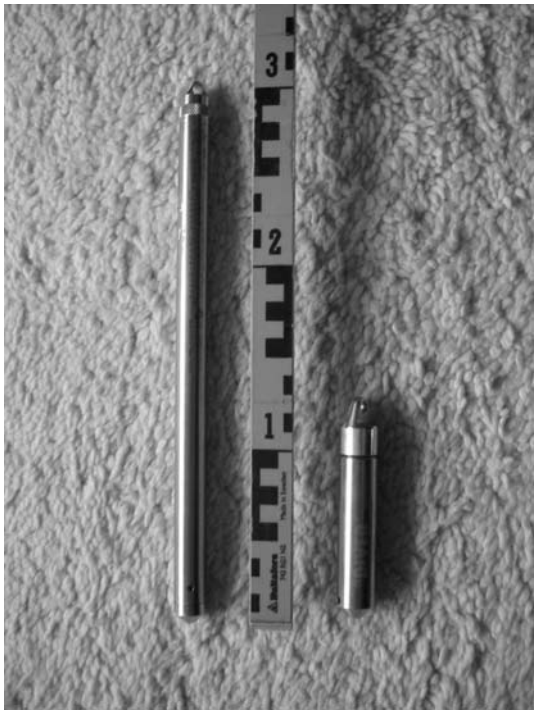
2.4 Bodemprofielen

Voor de beschrijving van de bodemprofielen op E170 en De Zuidert is gebruik gemaakt van de meest nabij gelegen locaties van het onderzoek in 1999-2002 (zie figuur 2.3 en 2.4). Op de locaties J125 en P14 is het bodemprofiel bechreven tijdens het



Figuur 2.5. *Rivierduinvindplaats J125. Locatie van de peilbuizen 1 en 2 (2003-2004). Legenda: 1 monument; 2 peilbuis en bodemprofiel.*

Figuur 2.6. *Het plaatsen van een peilbuis. Links staat een peilbuis klaar naast het voorgeboorde gat. Van de peilbuis is alleen het filtergedeelte in beeld dat bestaat uit een geperforeerde buis met daaromheen filtergrind en een filterkous. In het midden is het filter bijna geheel in de bodem geplaatst. Bovenop het filter is een dichte buis geschroefd. Rechts is de peilbuis geheel geplaatst. Het overgebleven gat in de grond is opgevuld met bentoniet-korrels om te voorkomen dat er (regen)water langs de peilbuis naar het filter lekt.*



Figuur 2.7. *Divers en minitrolls registeren volautomatisch de grondwaterstand in een peilbuis. Links van de meetlat een minitroll, 30 cm lang. Rechts van de meetlat een diver, ruim 10 cm lang en iets dikker dan de minitroll.*

plaatsen van de peilbuizen in 2003: bodemprofiel J125-1, J125-2, P14-6 en P14-7. In de grafische weergave van de meetresultaten in bijlage 2 zijn de bodemprofielen aan de rechterkant van de figuren opgenomen. Voor de exacte beschrijvingen van de bodemprofielen op De Zuidert en E170 wordt verwezen naar Van Heeringen *et al.* (2004). De beschrijvingen van de bodemprofielen J125-1 en J125-2 zijn opgenomen in het site-dossier van J125 (bijlage 1). De beschrijvingen van de bodemprofielen P14-6 en P14-7 zijn opgenomen na de grafische weergaven van de resultaten van P14-6 en P14-7 in bijlage 2.

De bodemprofielen zijn beschreven aan de hand van edelmanboringen voor de bovenste meter van de bodem en aan de hand van gutsboringen voor het diepere deel. Alleen op de terp De Zuidert (nabij peilbuis DZ-5) is een groter deel van het profiel aan de hand van edelmanboringen beschreven (tijdens het onderzoek in 1999-2002).

2.5 Meten van de redoxpotentiaal en de zuurgraad

Redoxpotentiaal

De redoxpotentiaal is een maat voor de oxiderende kracht van het bodemmilieu. Hoe hoger de redoxpotentiaal is, des te sneller archeologische materialen kunnen oxideren (bijvoorbeeld het roesten van ijzer en het rotten van organische materialen). De redoxpotentiaal is gemeten door een prikstok in stapjes van in het algemeen 10 centimeter tot een diepte van meestal 1,10 meter in de bodem te duwen. Deze prikstok is gedurende het monitoring project Schokland experimenteel gebruikt: de prikstok was in de onderzoeksperiode nog in ontwikkeling [1]. Eén keer zijn als experiment de redoxpotentialen ook tot een diepte van 1,90 meter bepaald. Onderaan de prikstok is een platina sensor gemonteerd waarmee de redoxpotentiaal van de bodem ten opzichte van een referentie-elektrode kan worden gemeten. De metingen zijn met een handmatige millivoltmeter uitgelezen. De meetresultaten zijn steeds redoxpotentialen ten opzichte van een calomel referentie-elektrode. Het is in het veld slechts mogelijk de redoxpotentiaal op ongeveer 25 tot 50 millivolt nauwkeurig te meten. Om deze reden worden de resultaten in dit rapport alleen gepresenteerd in klassen. De meetresultaten zijn eerst gecorrigeerd voor de potentiaal van de referentie-elektrode. De aldus verkregen redoxpotentialen van de bodem kunnen variren tussen -400 en +800 millivolt. Deze potentialen zijn in tien gelijke klassen van 1 t/m 10 verdeeld (zie tabel 2.2). Klasse 1 staat voor een sterk oxiderend milieu (redoxpotentiaal van +680 tot +800 mV), hetgeen op slechte omstandigheden voor behoud *in situ* duidt. Klasse 10 staat voor een sterk gereduceerd milieu (redoxpotentiaal van -400 tot -281 mV). Een dergelijk milieu is zeer geschikt voor het behoud van archeologische materialen. De redoxpotentiaal op de monitoringpunten is gedurende de gehele periode 11 keer bepaald: op 10 november 2003, 7 januari 2004, 19 februari 2004, 13 maart 2004, 27 april 2004, 7 juni 2004, 14/21 juli 2004, 1 september 2004, 2 oktober 2004, 29 oktober 2004 en 25 november 2004.

[1] Senter project TSA02102 'Ontwikkeling van een instrument om pH, Eh (en O_2) in de onverzadigde zone van de bodem te meten'.

Tabel 2.2. *Indeling van de redoxpotentiaal in klassen*

Redoxpotentiaal (mV SHE)	Redox klasse	Omschrijving
+ 680 - + 800	1	sterk oxiderend
+ 560 - + 679	2	sterk oxiderend
+ 440 - + 559	3	tamelijk oxiderend
+ 320 - + 439	4	tamelijk oxiderend
+ 200 - + 319	5	licht oxiderend
+ 80 - + 199	6	licht oxiderend
- 40 - + 79	7	licht reducerend
- 160 - - 41	8	tamelijk reducerend
- 280 - - 161	9	sterk reducerend
- 400 - - 281	10	sterk reducerend

Zuurgraad

Eénmalig gedurende de monitoring periode is op alle monitoringpunten de bodem per tien centimeter diepte bemonsterd tot één meter onder maaiveld. Van deze monsters is de zuurgraad (pH-$CaCl_2$ in een 1:5 v/v extract) bepaald. Voor de bepaling van de pH in het laboratorium zijn de monsters gedurende twee dagen koel (4 $°C$) bewaard. De bepaling van de pH-$CaCl_2$ in een 1:5 v/v extract werkt in het kort als volgt: neem 3 ml grond en voeg daaraan 15 ml 0,01M $CaCl_2$ toe; schud gedurende 8 tot 16 uur; meet de zuurgraad met een pH-elektrode in de bezinkende suspensie. Er is gekozen voor de pH-$CaCl_2$ omdat deze meting de zuurgraad in de bodem het dichtst benadert. Ten opzichte van twee andere gangbare meet-methodes valt de pH-$CaCl_2$ meestal iets zuurder uit dan de pH-H_2O, maar iets minder zuur dan de pH-KCl.

2.6 Freatische grondwaterstanden voor en na de aanleg van de hydrologische zone

Voorafgaand aan de inrichting van de hydrologische zone ten oosten van Schokland heeft het Waterschap Zuiderzeeland het bestaande freatische grondwaterpeil intensief bemeten. Rondom Schokland zijn er in de periode 1997-2003 via in totaal 40 peilbuizen grondwaterstandreeksen verzameld. De lengte van de meeste meetreeksen is ongeveer drie jaar. Een overzicht van de metingen is gegeven in Anonymus (2004a). Deze resultaten (tot 1 juni 2003) vormen in feite de nul-situatie, dat wil zeggen een overzicht van de geldende grondwaterstanden voor de aanleg van de hydrologische zone.

Om het effect van de hydrologische zone te kunnen evalueren moet de nul-situatie worden vergeleken met grondwaterstanden die worden gemeten na de aanleg van de hydrologische zone.[2] Dit is niet zonder meer mogelijk, omdat de meteorologische omstandigheden ten tijde van de grondwaterstandmetingen van invloed zijn

[2]Deze vergelijking is het onderwerp van deel II van dit rapport. Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van de methode die voor de vergelijking van de grondwaterstanden is gebruikt.

op het verkregen beeld. In een periode met veel neerslag worden vanzelfsprekend hogere grondwaterstanden gemeten dan in een periode met weinig neerslag. Om een goede vergelijking van de situatie voor en na de aanleg van de hydrologische zone mogelijk te maken, zijn langjarige kengetallen van de grondwaterstanden nodig. In de praktijk worden hiervoor de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en eventueel ook de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) gebruikt. Deze kengetallen zijn gebaseerd op meetreeksen van minimaal acht jaar lang. Het is daarom niet zonder meer mogelijk goede kengetallen van de grondwaterstanden rond Schokland te geven op basis van de meestal driejarige meetreeksen.

Gelukkig bestaat er een methode om uit grondwaterstand meetreeksen van minimaal drie jaar goede kengetallen (GLG, GHG, GVG) te berekenen: tijdreeksanalyse (TRA). Naast de grondwaterstand meetreeksen zijn hiervoor metingen van de neerslag en verdamping nodig. Ook is een voorwaarde dat het hydrologische regime tijdens de meetperiode niet is veranderd. Door middel van TRA zijn de grondwatermetingen van het waterschap geanalyseerd en gebruikt om meerjarige voorspellingen te maken. Uit deze voorspellingen zijn de GHG en de GLG berekend voor het grondwatersysteem voorafgaand aan de waterhuishoudkundige ingrepen.

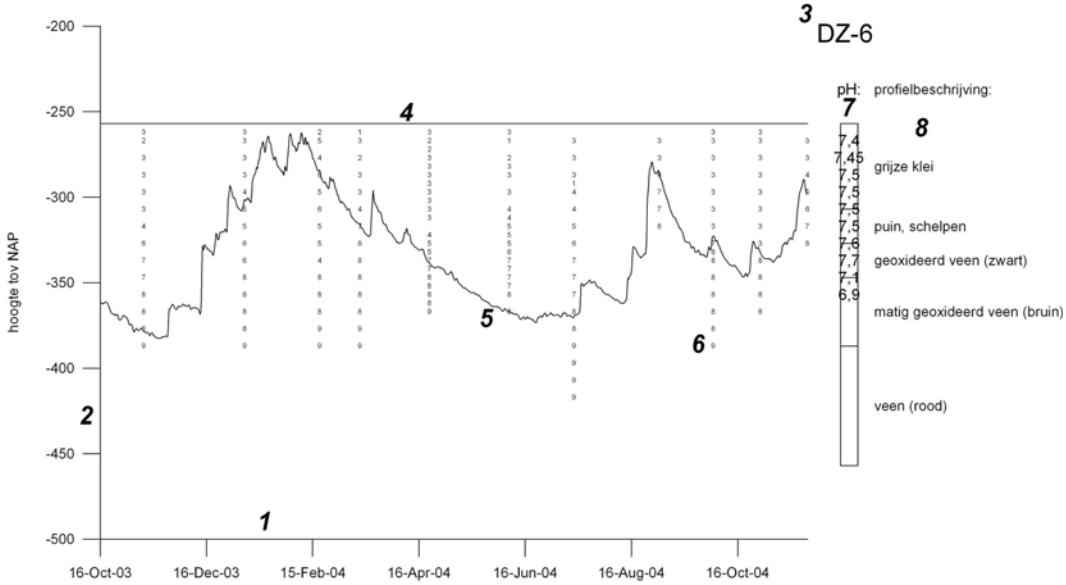
Ook na de inrichting van de hydrologische zone gaat het waterschap - nog steeds - door met het meten van de freatische grondwaterstand. Een eerste overzicht van de metingen is gegeven in Anonymus (2004b). Voor de periode vanaf juni 2003 kan nog geen GHG en GLG berekend worden om twee redenen. Ten eerste is de meetperiode sinds de inrichting van de hydrologische zone nog niet lang genoeg. Ten tweede is het hydrologische regime nog niet constant. Om te voorkomen dat er riet zou gaan groeien direct na de aanleg van de hydrologische zone is het grondwater na de eerste winter bewust lager gehouden. Op deze manier krijgt het ingezaaide gras de kans om een dichte mat te vormen. Pas wanneer de bedekking met gras voldoende dicht is om de groei van riet tegen te gaan kan het grondwater verder verhoogd worden (mond. meded. Riet Rijs, Flevolandschap).

Hoofdstuk 3

Resultaten en discussie

3.1 Presentatie van de meetresultaten

Een overzicht van alle meetresultaten is opgenomen in bijlage 2. Figuur 3.1 toont de grafische vorm waarin de meetresultaten zijn weergegeven. De wat groter gedrukte cijfers 1 t/m 8 in dit voorbeeld corresponderen met de hierna volgende uitleg.



Figuur 3.1. *Voorbeeld van de grafische presentatie van de meetresultaten.*

De meetresultaten zijn weergegeven in een assenstelsel met op de x-as (1) het verloop van de tijd (van 16 oktober 2003 t/m 25 november 2004) en op de y-as (2) de hoogte in centimeters ten opzichte van NAP. De schaal van de x-as is voor alle figuren in bijlage 2 dezelfde, de schaal van de y-as varieert per figuur. In de rechtbovenhoek van elke figuur (3) staat de naam van het betreffende monitoringpunt. De hoogte van het maaiveld ter plaatse is weergegeven als een lijn bovenin de figuur (4). In dit voorbeeld is de hoogte van het maaiveld dus ongeveer 2,55 m beneden NAP (de

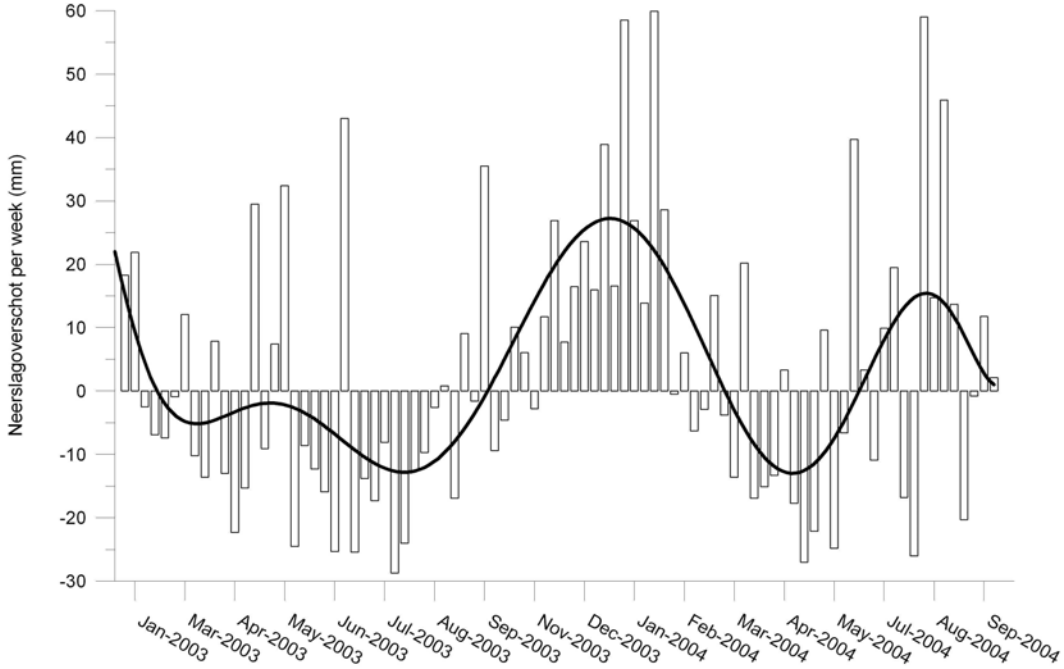
exacte waarde is gegeven in tabel 2.1). Als functie van de tijd zijn in de figuur het verloop van de freatische grondwaterstand (5) en de redoxpotentiaal-metingen (6) gegeven. De freatische grondwaterstand is steeds vier keer per dag gemeten, dus de resultaten kunnen als een continue lijn worden getekend. De redoxpotentiaal-metingen zijn gedurende het project 11 keer verricht; het rijtje metingen bij (6) bijvoorbeeld vertegenwoordigt de metingen van 2 oktober 2004. Op die dag is de redoxpotentiaal op 15 verschillende dieptes gemeten, vanaf vlak onder het maaiveld tot iets boven 4,00 m onder NAP. De getallen (een 3 net onder maaiveld, een 9 direct naast de verwijzing (6)) geven de redoxpotentiaal klasse die is gemeten. Vlak onder maaiveld geldt dus redoxpotentiaal klasse 3 (een oxiderend milieu), op bijna 4,00 m onder NAP is de redoxpotentiaal op 2 oktober 2004 klasse 9 (een reducerend milieu). Uit de combinatie van de weergaven van de grondwaterstand en de redoxpotentiaalklassen is bijvoorbeeld af te lezen dat de redoxpotentiaal vaak een sprong laat zien ter hoogte van de grondwaterstand. Als laatste worden aan de rechterkant van de figuren met meetresultaten het bodemprofiel (8) en de gemeten pH's (7) weergegeven. Ook voor de bodemprofielen en pH-waarden geldt de y-as met hoogtes ten opzichte van NAP aan de linkerkant van de figuren. De pH-waarden staan in de schematische kolom van de bodemlagen die onder (8) worden beschreven. Op deze manier is de samenhang tussen bodemlagen en pH goed zichtbaar. De bodemlagen worden beschreven naast de kolom met de indeling in lagen. Een vergelijking van het bodemprofiel met het grondwaterstandverloop laat zien dat de oxidatie toestand van het veen kan worden verklaard uit de huidige grondwaterstanden en redoxpotentialen.

3.2 Neerslag en verdamping januari 2003 - oktober 2004

De gegevens van neerslag en verdamping in de monitoringperiode zijn verkregen van de KNMI meetstations Emmeloord (neerslag) en Lelystad (verdamping) (figuur 3.2). De interpretatie van de gemeten freatische grondwaterstanden wordt bemoeilijkt door het grote meteorologische verschil tussen 2003 en 2004. Het voorjaar en de zomer van 2003 waren extreem droog (in de periode 10 februari 2003 - 22 september 2003 een totaal neerslagtekort van 219 mm; de droogste zomer sinds 1901). De droge periode in 2004 is juist heel kort (23 maart 2004 - 18 juni 2004; neerslagtekort 138 mm) en wordt gevolgd door een natte zomer (18 juni 2004 - eind augustus 2004; neerslagoverschot 170 mm).

3.3 Freatische grondwaterstanden voor en na de aanleg van de hydrologische zone

In deel II van dit rapport is de vergelijking van de freatische grondwaterstanden voor en na de aanleg van de hydrologische zone uitgewerkt. Het resultaat is samengevat in tabel 3.1 (deze tabel is identiek aan tabel 8.1 in deel II).



Figuur 3.2. *Neerslagoverschot in de periode januari 2003 t/m oktober 2004. De staven geven het wekelijks neerslagoverschot of tekort. De dikke lijn geeft schematisch de trend over de gehele periode.*

Tabel 3.1. *Resultaten van de vergelijkingen van de freatische grondwaterstand rond Schokland voor en na 1 juni 2003. *: GHG lijkt meer verhoogd dan de GLG.*

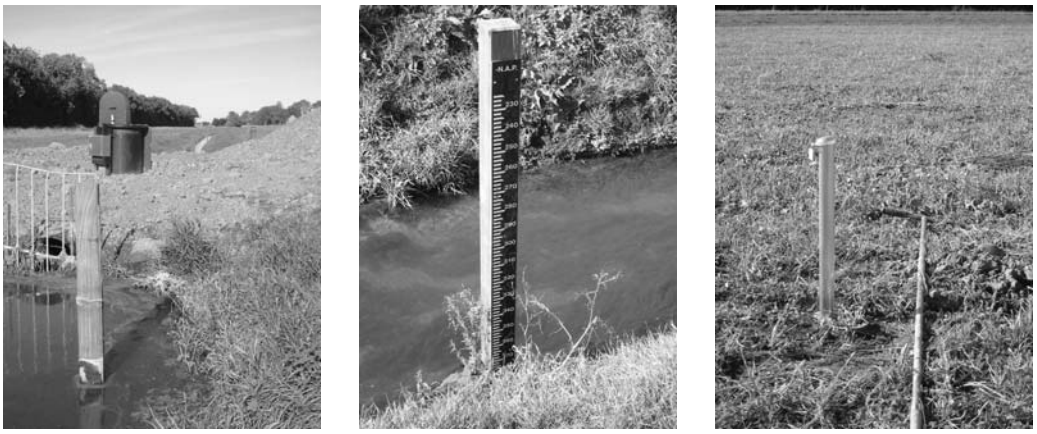
Peilbuis	Grondwaterstand 2003/2004 t.o.v. GLG voor 1 juni 2003	Grondwaterstand 2003/2004 t.o.v. GHG voor 1 juni 2003
Hydrologische zone		
PB002	hoger	hoger*
P14-6	hoger	hoger
P14-7	hoger	hoger
DZ-6	hoger	hoger
Bufferzone		
PB001	geen verandering	geen verandering
PB003	hoger	hoger*
PB005	lager	geen verandering
PB007	lager	hoger
Agrarisch gebied		
PB004	geen verandering	geen verandering
PB008	geen verandering	geen verandering
PB009	lager	geen verandering

Er is duidelijk verschil te zien tussen de hydrologische zone, de bufferzone en het agrarische gebied. De zonering lijkt te functioneren zoals bedoeld: verhoogde freatische grondwaterstanden in de hydrologische zone, een gevarieerd beeld in de bufferzone, en vrijwel onveranderde standen in het aangrenzende agrarische gebied.

3.4 Pleistocene rug P14

Freatische grondwaterstand

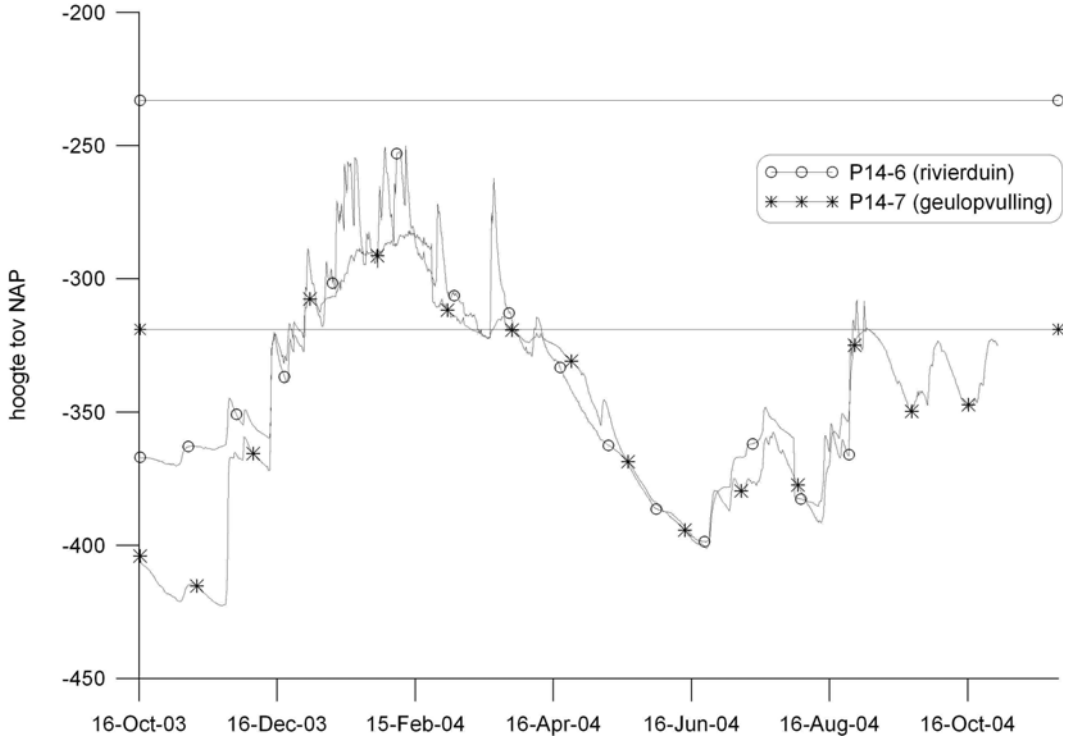
Op locatie P14 is de freatische grondwaterstand in twee peilbuizen gemeten. Peilbuis P14-6 is geplaatst midden op het rivierduin dat ter plaatse bijna dagzoomt. Peilbuis P14-7 is geplaatst in de sedimenten (klei en veen) waarmee de aangrenzende voormalige arm van de Vecht is opgevuld. Tijdens de periode van het onderzoek was de inrichting van de hydrologische zone in de omgeving van P14 in volle gang (figuur 3.3). Om deze reden zijn de peilbuizen op P14 niet afgewerkt met de soms moeilijk zichtbare putjes zoals op De Zuidert, maar met duidelijk zichtbare metalen peilbuiskokers.



Figuur 3.3. *De inrichting van de hydrologische zone nabij locatie P14. Links een pomphuis op een dam. Het slootpeil voor de pomp is hoger dan daarna. In de sloot zijn peilschalen geplaatst. Om te voorkomen dat de peilbuizen tijdens het werk aan de hydrologische zone worden beschadigd, zijn ze duidelijk zichtbaar afgewerkt met metalen kokers.*

Tijdens het inrichten van de hydrologische zone hebben de metalen kokers hun nut bewezen. De peilbuizen zijn onbeschadigd door de periode van werkzaamheden gekomen. Echter, in het najaar van 2004 zijn de peilbuizen alsnog gesneuveld tijdens (onverwachte) maaiwerkzaamheden. Ondanks dat een cirkel van een meter rondom de peilbuiskokers maandelijks vrij gemaakt is, zijn de kokers niet opgemerkt tijdens het maaien. Wellicht was een afwerking met putjes op P14 toch beter geweest.

In figuur 3.4 is het verloop van de grondwaterstand op monitoringpunt P14-6 (pleistocene rug, zand) en P14-7 (geulopvulling, klei en veen) weergegeven. De peilbuizen zijn op deze twee punten geplaatst omdat de verwachting is dat de grondwaterstand zich er verschillend zal gedragen, met name in de zomer. In de zomer verdampt er meer water dan er in de vorm van neerslag valt. Als gevolg daarvan zal de grondwaterstand dalen. Afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem, de afstand tot oppervlaktewater en het peil van dat oppervlaktewater, wordt het grondwater aangevuld. De verwachting is dat dit op P14-6 sneller gaat dan op P14-7. De ondergrond van P14-6 is immers veel doorlatender (zand) dan de bodem bij P14-7 (klei en veen). De snellere aanvulling van het grondwater op P14-6 zou te zien moeten zijn in de vorm van een minder ver dalende grondwaterstand in de zomer. In figuur 3.4 is te zien dat de grondwaterstand op monitoringpunt P14-7 in november 2003 ongeveer 50 cm lager is dan de stand op P14-6. Dit is in lijn met de verwachting dat de aanvulling van het grondwater sneller verloopt door de zandige ondergrond



Figuur 3.4. *Maaiveldhoogtes (rechte lijnen) en freatische grondwaterstanden P14.*

van P14-6 dan door de klei/venige ondergrond van P14-7. Maar, in 2004 daalt het grondwaterpeil op P14-6 even snel als dat op P14-7. De vraag nu is wat dit verschil met de situatie eind 2003 veroorzaakt. Er zijn verschillende mogelijke oorzaken:

1. Alleen vanwege de extreme droogte in 2003 is er een verschil ontstaan tussen P14-6 en P14-7;
2. Bij de aanleg van de hydrologische zone is eind 2003 / begin 2004 het slootpeil in de nabije omgeving verhoogd, waardoor er vanaf 2004 geen verschil in grondwaterpeil tussen P14-6 en P14-7 meer zal ontstaan;
3. In de winter van 2003 is er als gevolg van de hydrologische zone veel water op het maaiveld bij P14-7 blijven staan (het peil in de peilbuis staat tot boven het maaiveld), waardoor de uitdroging van het profiel bij P14-7 later begint en minder effect op de grondwaterstand heeft;
4. De droge periode van 2004 was van korte duur, waardoor er geen verschil tussen P14-6 en P14-7 heeft kunnen ontstaan.

Het is dus vooralsnog onduidelijk of er in de situatie na de aanleg van de hydrologische zone een verschil bestaat tot het verloop van de grondwaterstand op P14-6 en P14-7. Een langere periode van monitoring is noodzakelijk om uitsluitsel te kunnen geven.

Redoxpotentiaal

De gemeten redoxpotentialen op P14-6 zijn volledig afhankelijk van de stand van het grondwater. Boven het grondwater is de bodem steeds tamelijk oxiderend (redox klasse 3). Onder het grondwater is de bodem licht oxiderend tot licht reducerend (klasse 4 tot 7). Het meeste archeologische materiaal rond P14-6 bevindt zich op een diepte van maximaal 80 cm onder maaiveld (Van Heeringen et al., 2004). Zelfs in het natte jaar 2004, met reeds hogere slootpeilen dan in 2003, stond het grondwater het grootste deel van het jaar onder dit niveau. Dit betekent dat al het archeologische materiaal rond P14-6 degradeert door oxidatie. Wanneer het grondwater rond P14-6 opgehoogd zou worden tot een niveau waarbij een aanzienlijk deel van het archeologische materiaal onder het grondwater komt te liggen, zou de omgeving van P14-7 permanent blank komen te staan. Het maaiveld rond P14-7 ligt ruim 80 cm lager dan het maaiveld rond P14-6. Ook op P14-7 varieert de redoxpotentiaal voornamelijk met de stand van het grondwater, klasse 1-3 boven het grondwater en klasse 4-8 onder het grondwater. Het archeologische materiaal, dat vanaf een diepte van 40 cm onder maaiveld voorkomt, lag een aanzienlijk deel van 2004 onder de grondwaterspiegel, dus voornamelijk in een licht reducerend tot reducerend milieu. Wellicht is het met weinig extra inspanningen mogelijk het grondwaterpeil nog iets te verhogen zodat het archeologische materiaal daar permanent onder het grondwater komt te liggen. Om het grondwater ook in de zomer op een voldoende hoog niveau te houden is het waarschijnlijk nodig het land te irrigeren. Op sommige plaatsen in de hydrologische zone zijn daartoe al wel pompen geplaatst, maar nog niet in gebruik gesteld. Jammer is het dat de drainage op P14 reeds buiten werking is gesteld, anders had deze kunnen worden gebruikt om via de ondergrond te irrigeren.

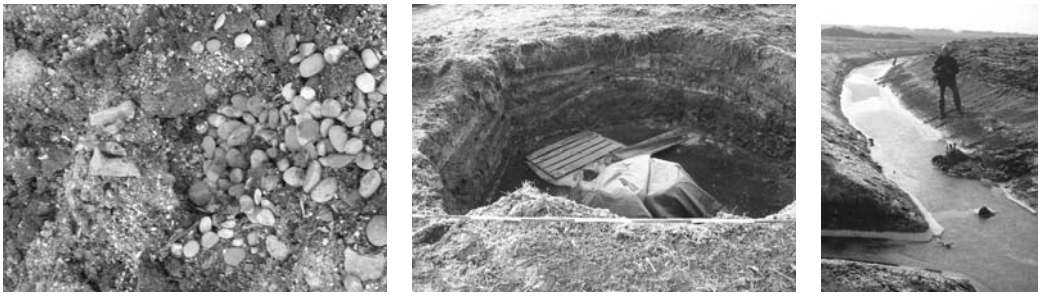
Zuurgraad

De zuurgraad op P14-6 varieert van pH 7,1 in de bouwvoor tot pH 7,4-7,5 vanaf ongeveer 25 cm onder maaiveld. Het lijkt er dus op dat de bouwvoor rond P14-6 aan verzuring onderhevig is. Wanneer dit het geval is, kan het archeologische materiaal op P14-6 in gevaar komen. Het zal zeker enige tijd duren voordat de eventuele verzuring het archeologisch interessante niveau van 45 cm onder maaiveld en dieper bereikt. Wel is het aan te bevelen over vijf jaar een eventuele voortgang van de verzuring te meten. Op P14-7 varieert de zuurgraad van pH 6,5-7 in de bouwvoor tot pH 3,5-6 in het onderliggende veen met de archeologische resten. Deze resten hebben altijd in een zuur milieu gelegen, waardoor materiaal dat daar niet goed tegen kan reeds gedegradeerd zal zijn. Het zure milieu vormt hier dus geen bedreiging voor verdere aantasting.

Conclusie

Op P14-6 is geconstateerd dat het archeologische materiaal aan oxidatie onderhevig is, ook in het natte jaar 2004, na de inrichting van de hydrologische zone. Bovendien bestaat hier op langere termijn het gevaar van verzuring. De vraag dringt zich op of op dit punt behoud *in situ* een optie is zonder drastische inrichtingsmaatregelen die verder gaan dan de huidige hydrologische zone. Een verdere verhoging van de grondwaterstand op dit punt is noodzakelijk om behoud *in situ* werkelijk mogelijk

te maken. Gezien de relatief hoge ligging van dit punt zou dit betekenen dat de omgeving van P14-6 geheel onder water zou komen te staan, tenzij er maatregelen worden getroffen zoals het aanleggen van extra dijkjes en/of damwanden. Wanneer tot dergelijke maatregelen zou worden besloten is een gedegen archeologische begeleiding van het werk noodzakelijk. Steeds dient de vraag gesteld te worden of het voordeel van de inrichtingsmaatregelen opweegt tegen de schade die vaak onvermijdelijk lijkt (figuur 3.5). Rond P14-7 is behoud *in situ* eenvoudiger te bereiken. De situatie was in 2004 al veel gunstiger dan de situatie rond P14-6. Wellicht is hier eenvoudig te bereiken dat het grondwaterpeil in de zomer nog iets hoger blijft dan in 2004 het geval was. Mogelijk wordt dit doel reeds gerealiseerd wanneer de voorgenomen verdere verhoging van het waterpeil wordt doorgezet.[1] Behoud van het archeologische materiaal ter plaatse is dan zeer kansrijk, te meer ook omdat er geen gevaar voor verzuring bestaat.



Figuur 3.5. *Schade als gevolg van het inrichten van Schokland en omgeving. Van links naar rechts: bot bij een met grind gevuld boorgat ter ontwatering; ontgraving om een waterput (in het midden, afgedekt met een zeil) te restaureren; twee beschoeiingspalen blootgelegd bij het afschuinen van een talud.*

3.5 Rivierduin E170

Freatische grondwaterstand

De twee peilbuizen E170-5 en E170-6 zijn op verzoek van de landeigenaar op 1 m van de sloot geplaatst. Het is bekend dat dit niet de optimale plaatsing van een peilbuis is, maar de hoop was toch enige informatie over de grondwaterstand op deze locaties te verkrijgen. Wat betreft E170 zijn de resultaten interessant in vergelijking met de meetresultaten van eind 2000, begin 2001. In laatstgenoemde periode zijn op E170 bijzondere grondwaterstanden gevonden: nabij E170-A rond 4,60 m onder NAP en tegelijkertijd nabij E170-B rond 5,20 m onder NAP. Deze peilen zijn toen uitzonderlijk genoemd. De metingen gedurende 2003-2004 bevestigen dat de toenmalige situatie inderdaad bijzonder was. In 2003-2004 zijn geen grondwaterstanden dieper dan 4,95 m onder NAP gevonden.

[1] Om te voorkomen dat er riet zou gaan groeien direct na de aanleg van de hydrologische zone is het grondwater na de eerste winter bewust lager gehouden. Op deze manier krijgt het ingezaaide gras de kans om een dichte mat te vormen. Pas wanneer de bedekking met gras voldoende dicht is om de groei van riet tegen te gaan, wordt het grondwater verder verhoogd (mond. meded. Riet Rijs, Flevolandschap).

Redoxpotentiaal

De redoxpotentiaalmetingen reiken niet diep genoeg om te zien hoe de situatie onder de grondwaterstand zich ontwikkelt. Boven het grondwater is in elk geval duidelijk dat het milieu steeds tamelijk oxiderend is. Opvallend is dat in het vorige monitoring onderzoek op basis van materiaalonderzoek is geconcludeerd dat de degradatie van archeologisch materiaal op E170 tot ongeveer 75 cm onder maaiveld voorkomt. Dit is frappant gezien het nu gemeten tamelijk oxiderende bodemmilieu tot 100 cm onder maaiveld. Een mogelijke verklaring is dat de zichtbare degradatie van het archeologische materiaal achterloopt op het front tot waar oxiderende omstandigheden in de bodem voorkomen. Dit zou betekenen dat de degradatie van vindplaats E170 nog altijd voortschrijdt, althans nabij de slootkant.

Zuurgraad

Voor verzuring hoeft op E170 voorlopig niet gevreesd te worden. De gemeten waarden zijn steeds ruim boven pH 7. Alleen op monitoringpunt E170-B is de bodem zuur vanaf ongeveer 50 cm onder maaiveld; het profiel bestaat hier uit veen en is dus altijd zuur geweest.

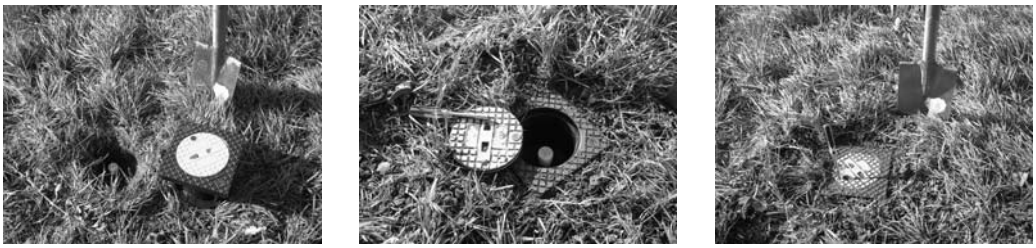
Conclusie

Over vindplaats E170 is weinig nieuwe informatie verzameld sinds het monitoringonderzoek 1999-2002. Wel staat vast dat de vindplaats tot zeker 5 meter landinwaarts vanuit de slootkanten kan degraderen door oxidatie.

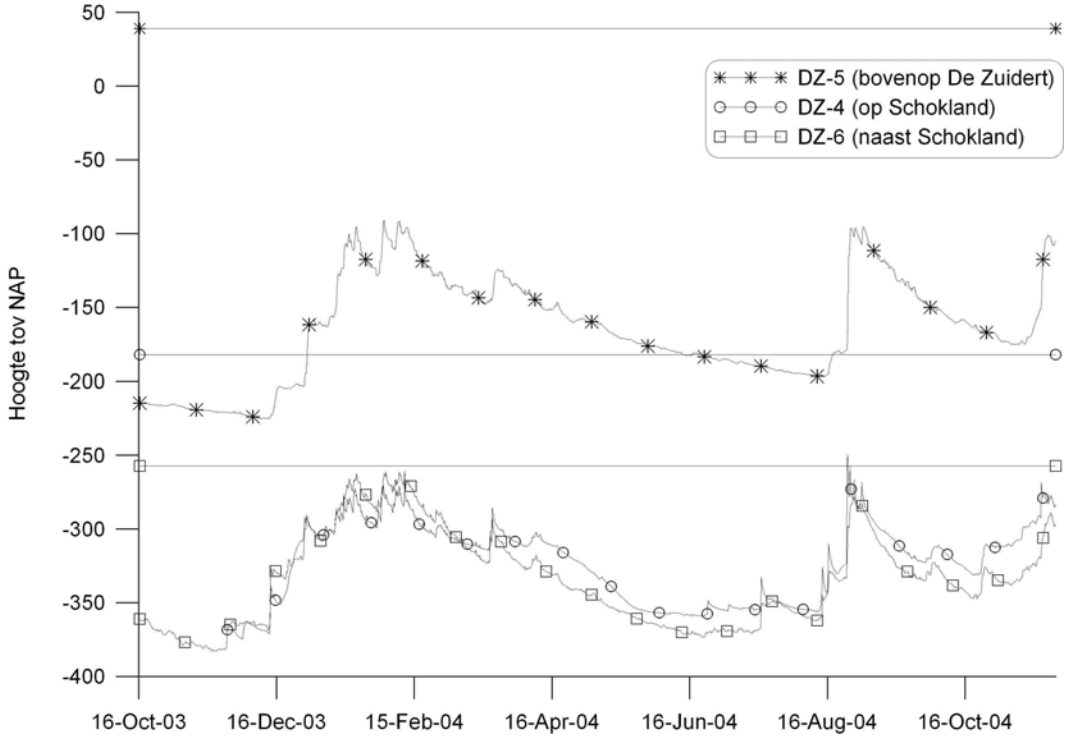
3.6 Terp De Zuidert

Freatische grondwaterstand

Bij De Zuidert zijn drie peilbuizen geplaatst: één peilbuis naast De Zuidert op het voormalige eiland Schokland (hoogte maaiveld 1,82 m onder NAP), één peilbuis bovenop De Zuidert (hoogte maaiveld 0,39 m NAP) en één peilbuis naast De Zuidert naast Schokland (hoogte maaiveld 2,57 m onder NAP) (figuur 3.6). De gemeten grondwaterstanden zijn gegeven in figuur 3.7.



Figuur 3.6. *De peilbuizen op De Zuidert zijn afgewerkt door een putje te plaatsen. Maaien is mogelijk zonder beschadigingen aan de peilbuizen. De putjes zijn evenwel in het veld vaak lastig terug te vinden.*



Figuur 3.7. *Maaiveldhoogtes (rechte lijnen) en freatische grondwaterstanden De Zuidert.*

Het verloop van de grondwaterstand op Schokland (DZ-4) komt vrijwel overeen met de grondwaterstand naast Schokland (DZ-6). Het maximale hoogteverschil tussen beide grondwaterstanden bedraagt ongeveer 25 cm. Dit is opvallend gezien het verschil in maaiveldhoogte van 75 cm, èn het feit dat de terp De Zuidert tussen beide peilbuizen in ligt. De grondwaterstand in de peilbuis bovenop De Zuidert zelf (DZ-5) is aanmerkelijk hoger dan de grondwaterstanden direct naast De Zuidert. Het grondwater in De Zuidert staat altijd hoger dan het maaiveld naast Schokland, en vaak ook hoger dan het maaiveld van Schokland zelf. Gezien tot slot het bodemprofiel van De Zuidert ter hoogte van de diepst voorkomende grondwaterstanden op DZ-5 (een afwisseling van klei- en veenlaagjes, zie DZ-5 in bijlage 2) is het waarschijnlijk dat het grondwater in De Zuidert zich tamelijk onafhankelijk van de omgeving gedraagt. Het lijkt er sterk op dat er een schijngrondwaterspiegel bestaat op slecht doorlatende klei- en veenlaagjes. Onder De Zuidert heerst wellicht dezelfde grondwaterstand als bij DZ-4 en DZ-6 is waargenomen. Op basis hiervan wordt voorzichtig geconcludeerd dat de inrichting van de hydrologische zone ten oosten van Schokland geen merkbaar effect op de waterhuishouding van De Zuidert heeft. Hetzelfde zal waarschijnlijk gelden voor De Middelbuurt, net als De Zuidert een terp op Schokland (figuur 3.8).

Redoxpotentiaal

De metingen van de redoxpotentiaal nabij peilbuis DZ-5 zijn eenduidig. Er blijkt duidelijk dat het milieu van de bovenste meter van de terp het hele jaar door tamelijk oxiderend is (redoxpotentiaal klasse 3 à 4). Helaas kunnen er geen uitspraken

Figuur 3.8. *De Zuidert gezien vanaf de rand van Schokland. De bomen op De Zuidert zijn inmiddels verwijderd om aantasting door doorworteling en uitdroging te voorkomen.*

over een grotere diepte gedaan worden om te zien wat de invloed van de schijngrondwaterstand op de redoxpotentiaal is. Op het moment van onderzoek was er slechts éénmalig een redoxpotentiaal prikstok beschikbaar langer dan 1,20 meter. Op het moment van meten met deze 2 meter lange prikstok stond het grondwater dieper dan deze 2 meter. Ook bij peilbuis DZ-4 (op Schokland) is de bovenste meter van de bodem het hele jaar door tamelijk oxiderend (voornamelijk redoxpotentiaal klasse 3). Door de aanwezigheid van veel hard materiaal in de ondergrond (bakstenen?) zijn de metingen niet altijd even compleet en is het niet gelukt de langere prikstok in te zetten. Bij peilbuis DZ-6 (naast Schokland, direct naast De Zuidert) is de bodem oxiderend tot tamelijk oxiderend tot 60 cm onder maaiveld (redoxpotentiaal klasse 1-4). Wanneer de grondwaterspiegel tot in deze laag stijgt, daalt de redoxpotentiaal tot licht reducerend (klasse 6-7). Tussen 60 cm en 110 cm diepte varieert de redoxpotentiaal door het jaar heen van klasse 5 tot 8, zonder duidelijk verband met de hoogte van de grondwaterstand. In juli 2004 is de bodem reducerender dan in januari 2004, terwijl het grondwater juist in januari hoger staat. Wellicht is de verklaring dat er in januari veel infiltratie van zuurstofhoudend regenwater is, terwijl er in juli veel gereduceerd water capillair opstijgt. Dieper dan 110 cm is de bodem sterk gereduceerd (klasse 8-9). Deze sterk reducerende omstandigheden zijn waarschijnlijk te danken aan het veen dat permanent onder de grondwaterspiegel ligt. Voor zo diep als de redoxpotentiaal metingen reikten op DZ-4 en DZ-5 is het milieu het gehele jaar oxiderend. Op DZ-6 zijn de omstandigheden voor behoud *in situ* zeer gunstig vanaf ongeveer 110 cm onder maaiveld. De bodem is daar het hele jaar door sterk gereduceerd (figuur 3.9).

Figuur 3.9. *Tijdens het graven van een sloot in het kader van de aanleg van de hydrologische zone is deze houten beschoeiingspaal uit de grond gekomen. De paal lag net naast Schokland ter hoogte van De Zuidert, nabij peilbuis DZ-6. De kansen op behoud van andere palen in de omgeving zijn groot, zeker voor het deel dat dieper dan één meter onder maaiveld zit, gezien de sterk reducerende omstandigheden in de bodem ter plaatse.*

Zuurgraad

Nabij peilbuislocaties DZ-4, DZ-5 en DZ-6 is de zuurgraad van de bodem gemeten tot een diepte van 1 meter onder maaiveld. Op punt DZ-4 is de pH over het gehele profiel ± 7,5. Op punt DZ-6 is de pH over het gehele profiel ± 7,4 tot op de diepte waar de klei overgaat in veen. De conclusie is dat op deze beide punten de zuurgraad waarschijnlijk goed wordt gebufferd door kalk (behalve natuurlijk in het veen, dat van nature zuur is) en dat de zuurgraad de komende tijd dus waarschijnlijk niet zal veranderen. Op punt DZ-5 is de zuurgraad vanaf 40 cm diepte ± 7,5 en dus waarschijnlijk kalk-gebufferd, maar helemaal bovenin het profiel is de zuurgraad nu 7,2. Dit zou kunnen duiden op het begin van verzuring van de terp, maar dit kan pas worden vastgesteld door over een aantal jaren opnieuw te meten. Bovendien is het mogelijk dat er toevallig is gemeten op een punt waar de zuurgraad iets lager is dan vlak ernaast. Door de buffering met kalk zijn er rond De Zuidert in de nabije toekomst nauwelijks veranderingen in de zuurgraad te verwachten. Dit is gunstig voor het behoud van archeologische materialen, een stabiele zuurgraad bevordert in het algemeen het behoud. De bovenste laag van de terp De Zuidert is misschien reeds licht aan het verzuren. Het is verstandig hier over bijvoorbeeld vijf jaar opnieuw de zuurgraad te meten omdat eventuele verdere verzuring van de terp tot aanzienlijke schade aan het bodemarchief kan leiden, zeker gezien de aanwezigheid van metalen voorwerpen in de terp (in het archeologische monitoringonderzoek 1999-2002 is een munt opgeboord).

Conclusie

De waterhuishoudkundige maatregelen hebben hoogstwaarschijnlijk geen effect op het grondwater in de terp De Zuidert. De bovenste meter van de terp is het hele jaar door tamelijk oxiderend; diepere metingen zijn niet verricht. Waarschijnlijk wordt de zuurgraad van de gehele terp en omgeving gebufferd door kalk. Wellicht raakt de bovenste 40 cm van de terp ontkalkt, hetgeen een bedreiging zou zijn voor bijvoorbeeld de metalen voorwerpen in de terp. Nieuwe pH metingen over bijvoorbeeld 5 jaar worden aanbevolen om eventuele verdergaande ontkalking tijdig op te merken.

Aan de voet van de terp (bij peilbuis DZ-6) is de bodem een groot deel van het jaar gereduceerd, en vanaf ongeveer 1 meter diepte zelfs permanent gereduceerd. Dit is gunstig voor het behoud van de houten beschoeiingspalen die op deze plaats

in de bodem zitten. Het zou goed zijn wanneer de grondwaterspiegel in de zomer nog hoger zou kunnen worden, om een werkelijk goede conservering van de palen en andere materialen te bewerkstelligen.

3.7 Rivierduin J125

Freatische grondwaterstand

De peilbuizen op de vindplaats J125 zijn in overleg met de landeigenaar op vier meter van de sloot geplaatst. Het moge duidelijk zijn dat dit niet de optimale plaatsing van een peilbuis is, maar de hoop was toch enige informatie over de grondwaterstand op deze locatie te verkrijgen. Uit de figuren in bijlage 2 blijkt dat deze hoop ongegrond was. Er zijn geen waardevolle meetresultaten verkregen.

Redoxpotentiaal

De redoxpotentiaalmetingen op J125 reiken niet diep genoeg om te zien hoe de situatie onder de grondwaterstand zich ontwikkelt. Boven het grondwater is in elk geval duidelijk dat het milieu steeds tamelijk oxiderend is.

Zuurgraad

De gemeten pH-waarden zijn steeds ruim boven pH 7. Voor verzuring hoeft op deze locatie voorlopig niet gevreesd te worden.

Conclusie

Geconcludeerd moet worden dat er over J125 weinig informatie is verzameld. Wel staat vast dat de vindplaats tot zeker vijf meter landinwaarts vanuit de slootkanten degradeert door oxidatie.

Hoofdstuk 4

Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn allereerst de meest opvallende conclusies uit het voorgaande hoofdstuk op een rijtje gezet. Op basis van deze conclusies worden een aantal aanbevelingen gedaan voor het toekomstige beheer van Schokland en de hydrologische zone.

De inrichting van de hydrologische zone ten oosten van Schokland heeft waarschijnlijk geen merkbaar effect op de waterhuishouding van het hogere deel van De Zuidert (DZ-5). Hetzelfde zal waarschijnlijk gelden voor De Middelbuurt, net als De Zuidert een terp op Schokland.

Op monitoringpunt DZ-6, de voet van De Zuidert, zijn de omstandigheden voor behoud *in situ* zeer gunstig vanaf ongeveer 110 cm onder maaiveld. De bodem is daar het gehele jaar sterk gereduceerd. De situatie tussen het maaiveld en 110 cm diepte is minder eenduidig. In de winter staat het grondwater dan wel hoger, maar is de redoxpotentiaal minder gunstig dan in de zomer. Wellicht is er in de winter sprake van infiltratie met zuurstofrijke neerslag.

Door de buffering met kalk zijn er in de nabije toekomst nauwelijks veranderingen in de zuurgraad rond De Zuidert te verwachten. Alleen de bovenste laag van de terp De Zuidert is misschien reeds licht aan het verzuren. Ditzelfde geldt voor P14-6. Verzuring vormt in eerste instantie een bedreiging voor eventueel aanwezige metalen voorwerpen, en in iets mindere mate voor bot. Eventuele verzuring van De Zuidert is dus ernstiger dan P14, omdat op De Zuidert zeker metalen voorwerpen aanwezig zijn en op P14 hoogst waarschijnlijk niet.

De kansen op behoud *in situ* in de situatie van 2004 zijn klein rond P14-6, maar groot rond P14-7. Om behoud rond P14-6 mogelijk te maken zijn ingrijpende maatregelen nodig. Eventuele inrichtingswerken moeten wel zorgvuldig worden uitgevoerd. Rond P14-7 kan in elk geval goed worden ingezet op behoud *in situ*. Een kleine extra verhoging van het grondwaterpeil ten opzichte van 2004 kan leiden tot een zeer gunstig milieu voor behoud.

De bodem op de locaties E170 en J125 binnen enkele meters van een sloot is oxiderend tot zeker een meter onder maaiveld. Op E170 is enkele jaren geleden aangetoond dat het archeologische materiaal nabij de sloot degradeert tot zeker 75 cm diepte (Van Heeringen et al., 2004). Onduidelijk is tot hoe ver van de sloot dit effect reikt. Het conserverend vermogen van de bodem is in elk geval nabij de sloten

gering. Een belangenafweging tussen het agrarisch en het archeologisch belang zou op deze vindplaatsen gemaakt moeten worden. Vanuit het archeologisch belang zijn technische ingrepen zoals het omleggen van sloten en/of het plaatselijk verwijderen van drainage voorstelbaar.

Monitoringpunten binnen tien meter van een sloot verschaffen alleen inzicht in het bodemmilieu op zeer korte afstand (maximaal enkele meters) van de monitoring punten. Om informatie over een groter gebied dat ook verder van de sloot af ligt te verzamelen is het noodzakelijk de peilbuizen op meer dan tien meter afstand van die sloot te plaatsen.

De belangrijkste aanbeveling naar aanleiding van de monitoring Schokland 2003-2004 is dat er op basis van de huidige inzichten zou moeten worden her-overwogen waar in het gebied moet worden ingezet op behoud *in situ*. Op sommige punten zijn de kansen hiervoor groot (bijvoorbeeld rond P14-7) en kunnen kleine veranderingen leiden tot een grote verbetering van het bodemmilieu. Op andere plaatsen (bijvoorbeeld rond P14-6) is alleen met ingrijpende maatregelen een verbetering van de huidige (matige) situatie te bereiken. Eventuele inrichtingswerkzaamheden moeten wel zorgvuldig, met gevoel voor het archeologische erfgoed, worden uitgevoerd. Tijdens eventuele inrichtingswerkzaamheden is dagelijkse archeologische begeleiding op locatie aan te bevelen.

Een aantal praktische aanbevelingen tot slot ten aanzien van de inrichting van de hydrologische zone zijn de volgende:

1. Een verhoging van het grondwaterpeil rond P14-7 zodanig dat het peil nooit onder 3,60 m onder NAP komt.
2. Meting van de zuurgraad van de top van De Zuidert en rond P14-6 over ongeveer vijf jaar om na te gaan of er verzuring optreedt. In geval van beginnende verzuring is het aan te bevelen deze te stoppen door bijvoorbeeld bekalking.
3. Daar waar archeologische vindplaatsen niet onder het grondwater bewaard kunnen worden, ook na eventuele nieuwe inrichtingswerkzaamheden, moet op zijn minst worden overwogen de delen die binnen vijf meter van een sloot en ondieper dan het oppervlaktewaterpeil in de sloot liggen op te graven.

Deel II

Een evaluatie van de waterhuishoudkundige maatregelen

Hoofdstuk 5

Inleiding op deel II

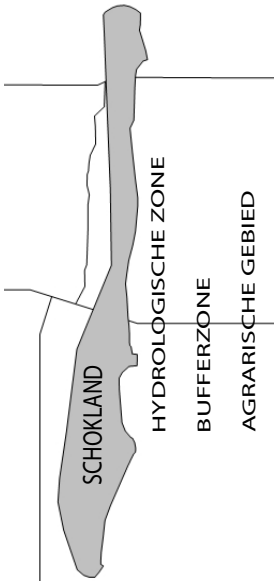
Het voormalige eiland Schokland is in 1995 op de werelderfgoedlijst van UNESCO geplaatst. De plaatsing op de werelderfgoedlijst is gebaseerd op 'de uitzonderlijke universele waarde van het integrale cultuurlandschap, waarvan de aanwezige zichtbare en onzichtbare archeologische, bouwhistorische en historisch-geografische elementen samen met de geomorfologie en de natuur deel uitmaken'.

Op initiatief van de provincie Flevoland is in 1996 het Gebiedsgericht Project Schokland gestart. De doelen van dit project zijn:

1. Het verder beschermen van de cultuurhistorische waarden.
2. Het verbeteren van de waterhuishouding, gericht op zowel het agrarisch gebruik als op de natuur en archeologische waarden.
3. Het versterken van de lokale agrarische en toeristische economie.

In het kader van het Gebiedsgericht Project Schokland zijn waterhuishoudkundige ingrepen uitgevoerd volgens de peilbesluiten 'Schokland en omgeving' en 'Schokland-Noord'. De waterhuishoudkundige ingrepen moeten leiden tot het ontstaan van twee zones: een hydrologische zone direct ten oosten van Schokland en een bufferzone tussen de hydrologische zone en het in agrarisch gebruik blijvende aangrenzende gebied (figuur 5.1). Het freatische grondwaterpeil in de hydrologische zone moet duidelijk hoger liggen dan het vroegere peil. Op deze manier wordt het 'wegzakken' van Schokland in de ondergrond verminderd en blijft het eiland zichtbaar in de polder. Daarnaast is het de bedoeling door de hogere grondwaterstand de degradatie van diverse archeologische vindplaatsen te verminderen. De bufferzone vormt de overgang tussen de hydrologische zone en het agrarische gebied. Deze zone is bedoeld om eventuele negatieve effecten van de hydrologische zone op percelen die in agrarisch gebruik blijven te minimaliseren. Op 1 juni 2003 is het nieuwe waterhuishoudkundige regime rond Schokland ingegaan.

Om de effecten van de waterhuishoudkundige ingrepen te kunnen beoordelen functioneert sinds april 2000 een meetnet van freatische grondwaterpeilbuizen van het waterschap Zuiderzeeland (Anonymus 2004a en 2004b). Aanvullend is in de periode oktober 2003 - november 2004 door Paleo Terra ook op de archeologische vindplaatsen E170, De Zuidert, P14 en J125 de freatische grondwaterstand gemeten.



Figuur 5.1. *Schokland met schematisch de hydrologische zone, de bufferzone en het aangrenzende agrarische gebied. Zie voor meer detail: Van Heeringen* et al. *2004, figuur 3*

In dit deel van het rapport worden de resultaten van de waterhuishoudkundige ingrepen voor het eerst geëvalueerd. Door de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek is aan Paleo Terra de opdracht verstrekt de door het waterschap en Paleo Terra gemeten grondwaterstanden te onderzoeken en te evalueren vanuit het perspectief van het behoud *in situ* van de archeologische vindplaatsen op en rond Schokland. Deze opdracht is als samenwerking tussen Paleo Terra en Alterra uitgevoerd.

De doelstelling van dit deel van het rapport is het beantwoorden van de volgende vraag:

Welke verschillen in de (gemeten) freatische grondwaterstanden rond Schokland zijn zichtbaar tussen de periodes voor en na de waterhuishoudkundige ingrepen (voor en na 1 juni 2003)?

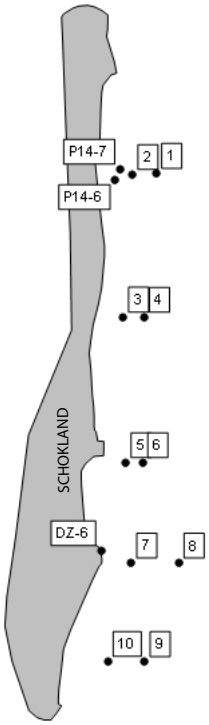
In opdracht van het Waterschap Zuiderzeeland is recent ook door de Grontmij onderzoek gedaan naar de effecten van de waterhuishoudkundige ingrepen.[1] Gotjé & Wendt berekenen met behulp van een hydrologisch model grondwaterstanden voor een gebied op en rondom Schokland. Ons onderzoek richt zich op een nauwkeurige vergelijking van de peilen op een beperkt aantal locaties, waaronder de archeologische vindplaats P14.

[1] Gotjé en Wendt 2005

Hoofdstuk 6

Aanpak

Vanwege de beschikbare middelen is ons onderzoek beperkt tot de gebieden die het meest direct door de waterhuishoudkundige ingrepen zijn beïnvloed. Van het waterschap Zuiderzeeland zijn de peilbuizen PB001 t/m PB010 onderzocht, van Paleo Terra de peilbuizen DZ-6 en P14-6 en P14-7. De locaties en kenmerken van deze peilbuizen zijn weergegeven in figuur 6.1 en tabel 6.1.



Figuur 6.1. *Ligging van de onderzochte peilbuizen.*

Om een goede indruk te krijgen van het effect van de waterhuishoudkundige ingrepen op het regime in de verschillende gebieden rond Schokland is allereerst een

Tabel 6.1. *Overzicht van de onderzochte peilbuizen.*

Peilbuis	RD coördinaten X	Y	Maaiveld cm tov NAP	Start metingen	Einde metingen	Ligging in zone
PB001	181794	518024	-306	06/04/2000		buffer
PB002	181649	518017	-277	06/04/2000		hydrologische
PB003	181592	517152	-316	06/04/2000		buffer
PB004	181719	517151	-293	06/04/2000		agrarisch gebied
PB005	181607	516269	-286	01/12/2000		buffer
PB006	181709	516270	-257	02/12/2000	29/06/2004	agrarisch gebied
PB007	181642	515661	-306	06/04/2000		buffer
PB008	181930	515660	-241	06/04/2000		agrarisch gebied
PB009	181723	515063	-308	01/12/2000		agrarisch gebied
PB010	181498	515064	-287	27/07/2000	25/02/2003	grens hydrol./buffer
DZ-6	181457	515735	-257	16/10/2003	25/11/2004	nabij hydrologische
P14-6	181544	517989	-233	16/10/2003	01/09/2004	hydrologische
P14-7	181573	518049	-319	16/10/2003	29/10/2004	hydrologische

goede inschatting nodig van het regime dat bestond voor de ingrepen. Hiervoor zijn dagelijkse metingen in de tien peilbuizen van het waterschap beschikbaar uit de periode april 2000 tot en met mei 2003. Deze meetreeksen kunnen worden gebruikt om de gemiddelde hoogste grondwaterstand en de gemiddelde laagste grondwaterstand uit te rekenen. Met deze GHG en GLG (samen GxG) kan worden nagegaan of de meetreeksen die in dezelfde buizen zijn verzameld na de ingrepen van 1 juni 2003 een verandering in het grondwaterregime te zien geven.

Het zonder meer bepalen van de GxG uit een relatief korte meetreeks (in dit geval drie jaar) is erg gevoelig voor toevallige omstandigheden zoals extreem droge of natte jaren. Omdat in de praktijk veelal toch moet worden gewerkt met reeksen van enkele jaren en niet van enkele tientallen jaren is door Alterra recentelijk een methode ontwikkeld om te komen tot zogenaamde klimaatrepresentatieve GxG's op basis van relatief korte meetreeksen (Finke, 2000; Finke et al., 2002). Deze methode gebruikt tijdreeksmodellen die per peilbuis de samenhang tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand beschrijven. Deze tijdreeksmodellen worden gekalibreerd op basis van de voor de peilbuizen beschikbare meetreeksen en de bijbehorende neerslag- en verdampingsgegevens. Deze gekalibreerde modellen worden vervolgens gebruikt om op basis van reeksen van neerslagoverschotten die door het KNMI gedurende tenminste dertig jaar zijn verzameld per peilbuis grondwaterstandreeksen te simuleren. Uit deze gesimuleerde grondwaterstandreeksen van dertig jaar kunnen onder andere klimaatrepresentatieve GxG's worden berekend (Knotters en van Walsum, 1994).

Uit een analyse van Knotters en Bierkens (1999) blijkt dat reeksen van vier tot acht jaar meestal lang genoeg zijn om de samenhang tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand te kunnen modelleren, en dat ook reeksen van drie jaar in veel situaties nog voldoen. De reeksen die in deze studie zijn gebruikt bestaan uit dagelijkse metingen gedurende ongeveer drie jaar (april 2000 - mei 2003). Zij blijken goed te voldoen voor het kalibreren van de tijdreeksmodellen. Het modelleren van de tijdreeksen voor de peilbuizen PB001 t/m PB010 is gedaan met het programma Vidente (Bierkens et al., 2002). In Vidente is de modellering uitgevoerd met behulp van een transfer-ruis model met Kalman-filter (zie voor een verdere uiteenzetting Bierkens *et al.* 2002). Met de gekalibreerde tijdreeksmodellen (per peilbuis verschillend) zijn voor iedere buis 100 periodes van 30 jaar gesimuleerd. Als invoer voor de simulaties zijn neerslaggegevens en verdampingsgegevens gebruikt die door het KNMI zijn verzameld tussen 1970 en 2000. De neerslaggegevens zijn van het KNMI-station in Emmeloord en de verdampingsgegevens zijn van het station in De Bilt. De verdamping wordt niet voor alle KNMI stations bepaald, maar slechts op

de vijf hoofdstations. Daarom zijn de verdampingsgegevens van het meteorologisch meest gelijkende hoofdstation (De Bilt) gebruikt voor de simulaties.

Uit de 100 gesimuleerde grondwaterstandreeksen van 30 jaar kunnen vervolgens de klimaatrepresentatieve GxG's en hun standaardfout worden berekend.

In het ideale geval dat ook voor het nieuwe regime een voldoende lange meetreeks beschikbaar is, zou deze aanpak kunnen worden herhaald voor het nieuwe regime om vervolgens de uitkomsten (klimaatrepresentatieve GxG's van voor en van na de waterhuishoudkundige ingrepen) met elkaar te vergelijken. Echter, de meetreeksen van na de peilverhoging zijn slechts iets langer dan een jaar. Dit bleek te kort te zijn om tot een stabiele modellering van de tijdreeks te komen. Daarom is er voor gekozen om de grondwaterstandreeksen van na de peilverhoging direct te vergelijken met de klimaatrepresentatieve GxG's van het oude regime.

Hoofdstuk 7

Resultaten

De kalibratie van de tijdreeksmodellen voor de peilbuizen PB001 t/m PB010 op basis van de beschikbare meetreeksen uit de periode april 2000 t/m mei 2003 heeft voor alle buizen geresulteerd in bevredigende modellen waarmee de simulaties konden worden uitgevoerd. De klimaatrepresentatieve GLG's en GHG's die zijn berekend op basis van de simulaties staan weergegeven in tabel 7.1. De laatste kolom in tabel 7.1 bevat bovendien resultaten uit het recente hydrogeologisch onderzoek rond Schokland van Gotjé en Wendt (2005): de 'berekende gemiddelde freatische grondwaterstand' voor de periode voor 1 juni 2003.[1]

Tabel 7.1. *Klimaatsrepresentatieve GLG en GHG voor PB001 t/m PB010 voor de periode voorafgaand aan de waterhuishoudkundige ingrepen. Het streefpeil van de sloten was in die periode -450 cm ten opzichte van NAP. In de laatste kolom staan ter vergelijking resultaten van Gotjé en Wendt (2005).*

Peilbuis	RD coördinaten X	Y	GLG cm tov NAP	GHG	Gem. grondwaterstand Gotjé & Wendt cm tov NAP
PB001	181794	518024	-411	-351	-450 - -400
PB002	181649	518017	-418	-352	-400 - -350
PB003	181592	517152	-431	-351	-450 - -400
PB004	181719	517151	-404	-350	ongeveer -400
PB005	181607	516269	-416	-362	-400 - -350
PB006	181709	516270	-406	-337	-400 - -350
PB007	181642	515661	-402	-331	ongeveer -400
PB008	181930	515660	-416	-330	-400 - -350
PB009	181723	515063	-426	-378	-400 - -350
PB010	181498	515064	-389	-342	-450 - -400

De grondwaterstandreeks die is gemeten in de periode sinds de waterhuishoudkundige ingrepen (juni 2003 - heden) bleek te kort om te komen tot een stabiel tijdreeksmodel. Ook de meetreeksen uit de peilbuizen DZ-6, P14-6 en P14-7 zijn te kort om tot een goede tijdreeksanalyse te kunnen komen. Omdat hierdoor geen directe vergelijking van klimaatrepresentatieve GxG's van voor en na de ingreep mogelijk

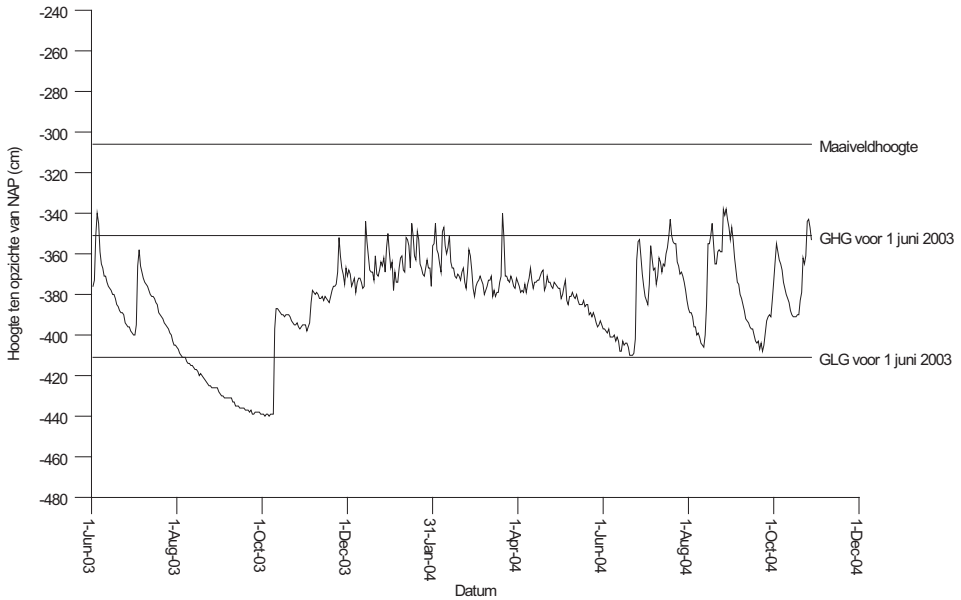
[1] Helaas hebben Gotjé & Wendt hun resultaten voor de GLG over de periode voor 1 juni 2003 niet weergegeven en is de GHG in soms moeilijk te onderscheiden kleurtinten afgebeeld.

is, zijn de resultaten van de geslaagde tijdreeksanalyse van het oude regime direct vergeleken met de metingen gedurende het nieuwe regime. De grafische weergave hiervan is te zien in de figuren 7.1 t/m 7.9. In de figuren zijn de klimaatsrepresentatieve GLG en GHG over de periode voor de waterhuishoudkundige ingrepen als horizontale lijn weergegeven en de freatische grondwaterstanden sinds de peilverhoging (1 juni 2003) als een fluctuerende lijn door de individuele metingen. Ter informatie is ook de hoogte van het maaiveld ingetekend.

Van PB010 is geen figuur gemaakt omdat er van deze buis geen metingen zijn sinds 1 juni 2003. De metingen van de freatische grondwaterstand op P14-6 en P14-7 zijn samen met de resultaten van PB002 gegeven. De peilbuizen P14-6 en P14-7 staan niet ver van PB002 en ook uit de resultaten blijkt dat de metingen goed vergelijkbaar zijn. De freatische grondwaterstand op DZ-6 is om dezelfde redenen gecombineerd met de resultaten van PB007.

Voor de interpretatie van de figuren 7.1 t/m 7.9 is het van belang te vermelden dat de zomer van 2003 de droogste zomer sinds 1901 was. Dit betekent dat wanneer de freatische grondwaterstand in de zomer van 2003 onder de GLG van voor 1 juni 2003 duikt, dit niet meteen duidt op een structurele verlaging van de GLG. De zomer van 2004 daarentegen was een zeer natte zomer. Deze extremen geven wel meteen het nut aan van een methode om klimaatrepresentatieve GxG's te kunnen berekenen.

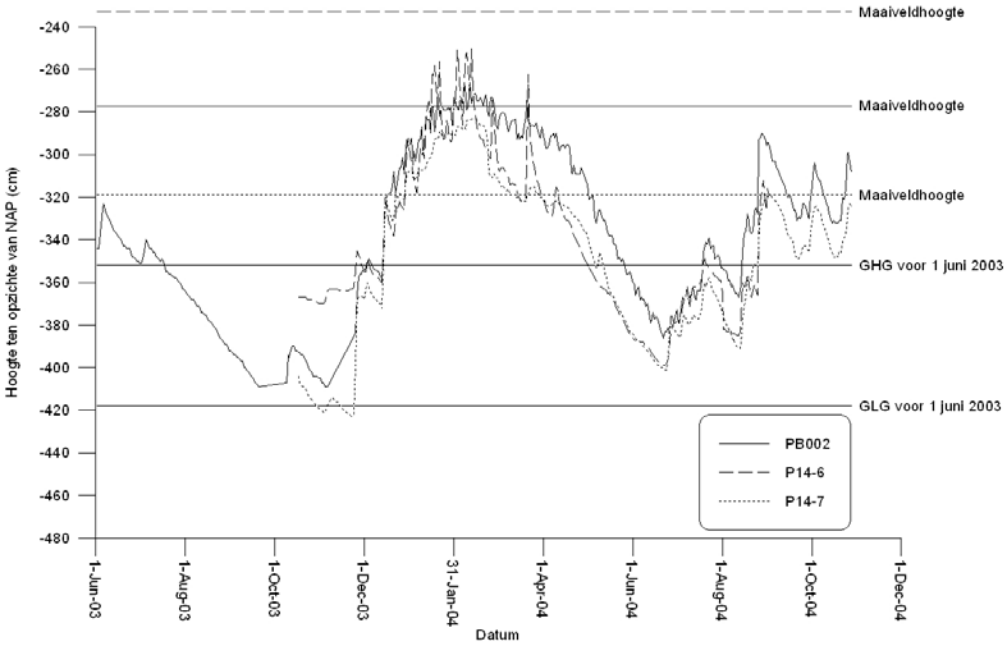
7.1 Locatie PB001



Figuur 7.1. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB001.*

In de zomer van 2003 duikt de freatische grondwaterstand ruim onder de GLG van voor 1 juni 2003. De rest van 2003 en 2004 valt de freatische grondwaterstand binnen de GLG en GHG van voor 1 juni 2003. Er is waarschijnlijk weinig veranderd in de freatische grondwaterstand bij PB001 voor en na de waterhuishoudkundige ingrepen. Dit is naar verwachting, aangezien PB001 niet in de hydrologische zone ligt.

7.2 Locaties PB002, P14-6 en P14-7



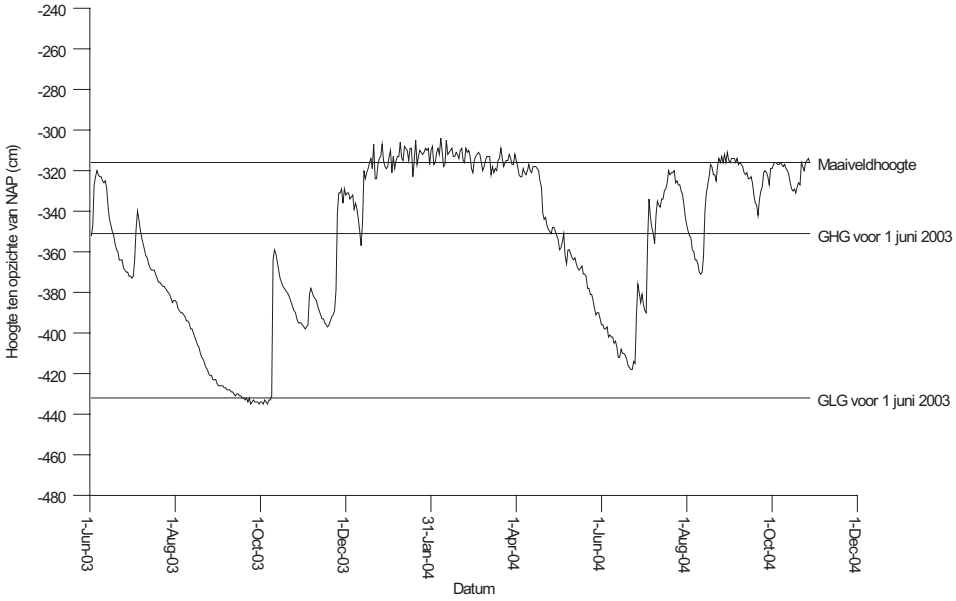
Figuur 7.2. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locaties PB002, P14-6, en P14-7.*

De freatische grondwaterstand bij PB002 in de extreem droge zomer van 2003 komt niet lager dan de GLG van voor 1 juni 2003. Dit wijst in de richting van een hogere GLG onder het nieuwe regime (in een extreem droge zomer is een laagste grondwaterstand te verwachten die onder de GLG ligt, zie PB001). De laagste grondwaterstand in 2004 ligt ruim 30 cm boven de GLG van voor 1 juni 2003. Zowel in het najaar van 2003, het voorjaar van 2004 als het najaar van 2004 stijgt het grondwater ongeveer 70 cm boven de GHG van voor 1 juni 2003. Concluderend kan voor PB002 worden gesteld dat de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 structureel hoger is, waarbij de GHG meer verhoogd lijkt te zijn dan de GLG.

De gemeten freatische grondwaterstanden bij P14-6 en P14-7 zijn meestal 20 tot maximaal 30 cm lager dan bij PB002. Toch is het peil bij P14-6 en P14-7 sinds juni 2003 ook structureel hoger dan voor 1 juni 2003 (aangenomen dat de GxG van PB002 ook bij P14-6 en P14-7 gold). Alleen rond januari - februari 2004 is het peil bij P14-6 duidelijk hoger dan bij PB002. Gezien de maaiveldhoogte van PB002 is daar sprake van oppervlakkige afstroming van het water, waardoor het peil bij PB002 achterblijft bij P14-6. Concluderend kan voor P14-6 en P14-7 worden gesteld dat ook daar de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 structureel hoger is dan daarvoor.

De hogere freatische grondwaterstanden bij PB002, P14-6 en P14-7 komen overeen met de verwachting, aangezien deze punten in de hydrologische zone liggen.

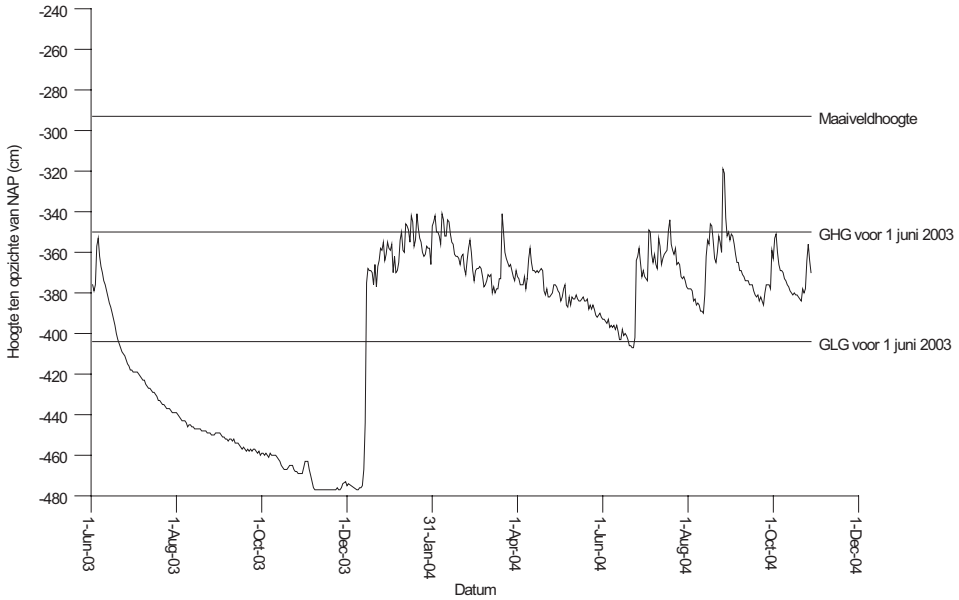
7.3 Locatie PB003



Figuur 7.3. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB003.*

In de extreem droge zomer van 2003 daalt de grondwaterstand tot ongeveer het niveau van de GLG van voor 1 juni 2003. De laagste grondwaterstand in 2004 ligt bijna 15 cm boven de GLG van voor 1 juni 2003. Dit wijst in de richting van een hogere GLG onder het nieuwe regime (in een extreem droge zomer is een laagste grondwaterstand te verwachten die onder de GLG ligt, zie bijvoorbeeld PB004). Zowel in het najaar van 2003, het voorjaar van 2004 als het najaar van 2004 stijgt het grondwater ruim 35 cm boven de GHG van voor 1 juni 2003. We concluderen dat de freatische grondwaterstand bij PB003 sinds 1 juni 2003 structureel hoger is, waarbij de GHG meer verhoogd lijkt te zijn dan de GLG. PB003 ligt in de bufferzone. Ook in de bufferzone komen dus verhogingen van de grondwaterstand voor als gevolg van de waterhuishoudkundige ingrepen.

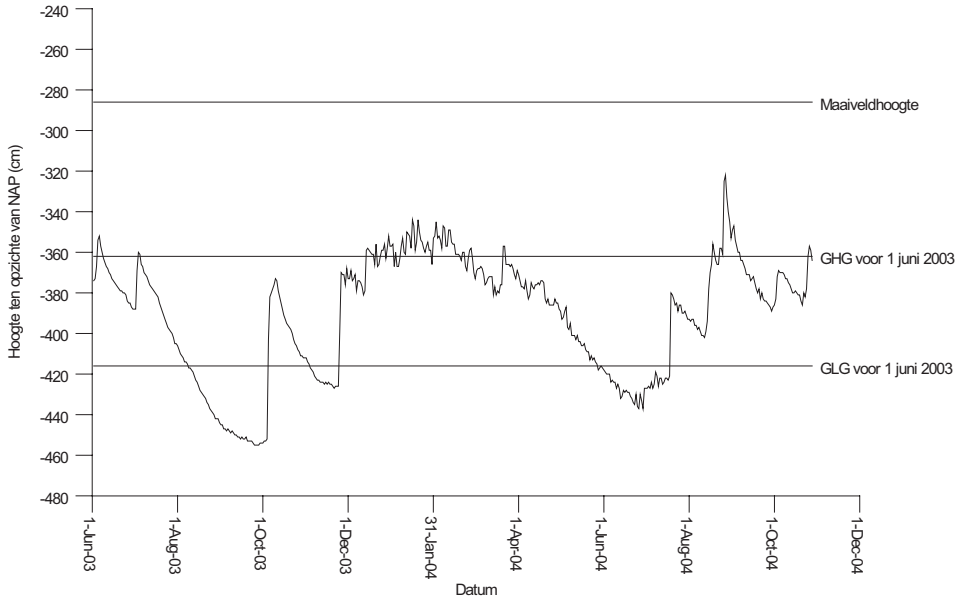
7.4 Locatie PB004



Figuur 7.4. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB004.*

In de zomer van 2003 duikt de freatische grondwaterstand ruim onder de GLG van voor 1 juni 2003. De rest van 2003 en 2004 valt de freatische grondwaterstand binnen de GLG en GHG van voor 1 juni 2003. Er is waarschijnlijk weinig veranderd in de freatische grondwaterstand bij PB004 voor en na de waterhuishoudkundige ingrepen. Dit komt overeen met de verwachting, aangezien PB004 in het aangrenzende agrarische gebied ligt.

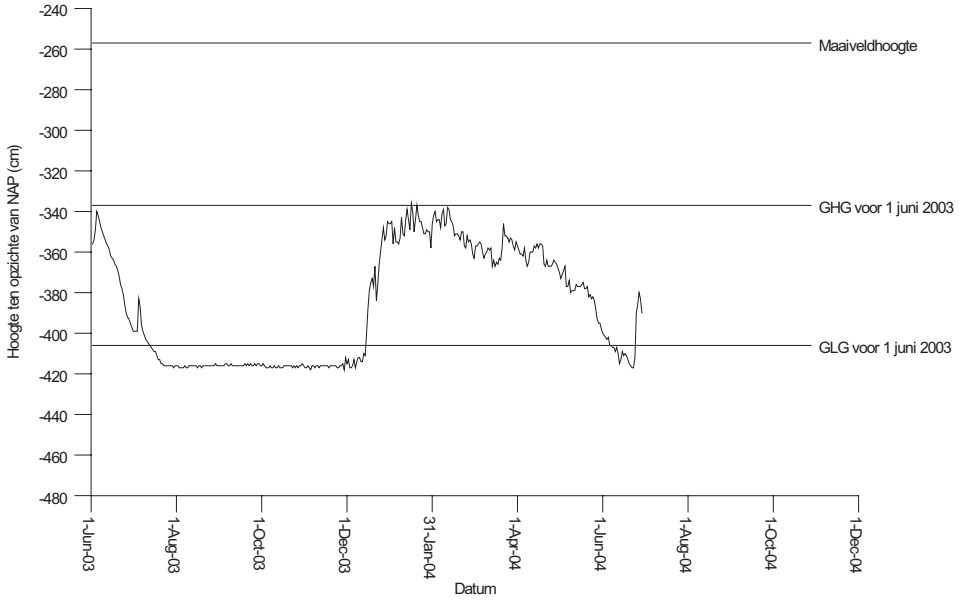
7.5 Locatie PB005



Figuur 7.5. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB005.*

De freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 komt niet vaak hoger dan de GHG van voor 1 juni 2003. Het lijkt erop dat de GHG niet noemenswaardig is veranderd door de waterhuishoudkundige ingrepen. Zowel in de extreem droge zomer van 2003 als in de natte zomer van 2004 daalt de grondwaterstand onder de GLG van voor 1 juni 2003. In 2004 ligt de laagste grondwaterstand ongeveer 20 cm onder de voormalige GLG. De conclusie is dat bij buis PB005 de GHG waarschijnlijk gelijk is gebleven, terwijl de GLG waarschijnlijk iets is gedaald. Gezien de ligging van PB005 in de bufferzone zijn deze geringe (eventuele) veranderingen te verwachten.

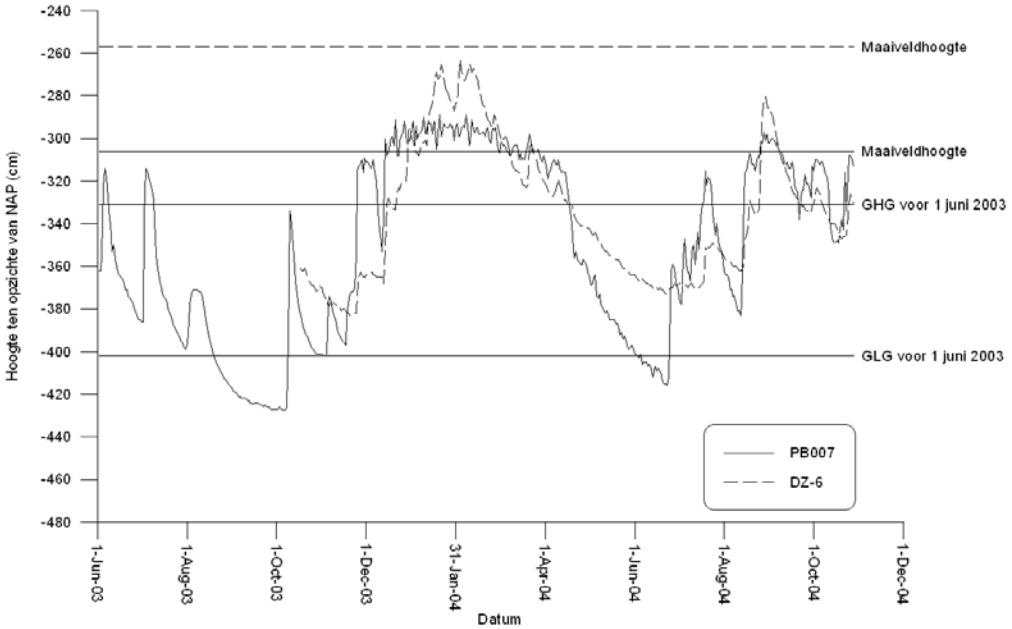
7.6 Locatie PB006



Figuur 7.6. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB006.*

De freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 valt grotendeels binnen de GLG en GHG van voor 1 juni 2003. Opvallend is de constante grondwaterstand van ongeveer 415 cm onder NAP in de zomer van 2003. Wellicht is de peilbuis niet diep genoeg geplaatst. Bovendien ontbreken de grondwaterstanden vanaf juli 2004. Het is moeilijk conclusies te trekken op basis van de voorliggende gegevens, maar er lijkt niet veel te zijn veranderd. Dit is in overeenstemming met de ligging in het agrarische gebied van PB006.

7.7 Locaties PB007 en DZ-6

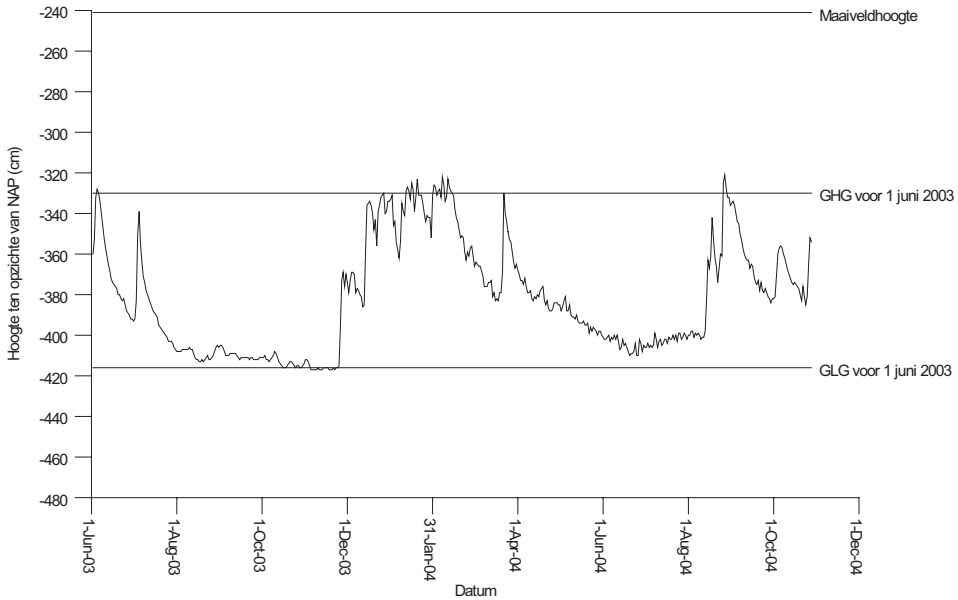


Figuur 7.7. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB007 en DZ-6.*

De freatische grondwaterstand bij PB007 sinds 1 juni 2003 valt ruim buiten de GLG en GHG van voor 1 juni 2003. De hoogste grondwaterstanden sinds 1 juni 2003 liggen ruim 20 cm boven de voormalige GHG, de laagste grondwaterstanden in de (natte!) zomer van 2004 liggen ruim 10 cm onder de voormalige GLG. De freatische grondwaterstand op PB007 fluctueert zowel naar boven als naar beneden sterker sinds de waterhuishoudkundige ingrepen. Dit betekent dat in de bufferzone sterkere fluctuaties naar boven en beneden voor kunnen komen (PB007 ligt in de bufferzone).

De freatische grondwaterstand bij DZ-6 is duidelijk hoger dan de GLG en GHG van voor 1 juni 2003 bij PB007. Onder de aanname dat de GLG en GHG bij PB007 ook bij DZ-6 gold, kan worden geconcludeerd dat het peil bij DZ-6 zo'n 30 tot 40 cm is gestegen sinds de waterhuishoudkundige ingrepen. Omdat DZ-6 direct naast de hydrologische zone ligt is dit te verwachten.

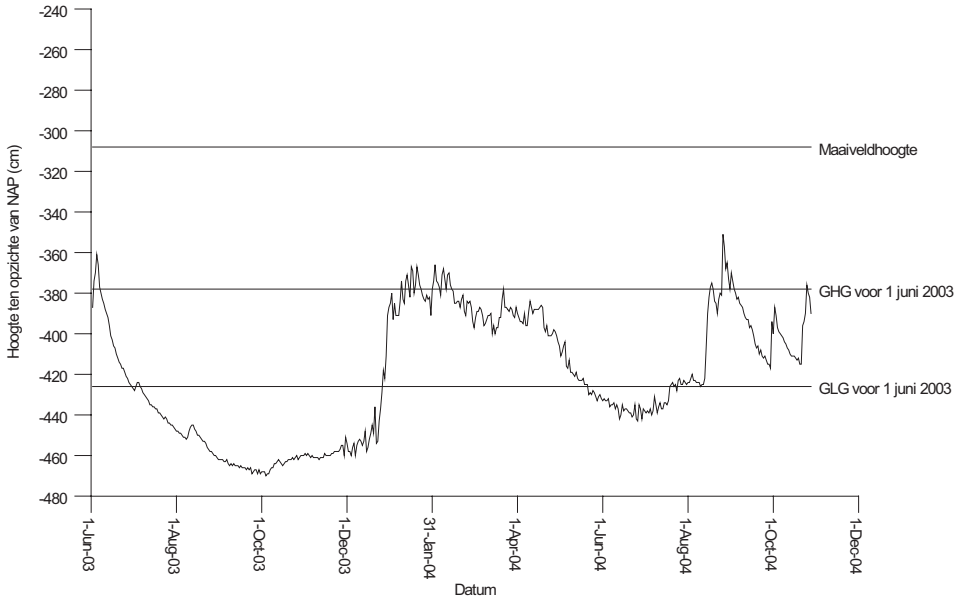
7.8 Locatie PB008



Figuur 7.8. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB008.*

De freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 valt binnen de GLG en GHG van voor 1 juni 2003. Er is waarschijnlijk weinig veranderd in de freatische grondwaterstand bij PB008 voor en na de waterhuishoudkundige ingrepen. Dit komt overeen met de verwachting gezien de ligging van PB008 in het aangrenzende agrarische gebied.

7.9 Locatie PB009



Figuur 7.9. *GLG en GHG voor 1 juni 2003 vergeleken met de freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 op locatie PB009.*

De freatische grondwaterstand sinds 1 juni 2003 komt niet vaak hoger dan de GHG van voor 1 juni 2003. Het lijkt erop dat de GHG niet noemenswaardig is veranderd door de waterhuishoudkundige ingrepen. Zowel in de extreem droge zomer van 2003 als in de natte zomer van 2004 daalt de grondwaterstand onder de GLG van voor 1 juni 2003. In 2004 ligt de laagste grondwaterstand ongeveer 20 cm onder de voormalige GLG. We concluderen dat in buis PB009 de GHG waarschijnlijk gelijk is gebleven, terwijl de GLG licht is gedaald. Omdat PB009 in het agrarische gebied ligt verwachten we geen veranderingen. Het blijkt echter dat geringe veranderingen ook in het agrarische gebied kunnen optreden.

Hoofdstuk 8

Conclusies en Aanbevelingen

De gevonden verschillen in de freatische grondwaterstanden zijn in tabel 8.1 samengevat. De uitgangssituatie is steeds de klimaatsrepresentatieve GLG en GHG over de situatie voor 1 juni 2003, dus voor de waterhuishoudkundige ingrepen. PB006 en PB010 zijn weggelaten omdat niet voldoende informatie beschikbaar is om een oordeel te geven.

Tabel 8.1. *Resultaten van de vergelijkingen van de freatische grondwaterstand rond Schokland voor en na 1 juni 2003. *: GHG lijkt meer verhoogd dan de GLG.*

Peilbuis	Grondwaterstand 2003/2004 t.o.v. GLG voor 1 juni 2003	Grondwaterstand 2003/2004 t.o.v. GHG voor 1 juni 2003
Hydrologische zone		
PB002	hoger	hoger*
P14-6	hoger	hoger
P14-7	hoger	hoger
DZ-6	hoger	hoger
Bufferzone		
PB001	geen verandering	geen verandering
PB003	hoger	hoger*
PB005	lager	geen verandering
PB007	lager	hoger
Agrarisch gebied		
PB004	geen verandering	geen verandering
PB008	geen verandering	geen verandering
PB009	lager	geen verandering

Er is duidelijk verschil te zien tussen de hydrologische zone, de bufferzone en het agrarische gebied. De zonering lijkt te functioneren zoals bedoeld: verhoogde freatische grondwaterstanden in de hydrologische zone, een gevarieerd beeld in de bufferzone en vrijwel onveranderde standen in het aangrenzende agrarische gebied.

Het is nog niet mogelijk om uit de meetreeksen van na 1 juni 2003 klimaatrepresentatieve GxG's te berekenen. De vergelijking van de freatische grondwaterstanden in tabel 8.1 is daarom beperkt tot een kwalitatief oordeel. Gedetailleerdere informatie

is gegeven in de figuren 7.1 t/m 7.9. Er vanuit gaande dat het meetnet van het waterschap Zuiderzeeland blijft functioneren zullen er op zijn vroegst medio 2006 voldoende metingen beschikbaar zijn voor goede tijdreeksanalyses van de freatische grondwaterstanden over de periode na 1 juni 2003. Deze analyses zijn aan te bevelen om een objectieve en meer kwantitatieve vergelijking van de effecten van de waterhuishoudkundige ingrepen mogelijk te maken.

Een eerste vergelijking van de resultaten van dit onderzoek met de resultaten van Gotjé en Wendt (2005) lijkt aan te geven dat Gotjé en Wendt de situatie voor 1 juni 2003 iets te droog berekenen. Voor hardere uitspraken hierover is een nauwkeuriger vergelijking van de hier gepresenteerde resultaten met de resultaten van Gotjé en Wendt nodig.

Van de peilbuizen in de hydrologische zone staan er drie op perceel P14 en één aan de voet van De Zuidert, eigenlijk net buiten de hydrologische zone. Om een betrouwbaar beeld van de freatische grondwaterstanden in de gehele hydrologische zone te verkrijgen hadden meer peilbuizen in deze zone moeten staan. Het is het overwegen waard alsnog extra buizen in de hydrologische zone te plaatsen; jammer is dat de uitgangssituatie van voor 1 juni 2003 niet meer bepaald kan worden.

Bibliografie

Anonymus (2004a). Rapportage Meetgegevens Schokland 1997 - 2003. Presentatie van de meetresultaten. , Waterschap Zuiderzeeland, Lelystad.

Anonymus (2004b). Rapportage Meetgegevens Schokland juni 2003 - mei 2004. Presentatie van de meetresultaten. Technisch document wsi-2004-03, Waterschap Zuiderzeeland, Lelystad.

Bierkens, M., Bron, W., en Knotters, M. (2002). VIDENTE 1.1: a graphical user interface and decision support system for stochastic modelling of water table fluctuations at a single location. Rapport 613, Alterra, Wageningen.

Finke, P. (2000). Updating the (1 : 50 000) Dutch groundwater table class map by statistical methods: an analysis of quality versus cost. *Geoderma*, 97:329–350.

Finke, P., Bierkens, M., Brus, D., van der Gaast, J., Hoogland, T., Knotters, M., en de Vries, F. (2002). Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek in Waterschap Mark en Weerijs. Rapport 387, Alterra, Wageningen.

Gotjé, W. en Wendt, T. (2005). Hydrogeologisch onderzoek Schokland. , Grontmij, Houten.

Hogestijn, J. (1990). Archeologische kroniek van Flevoland. In *Cultuur Historisch Jaarboek voor Flevoland. En het land was niet langer woest en ledig*, page 119. Lelystad/Zwolle.

Knotters, M. en Bierkens, M. (1999). Hoe lang moet je de grondwaterstand meten om iets over de dynamiek te weten? *Stromingen*, 5(4):5–12.

Knotters, M. en van Walsum, P. (1994). Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop. Rapport 350, Staring Centrum, Wageningen.

Peeters, H., Hogestijn, J., en Holleman, T. (2004). *De Swifterbantcultuur. Een nieuwe kijk op de aanloop naar voedselproductie*. Uniepers, Abcoude.

Van Heeringen, R., Mauro, G., en Smit, A., redactie (2004). *A Pilot Study on the Monitoring of the Physical Quality of Three Archaeological Sites at the UNESCO World Heritage Site at Schokland, Province of Flevoland, the Netherlands*, Nederlandse Archeologische Rapporten 26, Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Amersfoort.

Bijlage 1

Sitedossier Nagele-Vliegtuigtocht (J125 en J126)

Ligging (toestandsdatum 21-01-2005)

Toponiem:	Nagele; Vliegtuigtocht, kavels J125 en J126
Gemeente:	Noordoostpolder
Cordinaten:	180.020 / 518.900 (vlakelement)
ROB CAA:	-
ROB/AMK:	21A-008 (no. 1708), zeer hoge waardering (te beschermen)
Landgebruik:	akkerbouw

Kadaster

Perceel:	Noordoostpolder D 571 (Oud Emmeloorderweg, Nagele)
Oppervlakte:	(gedeelte van) 24 ha 75 a 13 ca
Eigendom:	De Staat (Financin, Domeinen), Maerlant 1, 8200 BA Lelystad

Perceel:	Noordoostpolder D 2127; Oud Emmeloorderweg, Nagele)
Oppervlakte:	(gedeelte van) 10 ha 99a 10 ca
Eigendom:	W.J. Bos, Ansjovisweg 16, 8251 RW Dronten

Perceel:	Noordoostpolder D 1638 (Oud Emmeloorderweg, Nagele)
Oppervlakte:	(gedeelte van) 13 ha 15 a 85 ca
Eigendom:	W.J. Bos, Ansjovisweg 16, 8251 RW Dronten

Bodemprofielen

J125-1

RD-coördinaten: 180042,42 ; 518934,05

Cm onder maaiveld	Beschrijving
0-30	bouwvoor
30-60	bruine rommelige klei
60-75	bruine zandige klei
75-85	donker blauw kleiig zand
85-112	geoxideerd veen (bruin)
112-114	blauw grijze zandige klei
114-120	veen (rood)
120-135	licht geel grijs zand

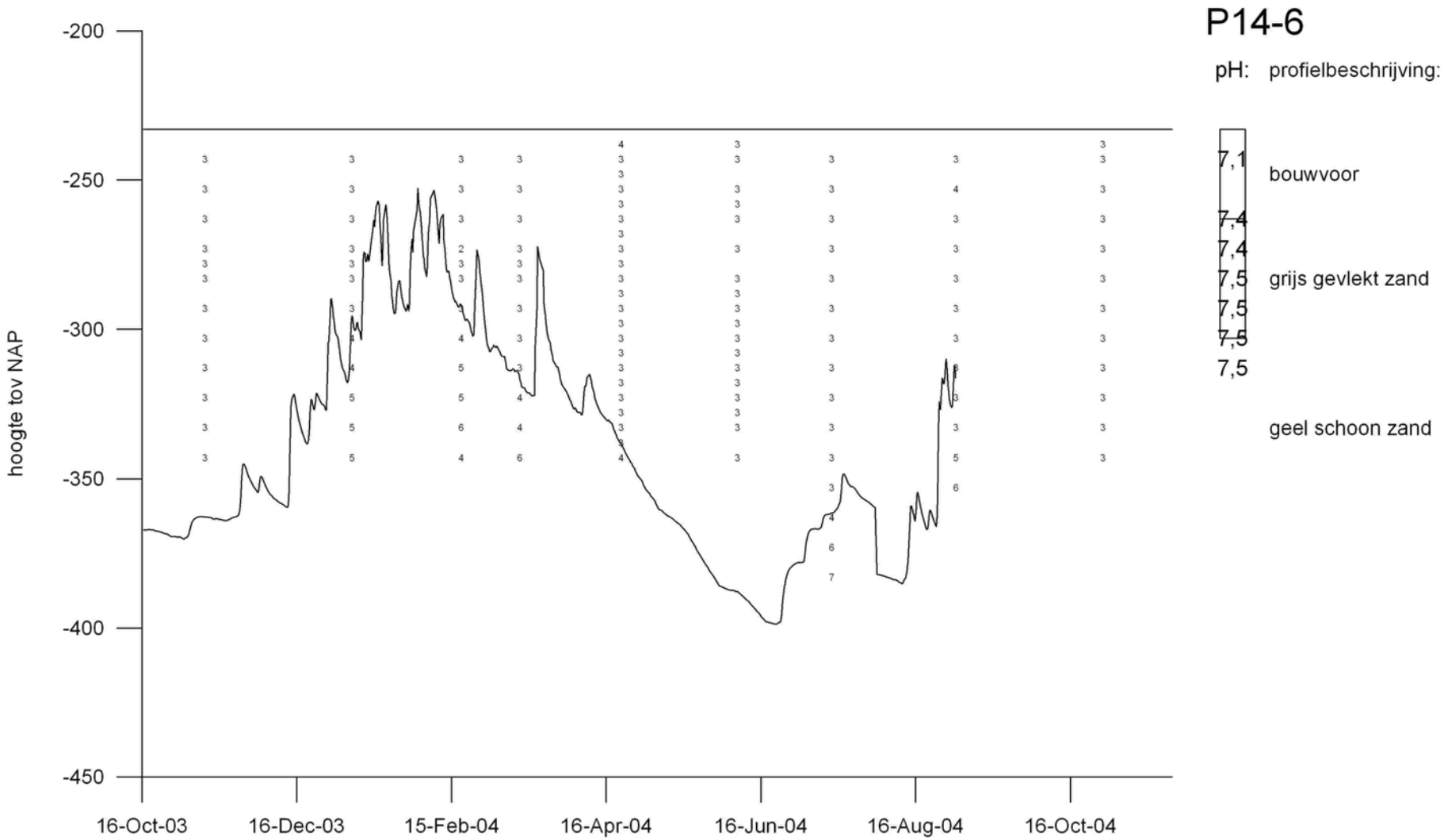
J125-2

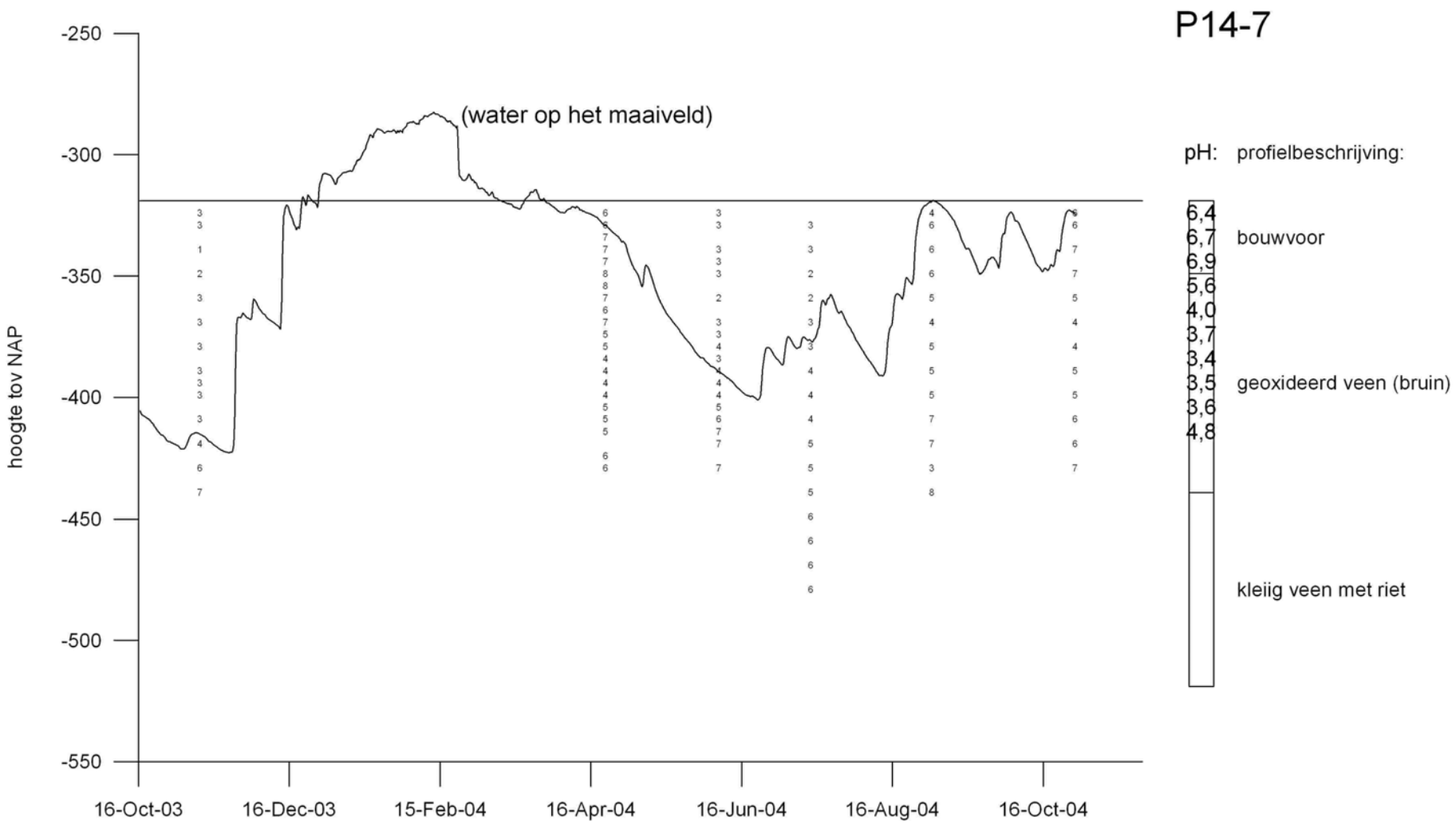
RD-coördinaten: 180042,73 ; 518830,26

Cm onder maaiveld	Beschrijving
0-30	bouwvoor
30-42	bruine rommelige klein
42-45	geel bruin kleiig zand
45-75	gelaagde zandige klei, roest
75-80	humeuze klei
80-83	gelaagd kleiig zand
83-88	gele zandige klei
88-93	grijs kleiig zand
93-96	geel bruin zand
96-100	humeuze klei
100-108	grijzige klei, wat riet
108-115	geoxideerd veen (bruin)
115-125	grijze klei, riet
125-136	veen (rood)
136-150	klei met riet

Bijlage 2

Schokland, archeologische monitoring 2003-2004.
Overzicht meetresultaten.


P14-6
pH:
profielbeschrijving:
7,1
bouwvoor
7,4
7,4
7,5
grijs gevlekt zand
7,5
7,5
7,5
geel schoon zand
hoogte tov NAP
-200
-250
-300
-350
-400
-450
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04


P14-7
(water op het maaiveld)
hoogte tov NAP
-250
-300
-350
-400
-450
-500
-550
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04
pH:
profielbeschrijving:
6,4
6,7
6,9
5,6
4,0
3,7
3,4
3,5
3,6
4,8
bouwvoor
geoxideerd veen (bruin)
kleiig veen met riet

Bodemprofielen

P14-6

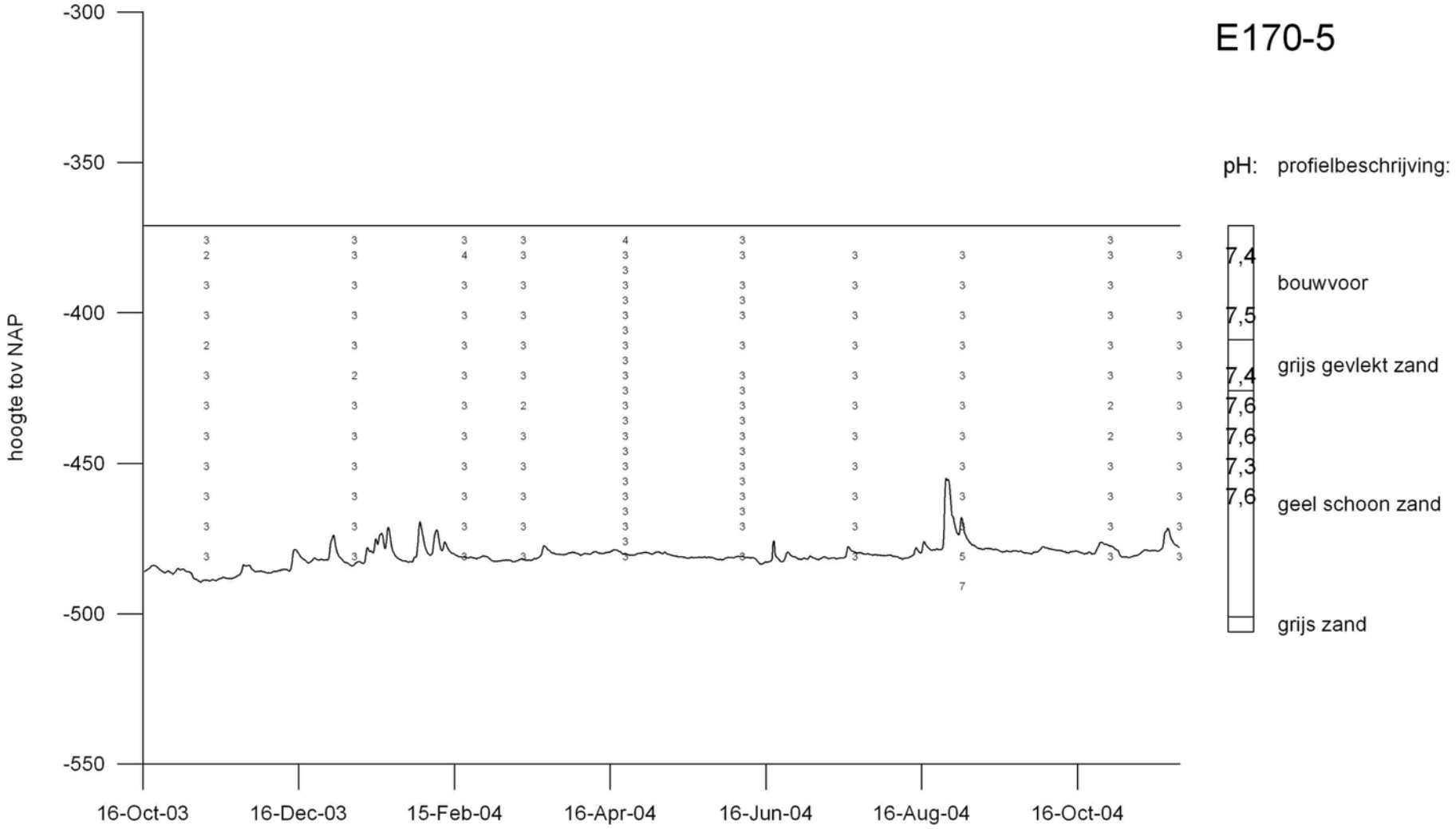
RD-coördinaten: 181544,17 ; 517988,78

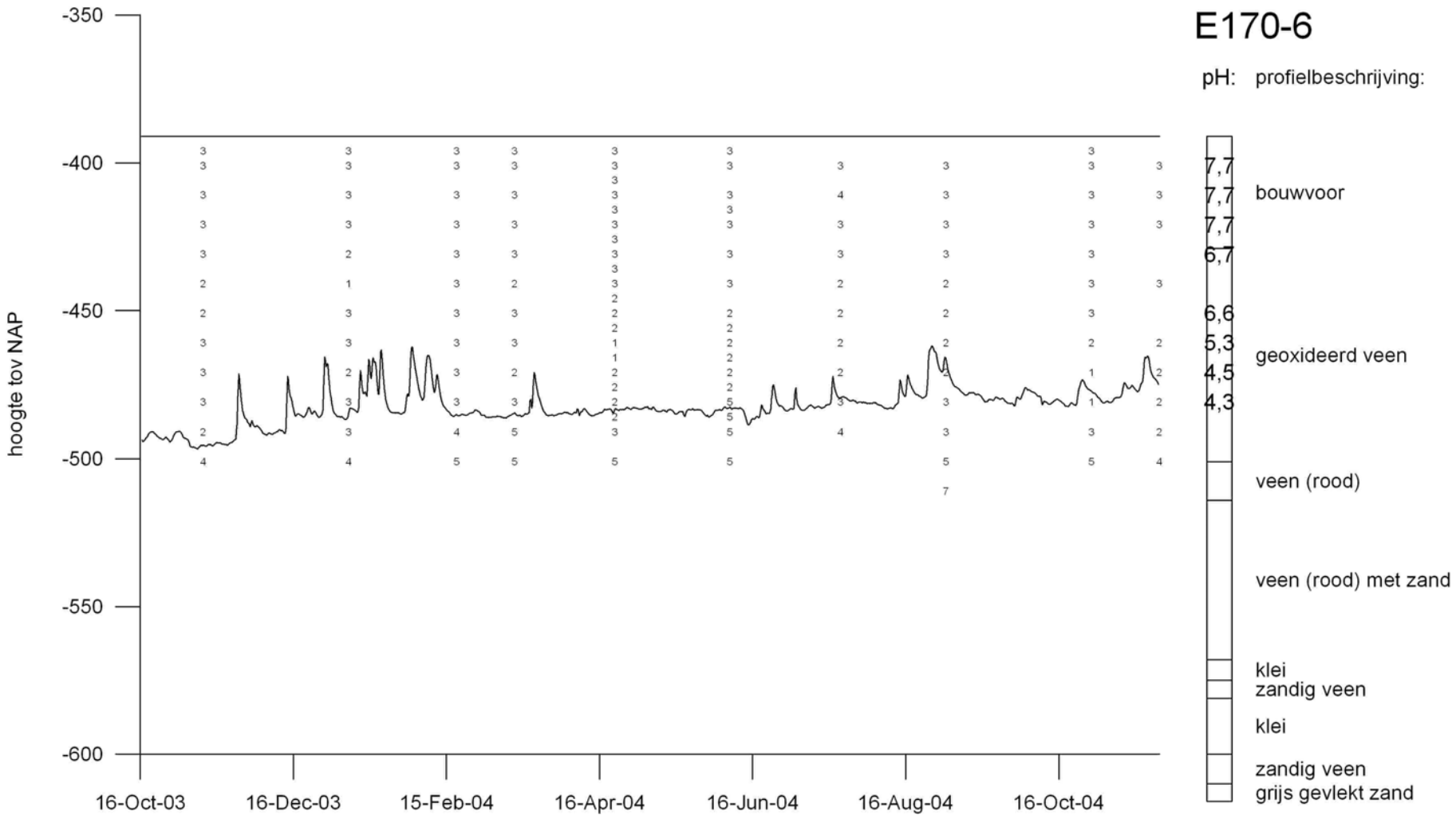
Cm onder maaiveld	Beschrijving
0-30	bouwvoor
30-70	grijs gevlekt zand
70-120	geel schoon zand

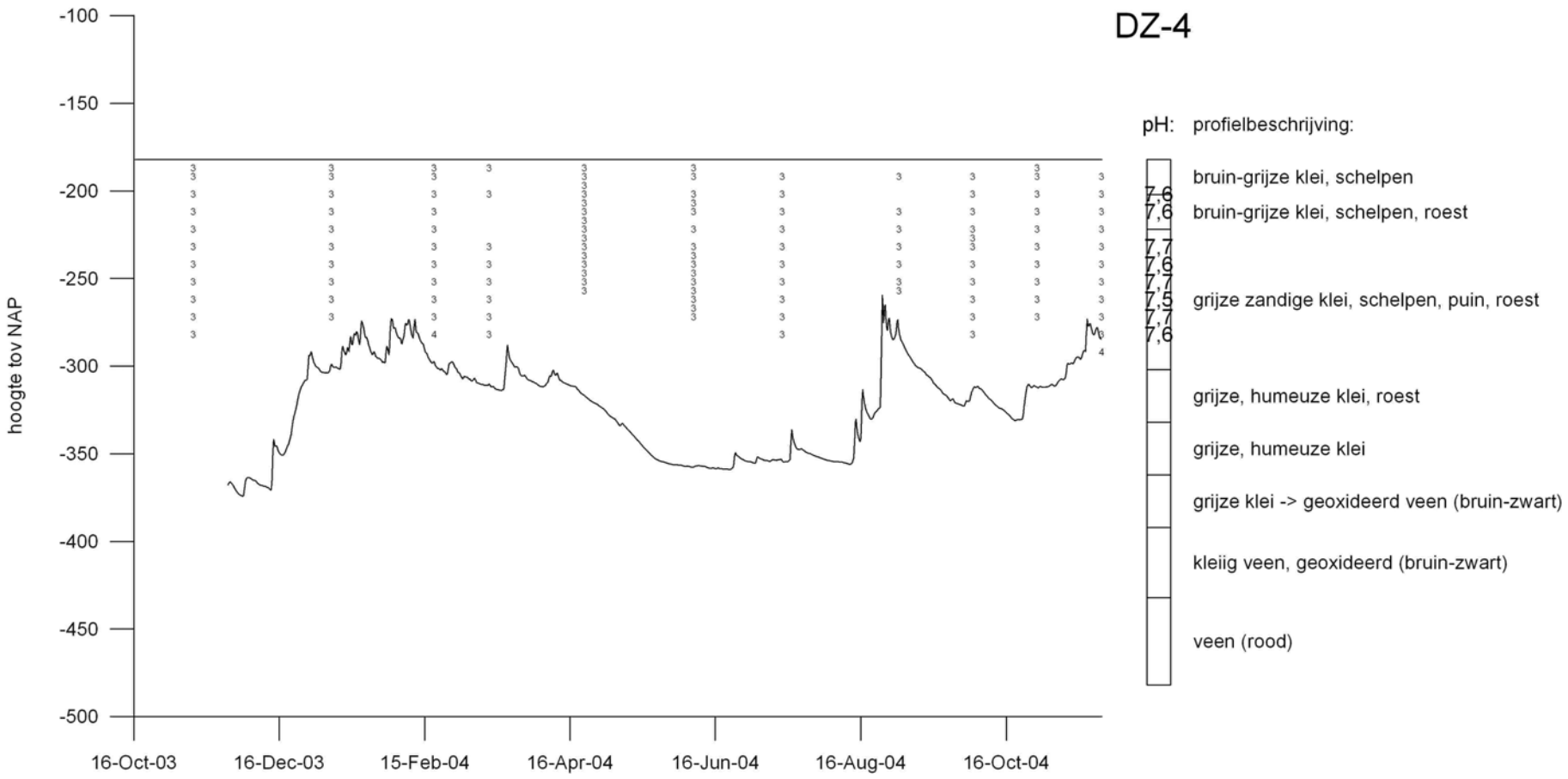
P14-7

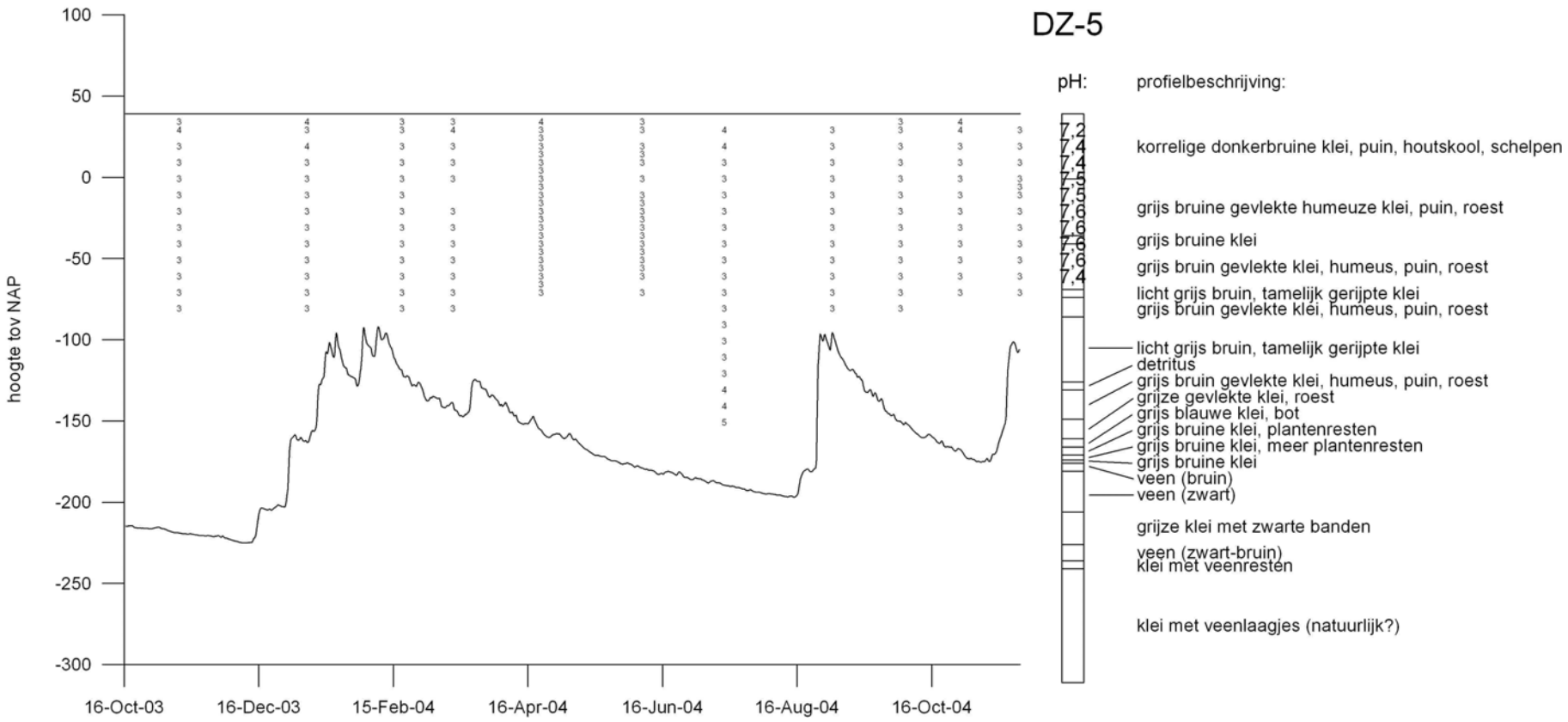
RD-coördinaten: 181573,33 ; 518048,78

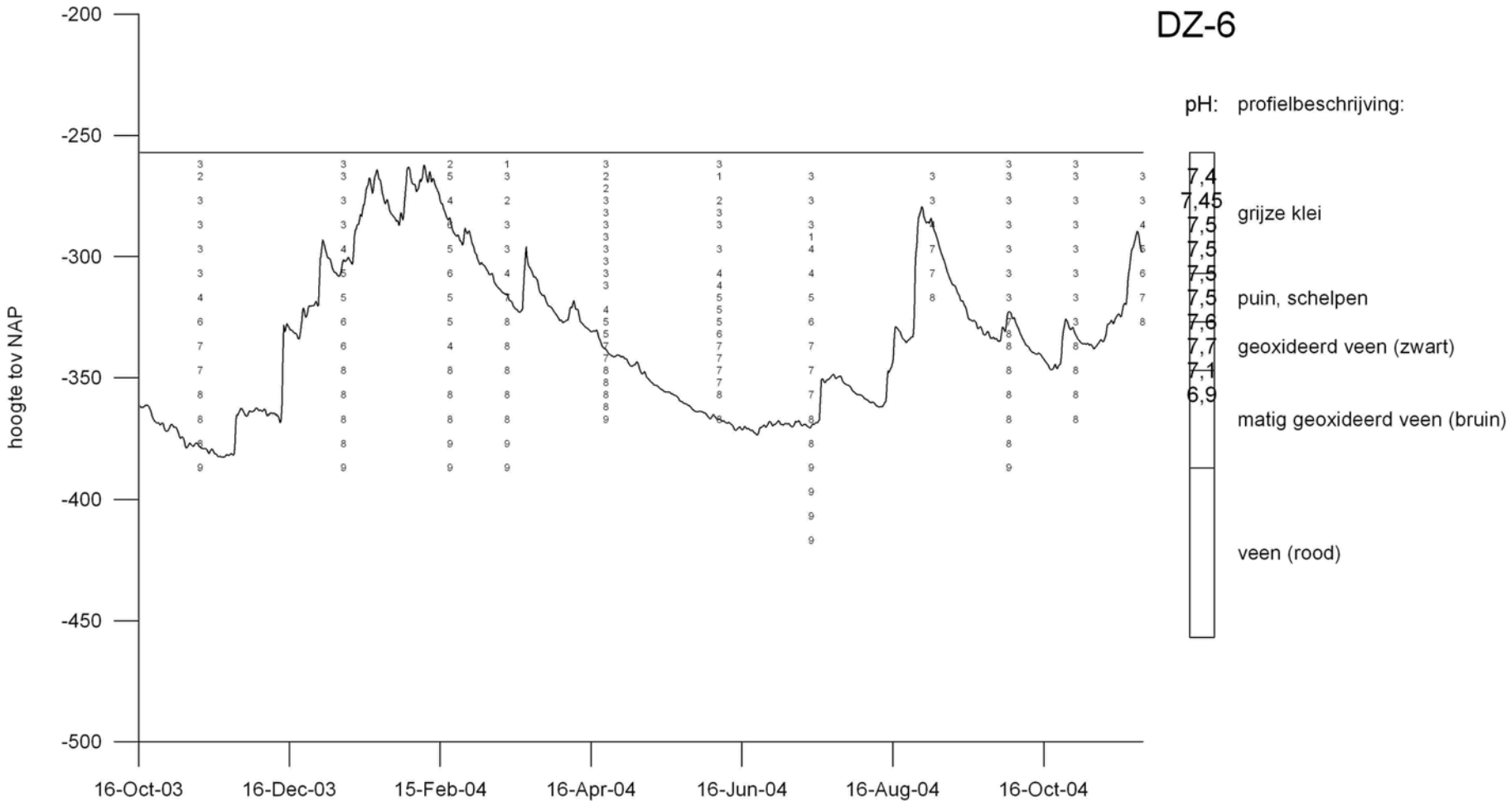
Cm onder maaiveld	Beschrijving
0-30	bouwvoor
30-120	geoxideerd veen (bruin)
120-200	kleiig veen met riet


E170-5
pH:
profielbeschrijving:
7,4
7,5
7,4
7,6
7,6
7,3
7,6
bouwvoor
grijs gevlekt zand
geel schoon zand
grijs zand
hoogte tov NAP
-300
-350
-400
-450
-500
-550
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04

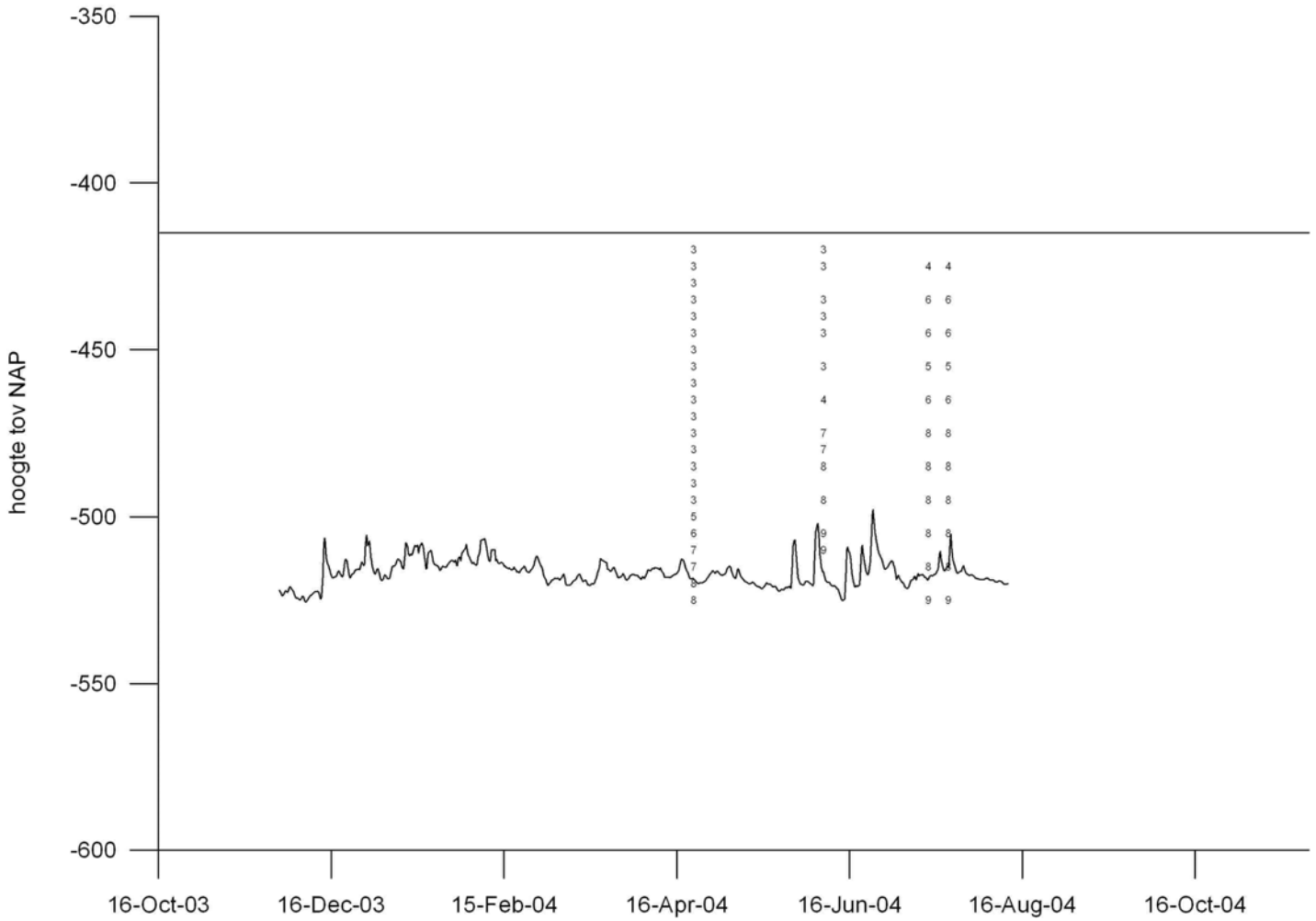

E170-6
pH:
profielbeschrijving:
hoogte tov NAP
-350
-400
-450
-500
-550
-600
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04
7,7
7,7
7,7
6,7
6,6
5,3
4,5
4,3
bouwvoor
geoxideerd veen
veen (rood)
veen (rood) met zand
klei
zandig veen
klei
zandig veen
grijs gevlekt zand


DZ-4
hoogte tov NAP
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
-450
-500
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04
pH:
profielbeschrijving:
7,6
7,6
7,7
7,6
7,7
7,5
7,7
7,6
bruin-grijze klei, schelpen
bruin-grijze klei, schelpen, roest
grijze zandige klei, schelpen, puin, roest
grijze, humeuze klei, roest
grijze, humeuze klei
grijze klei -> geoxideerd veen (bruin-zwart)
kleiig veen, geoxideerd (bruin-zwart)
veen (rood)

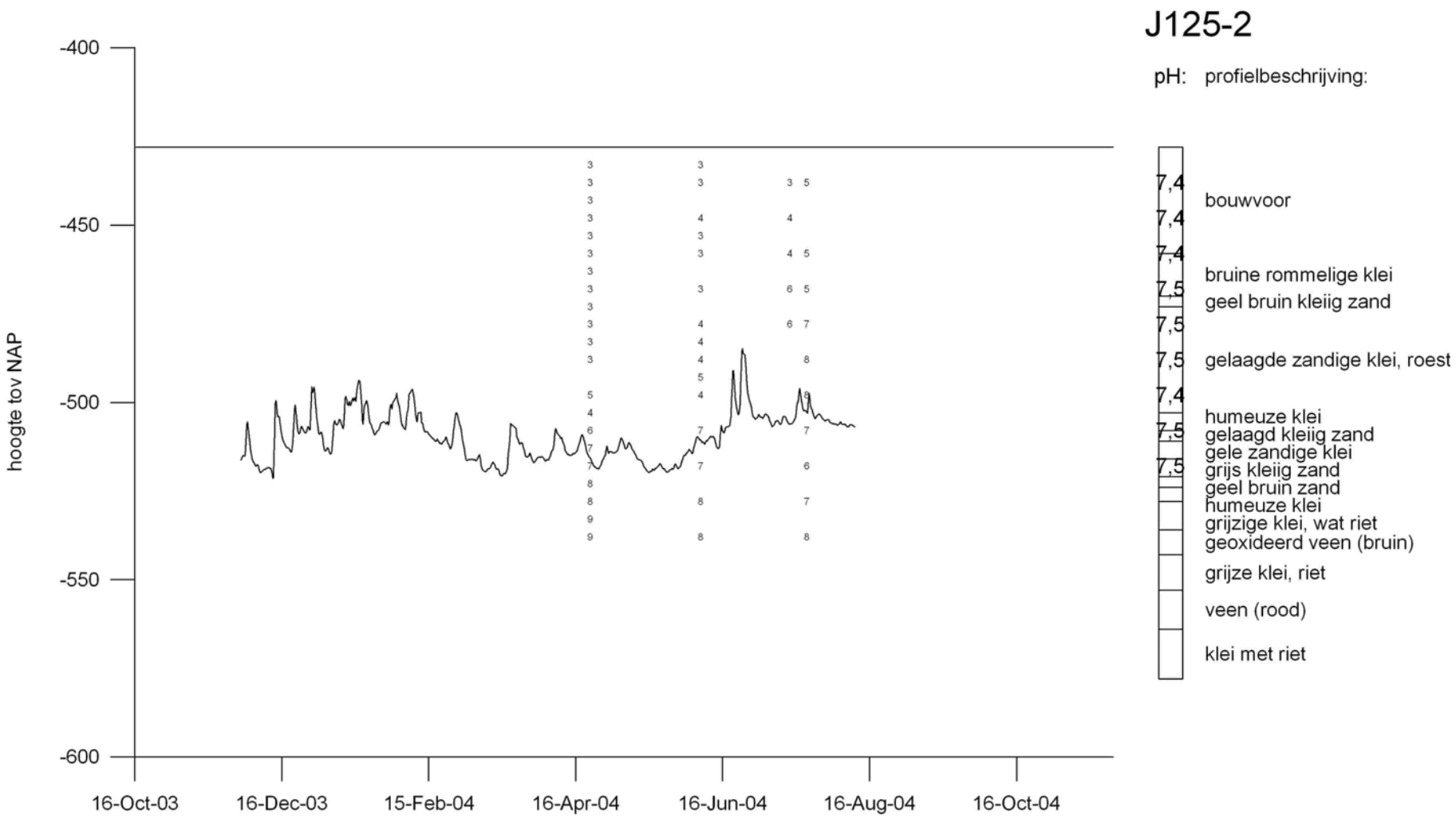

DZ-5
hoogte tov NAP
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04
pH:
profielbeschrijving:
7,2
7,4
7,4
7,5
7,5
7,6
7,6
7,6
7,6
7,4
korrelige donkerbruine klei, puin, houtskool, schelpen
grijs bruine gevlekte humeuze klei, puin, roest
grijs bruine klei
grijs bruin gevlekte klei, humeus, puin, roest
licht grijs bruin, tamelijk gerijpte klei
grijs bruin gevlekte klei, humeus, puin, roest
licht grijs bruin, tamelijk gerijpte klei
detritus
grijs bruin gevlekte klei, humeus, puin, roest
grijze gevlekte klei, roest
grijs blauwe klei, bot
grijs bruine klei, plantenresten
grijs bruine klei, meer plantenresten
grijs bruine klei
veen (bruin)
veen (zwart)
grijze klei met zwarte banden
veen (zwart-bruin)
klei met veenresten
klei met veenlaagjes (natuurlijk?)


DZ-6
pH:
profielbeschrijving:
7,4
7,45
7,5
7,5
7,5
7,5
7,6
7,7
7,1
6,9
grijze klei
puin, schelpen
geoxideerd veen (zwart)
matig geoxideerd veen (bruin)
veen (rood)
hoogte tov NAP
-200
-250
-300
-350
-400
-450
-500
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04

J125-1



pH: profielbeschrijving:


J125-2
pH:
profielbeschrijving:
7,4
7,4
7,4
7,5
7,5
7,5
7,4
7,5
7,5
bouwvoor
bruine rommelige klei
geel bruin kleiig zand
gelaagde zandige klei, roest
humeuze klei
gelaagd kleiig zand
gele zandige klei
grijs kleiig zand
geel bruin zand
humeuze klei
grijzige klei, wat riet
geoxideerd veen (bruin)
grijze klei, riet
veen (rood)
klei met riet
hoogte tov NAP
-400
-450
-500
-550
-600
16-Oct-03
16-Dec-03
15-Feb-04
16-Apr-04
16-Jun-04
16-Aug-04
16-Oct-04