Een verkenning van begraven dekzandbodems in een bodembeschermingsgebied ten zuidoosten van Almere

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van de Provincie Flevoland.

Een verkenning van begraven dekzandbodems in een bodembeschermingsgebied ten zuidoosten van Almere

Een interdisciplinair onderzoek naar de kwaliteit van het bodemarchief, met implicaties voor archeologische waarden

Bart Makaske
Dirk van Smeerdijk
Maja Kooistra
Roosmarijn Haring
Evelien Verbauwen
Sander Smit

Alterra-rapport 486

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002

REFERAAT

B. Makaske, D.G. van Smeerdijk, M.J. Kooistra, R.M.K. Haring, E.C. Verbauwen & A. Smit, 2002. *Een verkenning van begraven dekzandbodems in een bodembeschermingsgebied ten zuidoosten van Almere; een interdisciplinair onderzoek naar de kwaliteit van het bodemarchief, met implicaties voor archeologische waarden*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 486; 147 blz; 22 fig.; 6 tab.; 37 ref.

In het bodembeschermingsgebied aan het Eemmeer ten zuidoosten van Almere is een geologisch-bodemkundig, micromorfologisch, paleo-ecologisch en geochemisch onderzoek uitgevoerd van begraven dekzandbodems en het hierop liggende basisveen. Hierbij zijn vier bodemprofielen uit het gebied in detail onderzocht. Daarnaast is er een gebiedsdekkende inventarisatie van recente verstorende bodemingrepen uitgevoerd. Het doel van het onderzoek was een kwaliteitsbepaling van het bodemarchief rond de overgang van dekzand naar basisveen en de hiermee geassocieerde archeologische waarden. De onderzoeksresultaten geven een overzicht van de complexe ontstaanswijze van de dekzandbodems en van de degradatieprocessen die sinds de vorming de kwaliteit van de dekzandbodem en het basisveen hebben beïnvloed. Tevens worden de implicaties hiervan voor archeologische waarden belicht.

Trefwoorden: archeologie, basisveen, ^{14}C-ouderdomsbepaling, bodembeschermingsgebied, bodemkunde, dekzandbodem, geochemie, micromorfologie, paleo-ecologie, Zuidelijk Flevoland

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 33,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 486. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.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.

Projectnummer 030-86232 [Alterra-rapport 486/EvL/08-2002]

Inhoud

Woord vooraf 9

Samenvatting 11

1 Inleiding 13
1.1 Algemene achtergrond 13
1.2 Probleem- en doelstelling 13
1.3 Benadering, afbakening en beperkingen 16
1.4 Geologische en archeologische achtergrond 16

2 Werkwijze 19
2.1 Selectie van boorlocaties 19
2.2 Boormethode 20
2.3 Micromorfologisch onderzoek 20
2.4 Paleo-ecologisch onderzoek 21
2.5 ^{14}C-datering 21
2.6 Bodemfysisch en geochemisch onderzoek 22
2.7 Literatuur- en archiefonderzoek naar verstorende ingrepen 24

3 Geologie en bodemkunde 25
3.1 Algemene geologische opbouw 25
3.2 Geologisch-bodemkundige beschrijving en interpretatie van de boorkernen 30

4 Micromorfologisch onderzoek 45
4.1 Inleiding 45
4.2 Boorkern Winkelweg 46
4.2.1 Inleiding 46
4.2.2 Slijpplaat 00.034 (261 - 246 cm - mv) 46
4.2.3 Slijpplaat 00.033 (238 - 223 cm - mv) 47
4.2.4 Slijpplaat 00.032 (211 - 196 cm - mv) 48
4.2.5 Slijpplaat 00.031 (196 - 181 cm - mv) 50
4.3 Boorkern Rassenbeektocht 52
4.3.1 Inleiding 52
4.3.2 Slijpplaat 00.041 (236 - 221 cm - mv) 52
4.3.3 Slijpplaat 00.040 (129 - 114 cm - mv) 54
4.3.4 Slijpplaat 00.039 (103 - 88 cm - mv) 56
4.4 Boorkern Eemhof 58
4.4.1 Inleiding 58
4.4.2 Slijpplaat 00.030 (202 - 187 cm - mv) 58
4.4.3 Slijpplaat 00.029 (181 - 166 cm - mv) 60
4.5 Boorkern Eemmeerdijk 61
4.5.1 Inleiding 61
4.5.2 Slijpplaat 00.038 (228 - 221 cm - mv) 61
4.5.3 Slijpplaat 00.037 (210 - 195 cm - mv) 62
4.5.4 Slijpplaat 00.036 (192,5 - 177,5 cm - mv) 64

4.5.5 Slijpplaat 00.035 (177,5 - 162,5 cm - mv) 66

5 Macrobotanisch onderzoek en ^{14}C-dateringen 69
5.1 Inleiding 69
5.2 Macrobotanisch onderzoek 69
5.3 ^{14}C-dateringen en de reconstructie van voormalige grondwaterstanden 73

6 Bodemfysisch en geochemisch onderzoek 81
6.1 Inleiding 81
6.2 Resultaten 82
6.2.1 Textuur 82
6.2.2 Gloeiverlies en zuurgraad 84
6.2.3 Totaalgehaltes aan hoofd- en nevenelementen 85
6.3 Vergelijking tussen de resultaten van de huidige studie en die van het project 'Zuidelijk Flevoland' 86

7 Inventarisatie van recente verstorende ingrepen 93
7.1 Inleiding 93
7.2 Verstoringstypen in Zuidelijk Flevoland 93
7.2.1 Fase 1a: aanleg polders 93
7.2.2 Fase 1b: aanleg verkaveling 94
7.2.3 Fase 2: ingebruikname van het land voor landbouw, infrastructuur, bewoning, natuur en recreatie 95
7.3 Inventarisatie van verstoringstypen in het studiegebied 98

8 Evaluatie 105
8.1 De gaafheid van de dekzandbodems en het basisveen 105
8.2 Implicaties voor archeologische waarden 107

9 Conclusies en aanbevelingen 113

Literatuur 117

Bijlagen

1 Resultaten van de macrorestenanalyse 121
2 Zandgehalte van de monsters die op macrorestensamenstelling zijn onderzocht 133
3 Resultaten van de bepaling van de totaalchemie met behulp van röntgenfluoriscentie (XRFS) 137
4 Principal components analysis van de gegevens uit Bijlage 3 141

Lijst van afkortingen 147

Figuren

1. (a) De ligging van enkele onderzoekslocaties in het IJsselmeergebied 14
   (b) Het studiegebied met de vier boorlocaties 15

2. De lithostratigrafische eenheden in het studiegebied uit het Laat-Pleistoceen en het Holoceen, volgens de indeling van Zagwijn & van Staalduinen (1975) en de indeling van Weerts *et al.* (2000) 26

3. Schematisch geologisch profiel door de holocene afzettingen in het studiegebied 27

4. De hoogteligging van de bovenkant van de pleistocene afzettingen in het studiegebied [naar Gotjé (1997a) op basis van ongepubliceerde gegevens van RWS-RIZA] 28

5. (a) Boorkern Winkelweg 32
   (b) Lithologie van boorkern Winkelweg met de horizonten van de paleosol en de positie van diverse geanalyseerde monsters 33

6. (a) Boorkern Rassenbeektocht 36
   (b) Lithologie van boorkern Rassenbeektocht met de horizonten van de paleosols en de positie van diverse geanalyseerde monsters 37

7. (a) Boorkern Eemhof 40
   (b) Lithologie van boorkern Eemhof met de horizonten van de paleosol en de positie van diverse geanalyseerde monsters 41

8. (a) Boorkern Eemmeerdijk 42
   (b) Lithologie van boorkern Eemmeerdijk met de horizonten van de paleosol en de positie van diverse geanalyseerde monsters 43

9. Microscopisch beeld van de diepste veenlaag (220 - 232 cm - mv) in Boorkern Rassenbeektocht (vergroting 25 x) 53

10. Microscopisch beeld van de overgang van (verspoeld) dekzand en (verslagen) veen in boorkern Rassenbeektocht (120,5 cm - mv) 55

11. Microscopisch beeld van de scherpe, waarschijnlijk erosieve, grens tussen de ABhb- en de Cr-horizont op 196,5 cm - mv in boorkern Eemmeerdijk (vergroting 25 x) 63

12. Diagram waarin de ouderdom van de gedateerde veenmonsters (X-as) is uitgezet tegen de diepteligging ten opzichte van NAP (Y-as) 79

13. Cumulatieve korrelgrootteverdelingen van de dekzandmonsters uit boorkern Eemmeerdijk 83

14. Korrelgrootteverdelingen (niet-cumulatief) van vier dekzandmonsters uit boorkern Winkelweg 84

15. Calciumgehalte uitgezet tegen magnesiumgehalte voor 36 monsters van de organische grenslaag tussen dekzand en veen uit het project ‘Zuidelijk Flevoland’, en voor twee monsters uit het huidige onderzoek 87

16. Uitwisselbaar calcium + magnesium (x-as) uitgezet tegen uitwisselbaar magnesium (y-as) voor de monsters uit de vier boorkernen van het huidige onderzoek 90

17. Uitvergroting van een deel van Figuur 16 90

18. Uitwisselbaar calcium + magnesium (x-as) uitgezet tegen uitwisselbaar calcium (y-as) voor de monsters uit de vier boorkernen van het huidige onderzoek 91

19. Uitvergroting van een deel van Figuur 18 91

20. Deelgebieden in het studiegebied waar verstorende ingrepen hebben plaatsgevonden 99

21. Percelen waar verstorende ingrepen hebben plaatsgevonden in de periode tussen ca. 1980 en 1996; per perceel zijn de verstoorde oppervlakte en de verstoringsdiepte weergegeven 101

22. Delen van het studiegebied waar het dekzandoppervlak ondieper dan 1 m onder het maaiveld voorkomt (Bronnen: ongepubliceerde gegevens RIJP; Heidemij, 1993; van der Heijden & van Eijk, 1996) 111

Tabellen

1. ^{14}C-dateringen uitgevoerd voor dit onderzoek 74

2. Calcium- en magnesiumgehaltes van 12 monsters volgens twee verschillende bepalingen 88

3. Diepe grondbewerkingen in Zuidelijk Flevoland (naar Boelens & Koning, 1986) 97

4. Grondverzet uitgevoerd in de periode 1986-1996 in Zuidelijk Flevoland (enkele gegevens van vóór 1986 zijn toegevoegd) (bron: archief RWS-RIZA) 98

5. Grondverzet uitgevoerd in de periode 1986-1996 in het studiegebied (enkele gegevens vanaf ca. 1980 zijn toegevoegd) (bron: archief RWS-RIZA) 103

6. De ligging en kwaliteit van de dekzandbodem en het basisveen in de boorkernen 109

Woord vooraf

Het in dit rapport beschreven onderzoek is uitgevoerd door Alterra (voorheen DLO-Staring Centrum) in samenwerking met BIAX *Consult*, de ROB en Paleo Terra in opdracht van de Provincie Flevoland. Het onderzoek is gefinancierd door de Provincie Flevoland, de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek (ROB) en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Het doel was een kwaliteitsbepaling van de begraven bodems waarmee archeologische waarden in het bodembeschermingsgebied ten zuidoosten van Almere geassocieerd zijn. Het onderzoek is geïnitieerd door André Kerkhoven, provinciaal archeoloog van Flevoland.

Binnen het onderzoeksteam van Alterra, BIAX *Consult*, de ROB en Paleo Terra waren de werkzaamheden als volgt verdeeld:

- Maja Kooistra (bodemkundige/micromorfoloog van Alterra): verrichtte micromorfologisch onderzoek aan slijpplaatjes uit de boorkernen (hoofdstuk 4);
- Dirk van Smeerdijk (paleo-ecoloog van BIAX *Consult*): voerde macrobotanische analyses uit (hoofdstuk 5);
- Evelien Verbauwen (bodemkundige/geochemicus van de ROB): verrichtte bodemfysisch en geochemisch onderzoek (hoofdstuk 6);
- Sander Smit (geochemicus van Paleo Terra): verrichtte bodemfysisch en geochemisch onderzoek samen met Evelien Verbauwen;
- Roosmarijn Haring (fysisch geograaf van Alterra): inventariseerde de recente verstorende ingrepen in het studiegebied (hoofdstuk 7);
- Bart Makaske (geomorfoloog/sedimentoloog van Alterra): was projectleider, verwerkte bodemkundige en geologische gegevens en droeg zorg voor de integratie van de onderzoeksgegevens en het afwerken van de eindrapportage (hoofdstukken 1, 2, 3, 8 en 9).

In december 1999 is het onderzoek gestart; veldwerk in het studiegebied vond plaats in het voorjaar van 2000. Sinds die tijd is gewerkt aan analyse en rapportage.
De onderstaande personen en instanties worden hartelijk bedankt voor hun bijdrage aan het onderzoek.

- Ute Menke en Gerda Lenselink (Rijkswaterstaat-RIZA in Lelystad) stelden ongepubliceerde kaarten van de voormalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) ter beschikking, die een goede locatiekeuze voor de Begemann-boringen mogelijk maakten. Daarnaast leverden zij gegevens over recente verstoringen van de ondergrond van het studiegebied.
- Staatsbosbeheer, Stichting Flevolandschap en Waterschap Zuiderzeeland gaven toestemming om op hun terreinen veldwerk uit te voeren.
- GeoDelft voerde de Begemann-boringen uit.
- John Mulder (Alterra) assisteerde bij het verkennen van de boorlocaties.

- Obbe Boersma en Dick Schreiber (Alterra) verzorgden het opensnijden en uitleggen van de Begemann-boorkernen. Obbe Boersma (Alterra) beschreef de boorkernen bodemkundig en Dick Schreiber vervaardigde de slijpplaatjes voor micromorfologische analyse.
- Houtdeterminaties van botanische macrorestenmonsters zijn uitgevoerd door Pauline van Rijn (BIAX *Consult*).
- Joop van Osch (Beeldgroep Wageningen UR) fotografeerde de boorkernen.
- De ^{14}C-analyses vonden plaats in het Centrum voor Isotopen Onderzoek (Rijksuniversiteit Groningen) onder leiding van Hans van der Plicht.
- Chemische analyses werden uitgevoerd door ALS-Chemex (Canada) en het ISRIC (Wageningen).
- Korrelgrootte-analyses vonden plaats in het Laboratorium voor Bodemkunde en Geologie (Wageningen Universiteit).
- Gilbert Maas en Theo Spek (Alterra) hielpen met de interpretatie van de bodemprofielen.

Samenvatting

In het bodembeschermingsgebied ten zuidoosten van Almere is een bodemkundig, paleo-ecologisch en geochemisch onderzoek uitgevoerd, met als doel de kwaliteit te bepalen van de begraven bodems, waarmee de archeologische waarden in het gebied geassocieerd zijn. De begraven bodems bevinden zich in de top van een pleistoceen dekzandpakket en zijn in de loop van het Holoceen afgedekt door veen- en kleilagen. Het zogenaamde basisveen ontwikkelde zich op de dekzandbodems toen de grondwaterspiegel tot aan het toenmalige oppervlak was gestegen. Deze grondwaterspiegelstijging hing direct samen met de voortdurende stijging van de zeespiegel in het Holoceen. Door de verdrinking en de afdekking met basisveen werden de dekzandbodems, met het archeologische materiaal, geconserveerd. Door latere inbraken van de zee in het Zuiderzeegebied echter, heeft plaatselijk erosie van de begraven bodems plaatsgevonden. Voorts hebben sinds de drooglegging van Zuidelijk Flevoland (agrarische) bodemingrepen en belangrijke veranderingen in waterhuishouding plaatsgevonden. Het is derhalve de vraag in welke staat de dekzandbodems en het basisveen momenteel verkeren. In dit onderzoek is enerzijds de kwaliteit van een aantal bodemmonsters uit het gebied met verschillende methodes bestudeerd, en is anderzijds voor het gehele gebied op basis van literatuur- en archiefgegevens geïnventariseerd welke verstorende bodemingrepen sinds de drooglegging hebben plaatsgevonden.

Voor het onderzoek zijn vier ongestoorde boorkernen gestoken op verschillende representatieve locaties in (en net buiten) het studiegebied. Deze boorkernen zijn geologisch en bodemkundig beschreven, waarna van de begraven dekzandbodem en het basisveen monsters zijn genomen voor micromorfologische, macrobotanische en geochemische analyse. Ook zijn enkele basisveenmonsters met de ^{14}C-methode gedateerd. In het micromorfologisch onderzoek is de structuur van ongestoorde bodemmonsters onder de microscoop bekeken. Dit gaf informatie over omzetting van organische stof, activiteiten van bodemfauna, de aanwezigheid van archeologische indicatoren, en zaken als fijne gelaagdheid en erosievlakken in de bodem. In het macrobotanische onderzoek zijn grovere organische bestanddelen (> 0,17 mm) uit het bodemmateriaal gezeefd en onder een microscoop gedetermineerd. Uit dit onderzoek volgde de conserveringstoestand van het organische materiaal en een beeld van de voormalige vegetatie. De gedetermineerde organische bestanddelen zijn tevens gebruikt voor ^{14}C-ouderdomsbepaling. Deze dateringen hadden tot doel het tijdstip van verdrinking van het dekzandoppervlak voor ieder profiel vast te stellen. Hiervoor is de onderkant van de basisveenlaag gedateerd. In het geochemisch deelonderzoek is de chemische samenstelling van het bodemmateriaal volgens een aantal verschillende methodes bepaald, met als doelen: (a) geochemische karakterisatie van de bodemprofielen; (b) het verder verkennen van de mogelijkheden voor geochemische prospectie (= het identificeren van archeologische sites op basis van chemische bodemkenmerken).

Uit de analyse van de boorkernen blijkt dat de begraven dekzandbodems een complexe ontstaanswijze hebben, die wordt gekenmerkt door een afwisseling van fasen van erosie, afzetting van verspoeld dekzand en hernieuwde bodemvorming. Door verspoelingsfasen ligt op bepaalde locaties een deel van het archeologisch materiaal nabij het dekzandoppervlak niet meer *in situ.* De indruk bestaat dat het materiaal in het algemeen slechts over kleine afstanden is verplaatst. Een ander deel van de aangetroffen archeologische indicatoren bevindt zich dieper in intacte delen van de dekzandbodem. In hoeverre de informatiewaarde van de archeologische vindplaatsen die ten dele zijn verspoeld is aangetast, is vanuit dit onderzoek niet te beoordelen. Het plantaardige organische materiaal in de dekzandbodem en in het basisveen is meestal sterk omgezet en bevat weinig herkenbare botanische macroresten. De omzetting van dit organische materiaal is niet recent, maar dateert van vóór de verdrinking van het dekzandlandschap. Uit ^{14}C-dateringen van het basisveen blijkt dat de verdrinking van het dekzandlandschap in het studiegebied (door stijging van de grondwaterspiegel) een geleidelijk proces was, dat duizenden jaren in beslag heeft genomen. De laagste delen van het dekzandlandschap kwamen kort voor 5000 v. Chr. al binnen bereik van het stijgende grondwater, terwijl de hoogste delen pas rond 2750 v. Chr. overstroomden. De resultaten van het geochemisch deelonderzoek wijzen erop dat de grenslaag tussen dekzand en veen na verdrinking nog belangrijke veranderingen in de geochemische eigenschappen kan ondergaan. Dit bemoeilijkt de ontwikkeling van geochemische prospectiemethoden. Volgens de beschikbare archief- en literatuurgegevens hebben in een groot deel van het studiegebied sinds de drooglegging van de polder verstorende ingrepen in de bodem plaatsgevonden. Dezelfde gegevens suggereren echter dat het begraven dekzandlandschap en de hiermee geassocieerde archeologische waarden hierdoor nauwelijks zijn aangetast.

1 Inleiding

1.1 Algemene achtergrond

Het bodembeschermingsgebied aan het Eemmeer ten zuidoosten van Almere (Fig. 1) herbergt archeologische waarden van een waarschijnlijk meer dan regionaal belang (van der Heijden & van Eijk, 1996; Marinelli & Wentink, 1998). Deze waarden laten zich momenteel min of meer verenigen met het overwegend agrarische landgebruik. De druk vanuit de randstad om de bestemming van het gebied te wijzigen neemt echter toe. Dit zou na 2010 kunnen leiden tot verstedelijking, hetgeen desastreus zou zijn voor aanwezige archeologische waarden.

Op kortere termijn spelen andere potentiële bedreigingen van het archeologisch erfgoed. De archeologische vindplaatsen van dit gebied liggen op een pleistoceen zandoppervlak dat wordt afgedekt door holocene veen- en kleilagen. De conservering van de bewoningsresten werd lange tijd gewaarborgd door het afdekkende veenpakket en de anaërobe condities die het gevolg waren van de voortdurend hoge waterstand. Langzamerhand echter, worden de conserveringscondities minder gunstig als gevolg van de drooglegging en ontginning van het gebied. Degradatie als gevolg van aëratie is één van de bedreigingen voor het archeologisch erfgoed. Daarnaast veroorzaakt de drooglegging klink van het holocene veen- en kleipakket. Hierdoor komt de top van het pleistocene zand, met daarin de bewoningsresten, steeds dichter onder het maaiveld te liggen, binnen het bereik van verstorende agrarische grondwerkzaamheden. Hierbij valt te denken aan (diep)ploegen, scheuren van grasland, het aanleggen van drainage en egalisatie.

In het ‘Ontwerp omgevingsplan’ van de Provincie Flevoland (2000) wordt het gebied (Fig. 1) onder de naam ‘Rivierduingebied Zuidelijk Flevoland’ aangegeven als milieubeschermingsgebied. In milieubeschermingsgebieden bevordert de provincie de kwaliteit van de bodem met het oog op de aanwezigheid van abiotische, biotische of cultuurhistorische waarden. Het grootste deel van het gebied is tevens één van de, in het ‘Ontwerp omgevingsplan’ aangegeven, strategische aandachtsgebieden, waarin projecten worden geïnitieerd ter ondersteuning van gebiedsgericht milieubeleid. De hier gerapporteerde studie heeft plaatsgevonden in het kader van het ‘gebiedsgericht project Eemgebied’.

1.2 Probleem- en doelstelling

De ruime aanwezigheid van archeologische waarden in het gebied is voldoende aangetoond. Op twee punten echter is nadere informatie vereist om een gebiedsgericht beleid voor archeologische waarden mogelijk te maken. Het gaat hierbij om de volgende vragen: (1) in hoeverre ligt momenteel het archeologische materiaal nog *in situ*; (2) hoe is de huidige conserveringstoestand van het archeologische materiaal? De eerste vraag heeft zowel betrekking op natuurlijke

processen als op recente menselijke ingrepen die de oorspronkelijke bodemopbouw hebben verstoord. De tweede vraag betreft vooral de kwaliteit van de organische component van de bodem, die sterk afhankelijk is van de huidige en voormalige grondwaterstand. Het is voor het nemen van gerichte behoudsmaatregelen van belang deelgebieden te onderscheiden op basis van de kwaliteit van het bodemarchief.

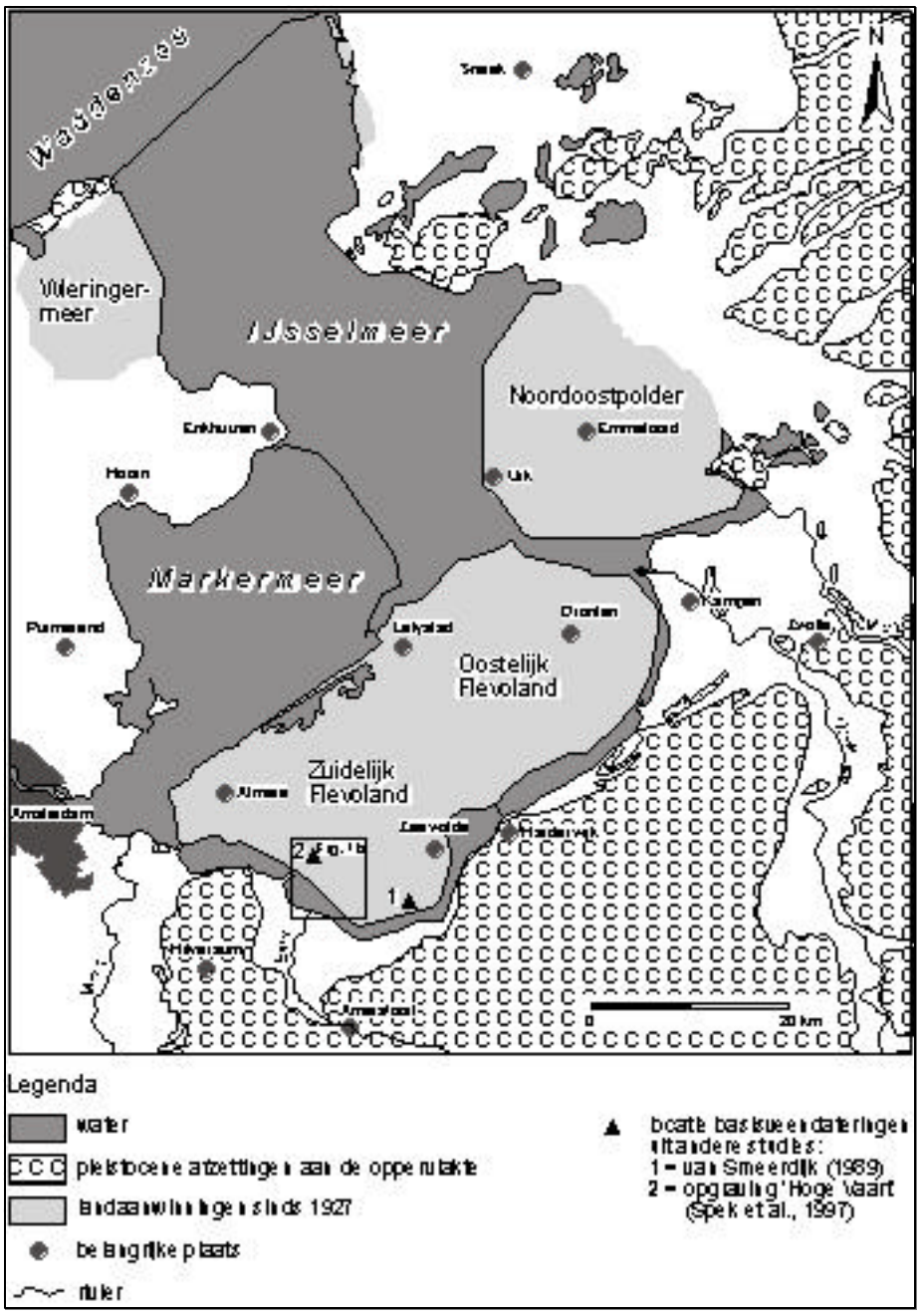


Fig. 1a De ligging van enkele onderzoekslocaties in het IJsselmeergebied.

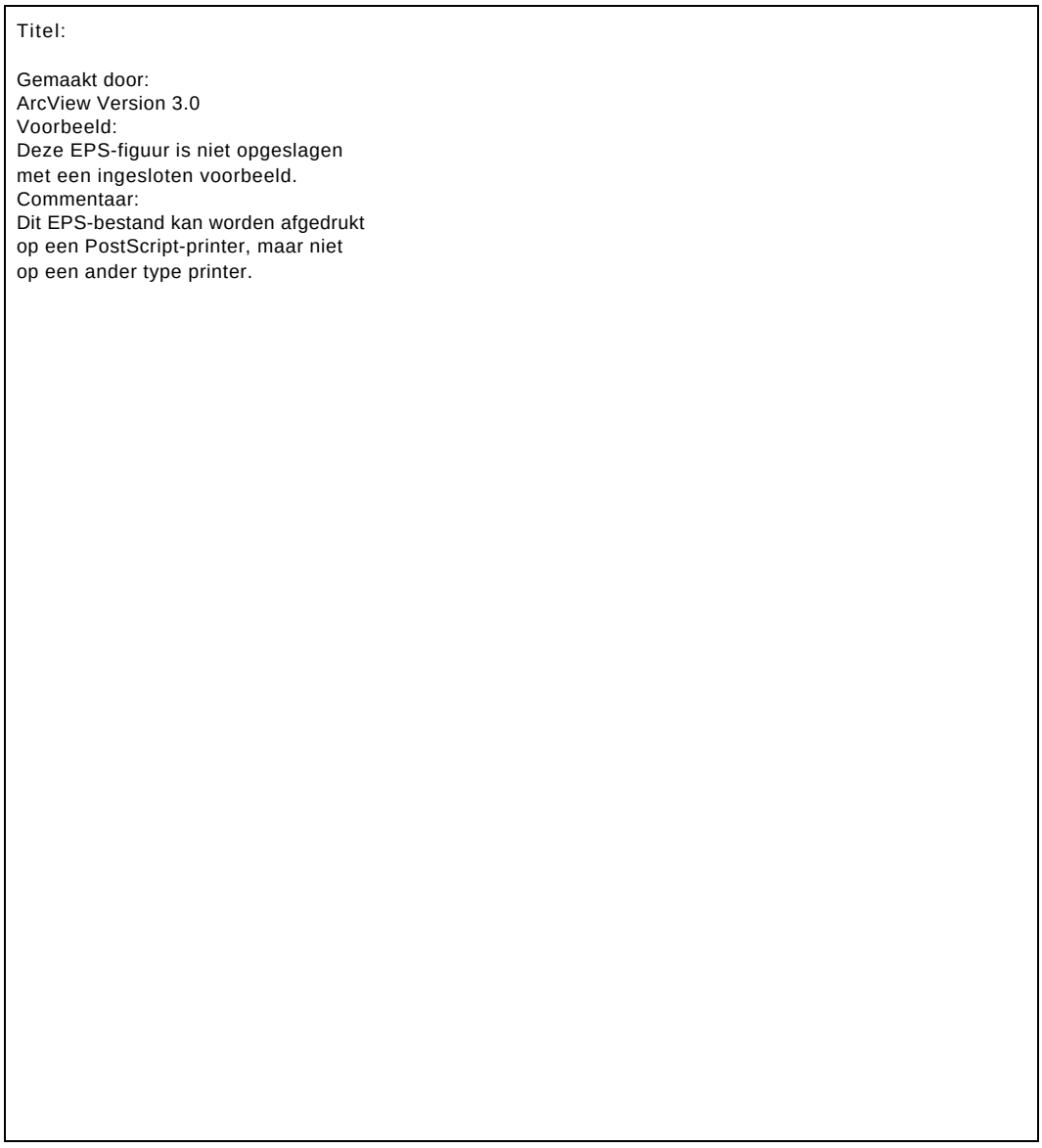


Fig. 1b Het studiegebied (groen) met de vier boorlocaties (blauwe stippen); A = boorlocatie Winkelweg, B = boorlocatie Rassenbeektocht, C = boorlocatie Eemhof, D = boorlocatie Eemmeerdijk.

De doelstelling van het hier gerapporteerde onderzoek was het uitvoeren van een kwaliteitsmeting van het bodemarchief in het bodembeschermingsgebied aan het Eemmeer ten zuidoosten van Almere. Om dit doel te bereiken zijn vier representatieve bodemprofielen in detail onderzocht door verschillende specialisten. Het betreft hier de disciplines geologie, bodemkunde, paleobotanie en geochemie. Daarnaast is er een gebiedsdekkende inventarisatie gedaan van recente verstorende ingrepen. Tot slot is de archeologische gaafheid van het studiegebied geëvalueerd aan de hand van de bevindingen uit de verschillende deelonderzoeken.

1.3 Benadering, afbakening en beperkingen

Een belangrijk uitgangspunt van de huidige studie is dat de kwaliteit van archeologische waarden in grote mate bepaald wordt door hun geologische en bodemkundige context, die eventueel beïnvloed is door recente verstorende ingrepen van de mens. Getracht is de kwaliteit van archeologische waarden af te leiden uit de kwaliteit van deze context. Bij het documenteren van de context heeft het onderzoek zich niet primair gericht op bekende archeologische vindplaatsen, maar is meer geprobeerd de variatie in het gebied zo goed te mogelijk beschrijven. De gedachte hierbij was dat de beschreven bodemprofielen dan in toekomstig onderzoek eventueel als referentieprofielen zouden kunnen dienen.

Met nadruk moet gesteld worden dat het hier gerapporteerde onderzoek een verkennend karakter had. De belangrijkste beperking was dat het met de beschikbare middelen slechts mogelijk was om vier bodemprofielen in detail te bestuderen. Er is dus geen gebiedsdekkend bodemkundig onderzoek uitgevoerd. Binnen de onderzochte bodemprofielen is het onderzoek met name gericht op de overgang van het pleistocene zandpakket naar het hierboven liggende (holocene) veen. Het is aannemelijk dat op dit niveau het overgrote deel van het in het gebied aanwezige archeologische materiaal aanwezig is. De conclusies van dit onderzoek met betrekking tot de kwaliteit van het bodemarchief hebben dan ook uitsluitend betrekking op dit deel van het profiel. Dit betekent bijvoorbeeld dat geen uitspraak gedaan kan worden over de conservering van eventuele middeleeuwse scheepswrakken of bewoningsresten op de oevers van holocene getijdengeulen in het gebied. Deze fenomenen, indien aanwezig, bevinden zich hoger in het profiel.

Een andere beperking heeft te maken met de representativiteit van de vier bestudeerde bodemprofielen. Geprobeerd is de bemonsteringslocaties zo te kiezen dat de aanwezige variatie in bodemtypes en geologische/hydrologische gesteldheid in het gebied goed vertegenwoordigd was in de vier profielen. Enerzijds is echter het aantal van vier in feite veel te weinig om de totale variatie goed te vertegenwoordigen en anderzijds is het vooronderzoek in het veld, dat leidde tot locatiekeuze, noodgedwongen vrij beperkt geweest. Verder werd de locatiekeuze enigszins beperkt doordat niet het gehele gebied goed toegankelijk was voor onderzoek. Bij de agrariërs, die het overgrote deel van het gebied beheren, bestaat grote weerstand tegen archeologisch booronderzoek. Voor eerder gepland veldonderzoek (Marinelli & Wentink, 1998) werd geen toestemming gekregen. Voor de huidige studie is daarom zoveel mogelijk gewerkt op terreinen van natuurorganisaties (Staatsbosbeheer, Stichting Flevolandschap) en het waterschap (Waterschap Zuiderzeeland), die positief stonden tegenover de doelstellingen van dit onderzoek.

1.4 Geologische en archeologische achtergrond

Voor een waardering van het bodemarchief in het studiegebied is een goed begrip van de geologische ontwikkeling van het gebied in het Holoceen onmisbaar. Een cruciale rol werd gespeeld door de relatieve zeespiegelstijging in dit tijdvak.

Gedurende het Holoceen is de zeespiegel in het Noordzeegebied ongeveer 65 m gestegen ten opzichte van NAP (Jelgersma, 1980, p. 444). De zeespiegelstijging was van enorme invloed op de geologische ontwikkeling van het Nederlandse kustgebied en, niet in de laatste plaats, op de bewoonbaarheid van dit gebied. Uiteraard was de holocene transgressie bepalend voor de ligging van de kustlijn, echter ook landwaarts van de kustlijn veroorzaakte zij grote landschappelijke veranderingen. In een groot deel van het IJsselmeergebied voltrok zich de metamorfose van een droog bebost dekzandlandschap in een veenmoeras, door stijging van de grondwaterspiegel.

In het studiegebied bevindt zich een begraven dekzandlandschap op 0,5 tot 5 m onder het huidige maaiveld. Dit dekzandlandschap werd in de Steentijd bewoond door jagers en verzamelaars. In de loop van het Holoceen raakte het dekzandlandschap afgedekt door veen- en kleilagen onder invloed van de voortdurend stijgende zeespiegel. Vanaf het moment dat de lokale grondwaterspiegel tot aan het maaiveld gestegen was, werd permanente menselijke bewoning vrijwel onmogelijk. Door het reliëf van het dekzandlandschap waren er ruimtelijk grote verschillen in het exacte tijdstip van verdrinking. De periode waarin de verdrinking van het studiegebied plaatsvond, omvat ongeveer de gehele Nieuwe Steentijd (5300-2000 v. Chr.). Tot de Nieuwe Steentijd voorzagen de prehistorische bewoners door jagen, vissen en verzamelen in hun levensonderhoud. In de Nieuwe Steentijd deed de landbouw zijn intrede. Het feit dat deze grote verandering in levenswijze waarschijnlijk in het bodemarchief van het studiegebied vertegenwoordigd is, maakt het gebied in archeologisch opzicht bijzonder waardevol. Daarnaast is van belang dat relatief oude archeologische resten door de afdekking met klei en veen in dit gebied beter geconserveerd zullen zijn dan in de hogere delen van Nederland.

Naar verwachting bevat het begraven dekzandlandschap in het studiegebied archeologische waarden van zeer hoge kwaliteit. Illustratief in dit opzicht is de rijkdom aan vondsten in de naburige opgraving ‘Hoge Vaart’ (Fig. 1), die vooraf ging aan de aanleg van de snelweg A27 (Hogestijn & Peeters, 2001). Uit deze opgraving werd duidelijk dat de mesolithische en neolithische bewoners van deze vindplaats in een gevarieerd en dynamisch landschap leefden waar zij op verschillende manieren gebruik van maakten.

Twee auteurs van dit rapport (Bart Makaske en Dirk van Smeerdijk) zijn betrokken bij een onderzoek in een aangrenzend gebied rond Almere-Hout, waarin getracht wordt de stijging van de waterspiegelstijging in de tijd zo nauwkeurig mogelijk te reconstrueren (Peeters *et al.*, in druk; Makaske *et al.*, 2002). Hierbij zijn ^{14}C-ouderdomsbepalingen uitgevoerd van veenmonsters waarbij veel aandacht is besteed aan de geologische en paleo-ecologische context van deze monsters. De uitkomsten van dit onderzoek rond Almere-Hout vormen een uitstekende aanvulling op dit rapport.

2 Werkwijze

2.1 Selectie van boorlocaties

De in (en net buiten) het studiegebied verzamelde boorgegevens bestaan uit vier gestoken kernen. Voorafgaand aan het steken van deze kernen heeft een verkennend onderzoek met Edelman-boor (diameter 6 cm) en guts (diameter 3 cm) plaatsgevonden. Ook zijn geologische kaarten van de voormalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) bestudeerd om optimale boorlocaties te vinden. In zuidelijk deel van het gebied bestaan de grootste bedreigingen voor archeologische waarden vanwege de ondiepe ligging dekzandoppervlak. Om deze reden heeft de bemonstering zich vooral op dit deel van het gebied gericht. Uitgangspunt was verder het realiseren van voldoende spreiding in hoogteligging van het begraven dekzandoppervlak in de boorkernen, zowel ten opzichte van NAP als ten opzichte van het maaiveld. Dit betekent tevens spreiding ten opzichte van de huidige grondwaterspiegel, die geacht wordt van grote invloed te zijn op de conservering van het archeologische materiaal. Daarnaast is geprobeerd verschillende bodemtypes en landschappelijke eenheden van het begraven dekzandlandschap te bemonsteren. De ligging van bekende archeologische sites in het gebied is niet van invloed geweest op de locatiekeuze, hoewel in de meeste boringen wel archeologisch materiaal is aangetroffen. De geselecteerde boorlocaties zullen hieronder kort worden gekarakteriseerd.

Op **boorlocatie Winkelweg** (Fig. 1b) ligt het dekzandoppervlak permanent onder het grondwater en vrij diep onder het maaiveld (1,95 m). De boorlocatie bevindt zich ongeveer halverwege een lange flauwe helling in het dekzandoppervlak. Bodemkundig is hier sprake van een dikke paleobodem in het dekzand waarin meerdere horizonten herkenbaar zijn.

Op **boorlocatie Rassenbeektocht** (Fig. 1b) ligt het dekzandoppervlak nabij de huidige gemiddelde grondwaterspiegel en dichter onder het maaiveld (1,19 m) dan op boorlocatie Winkelweg. De voormalige landschappelijke ligging is vrij hoog op de noordelijke flank van een dekzandrug. De paleobodem in het dekzand is dun.

Boorlocatie Eemhof (Fig. 1b) bevindt het dekzandoppervlak zich nabij de huidige gemiddelde grondwaterspiegel. Het bevindt zich evenwel dieper onder het maaiveld (1,96 m) dan op boorlocatie Rassenbeektocht. Het dekzandoppervlak in de buurt van de boorlocatie was waarschijnlijk vrij vlak. Er is geen paleobodem in het dekzand herkenbaar.

Boorlocatie Eemmeerdijk (Fig. 1b) vertegenwoordigt de top van een begraven dekzandrug. Het dekzandoppervlak op de boorlocatie ligt permanent boven de grondwaterspiegel. Op de boorlocatie zelf (de dijkvoet) is het maaiveld opgehoogd zodat hier het dekzandoppervlak 1,71 m onder het maaiveld ligt. Het dekzandoppervlak ligt echter slechts 0,5 m onder het oorspronkelijk maaiveld, zoals

dat in de omgeving van de boorlocatie nog aanwezig is. Er is een dikke paleobodem met meerdere horizonten in het dekzand aanwezig.

2.2 Boormethode

Op de vier boorlocaties zijn boorkernen gestoken met de Begemann-continumonstersteker van GeoDelft. Met dit mechanische boorsysteem kunnen ongestoorde boorkernen met een diameter van 66 mm gestoken worden. Met het boorsysteem dat op een rupsvoertuig is gemonteerd, worden twee buizen tezamen omlaag gedrukt, de metalen buitenbuis (de eigenlijke steekbuis) en de PVC monsterhouder. Het monster (de boorkern) wordt geleidelijk omgeven door een nylon kous, die aanvankelijk in de kop van het steekapparaat is opgerold en geleidelijk wordt afgestroopt doordat het uiteinde van de kous wordt vastgehouden aan een koord. Er ontstaat tenslotte een boorkern van grote lengte omringd door een nylon kous in een iets wijdere PVC buis (de monsterhouder). Tussen kous en buis bevindt zich een dunne laag van een zware steunvloeistof. Het soortelijk gewicht van die steunvloeistof wordt, om de juiste horizontale steundruk op de boorkern te handhaven, gekozen afhankelijk van het type grond dat geboord wordt. Door de vloeistof is er practisch geen wrijving tussen de boorkern en de omringende buis, zodat verticale schuifkrachten op de boorkern zoveel mogelijk beperkt blijven.

De boorkernen uit het studiegebied waren 3 à 4 m lang en zijn tijdens het omhooghalen in delen van 1 m lengte afgesneden. De PVC monsterhouders zijn aan weerszijden met een dop afgesloten en vervoerd naar het laboratorium. Hier zijn de boorkernen voorzichtig uit de monsterhouders geduwd en overlangs opengesneden voor geologische en bodemkundige beschrijving, monstername voor specialistisch onderzoek en fotografische documentatie.

2.3 Micromorfologisch onderzoek

Aan de hand van de profielbeschrijvingen van de opengesneden kernen zijn de locaties voor monsters voor micromorfologisch onderzoek bepaald. Uit de vier kernen zijn 12 monsters genomen uit de begraven bodem in het dekzand en van het veenpakket dat hierop ligt. Op de geselecteerde locaties zijn voorzichtig monsterblikjes (15 x 4 x 2 cm) ingesneden. Deze onverstoorde bodemmonsters zijn gevriesdroogd (Jongerius & Heintzberger, 1975) en daarna geïmpregneerd met een kleurloze onverzadigde polyesteroplossing. Na verdamping van het grootste gedeelte van de aceton uit deze oplossing zijn de monsters verhard met gammaradiatie. De slijpplaten van 15 x 4 cm met een dikte van 25 µm zijn gemaakt uit de kern van de verharde blokken, om verstoringen zoveel mogelijk uit te sluiten. De hardingsmethode met gammaradiatie staat vermeld in Bisdom & Schoonderbeek (1983). Verder zijn de slijpplaten geprepareerd volgens de procedure die ontwikkeld is door Jongerius & Heintzberger (1975). De slijpplaten zijn geanalyseerd met een microscoop onder gepolariseerd licht met vergrotingen tot 200 x. Overzichten van de gebruikte procedures voor het reconstrueren van processen en daarmee de genese

van bodem en landschap in verschillende perioden met behulp van micromorfologie zijn gegeven in Kooistra (1990, 1991).

2.4 Paleo-ecologisch onderzoek

Na de monstername voor micromorfologisch onderzoek is het resterende materiaal van de boorkernen verdeeld voor bodemfysisch en geochemisch onderzoek en botanisch macrorestenonderzoek. Evenals voor het micromorfologische onderzoek werden de macrorestenmonsters genomen uit de begraven dekzandbodem en de basis van het bovenliggende veenpakket. Dit interval is continu bemonsterd, waarbij ieder macrorestenmonster een in het algemeen 1 cm dik intervalletje uit de boorkern omvat.

De monsters zijn direct gezeefd met kraanwater over een zeef van 170 µm. Van ieder monster is een schatting gemaakt van het zandgehalte (fractie >170 µm). De op de zeef achtergebleven macroresten zijn met behulp van een stereomicroscoop uitgezocht en gedetermineerd. De te bewaren zaden en andere plantenresten zijn opgeslagen in 4 % HCL. Hieruit zijn ook monsters voor ^{14}C-datering geselecteerd. Van sommige monsters is niets bewaard, omdat ze geen herkenbare resten bevatten. In Bijlage 1 zijn de macroresten per boorkern gerangschikt naar soort en diepte.

2.5 ^{14}C-datering

De ^{14}C-dateringen werden hoofdzakelijk uitgevoerd om het tijdstip van verdrinking van het dekzandoppervlak te bepalen. Hiervoor zijn macrorestenmonsters geselecteerd die afkomstig zijn van de onderkant van het veenpakket. Een uitzondering hierop is een monster uit een dunne oudere veenlaag in het dekzand onder in boorkern Rassenbeektocht.

In totaal zijn zeven monsters ter datering aangeboden aan het Centrum voor Isotopenonderzoek (Rijksuniversiteit Groningen). Twee monsters zijn volgens de conventionele methode gedateerd; vijf monsters zijn volgens de AMS-methode gedateerd. AMS staat voor 'Accelerator Mass Spectrometry'. Dit is een methode waarbij het gehalte van het radioactieve koolstofisotoop ^{14}C van een monster wordt bepaald door gecombineerd gebruik van een deeltjesversneller en een massaspectrometer. De verschillende koolstofisotopen in een monster worden op deze manier op gewicht van elkaar gescheiden. De conventionele methode om het ^{14}C-gehalte te bepalen berust op het meten van de radioactieve straling die uitgezonden wordt bij het verval van ^{14}C-atomen. De voordelen van de AMS-methode zijn: (1) er is weinig koolstof nodig voor datering (ca. 1 mg volstaat), en (2) de benodigde meettijd voor het bereiken van voldoende meetprecisie is relatief kort. Voor het dateren van kleine hoeveelheden geselecteerde macroresten, zoals plantenzaden, is toepassing van AMS noodzakelijk. Voor grotere monsters, van bijvoorbeeld hout, volstaat de conventionele methode.

Uit het gehalte aan ^{14}C volgt de ^{14}C-leeftijd van het monster. In levende organismen is het ^{14}C-gehalte van koolstof in het weefsel in het algemeen gelijk aan het ^{14}C-gehalte van koolstof in de atmosfeer, doordat het weefsel voortdurend wordt vernieuwd. Na afsterven van het organisme vervalt het isotoop ^{14}C onder uitzending van radioactieve straling en blijft steeds minder ^{14}C in het weefsel over. De hoeveelheid overgebleven ^{14}C is derhalve een maat voor de tijd die is verstreken sinds het afsterven van het weefsel. Deze ouderdom wordt door het laboratorium dat de datering uitvoert gegeven in ^{14}C-jaren BP (Before Present = voor 1950 AD). Daarnaast wordt een standaardafwijking gegeven die een statistische maat is voor de precisie van de meting. In Tabel 1 zijn gegevens over de ^{14}C-monsters en de dateringen opgesomd. Om de ^{14}C-leeftijden om te zetten in ouderdommen in kalenderjaren is calibratie nodig. Deze calibratie komt in § 5.3 aan de orde.

2.6 Bodemfysisch en geochemisch onderzoek

Het bodemfysisch en geochemisch onderzoek diende ter karakterisatie van het bestudeerde sediment als ondersteuning van de andere onderzoeksdisciplines. Een nevendoel was het verder verkennen van geochemische prospectiemogelijkheden in de archeologie.

De boorkernen zijn over de gehele lengte bemonsterd. De monsters beslaan intervallen van 1 tot > 5 cm dikte uit de kernen die zijn overgebracht in plastic monsterzakjes. De bovenste 55 cm van de boorkern Eemmeerdijk is geclassificeerd als recent opgebracht materiaal. Dit deel van de kern is niet bemonsterd voor het geochemisch deelonderzoek. De onderste meter van diezelfde kern is evenmin bemonsterd omdat het substraat niet beïnvloed leek te zijn door bodemvorming. Er is wel een monster uit dit deel van de kern genomen voor textuuranalyse. Niet op alle monsters zijn alle hieronder genoemde analyses uitgevoerd. Per monster is gekeken welke analyses noodzakelijk waren.

Textuuranalyse

Korrelgrootteverdelingen kunnen veel informatie bevatten over de bodemvormende processen die zich in een horizont hebben afgespeeld. Daarnaast kan textuuronderzoek uitwijzen of monsters al dan niet tot hetzelfde substraat behoren. Van 28 zand- en zavelmonsters is de textuur gemeten met behulp van lasertechnologie. De analyses zijn uitgevoerd in het Laboratorium voor Bodemkunde en Geologie van de Wageningen Universiteit. De gebruikte meettechniek is gebaseerd op het feit dat de buiging van laserstralen anders is voor deeltjes van verschillende vorm en grootte. Er is gebruik gemaakt van een *Coulter LS230 particle size distribution analyser*. Het apparaat bestrijkt een textuurbereik van 0,04-2000 µm met 116 detectoren. Daarnaast zorgen 6 extra detectoren die de verstrooiing van gepolariseerd licht meten, voor een nauwkeurige bepaling van de zeer fijne fracties. Voordat de textuur bepaald wordt, worden de gezeefde (fractie < 2 mm) en gedroogde (40 °C) grondmonsters ontdaan van stoffen met een kittende werking, bijvoorbeeld organische stof, calciumcarbonaat en in sommige gevallen ijzeroxide. De gekozen voorbehandeling is afhankelijk van de samenstelling van de monsters.

De monsters uit dit onderzoek zijn behandeld met waterstofperoxide (H_2O_2) om organische stof te verwijderen. Het verwijderen van calciumcarbonaat bleek na een kleine test met 1 M HCl slechts voor enkele monsters nodig. Na de destructie van de organische stof is een ultrasonische behandeling van vijf minuten toegepast, vlak voor elke meting. De ultrasone golven dienen om de monsters geheel in suspensie te brengen en de eventueel resterende aggregaten te vernietigen. Hierna wordt het monster in het meetapparaat gebracht waar het, vermengd met enkele liters water, op hoge snelheid wordt rondgepompt.

Gloeiverliesbepaling

De gloeiverliesbepaling dient om het gehalte aan organische stof van een monster te achterhalen. Het gloeiverlies is bepaald aan alle monsters die zijn ingestuurd voor XRFS-analyse (zie hieronder). Daarnaast is het gloeiverlies van enkele andere monsters bepaald in het laboratorium van de ROB te Amersfoort. Bij een gloeiverliesbepaling worden monsters tot 550 °C verhit. Bij deze temperaturen verdwijnen naast organische stof ook (kristal)water, sulfaten, (bi)carbonaten en houtskool.

Bepaling pH-H_2O

Er zijn pH-bepalingen gedaan door het ISRIC te Wageningen aan alle monsters waarvan de CEC (zie hieronder) bepaald is. Daarnaast zijn in het laboratorium van de ROB te Amersfoort aan een aantal andere monsters ook pH-H_2O bepalingen gedaan. In de meeste gevallen is de pH bepaald aan ovendroge (40 °C) monsters. Er zijn echter ook bepalingen aan veldvochtige monsters verricht.

Bepaling totaalchemie

Met behulp van röntgenfluorescentie (XRFS) is van 17 zand- en kleimonsters de totaalchemie bepaald om de geochemische karakterisering van de vier kernen te completeren. Hierbij wordt de atomaire samenstelling van een monster bepaald door middel van röntgenbestraling, waarbij de electronen in het monster in een aangeslagen energietoestand raken. De straling die wordt uitgezonden bij het terugvallen van de electronen in de ‘normale’ energietoestand, heeft voor ieder atoom karakteristieke spectrale eigenschappen. Deze analyse is uitgevoerd door ALS-Chemex in Canada. De analyseresultaten van de koningswaterextractie en de CEC-bepaling (zie hieronder) kunnen vergeleken worden met de totaalgehaltes die in het monster aanwezig zijn.

Koningswaterextractie/ICP-AES

De koningswaterextractie en de ICP-AES-metingen zijn ook uitgevoerd door ALS-Chemex in Canada. De ICP-AES-meettechniek biedt de mogelijkheid vele elementen tegelijkertijd te bepalen. Dit gebeurt op een nauwkeurige en goedkope wijze. Dat is ook de reden waarom eerdere onderzoeken naar geochemische prospectiemogelijkheden gebruik maakten van deze analyse. Door de grote schaal waarop prospectief onderzoek plaatsvindt is snelheid en prijs/kwaliteitverhouding van essentieel belang voor de implementatie van een nieuw te ontwikkelen methode. De ICP-AES-techniek is gebaseerd op meting van de unieke golflengtes die de aanwezige ionen uitzenden bij terugval vanuit geëxciteerde toestand. Deze toestand

wordt opgewekt door het vloeibare monster in een argon-plasma te brengen. Voor vaste grondmonsters betekent dit dat een extractie nodig is voordat het monster geanalyseerd kan worden. Voor dit onderzoek is voor de koningswaterextractie gekozen. De koningswaterextractie is een onvolledige extractie; de silicaatroosters in het monster worden bijvoorbeeld niet aangetast door het gebruikte mengsel van zuren.

Bepaling CEC

Er had zich nog niet eerder een gelegenheid voorgedaan om de koningswaterextractie te vergelijken met andere analyses. De koningswaterextractie, alhoewel onvolledig, is vrij sterk en geeft een deel van de mineralogische samenstelling weer. Deze samenstelling heeft naar verwachting weinig met de archeologische geschiedenis van doen en zou de archeologisch interessante informatie wellicht zelfs kunnen overschaduwen. Vandaar dat ervoor gekozen is ook een ammonium/natriumacetaat-analyse bij pH 7 uit te laten voeren bij het ISRIC te Wageningen. Met deze (veel minder agressieve!) analyse wordt de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) van de bodem bepaald. Ook de gehaltes van de individuele geadsorbeerde kationen Ca, Mg, K en Na worden gemeten.

2.7 Literatuur- en archiefonderzoek naar verstorende ingrepen

Om te achterhalen wat er reeds over verstoringen in Zuidelijk Flevoland al gerapporteerd is, is begonnen met een literatuuronderzoek. Veel bruikbare informatie is te vinden in de serie 'Flevoberichten' van Rijkswaterstaat. Met name het rapport 'De geologie en bodem van Zuidelijk Flevoland' (Menke *et al.*, 1998) uit deze serie geeft een goed overzicht. Verder bevat het RAAP-rapport 'Gebiedsgericht project Eemgebied' (Marinelli & Wentink, 1998) een archeologische advieskaart waarop een aantal verstoringen is aangegeven. Tenslotte is in de serie 'Van zee tot land' van de voormalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders veel informatie over verstoringen bij de aanleg van de polders terug te vinden.

Na het literatuuronderzoek zijn een aantal instanties geraadpleegd die eventueel nog aanvullende bruikbare informatie zouden kunnen hebben. Deze instanties zijn:

- RIZA-Lelystad van Rijkswaterstaat (voormalige Directie IJsselmeergebied);
- Dienst der Domeinen;
- Gemeente Zeewolde;
- Waterschap Zuiderzeeland (voormalig Heemraadschap Fleverwaard);
- Stichting Flevolandschap.

Veel informatie is tijdens reorganisaties en opruimingsacties in de laatste tientallen jaren bij een aantal van de genoemde instanties verloren gegaan.

3 Geologie en bodemkunde

3.1 Algemene geologische opbouw

In deze paragraaf volgt een globale beschrijving van de lithostratigrafische eenheden uit het Laat-Pleistoceen en Holoceen in het studiegebied. Hierbij is zoveel mogelijk de nieuwe lithostratigrafische indeling van het NITG gebruikt (Weerts *et al.*, 2000). Volgens deze indeling behoren de in dit rapport beschreven afzettingen tot de Formaties van Twente, Nieuwkoop en Naaldwijk. Figuur 2 is een lithostratigrafische tabel waarin behalve de nieuwe ook de oude formatie-indeling van de Rijks Geologische Dienst (Zagwijn & van Staalduinen, 1975) is weergegeven, voor zover van toepassing op het studiegebied. Figuur 3 is een schematisch profiel van het pleistocene oppervlak en de holocene afzettingen van het studiegebied. Hierin kan men de positie zien van de verschillende stratigrafische eenheden die hieronder worden besproken.

De zandige pleistocene afzettingen die de basis van de bestudeerde sedimentaire opeenvolgingen vormen, maken deel uit van de Formatie van Twente. De holocene sequentie in het studiegebied omvat de Formaties van Nieuwkoop en Naaldwijk. De Formatie van Nieuwkoop bestaat uit de *in situ* gevormde veenlagen, terwijl de Formatie van Naaldwijk alle holocene organische en klastische afzettingen omvat. Voor het grootste deel van het Holoceen maakte het studiegebied deel uit van de zogenaamde Flevo lagune. In dit rapport wordt hiermee het voormalige, overwegend brak tot zoete lagunaire milieu in het huidige IJsselmeergebied bedoeld, zoals dat bestond vanaf het Vroeg-Atlanticum (ca. 7000 BP) tot het late Subatlanticum (ca. 500 BP). In het late Subatlanticum werd de Flevo lagune opgevolgd door de zoute Zuiderzee (in de Late Middeleeuwen vanaf 1400-1500 AD). De top van de pleistocene ondergrond in het studiegebied bestaat uit een dekzandoppervlak waarin dekzandruggen, laagtes tussen dekzandruggen en min of meer vlakke gebieden te onderscheiden zijn (Fig. 4). In het noordwestelijke deel van het gebied is een dal aanwezig waarin mogelijk de voormalige loop van de Eem geplaatst moet worden. De hoogte van het dekzandoppervlak in het studiegebied ligt tussen 8 tot 2 m onder NAP. Volgens de beschikbare gegevens lijkt de morfologie van dit dekzandlandschap redelijk gespaard te zijn gebleven voor latere grootschalige erosie. Alleen in de omgeving van de Hoge Vaart heeft volgens Menke *et al.* (1998) sterke holocene erosie plaatsgevonden. Ondanks de grotendeels intacte dekzandmorfologie is het de vraag in hoeverre de bodemprofielen in het dekzand nog intact zijn. Lichte erosie kan de bodem onthoofd hebben, terwijl de dekzandmorfologie in grote lijnen bewaard is gebleven.

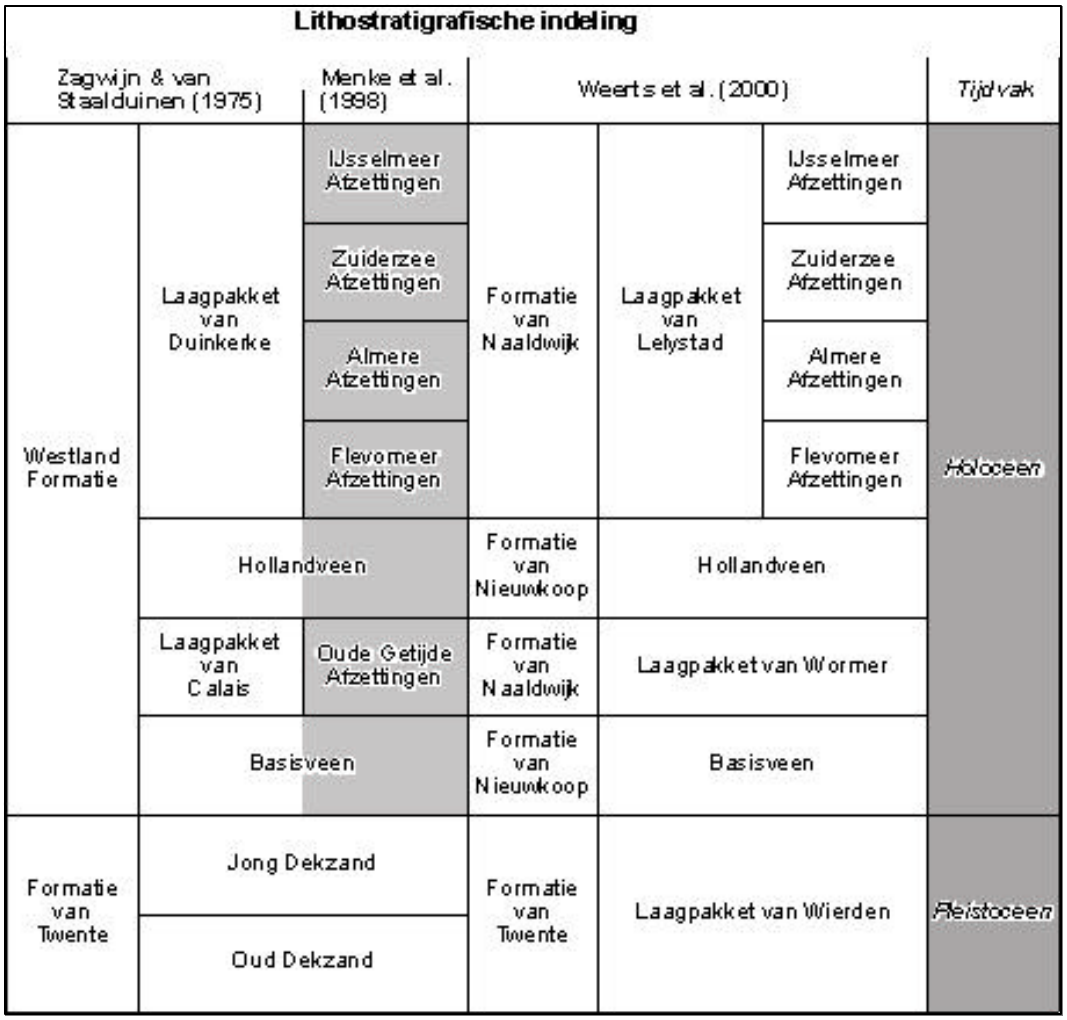


Fig. 2 De lithostratigrafische eenheden in het studiegebied uit het Laat-Pleistoceen en het Holoceen, volgens de indeling van Zagwijn & van Staalduinen (1975) [met aanvulling zoals gegeven in Menke et al. (1998)] en de indeling van Weerts et al. (2000).

Het in het gebied aanwezige dekzand wordt lithostratigrafisch als *Laagpakket van Wierden* tot de Formatie van Twente gerekend. Deze fijne eolische zanden zijn afgezet onder periglaciale klimaatsomstandigheden in het Midden- en Laat-Weichselien (ca. 55.000 tot 10.000 BP). Het Bølling-Allerød-interstadiaal (13.000-10.800 BP) vormde een onderbreking van de periglaciale omstandigheden. In deze relatief warme periode raakte het dekzand vastgelegd door vegetatie en vond enige bodemvorming plaats. Halverwege het Bølling-Allerød-interstadiaal, was er een korte fase waarin op grote schaal verstuiving van het dekzand optrad: het Oude Dryas (12.000-11.800 BP). De drogere bodemcondities die in deze periode tot verstuiving leidden, werden mogelijk veroorzaakt door het volledig verdwijnen van de permafrost, nadat deze gedurende het Bølling langzaam steeds dunner was geworden (zie o.a. Hoek, 1997). Een andere mogelijkheid is een kortdurende klimaatfluctuatie. Na het Allerød trad in het relatief koude en droge Jonge Dryas (10.800-10.000 BP) opnieuw verstuiving van de dekzanden op. Toen aan het begin van het Holoceen

(vanaf 10.000 BP) het klimaat warmer werd, raakte het dekzandoppervlak met bos begroeid en vond uitgebreide bodemvorming in het dekzand plaats (zie ook Spek *et al.*, 1997). Het dekzand dat vóór het Bølling werd afgezet is relatief fijn en bevat vaak lemige laagjes. Dit wordt het Oude Dekzand genoemd (Doppert *et al.*, 1975). Het onderscheidt zich qua textuur van het grovere Jonge Dekzand dat tijdens het Oude en Jonge Dryas werd afgezet. In de nieuwe lithostratigrafische indeling van het NITG (Weerts *et al.*, 2000) wordt binnen het Laagpakket van Wierden (nog) geen onderscheid tussen Oud en Jong Dekzand gemaakt. In aanvulling op deze indeling wordt in deze studie dit onderscheid wel gemaakt.

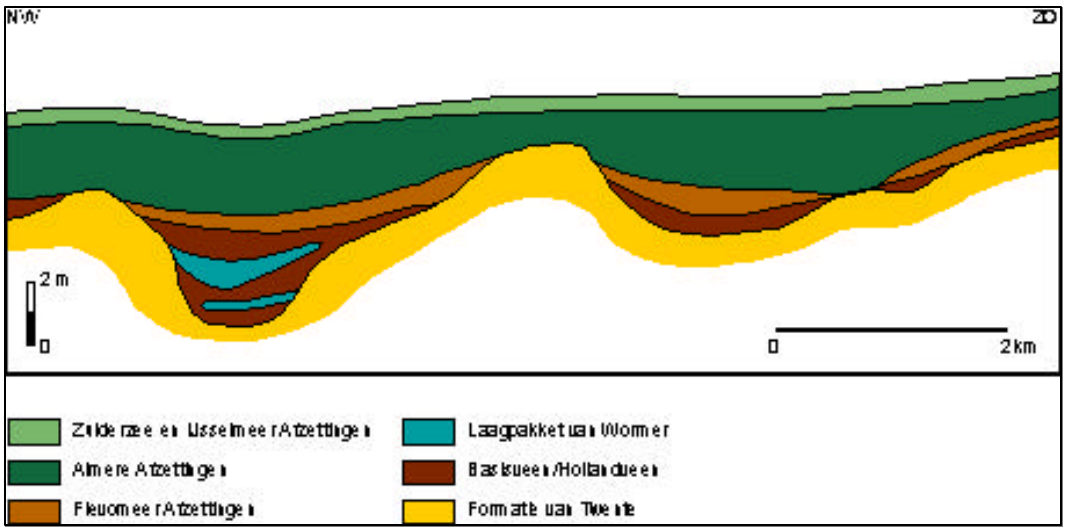


Fig. 3 Schematisch geologisch profiel door de holocene afzettingen in het studiegebied [lithostratigrafische eenheden volgens Weerts et al. (2000)].

Op veel plaatsen ligt op het dekzand *Basisveen*. In het algemeen is de laag basisveen enkele decimeters dik. Deze laag wordt momenteel bij de Formatie van Nieuwkoop gerekend (Weerts *et al.*, 2000). In het studiegebied kan de laag als rietveen, zeggeveen of broekveen ontwikkeld zijn (Gotjé, 1997b). Plaatselijk echter ontbreekt het basisveen door latere erosie. Het basisveen vertegenwoordigt in het algemeen een natte vegetatie die zich op het dekzand ontwikkelde toen de lokale grondwaterspiegel in de loop van het Holoceen tot aan het maaiveld was gestegen. Door de algemene helling en het reliëf van het dekzandoppervlak verliep het begin van de veenvorming diachroon. Het basisveen in het deel van het studiegebied buiten het pleistocene dal (de eventuele voormalige Eem-loop) is hoofdzakelijk van laat-atlantische en subboreale ouderdom (ca. 5500-2800 BP).

Met name in dit dal kan erosie van het basisveen hebben plaatsgevonden. Veen uit de diepste delen van het dal dateert al uit het Preboreaal (10.000-9000 BP)(Gotjé, 1997b). Natte condities in het dal waren niet het gevolg van de stijgende zeespiegel, maar van lokale stagnatie van kwel- en oppervlaktewater. Toen in het Atlanticum (8000-5000 BP) de invloed van de zee toenam werd Basisveen hier mogelijk geërodeerd. Anderzijds suggereren de profielen van Gotjé (1997b) dat ook in het

pleistocene dal veel van het veen intact is gebleven. Volgens Menke *et al.* (1998) komen de Atlantische Oude Getijde Afzettingen uitsluitend in het pleistocene dal voor. Kennelijk kon het getijdensysteem via het pleistocene dal relatief makkelijk het land binnendringen. De Oude Getijde Afzettingen worden tegenwoordig bij het *Laagpakket van Wormer* van de Formatie van Naaldwijk gerekend (Weerts *et al.*, 2000). Het betreft hier in het algemeen grijze klei met rietresten en veeninsluitsels. Volgens de profielen van Gotjé (1997b) zijn de kleilagen in het studiegebied maximaal slechts enkele decimeters dik. Wel komen rond de kleilagen dikkere pakketten detritus voor (dikte tot ca. 1,2 m) die eveneens tot het Laagpakket van Wormer moeten worden gerekend.

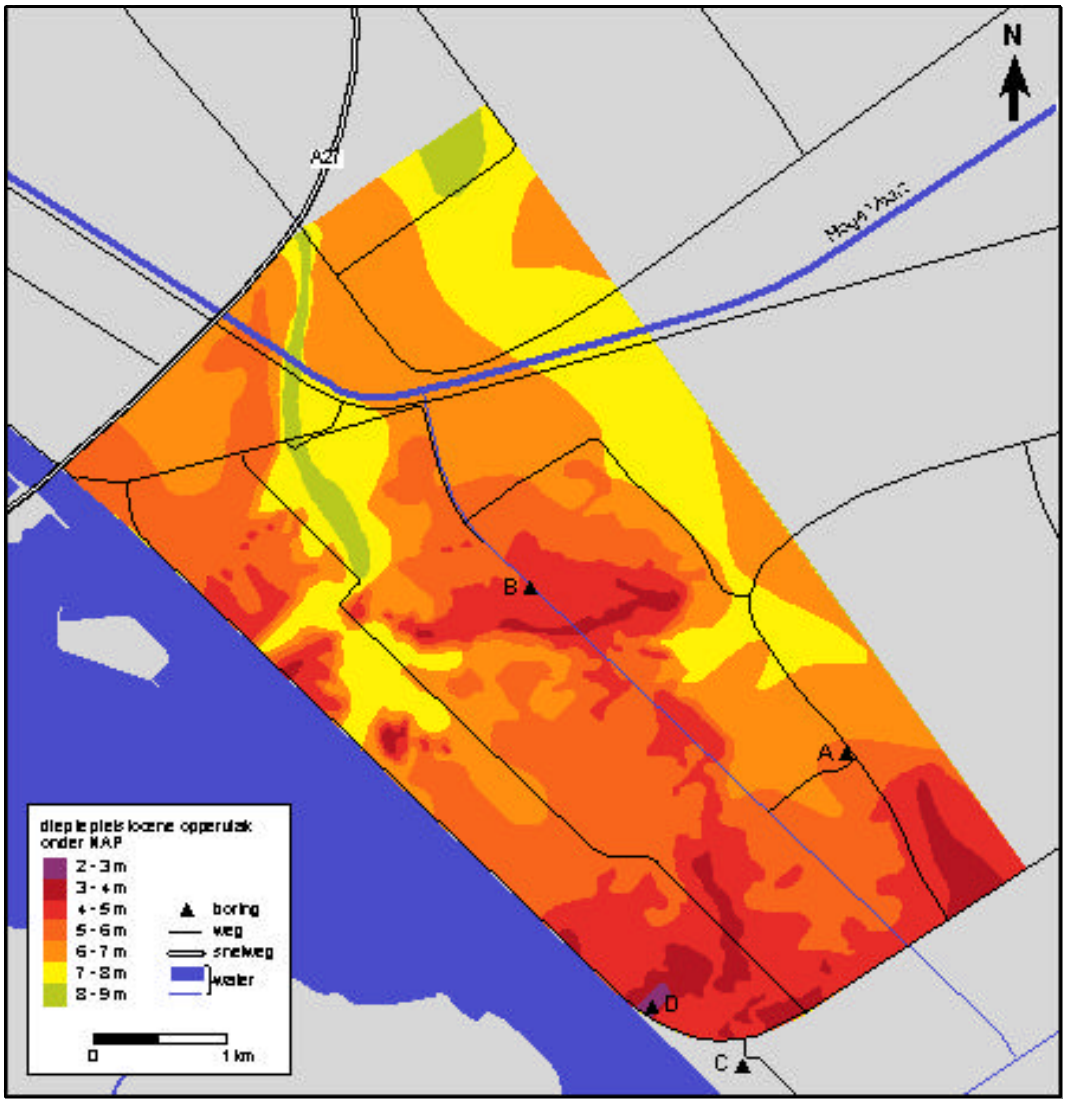


Fig. 4 De hoogteligging van de bovenkant van de pleistocene afzettingen in het studiegebied [naar Gotjé (1997a) op basis van ongepubliceerde gegevens van RWS-RIZA]. De boorlocaties zijn eveneens aangegeven; A = boorlocatie Winkelweg, B = boorlocatie Rassenbeektocht, C = boorlocatie Eemhof, D = boorlocatie Eemmeerdijk.

Op het Laagpakket van Wormer kan *Hollandveen* voorkomen, dat evenals het Basisveen, deel uitmaakt van de Formatie van Nieuwkoop. Op de plaatsen waar het Laagpakket van Wormer uitwigt, gaan Basisveen en Hollandveen in elkaar over. De vorming van het Hollandveen vond plaats onder rustige omstandigheden toen er weinig invloed vanuit zee was. Veel van het Hollandveen is later aangetast door erosie, toen de Flevo-lagune weer een meer open verbinding met de zee kreeg. Het Hollandveen is hoofdzakelijk van subboreale ouderdom (5000-2800 BP). Hollandveen is voornamelijk in het noorden van het studiegebied aangetroffen boven laagtes in het dekzandoppervlak. De door Gotjé (1997b) aangetroffen lagen zijn maximaal ca. 1,2 m dik.

Het bovenste pakket van de holocene sequentie bestaat uit organische en klastische afzettingen en wordt het *Laagpakket van Lelystad* genoemd. Deze afzettingen maken deel uit van de Formatie van Naaldwijk. In het noorden van het gebied is dit pakket enkele meters dik, in het zuiden is de dikte vaak rond een meter. Globaal kenmerkt het pakket zich door een naar boven toe afnemend gehalte aan organische stof. De organische afzettingen aan de basis worden de Flevomeer Afzettingen genoemd. Deze afzettingen zijn afgezet in zoetwatermeren die ontstonden door afslag van het omringende veengebied. Op de meerbodems kwamen gyttja, detritus en verslagen veen tot afzetting. Deze afzettingen zijn waarschijnlijk in het Laat-Subboreaal en Vroeg-Subatlanticum (ca. 4000-2000 BP) gevormd. De Flevomeer Afzettingen bestaan voor het grootste deel uit omgewerkt Basisveen en Hollandveen. In sommige gevallen is hierbij alleen de top van het veen aangetast, maar op veel plaatsen heeft erosie plaatsgevonden tot op het dekzand.

Een klastisch sedimentpakket bedekt de Flevomeer Afzettingen en het Hollandveen. Dit pakket heeft vrijwel overal een erosieve basis waarvan echter de diepte sterk varieert. De totale dikte van het pakket varieert tussen ongeveer 0,5 m in het zuiden van het studiegebied tot enkele meters in het noorden. De lithologische overgangen binnen het pakket zijn geleidelijk. De onderste helft bestaat voornamelijk uit humeuze klei. Aan de basis komen zand- en zavellagen voor. De bovenste helft van het pakket is de laag die aan het maaiveld voorkomt. Deze bestaat hoofdzakelijk uit klei met een laag gehalte aan organische stof.

Het bovenbeschreven sedimentpakket omvat van onder naar boven achtereenvolgens: de Almere Afzettingen, de Zuiderzee Afzettingen en de IJsselmeer Afzettingen. Deze afzettingen maken evenals de Flevomeer Afzettingen deel uit van het Laagpakket van Lelystad binnen de Formatie van Naaldwijk. In het veld is moeilijk de grens te bepalen tussen de verschillende afzettingen. Voor de huidige studie is het precieze lithostratigrafische onderscheid tussen de bovengenoemde afzettingen niet van belang. Al deze afzettingen vertegenwoordigen een estuarien/lagunair milieu waarin het gebied een betere verbinding met de zee had dan ten tijde van vorming van de Flevomeer Afzettingen. Hierdoor kon vanuit zee klastisch materiaal aangevoerd worden en vond hier en daar sterke erosie van de onderliggende afzettingen plaats. De Almere en Zuiderzee Afzettingen vertegenwoordigen de verbeterde verbinding met de Noordzee in het noorden (via de huidige Waddenzee) gedurende het Subatlanticum vanaf ongeveer 2000 BP. De

IJsselmeer Afzettingen zijn recentelijk gevormd na afsluiting van de Zuiderzee. Het bovenste deel van de Zuiderzee Afzettingen en de IJsselmeer Afzettingen zijn in de bouwvoor opgenomen.

3.2 Geologisch-bodemkundige beschrijving en interpretatie van de boorkernen

In deze paragraaf zal aangegeven worden hoe de bovenbeschreven lithostratigrafische eenheden zich manifesteren in de vier boorkernen die in het studiegebied zijn gestoken. Speciale aandacht zal besteed worden aan de paleobodems in het dekzand. De interpretatie richt zich met name op de genese en mate van intactheid van deze paleobodems en de overgang naar het bovenliggende holocene veen.

In de paleobodems worden A-, B- en C- horizonten onderscheiden op basis van de belangrijkste bodemvormende processen. De A-horizont is het bovenste deel van de bodem nabij de (voormalige) oppervlakte, waarin organische stof geheel of gedeeltelijk is omgezet. De B-horizont kenmerkt zich door, uit een bovenliggende horizont, ingespoelde kleimineralen, sesquioxiden of humus. De C-horizont is het diepste deel van de bodem dat bestaat uit het uitgangsmateriaal dat weinig of niet is veranderd door bodemvormende processen. In de horizontcoderingen in de profielbeschrijvingen worden achter de hoofdletters (A, B of C) kleine letters geplaatst die nadere kenmerken van de horizont weergeven. Deze worden in de beschrijvingen hieronder per horizont toegelicht.

De bovenkant van iedere boorkern vertegenwoordigt een diepte van 6 tot 20 cm onder het maaiveld. Dit wordt veroorzaakt doordat de boormethode vereist dat de begroeide zode wordt verwijderd, alvorens de kern kan worden gestoken. De dikte van dit ontbrekende deel is hieronder voor iedere boorkern aangegeven.

Boorkern Winkelweg

In boorkern Winkelweg (Fig. 5) bevindt de grens tussen het pleistocene dekzand en het holocene basisveen zich op -5,52 m onder NAP (5,52 m - NAP) en 1,95 m onder het maaiveld (1,95 m - mv). Het dekzandoppervlak ligt hier onder de huidige grondwaterspiegel die zich in deze omgeving gemiddeld op ca. 4,9 m - NAP bevindt (IWACO, 1999). In Figuur 4 is te zien dat het dekzandoppervlak rond de boorlocatie een geringe noordwaartse helling heeft. De maaiveldhoogte op de boorlocatie is 3,57 m - NAP. In de boring zijn de volgende eenheden onderscheiden (textuurindeling volgens de Bakker & Schelling, 1989):

- 0 - 6 cm - mv: ontbreekt;
- 6 - 56 cm - mv: lichte klei (27 % lutum, 1,5 % organische stof) *(Zuiderzee/IJsselmeer Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk)*;

- 56 - 89 cm - mv: zware zavel (20 % lutum, 3,5-10 % organische stof) *(Almere Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk)*;
- 89 - 96 cm - mv: grove stukken hout *(Flevomeer Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk)*;
- 96 - 100 cm - mv: kleiig verslagen veen (15 % lutum, 50 % organische stof) *(Flevomeer Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk)*;
- 100 - 195 cm - mv: veen met grove stukken hout *(Basisveen/Hollandveen - Formatie van Nieuwkoop)*;
- 195 - 312 cm - mv: zeer fijn en matig fijn zand (12-22 % leem, mediaan 140-180 μm) *(Jong Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente)*;
- 312 - 366 cm - mv: uiterst fijn zand (12 % leem, mediaan 100 μm), sterk gelaagd *(Oud Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente).*

In het dekzand is een paleobodem aanwezig, waarin de volgende horizonten te onderscheiden zijn:

- 195 - 205 cm - mv: Ahb = humeuze, begraven A-horizont;
- 205 - 209 cm - mv: Ce = ontijzerde C-horizont;
- 209 - 236 cm - mv: Ahb = humeuze, begraven A-horizont;
- 236 - 249 cm - mv: ACg = overgangshorizont met kenmerken van zowel een A- als een C-horizont met gleyverschijnselen;
- 249 - 258 cm - mv: ABhgb = overgangshorizont met zowel verschijnselen van een humeuze begraven A-horizont, als van een B-horizont met ingespoelde humus en gleyverschijnselen
- 258 - 312 cm - mv: Cg = C-horizont met gleyverschijnselen.

Op het eerste gezicht lijkt de bodem op een podzol met een uitspoelingshorizont (205 - 209 cm - mv) en een inspoelingshorizont (209 - 236 cm - mv). Bij nadere analyse (zie ook subparagrafen 4.2.2, 4.2.3 en 4.2.4) lijkt er eerder sprake te zijn van een opeenstapeling van drie paleobodems. De onderste bodem (249 - 258 cm - mv) is waarschijnlijk een onthoofde, slecht ontwikkelde podzol, waarvan nu alleen nog een AB-horizont resteert. Daarna vonden er twee belangrijke sedimentatiefasen plaats, waarna zich een humeuze A-horizont vormde in het verspoelde dekzand. Gezien de dikte van de middelste A-horizont is het goed mogelijk dat vorming van de A-horizont hier gepaard ging met periodieke sedimentatie, waarbij de nieuwe dunne lagen verspoeld dekzand in de zich ontwikkelende A-horizont werden opgenomen. Ook is het aannemelijk dat het verspoelde dekzand reeds organische bestanddelen uit geërodeerde bodems bevatte: het uitgangsmateriaal voor bodemvorming was dus niet steriel.

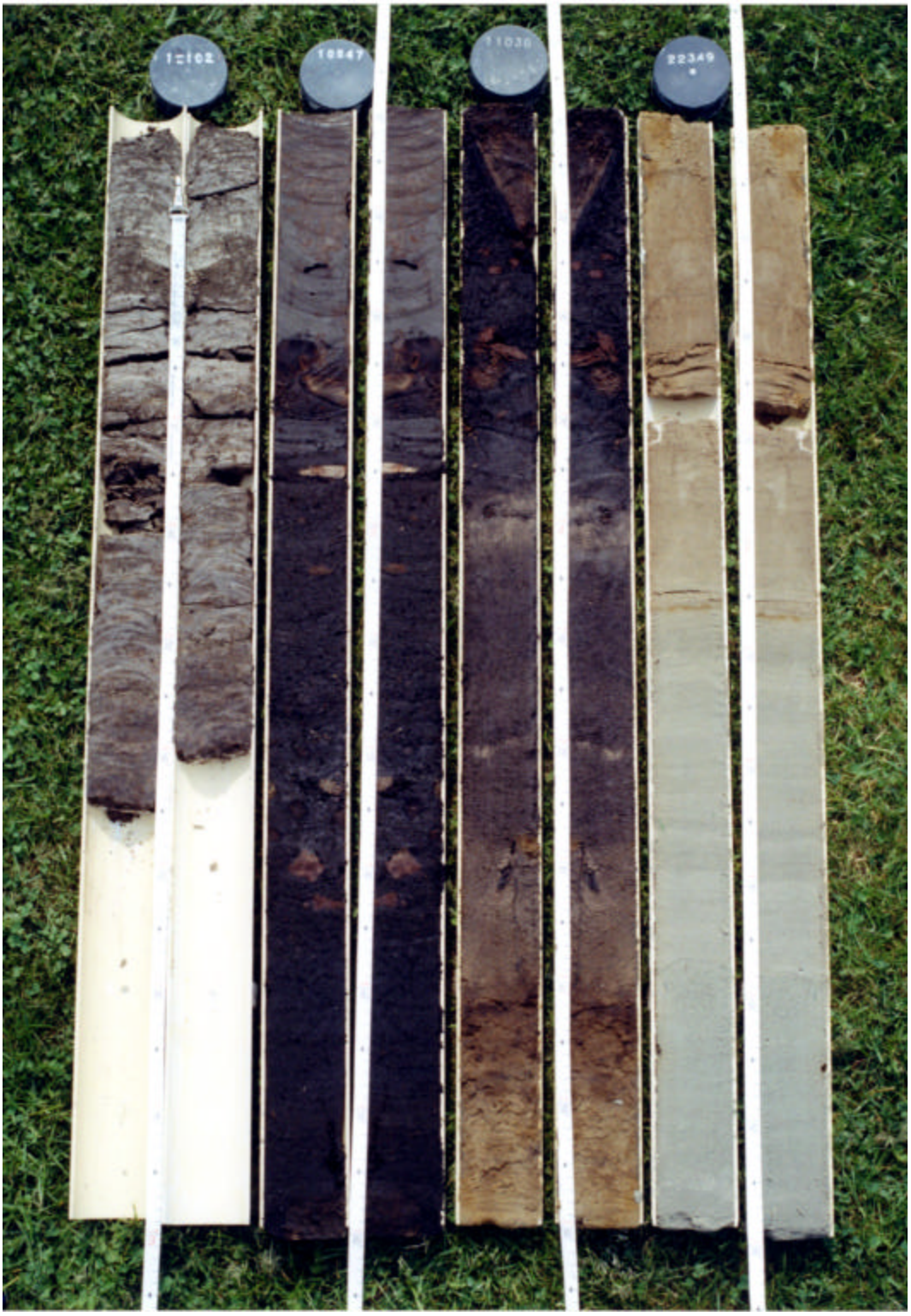


Fig. 5a Boorkern Winkelweg.

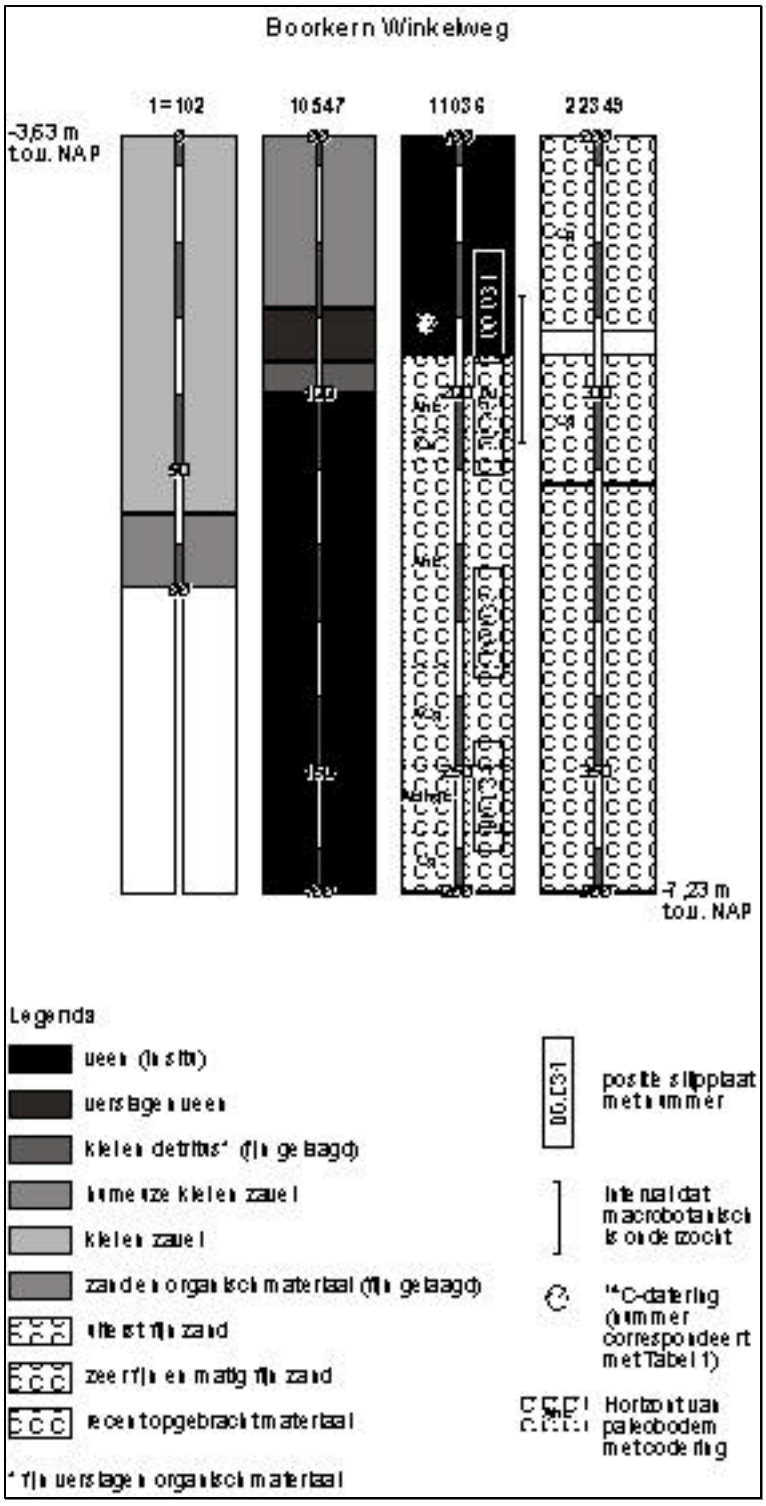


Fig. 5b Lithologie van boorkern Winkelweg. Ook de horizonten van de paleosol en de positie van diverse geanalyseerde monsters is weergegeven. De schaalverdeling geeft de diepte onder het maaiveld aan.

De gleyverschijnselen wijzen erop dat de bodemvorming onder relatief natte condities plaatsvond. Waarschijnlijk stagneerde bodemwater op het fijne Oude Dekzand onder het bodemprofiel. De overgang van de bovenste A-horizont naar het basisveen is op het oog geleidelijk. Het veen bevat stukken hout en lijkt *in situ* te zijn gevormd op het bodemprofiel.

Boorkern Rassenbeektocht

In boorkern Rassenbeektocht (Fig. 6) bevindt de grens tussen (verspoeld) dekzand en (verslagen) veen zich op 4,85 m - NAP en 1,19 m - mv. Het dekzandoppervlak ligt hier in de buurt van de huidige grondwaterspiegel die zich in deze omgeving gemiddeld op 4,9 m - NAP bevindt (IWACO, 1999). In Figuur 4 is te zien dat op de boorlocatie de noordflank van een oost-west georiënteerde dekzandrug in de ondergrond aanwezig is. De maaiveldhoogte op de boorlocatie is 3,66 m - NAP. In de boring zijn de volgende eenheden onderscheiden:

- 0 - 20 cm - mv: ontbreekt;
- 20 - 40 cm - mv: zware zavel en lichte klei (22-27 % lutum, 1-2 % organische stof)
  (Zuiderzee/IJsselmeer Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk);
- 40 - 100 cm - mv: lichte klei en zware klei met humeuze laagjes (27-37 % lutum) (laagje fijn zand 88 - 89 cm - mv)
  (Almere Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk);
- 100 - 119 cm - mv: verslagen veen
  (Flevomeer Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk);
- 119 - 123 cm - mv: gelamineerd zand en organisch materiaal
  (Flevomeer Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk);
- 123 - 214 cm - mv: zeer fijn en matig fijn zand (9-15 % leem, mediaan 140-160 μm)
  (Jong Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente);
- 214 - 220 cm - mv: gelaagd fijn zand en organisch materiaal
  (Jong Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente);
- 220 - 232 cm - mv: veen
  (Formatie van Twente);
- 232 - 270 cm - mv: uiterst fijn zand (20 % leem, mediaan 100 μm)
  (Oud Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente).

Zowel in het Oude als in het Jonge Dekzand is een begraven bodem aanwezig. In de onderste bodem in het Oude Dekzand onder de veenlaag zijn de volgende horizonten te onderscheiden:

- 232 - 243 cm - mv: AChb = overgangshorizont met kenmerken van zowel een humeuze A- als een C-horizont;
- 243 - 270 cm - mv: Cr = C-horizont met reductieverschijnselen.

De bodem in het Jonge Dekzand heeft de volgende horizonten:

- 123 - 130 cm - mv: AChb = overgangshorizont met kenmerken van zowel een humeuze A- als een C-horizont;
- 130 - 150 cm - mv: Cg = C-horizont met gleyverschijnselen;
- 150 - 214 cm - mv: Cu = C-horizont zonder bijzondere kenmerken.

De onderste bodem is slecht ontwikkeld door natte condities tijdens bodemvorming in combinatie met een fijne textuur van het Oude Dekzand. Illustratief voor de natte omstandigheden is de sterke reductie van het onderliggende dekzand, en de veenontwikkeling op de bodem. De bovenliggende bodem in het Jonge Dekzand is onthoofd; alleen de overgang naar de C-horizont resteert. De scherpe bovengrens van de AC-horizont wijst ook op erosie, die mogelijk te maken heeft met de ligging van dit profiel op de flank van een dekzandrug. In ieder geval is een aanzienlijk deel van de bodem geërodeerd.

Het fijngelaagde pakketje boven het onthoofde bodemprofiel (119 - 123 cm - mv) is bij de Flevomeer Afzettingen gerekend, vanwege het hoge gehalte aan organische stof en de stratigrafische positie. De nadrukkelijke aanwezigheid van fijn verslagen organisch materiaal dat naar boven toeneemt, wijst op afzetting onder toenemend natte omstandigheden, toen de grondwaterspiegel tot aan het maaiveld was gestegen. Wel verschilt het fijngelaagde pakket waarschijnlijk aanzienlijk in ouderdom van het bovenliggende verslagen veen, dat eveneens als Flevomeer Afzettingen wordt geïnterpreteerd. Dit pakket (100 - 119 cm - mv) moet zijn afgezet toen de waterspiegel al verder was gestegen. Het gelaagde verslagen veen in dit pakket bevat nagenoeg geen zand, hetgeen impliceert dat ten tijde van afzetting nauwelijks meer erosie van het onderliggende dekzandlandschap plaatsvond doordat dit overal in de nabijheid reeds door veen was afgedekt. Het pakket tussen 100 en 119 cm - mv onstond door erosie en herafzetting van dit veen.

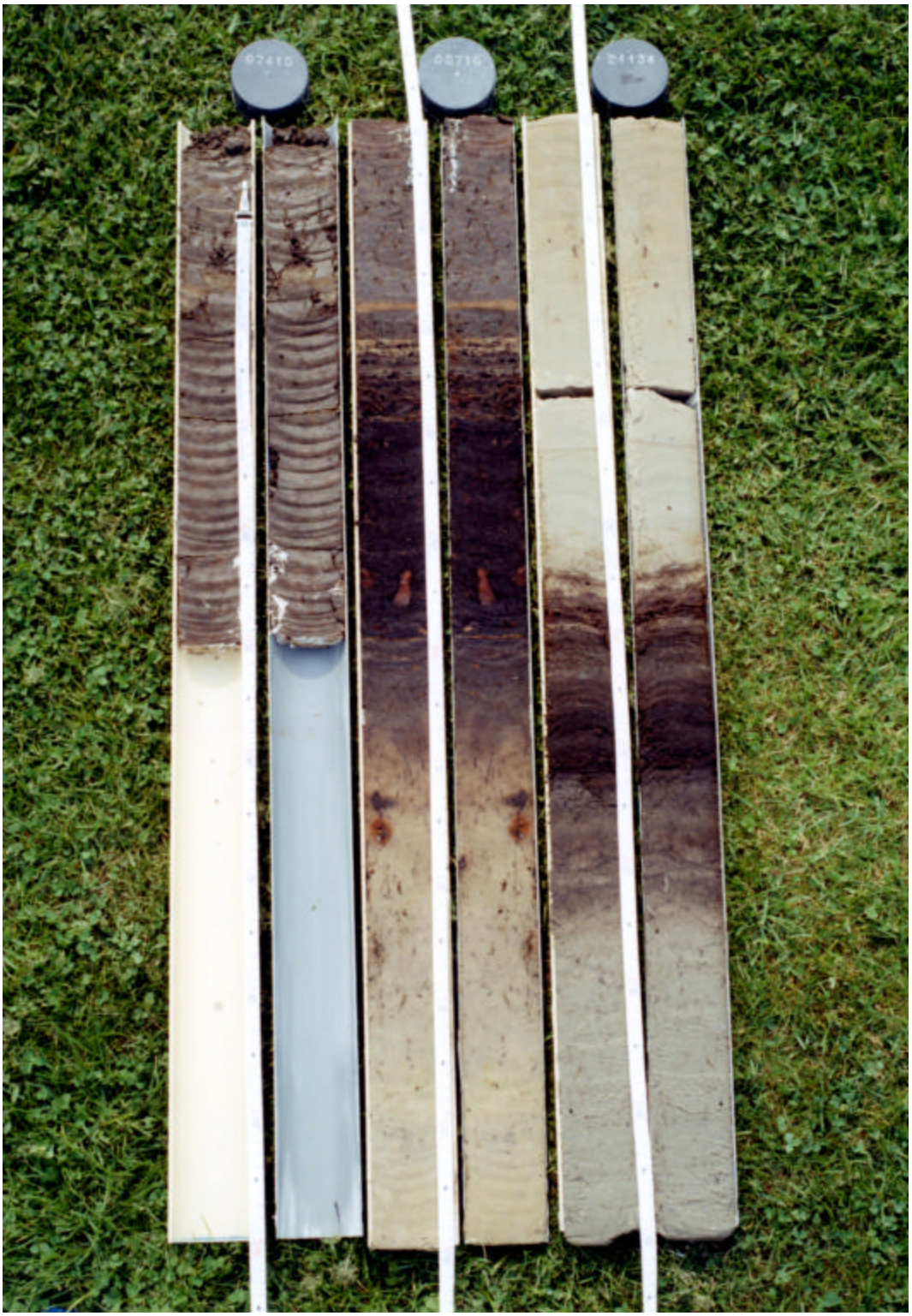


Fig. 6a Boorkern Rassenbeektocht.

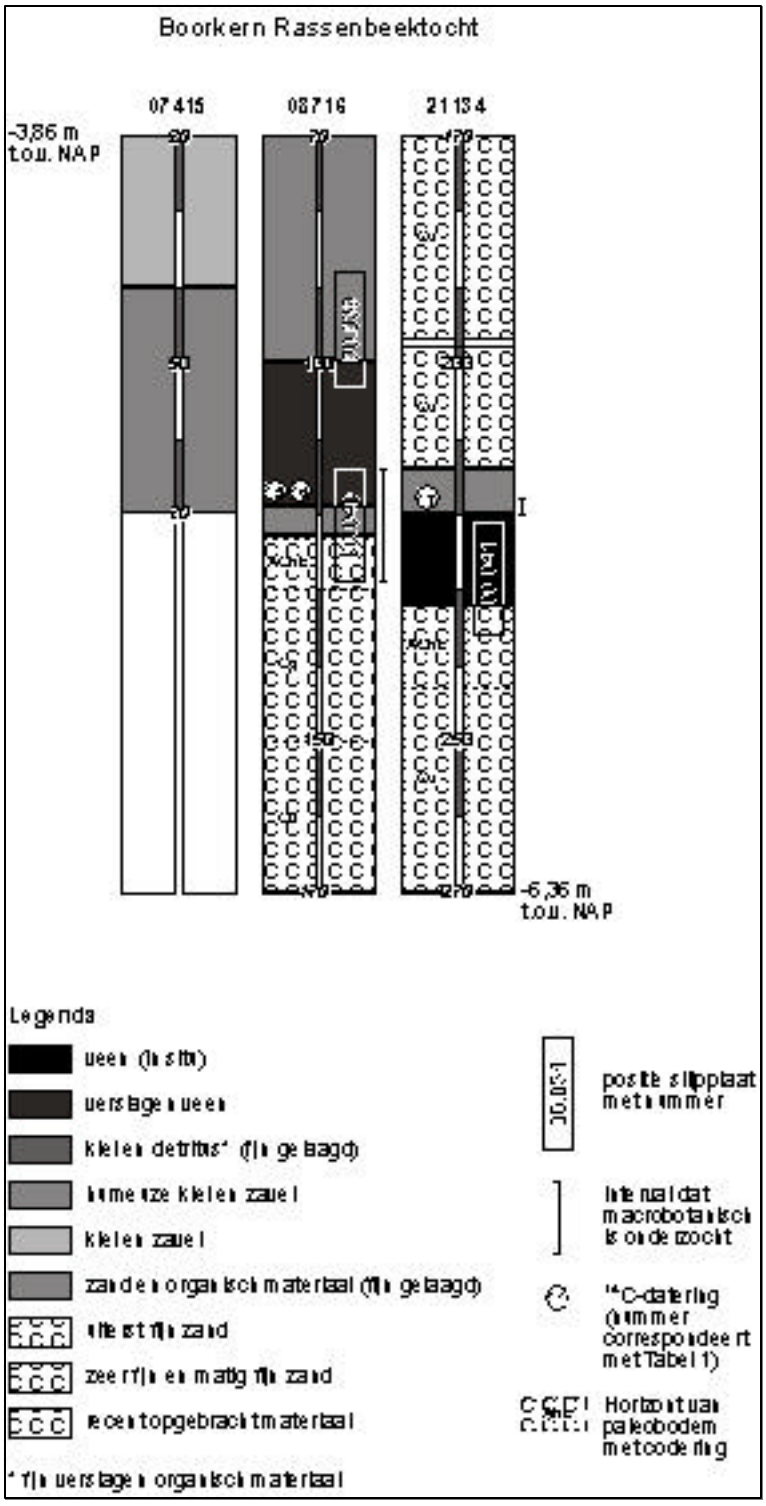


Fig. 6b Lithologie van boorkern Rassenbeektocht. Ook de horizonten van de paleosols en de positie van diverse geanalyseerde monsters is weergegeven. De schaalverdeling geeft de diepte onder het maaiveld aan.

Boorkern Eemhof

In boorkern Eemhof (Fig. 7) bevindt de grens tussen het pleistocene dekzand en het holocene basisveen zich op 4,30 m - NAP en 1,96 m - mv. De boring is net buiten het studiegebied verricht om een representatief geacht bodemprofiel op een goed bereikbare locatie te kunnen bemonsteren. Het dekzandoppervlak op de boorlocatie ligt onder de huidige lokale grondwaterspiegel, die zich gemiddeld ongeveer 1 m onder het maaiveld (ca. 3,3 m - NAP) bevindt (IWACO, 1999). Dit is slechts een ruwe indicatie omdat zich in deze omgeving grote ruimtelijke verschillen in de stijghoogte van het grondwater voordoen. Dit heeft te maken met de kwel die hier onder de Eemmeerdijk door plaatsvindt vanuit het ondiepe dekzand. Volgens de beschikbare gegevens vertoont het begraven dekzandoppervlak nabij de boorlocatie weinig reliëf. Het maaiveld op de boorlocatie bevindt zich op 2,34 m - NAP. In de boring zijn de volgende eenheden onderscheiden:

- 0 - 6 cm - mv: ontbreekt;
- 6 - 29 cm - mv: zware zavel (24 % lutum, 1,5 % organische stof) *(Zuiderzee/IJsselmeer Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk)*;
- 29 - 69 cm - mv: lichte klei (27 % lutum, 20 % organische stof) *(Almere Afzettingen - Laagpakket van Lelystad - Formatie van Naaldwijk)*;
- 69 - 184 cm - mv: veen *(Basisveen/Hollandveen - Formatie van Nieuwkoop)*;
- 184 - 196 cm - mv: verslagen veen met fijn zand *(Basisveen - Formatie van Nieuwkoop)*;
- 196 - 216 cm - mv: uiterst fijn zand (15 % leem, mediaan 100 µm) *(Jong Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente)*;
- 216 - 315 cm - mv: matig fijn zand (8-12 % leem, mediaan 160 µm) *(Jong Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente)*;
- 315 - 366 cm - mv: uiterst fijn zand (15 % leem, mediaan 100 µm), zwak gelaagd *(Oud Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente).*

In de top van het Jonge Dekzand is geen paleobodem aanwezig. Er lijkt sterke erosie te hebben plaatsgevonden waarbij het volledige bodemprofiel is geërodeerd. De bovenste laag dekzand (196 - 216 cm - mv), bestaat waarschijnlijk uit verspoeld Oud Dekzand. Leemgehalte en mediaan van dit materiaal komen exact overeen met het materiaal tussen 315 en 366 cm - mv, dat als Oud Dekzand is geïnterpreteerd. Op verspoeling wijzen de vele brokjes organisch materiaal die willekeurig verspreid tussen het materiaal voorkomen. Vanwege zijn stratigrafische positie is het pakket tussen 196 - 216 cm - mv bij het Jonge Dekzand gerekend, ondanks de wat afwijkende lithologische eigenschappen en genese. Het pakket is waarschijnlijk kort

voor de vorming van het bovenliggende basisveen afgezet, gezien het feit dat er geen bodem in aanwezig is. Ook de onderste 12 cm van het basisveen (184 - 196 cm - mv) bevat laagjes uiterst fijn zand met dezelfde mediaan als het onderliggende verspoelde dekzand. Er lijkt dus sprake te zijn geweest van een voortgaand proces van lokale verspoeling van dekzand, terwijl de accumulatie van venig materiaal toenam. Boven 184 cm - mv is nauwelijks zand meer aanwezig en heeft het materiaal de structuur van in situ liggend veen.

Boorkern Eemmeerdijk

In boorkern Eemmeerdijk (Fig. 8) bevindt de grens tussen het pleistocene dekzand en het holocene basisveen zich op 2,55 m - NAP en 1,71 m - mv. De boorlocatie ligt op de voet van de dijk ongeveer 1,2 m hoger dan het niet opgehoogde aangrenzende grasland. Het dekzandoppervlak ligt hier ruimschoots boven de huidige grondwaterspiegel die zich hier gemiddeld ongeveer 1 m onder het maaiveld naast de dijk bevindt (ca. 3 m - NAP). Dit is slechts een grove indicatie omdat zich in deze omgeving grote ruimtelijke verschillen in de stijghoogte van het grondwater voordoen. Dit heeft te maken met de kwel die hier onder de Eemmeerdijk door plaatsvindt vanuit het ondiepe dekzand. In Figuur 4 is te zien dat de boring op de top van een begraven dekzandrug is verricht. Deze dekzandrug is zuidwest-noordoost georiënteerd en loopt onder de Eemmeerdijk door. Het maaiveld op de boorlocatie bevindt zich op 0,84 m - NAP. In de boring zijn de volgende eenheden onderscheiden:

- 0 - 8 cm - mv: ontbreekt;
- 8 - 142 cm - mv: fijn zand, zavel, lichte klei, organisch materiaal *(opgebracht materiaal behorende bij de dijk)*;
- 142 - 171 cm - mv: veen *(Basisveen/Hollandveen - Formatie van Nieuwkoop)*;
- 171 - 348 cm - mv: zeer fijn en matig fijn zand (11 - 20 % leem, mediaan 140-160 μm) *(Jong Dekzand - Laagpakket van Wierden - Formatie van Twente).*

In het dekzand is een begraven bodem aanwezig, waarin de volgende horizonten te onderscheiden zijn:

- 171 - 183 cm - mv: Ahb = humeuze, begraven A-horizont;
- 183 - 197 cm - mv: Cr = C-horizont met reductieverschijnselen;
- 197 - 210 cm - mv: ABhb = overgangshorizont met zowel verschijnselen van een humeuze begraven A-horizont, als van een B-horizont met ingespoelde humus
- 210 - 246 cm - mv: Bh = B-horizont met ingespoelde humus;
- 246 - 346 cm - mv: Cg = C-horizont met gleyverschijnselen.

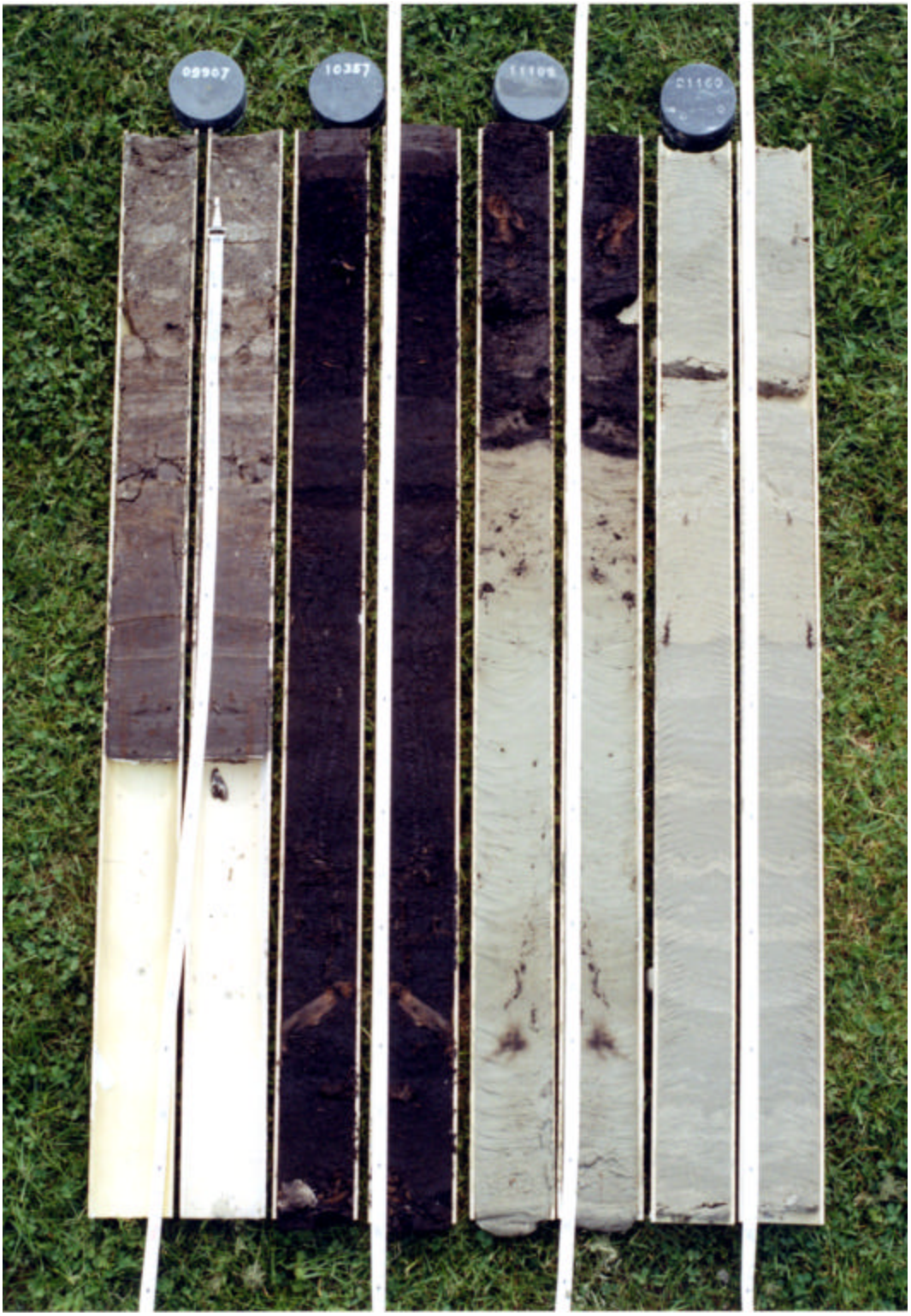


Fig. 7a Boorkern Eemhof.

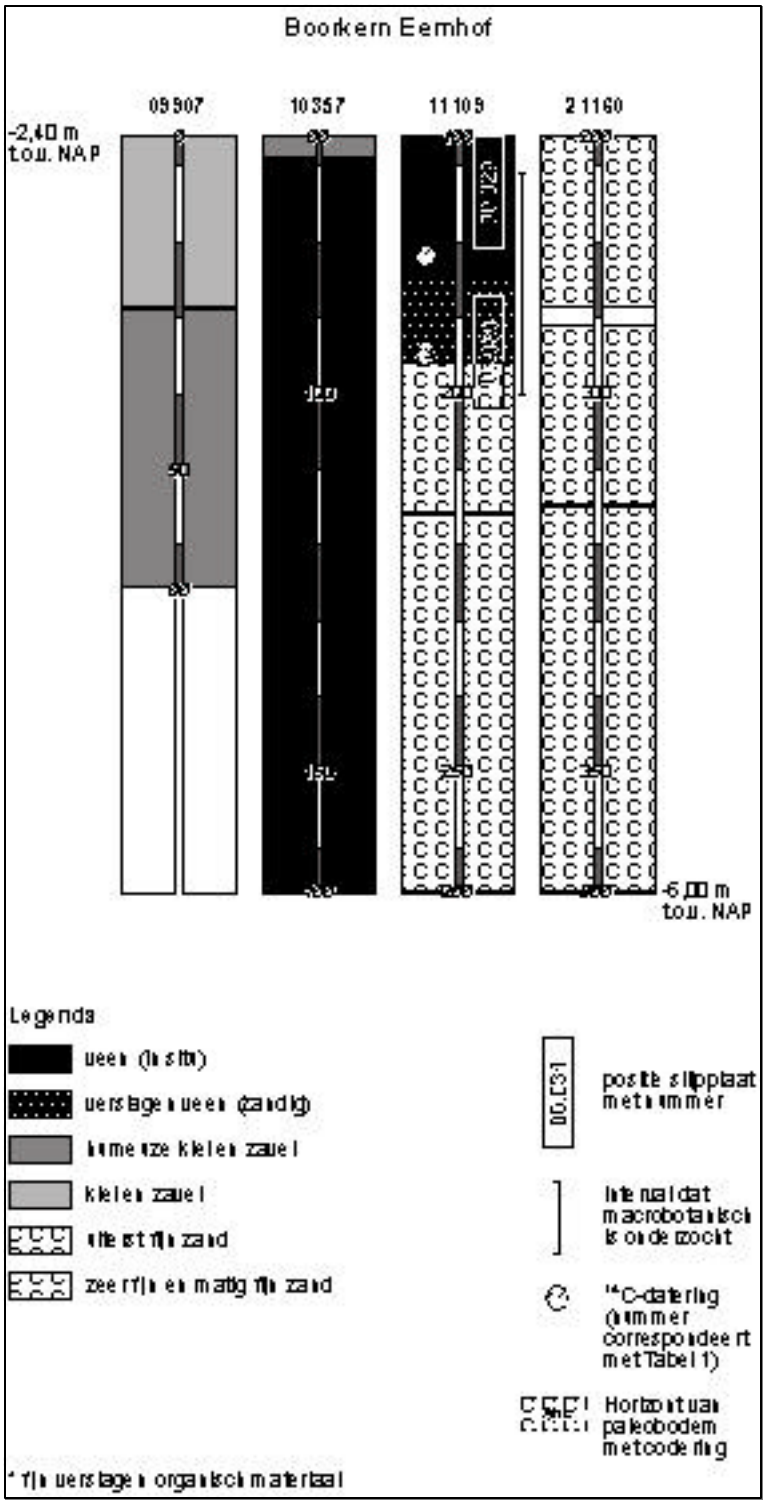


Fig. 7b Lithologie van boorkern Eemhof. Ook de horizonten van de paleosol en de positie van diverse geanalyseerde monsters is weergegeven. De schaalverdeling geeft de diepte onder het maaiveld aan.

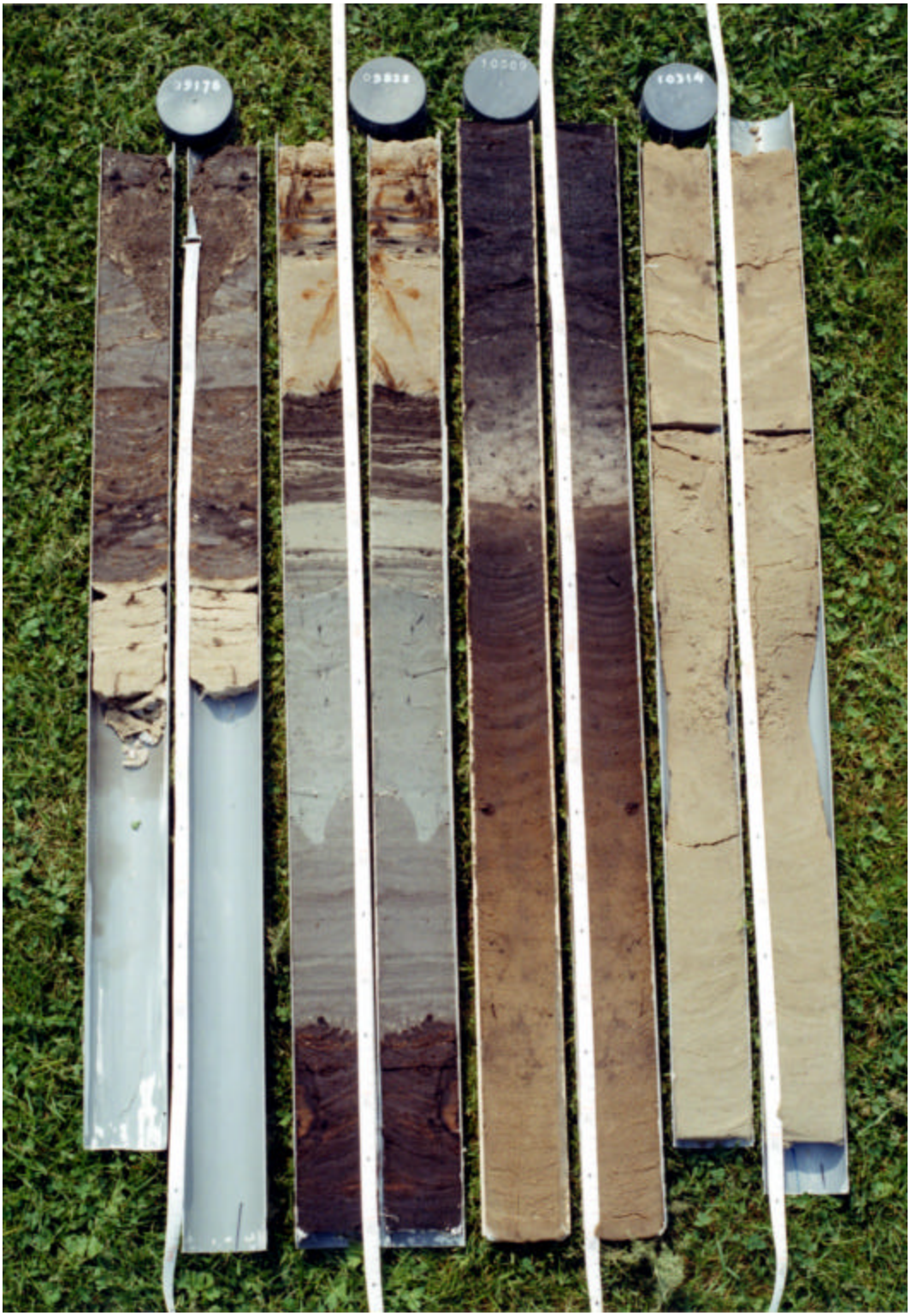


Fig. 8a Boorkern Eemmeerdijk.

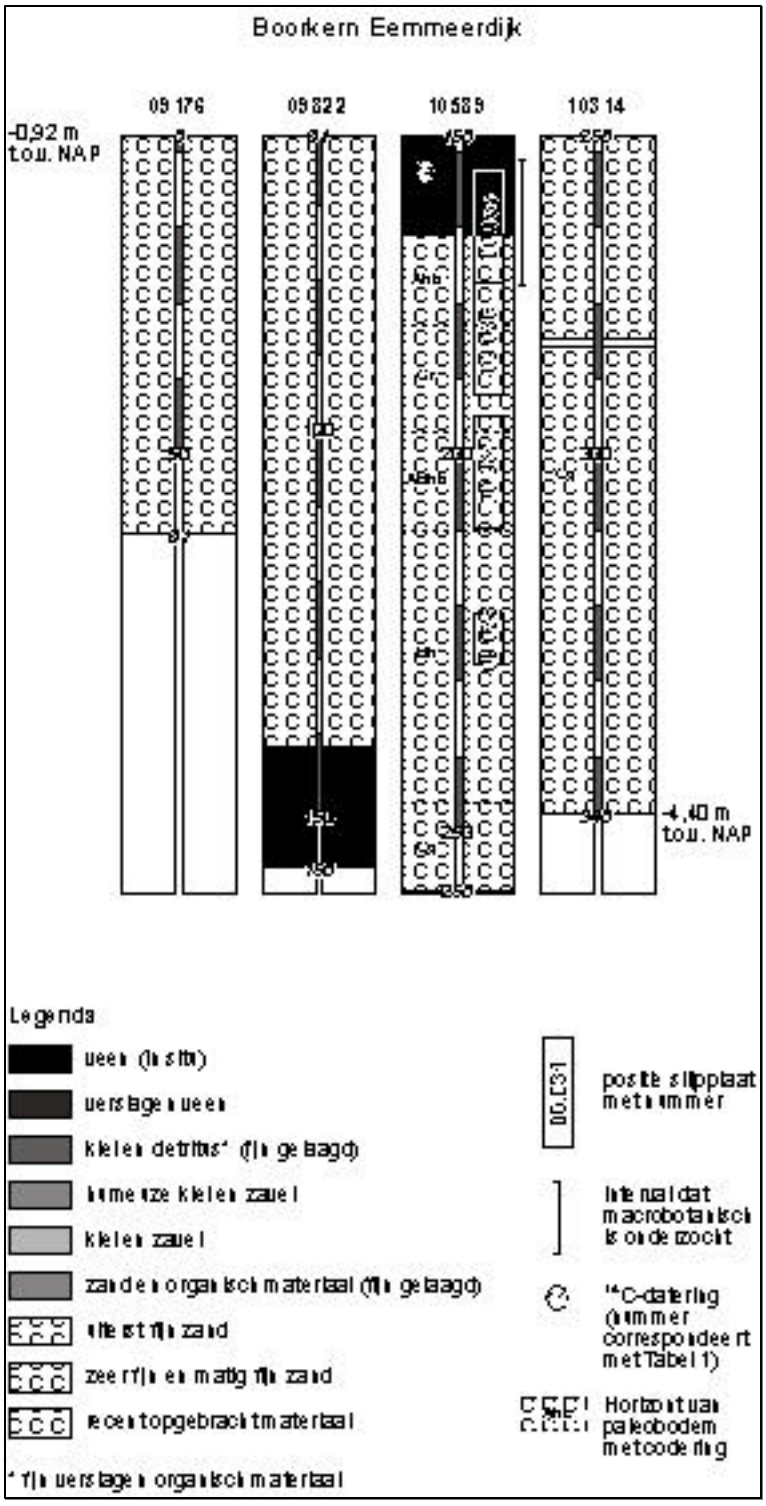


Fig. 8b Lithologie van boorkern Eemmeerdijk. Ook de horizonten van de paleosol en de positie van diverse geanalyseerde monsters is weergegeven. De schaalverdeling geeft de diepte onder het maaiveld aan.

Op het eerste gezicht lijkt de bodem op een podzol met een uitspoelingshorizont (183 - 197 cm - mv) en een inspoelingshorizont (197 - 246 cm - mv). De grens op 197 cm - mv, echter, is zeer scherp, terwijl net boven deze grens een fijne gelaagdheid waarneembaar is. Bovendien lijkt er onder de grens eerder sprake te zijn van een AB-horizont dan van een zuivere B-horizont. Deze verschijnselen wekken de indruk alsof er sprake is van een onthoofd bodemprofiel onder 197 cm - mv, waar een laag (verspoeld) dekzand op is afgezet waarin opnieuw bodemvorming heeft plaatsgevonden. Een deel van het organische materiaal in de bovenste bodem is echter niet het resultaat van bodemvorming maar van afzetting gelijktijdig met het dekzand. De resultaten van de micromorfologische analyse ondersteunen deze interpretatie (subparagrafen 4.5.3 en 4.5.4).

De overgang van de A-horizont (171 - 183 cm - mv) naar het bovenliggende veen is op het oog geleidelijk. Waarschijnlijk komt dit doordat het bovenste deel van de A-horizont veel verspoeld organisch materiaal bevat. Het organische materiaal boven 171 cm - mv heeft de structuur van ter plaatse gevormd broekveen.

4 Micromorfologisch onderzoek

4.1 Inleiding

Het micromorfologisch onderzoek richtte zich op de onderste laag veen die op het dekzand ligt en op de bodemhorizonten in het dekzand. De algemene doelstellingen waren het aanvullen van de macroscopische waarnemingen en het controleren van de geologische en bodemkundige interpretatie die was gebaseerd op de macroscopische waarnemingen. Bijzondere aandachtspunten waren:

- het vaststellen van de precieze grens tussen dekzand en veen, en het beoordelen van de kwaliteit van het veen om betrouwbaar dateringsmateriaal te kunnen selecteren;
- het achterhalen van bodemvormende processen en erosie- en sedimentatieprocessen die kunnen bijdragen tot een betere kennis van het voormalige landschap;
- het vaststellen of er microscopische antropogene sporen in de afzettingen aanwezig zijn;
- het vaststellen van de preservatiegraad van het organische en anorganische materiaal.

Ten aanzien van het laatste punt moet een opmerking gemaakt worden over botmateriaal. Bot is micromorfologisch vrijwel altijd te herkennen op basis van morfologische kenmerken, ook al is het ontkalkt en/of verbrand. Een preservatiegraad is daarom moeilijk aan te geven, aangezien bot niet verdwijnt bij ontkalking en/of verbranding. Het is alleen niet chemisch meer aan te tonen op basis van het kalkgehalte.

Uit de vier boorkernen zijn monsters voor micromorfologisch onderzoek genomen. Het aantal wisselt van twee tot vier per kern. Alle monsters zijn verwerkt tot slijpplaten. In dit hoofdstuk wordt per boorkern een beschrijving en interpretatie van de slijpplaten gegeven. In een slijpplaat komen meestal verschillende lagen/horizonten voor. Deze zijn van onder naar boven genummerd. De posities van de microscopisch onderscheiden laag/horizontgrenzen verschillen soms enigszins van de macroscopisch onderscheiden grenzen (§3.2). De beschrijving van een laag/horizont bestaat uit drie delen: (1) het bodemmateriaal waaruit de grond bestaat; (2) de holten die erin voorkomen; (3) de verschijnselen die in de grondmassa en bij en in de holten aanwezig zijn.

4.2 Boorkern Winkelweg

4.2.1 Inleiding

Uit de boorkern Winkelweg zijn vier monsters voor micromorfologische analyse genomen (Fig. 5b). In een macroscopische analyse van de boorkern is een verticale opeenvolging van drie begraven bodemprofielen onderscheiden. Van ieder van deze begraven bodems is een slijpplaat vervaardigd. Voorts is een slijpplaat gemaakt van het veen net boven het dekzand. De slijpplaten worden hieronder van onder naar boven behandeld.

4.2.2 Slijpplaat 00.034 (261 - 246 cm - mv)

Slijpplaat 00.034 is genomen om de horizont van 258 - 249 cm diepte te bestuderen. Deze is in § 3.2 beschreven als een 'ABhbg' (Fig. 5b), die sterk lemig is en uit matig fijn zand bestaat dat iets grover is dan de eronder en erboven liggende horizont. De overgangen naar de eronder en erboven liggende horizont worden kort beschreven.

Bodemmateriaal
Het fijne zand bestaat uit losgepakte, afgeronde korrels, waarvan 95 % met een diameter tussen 40 en 360 μm. Een aantal korrels bestaan uit verbrande en onverbrande stukjes bot, die willekeurig verdeeld door het sediment voorkomen. De zandkorrels hebben een zeer dun, bruingekleurd, vrijwel continu huidje van amorf organisch materiaal. In het losgepakte zand komen duidelijke verschillen in pakkingsdichtheid voor.

Holten
Er zijn pakkingsholten tussen de zandkorrels en enkele kleine afgeronde biologische holten met een diameter tot 2 mm, evenals een enkele smalle krimpscheur tussen de grondmassa en de opvulling van een grotere biologische holte.

Verschijnselen
- De biologische holten zijn volledig opgevuld met een gesorteerde fijne fractie van silt- en zandkorrels met een diameter van 40 tot 100 μm, in een dichte pakking (diameter van de holten is tot 8 mm).
- Er zijn vullingen waarin alle pakkingsholten gevuld zijn met amorf organisch materiaal dat lichtbruin, donkerbruin of zwart van kleur kan zijn. Deze kleuren kunnen in één opvulling voorkomen, maar zijn soms ook gescheiden. De doorsnede van de opvullingen is tot 12 mm. Soms hebben deze opvullingen een randzone waarin dit amorfe organische materiaal de pakkingsholten (nog) niet geheel vult.
- In opvullingen komen enkele grote afgeronde zandkorrels voor met een diameter tot 1 mm.
- In opvullingen komt een enkele vuursteensplinter voor met een diameter tot 1,0 mm.

- In opvullingen komen enkele afgeronde stukjes bot voor met diameters tot 1,5 mm. Deze zijn ontkalkt en de meeste stukjes zijn verbrand. In het bodemmateriaal komen enkele zwaar verbrande, afgeronde, ontkalkte stukjes bot voor met diameters tot 1,5 mm.
- Een stukje veenachtig organisch weefsel bevindt zich in één van de opvullingen.
- Er zijn enkele voormalige wortelholten met een moderopvulling.
- Er zijn enkele schimmeldraden in de buurt van restanten van organisch weefsel.

Overgang naar onderliggende horizont (261 - 258 cm - mv)
De onderliggende horizont is een vergelijkbare afzetting. De bruine/zwarte opvullingen waarin amorf organisch materiaal de pakkingsholten vult zijn hier niet aanwezig. Wel zijn er biologische holten die volledig zijn opgevuld met een gesorteerde fijne fractie van silt- en zandkorrels met een diameter van 40 - 100 μm, in een dichte pakking. De doorsnede van de holten is tot 8 mm. Ook komt hier een enkele vuursteensplinter voor met een diameter van 1,8 mm.

Overgang naar bovenliggende horizont (249 - 246 cm - mv)
De bovenliggende horizont is een vergelijkbare afzetting. De bruine/zwarte opvullingen waarin amorf organisch materiaal de pakkingsholten vult zijn hier minder prominent aanwezig. Er komt meer organisch materiaal voor. Dit is voor het grootste deel afkomstig van voormalige wortels van vegetatie, die nu door vraat van bodemfauna grotendeels omgezet zijn in moderclusters. De moder komt voor in enkele wortelholten, die al of niet weer opgevuld zijn met zandkorrels.

Interpretatie
De kernhorizont is een eolische afzetting, die dicht bij het oppervlak heeft gelegen, gezien de moderomzetting van organisch materiaal en de hierna volgende verschijnselen. De verschillen in pakkingsdichtheid wijzen erop dat de laag is betreden. De aanwezigheid van enkele grotere vuursteensplinters en al of niet verbrande botfragmentjes wijzen op menselijke aanwezigheid. Ook in de top van de onderliggende laag zijn vuursteensplinters gevonden. Ondanks deze verschijnselen die spreken voor een interpretatie als A-horizont, lijkt er ook inspoeling van humus te zijn geweest, wat meer aan een B-horizont doet denken. Dit kan echter ook humus betreffen die later uit de bovenliggende bodems is ingespoeld.

4.2.3 Slijpplaat 00.033 (238 - 223 cm - mv)

In slijpplaat 00.033 is een horizont zichtbaar die in § 3.2 als ‘Ahb’ gecodeerd is (236 - 209 cm - mv) (Fig. 5b). In de slijpplaat is geen verdere onderverdeling in horizonten of lagen aangebracht; de slijpplaat wordt hieronder als geheel beschreven en geïnterpreteerd.

Bodemmateriaal
Het minerale materiaal bestaat hoofdzakelijk uit zeer fijn zand (diameter korrels 40 - 200 μm). De korrels zijn afgerond en het dicht gepakt. In deze zandafzetting komen

veel restanten van organische fragmenten voor. Langgerekte organische weefsels hebben een horizontale oriëntatie. Veel van dit materiaal bestaat uit veenachtig materiaal met enkele sporangia. Daarnaast is organisch materiaal aanwezig als, vaak geclusterde, kleine ellipsvormige excrementjes. De humus in deze horizont kan als moder worden gekarakteriseerd. De verhouding tussen de aanwezige moderhumus en weefselfragmenten is ongeveer 70/30. Op 228 - 227 cm - mv is een laagje aanwezig dat voornamelijk uit zandkorrels met een dichte pakking bestaat. Hierboven komt een laagje voor met veel grotere weefselresten die horizontaal georiënteerd zijn.

Holten

Er zijn kleine pakkingsholten tussen de zandkorrels en een beperkt aantal holten waarin door vraat van bodemorganismen het organisch materiaal geheel of gedeeltelijk is opgeruimd. Een deel van deze holten is horizontaal georiënteerd.

Verschijnselen

- In en bij een groot deel van de organische weefselresten en de moderexcrementen zijn bruin-gekleurde schimmeldraden aanwezig en zijn de resistentere weefsels, zoals een opperhuid, verzwart.
- Een deel van de moderclusters is verslempt, dat wil zeggen: onder vochtige omstandigheden geclusterd en verkit met het anorganische materiaal.
- Over de gehele diepte komt een beperkt aantal recentere wortelaansnijdingen voor.
- Er is een enkele opvulling van een dierlijke holte met voornamelijk zandkorrels in een lossere pakking.
- Op 236 cm - mv komen twee grotere vuursteensplinters voor, met een diameter van ca. 2 mm.

Interpretatie

Gezien de relatief dichte pakking van het zand en de horizontale oriëntatie van langgerekte organische weefsels en de combinatie van verschillende typen weefsels met sporangia vlak naast elkaar, kan het materiaal in de slijpplaat geïnterpreteerd worden als verspoeld dekzand en organisch materiaal. Het grootste deel van dit verspoelde organische materiaal is door bodemfauna omgezet. Daarna is het bodemmateriaal, gezien de verslemping van het modermateriaal en de evident aanwezige schimmeldraden, vernat. Vervolgens zijn er wortels van een latere vegetatie in doorgedrongen. De twee vuursteensplinters (236 cm - mv) zijn met het dekzand verspoeld en wijzen mogelijk op nabije menselijke activiteit.

4.2.4 Slijpplaat 00.032 (211 - 196 cm - mv)

In slijpplaat 00.032 zijn twee horizonten zichtbaar die in § 3.2 zijn gecodeerd als ‘Ce’ (209 -205 cm - mv) en als ‘Ahb’ (205 - 195 cm - mv) (Fig. 5b). Het materiaal van de twee horizonten wordt hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de

hele slijpplaat volgt. Horizont 1 betreft het deel van het slijpplaatje tussen 211 en 204 cm - mv; horizont 2 betreft het deel tussen 204 en 196 cm - mv.

Horizont 1 - bodemmateriaal

Het minerale materiaal bestaat hoofdzakelijk uit zeer fijn zand. De korrels zijn afgerond, dichtgepakt en hebben een diameter tussen 40 en 200 μm. In het zand komen regelmatig restanten voor die bestaan uit resistentere weefsels van wat grotere organische fragmenten (tot 3 mm diameter). Langgerekte organische weefsels hebben een horizontale oriëntatie. Het grootste deel van dit materiaal bestaat uit veenachtig materiaal met enkele sporangia. Veel van dit organische materiaal is door mesofauna omgezet en aanwezig als fijn gefragmenteerd organisch materiaal bij of in de resistentere weefsels, of als verslempte clusters met wat zandkorrels erin.

Horizont 1 - holten

Er zijn kleine pakkingsholten tussen de zandkorrels en een beperkt aantal onregelmatige holten, waarin door vraat van bodemorganismen het organisch materiaal geheel of gedeeltelijk is opgeruimd en ander bodemmateriaal is verplaatst. Deze holten kunnen een doorsnede tot 2,5 mm hebben.

Horizont 1 - verschijnselen

- In en bij een groot deel van het aanwezige organische materiaal zijn bruingekleurde schimmeldraden aanwezig en zijn de resistentere weefsels, zoals een opperhuid, verzwart.
- Een deel van de excrementen van de mesofauna is verslempt, dat wil zeggen: onder vochtige omstandigheden geclusterd en verkit met het anorganische materiaal.
- Over de gehele diepte komt een beperkt aantal recentere wortelaansnijdingen voor.
- Er is een enkele opvulling van door vraat in zacht organisch weefsel ontstane holten van zandkorrels en/of geclusterde organische excrementen van mesofauna.
- Er zijn enkele grotere afgeronde zandkorrels met een diameter tot ca. 900 μm.

Horizont 2 - bodemmateriaal

Het minerale bodemmateriaal in deze horizont bestaat hoofdzakelijk uit zeer fijn zand. De korrels zijn dichtgepakt en afgerond en hebben een diameter tussen 40 en 200 μm. Zij zijn ingebed in, door bodemfauna omgezet, fijn verdeeld organisch materiaal. De hoeveelheid organisch materiaal wisselt over korte afstand.

Horizont 2 - holten

Er is een aantal onregelmatige dierlijke holten. Deze zijn grotendeels ontstaan door vraat van bodemorganismen van organisch materiaal. Verder zijn enkele kleine pakkingsholten waargenomen.

Horizont 2 - verschijnselen

- In het aanwezige organische materiaal komen op grote schaal bruin gekleurde schimmeldraden voor.
- Over de gehele diepte komen een aantal recentere wortelaansnijdingen voor, waarvan er enkele een diameter tot 3 mm hebben. Deze zijn waarschijnlijk van een houtige vegetatie.
- Er is een enkele opvulling van een holte met zandkorrels.
- Er zijn enkele grotere afgeronde zandkorrels (diameter tot ca. 900 μm) in deze horizont aanwezig.

Interpretatie

Gezien de pakking van het fijne zand en de horizontale oriëntatie van langgerekte organische weefsels bestaat de onderste horizont uit verspoeld materiaal. De bovenste horizont bestaat ook uit verspoeld materiaal, gezien de onregelmatige verdeling van het omgezette organische materiaal. Het materiaal in deze horizont heeft vóór de verspoeling mogelijk deel uitgemaakt van een venige bovengrond. De zachte weefsels van dit venige materiaal zijn vrijwel geheel omgezet door bodemfauna, voornamelijk wormen. Door latere veengroei is deze bodemhorizont begraven. In dit veen hebben bomen of struiken gegroeid waarvan boomwortels in de horizont zijn doorgedrongen. Het materiaal is later vernat waarbij schimmelactiviteit optrad en de activiteit van de bodemfauna werd beperkt.

4.2.5 Slijpplaat 00.031 (196 - 181 cm - mv)

In slijpplaat 00.031 zijn twee lagen onderscheiden. Het materiaal van de twee lagen wordt hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de hele slijpplaat volgt. Laag 1 (196 - 190 cm - mv) bestaat voornamelijk uit grof hout; laag 2 (190 - 181 cm - mv) bestaat uit veen met grof hout.

Laag 1 - bodemmateriaal

Het bodemmateriaal bestaat voor ca. 60 % uit grof hout. De afzonderlijke delen hebben een diameter tot 3,5 cm. Ongeveer 35 % van het bodemmateriaal bestaat uit grotendeels door bodemfauna omgezet veen en ca. 5 % bestaat uit silt- en zandkorrels, met een diameter tussen 40 en 200 μm.

Laag 1 - holten

De aanwezige holten zijn enkele kleine onregelmatige vraatgangen van bodemfauna.

Laag 1 - verschijnselen

- De zachtere weefsels van het veen zijn omgezet door vraat van bodemfauna, voornamelijk wormen en potwormen. Een enkele keer zijn excrementen van mijten aanwezig.
- De intacte delen in het veen zijn voornamelijk de kleine wortels van lage vegetatie.

- De celwanden van voornamelijk de bast van de houtsecties is verdwenen, terwijl de celinhouden geconserveerd zijn.
- Lokaal zijn schimmeldraden aanwezig.
- In houtcellen en in bast-veen-contactzones komen regelmatig clusters van framboïdale pyriet voor. Sommige bolletjes hebben nog groei-uitsteeksels.
- Er is een enkele opvulling van een wormgang met excrementmateriaal dat bestaat uit fijn organisch materiaal dat zandkorrels met een diameter tot 120 μm bevat.

Laag 2 - bodemmateriaal

Het bodemmateriaal bestaat voor ca. 15 % uit houtdelen, met een diameter tot 2,0 cm. Ongeveer 85 % van het bodemmateriaal bestaat uit grotendeels door bodemfauna omgezet veen. In het veen zijn lokaal enkele silt- en zandkorrels (diameter tussen 40 en 200 μm) aanwezig.

Laag 2 - holten

Er zijn een aantal kleine onregelmatige vraatgangen van bodemfauna.

Laag 2 - verschijnselen

- De zachtere weefsels van het veen zijn omgezet door vraat van bodemfauna, voornamelijk door potwormen. Een enkele keer zijn excrementen van mijten en wormen aanwezig.
- De intacte delen in het veen bestaan voornamelijk uit de kleine wortels van lage vegetatie. Sommigen hebben een zwartkleuring in de buitenwand
- De celwanden van voornamelijk de bast van de houtsecties is verdwenen, terwijl de celinhouden geconserveerd zijn.
- Lokaal is een enkele schimmeldraad aanwezig.
- In het veen en in de organische weefsels komen regelmatig clusters van framboïdale pyriet voor, met een diameter tot 70 μm. Sommige bolletjes hebben nog groei-uitsteeksels.
- Een klein brokje verkoold organisch materiaal is ingebed in het bodemmateriaal.

Interpretatie

Er heeft hier veen gegroeid waarop bomen/struiken hebben gestaan. In de onderste laag van dit veen is nog regelmatig zand ingestoven, wat wijst op drogere condities in de buurt. Dit veen is grotendeels omgezet door bodemfauna, waaronder wormen en mijten, die drogere en minder zure condities prefereren. Het veen is verder vernat waardoor schimmels optraden. Door verdere vernatting zijn later in de grenszone tussen oxidatie en reductie sulfiden gevormd, waaronder framboïdale pyriet. In de bovenste laag is het veen grotendeels omgezet door potwormen, wat op nattere condities wijst. De boom/struik-groei is afgenomen door deze nattere condities en ook hier is het veen later zoveel vernat dat het in de grenszone tussen oxidatie en reductie terechtgekomen is, gezien de aanwezigheid van clusters framboïdale pyriet.

4.3 Boorkern Rassenbeektocht

4.3.1 Inleiding

Uit de boorkern Rassenbeektocht zijn drie monsters voor micromorfologische analyse genomen (Fig. 6b). In een macroscopische analyse van de boorkern zijn twee bodemprofielen in het dekzand onderscheiden. Het diepste bodemprofiel wordt afgedekt door een dunne veenlaag (232 - 220 cm - mv), waarover dekzand ligt. Het bovenste bodemprofiel wordt eveneens afgedekt door veen (119 - 100 cm - mv), dat waarschijnlijk verslagen is. Van beide bodems is een slijpplaat vervaardigd die eveneens de basis van de bovenliggende veenlaag omvat. Ook is er een slijpplaat van de top van de bovenste veenlaag (ca. 100 cm - mv) vervaardigd, waarin de geleidelijke overgang naar de bovenliggende kleilaag bestudeerd kan worden. De slijpplaten worden hieronder van onder naar boven behandeld.

4.3.2 Slijpplaat 00.041 (236 - 221 cm - mv)

In slijpplaat 00.041 zijn twee lagen onderscheiden. Het materiaal van de twee lagen wordt hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de hele slijpplaat volgt. Laag 1 (236 - 232,5 cm - mv) bestaat voornamelijk uit gelaagd silt en fijn zand; laag 2 (232,5 - 221 cm - mv) bestaat hoofdzakelijk uit organisch materiaal.

Laag 1 - bodemmateriaal
Het bodemmateriaal in laag 1 bestaat voor het grootste deel uit siltige en fijnzandige laagjes. De korrelgrootte van het materiaal varieert tussen 40 en 400 μm. Naar boven toe komt steeds meer, horizontaal georiënteerd, smal en lang bladachtig organisch materiaal voor. Er komen veel, vrij gave, pollenkorrels in het sediment voor.

Laag 1 - holten
Er zijn pakkingsholten tussen de minerale korrels en het minerale en organische materiaal. Tevens zijn er enkele onregelmatige biologische holten, voornamelijk van bodemfauna.

Laag 1 - verschijnselen
- Er zijn veel epidermisresten van in het sediment gegroeide wortels waargenomen. De zachtere delen zijn door vraat van bodemorganismen verdwenen. De epidermisresten zijn deels verzwart. De ontstane holten zijn gevuld met los gepakte kleine fragmenten organisch materiaal. Deze fragmenten liggen tussen de minerale korrels.
- Door vraat van bodemorganismen aan het aanwezige organische materiaal komen veel kleine fragmentjes van organische weefsels en excrementmateriaal voor tussen het minerale materiaal, hetgeen karakteristiek is voor een A-horizont. De banen van de bodemfauna door de grond zijn weer opgevuld met losgepakt sedimentmateriaal vaak aangerijkt met kleine fragmentjes organisch materiaal en/of excrementmateriaal.



Fig. 9 Microscopisch beeld van de diepste veenlaag (220 - 232 cm - mv) in boorkern Rassenbeektocht (vergroting 25 x).

Laag 2 - bodemmateriaal

De bovenste eenheid is een gelaagde afzetting (Fig. 9) van voornamelijk horizontaal georiënteerd, smal en lang, bladachtig organisch materiaal, afkomstig van één soort. In de laag is een beperkte hoeveelheid silt en fijn zand aanwezig. Naar boven toe neemt het gehalte aan mineraal materiaal toe. In de bovenste centimeter domineert het minerale materiaal. Aan de basis komt een dun laagje voor met veenachtige brokjes en mull-achtig bodemmateriaal (diameters tot 1 mm).

Laag 2 - holten
De holten in laag 2 zijn voornamelijk pakkingsholten tussen het organische en/of minerale materiaal en enkele grote holten ontstaan door vraat van bodemfauna.

Laag 2 - verschijnselen
- Lokaal komen in de grote, door vraat ontstane, holten enkele minerale korrels en organische fragmenten/excrementen voor.

Interpretatie
In beide lagen is een fijne laminatie herkenbaar, waarbinnen organische fragmenten overwegend horizontaal georiënteerd zijn. Laag 1 heeft eveneens duidelijke kenmerken van een A-horizont. Wellicht ging bodemvorming gelijk op met langzame sedimentatie. Bodemvorming in laag 1 eindigde waarschijnlijk door nattere omstandigheden en toenemende accumulatie van smal en lang, bladachtig organisch materiaal (laag 2). De gaafheid van het bladachtige organische materiaal wijst op vochtige conserverende omstandigheden en snelle afdekking van het materiaal. De horizontale oriëntatie van de blaadjes wordt waarschijnlijk veroorzaakt door periodieke afdekking met een laagje silt/zand.

4.3.3 Slijpplaat 00.040 (129 - 114 cm - mv)

In slijpplaat 00.040 zijn drie lagen onderscheiden. Het materiaal van de drie lagen wordt hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de hele slijpplaat volgt. Laag 1 (129 - 122,5 cm - mv) bestaat voornamelijk uit fijn zand; laag 2 (122,5 - 120,5 cm - mv) bestaat uit laminae van afwisselend fijn zand en silt en fijn organisch materiaal; laag 3 (120,5 - 114 cm - mv) bestaat bijna volledig uit organisch materiaal. In Fig. 10 is de overgang tussen de lagen 2 en 3 te zien.

Laag 1 - bodemmateriaal
Het minerale materiaal bestaat hoofdzakelijk uit fijn zand. De korrelgrootte van het materiaal varieert tussen 40 en 400 μm. Er zijn veel brokjes bestaande uit veenresten waarin siltkorrels voorkomen.

Laag 1 - holten
Er zijn veel onregelmatige pakkingsholten tussen de minerale korrels en de veenresten. Het materiaal heeft een relatief losse pakking. Daarnaast komen veel onregelmatige biologische holten voor. Voor een deel zijn dit oude wortelgangen, maar voor het grootste deel betreft het diergangen.

Laag 1 - verschijnselen
- Er zijn enkele wortels van een lokale vegetatie, die zijn deels aangevreten.
- Een groot deel van het afgezette veenmateriaal is door vraat van bodemfauna sterk gefragmenteerd en omgezet via excrementen. Hierdoor is het voormalige veenmateriaal nu aanwezig als fijn organisch materiaal tussen minerale korrels of als bruggen en huidjes er omheen.

- Er zijn enkele kleine afgeronde ontkalkte stukjes bot (diameter ca. 150 μm) en enkele stukjes verkoold organisch materiaal aanwezig.
- Er komen regelmatig grote minerale korrels voor (diameter tot ca. 1,2 mm).
- Een groot deel van de biologische holten is opgevuld met losgepakt bodemmateriaal.

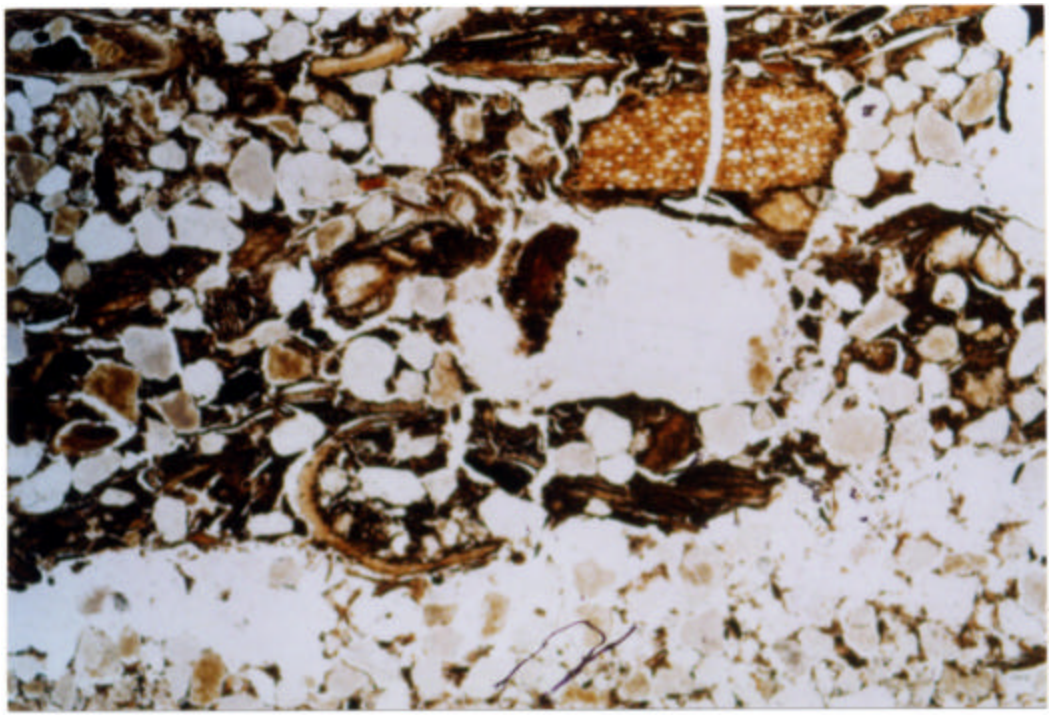


Fig. 10 Microscopisch beeld van de overgang van (verspoeld) dekzand en (verslagen) veen in boorkern Rassenbeektocht (120,5 cm - mv). De breedte van het weergegeven beeld is in werkelijkheid 5 mm.

Laag 2 - bodemmateriaal

Het materiaal is gelamineerd en wordt naar boven toe fijner. Ook het gehalte aan fijne organische resten neemt hoger in de laag toe. Onderin overheerst losgepakt fijn zand, terwijl bovenin vooral dichtgepakte siltkorrels voorkomen. Tussen het grovere minerale materiaal zijn grotere fragmenten horizontaal georiënteerd organisch materiaal aanwezig.

Laag 2 - holten

De holten in het materiaal omvatten pakkingsholten tussen de minerale en organische delen, een enkele wortelholte en een aantal diergangen.

Laag 2 - verschijnselen

- In het sediment komen enkele stukjes verkoold organisch materiaal voor, alsmede enkele kleine ontkalkte, en soms verbrande, stukjes bot (diameters tot 250 μm).

- De biologische holten zijn voor een groot deel opgevuld met losgepakt bodemmateriaal, dat waarschijnlijk van lokale herkomst is.
- Er komt een enkele wortel van een lokale vegetatie voor, die deels is aangevreten.
- Een deel van het aanwezige organische materiaal is door vraat van bodemfauna gefragmenteerd en omgezet via excrementen.

Laag 3 - bodemmateriaal
De bovenste laag bestaat uit veen met aan de basis een laag van ca. 1 cm dikte bestaande uit horizontaal georiënteerde, langgerekte organische fragmenten (Fig. 10), waaronder enkele stukjes verkoold materiaal en hout. Over de hele laag komt een bijmenging van minerale korrels met diameters tot 400 μm voor. Het veen bevat veel organische fragmenten van verschillende herkomst die willekeurig verspreid aanwezig zijn.

Laag 3 - holten
De enige holten in het materiaal is een beperkt aantal vraatsporen van bodemfauna.

Laag 3 - verschijnselen
- In de vraatsporen is losgepakt organisch materiaal aanwezig dat door vraat van bodemfauna is gefragmenteerd of is omgezet via excrementen.
- In het veen komen sporadisch enkele fragmentjes verkoold organisch materiaal voor.

Interpretatie
Laag 1 heeft veel kenmerken van een A-horizont, die sterk gemengd is. Deze laag heeft nabij een begroeid oppervlak gelegen, gezien de beworteling die erin aanwezig is. Gezien de enkele verkoolde stukjes organisch materiaal in combinatie met kleine stukjes bot in het sediment, is er in de buurt menselijke activiteit geweest. De sterke menging en het voorkomen van de veenbrokjes tussen het minerale materiaal houden mogelijk verband met verstoring door de mens. Laag 2 lijkt onder water te zijn afgezet in een rustig milieu, waarin langzamerhand steeds fijner materiaal tot afzetting kwam. Met het sediment zijn verkoolde stukjes organisch materiaal en enkele verbrande stukjes bot afgezet, die wijzen op menselijke activiteit in de buurt. Laag 3 wordt geïnterpreteerd als verslagen veen op basis van het grote aantal fragmenten van diverse organische materialen die willekeurig verspreid aanwezig zijn en de sterke bijmenging van silt en fijn zand.

4.3.4 Slijpplaat 00.039 (103 - 88 cm - mv)

In slijpplaat 00.039 zijn twee lagen onderscheiden. Laag 1 (103 - 100 cm - mv) bestaat uit organisch materiaal en is nagenoeg identiek aan de hierboven beschreven laag 3 in slijpplaat 00.040; laag 2 (100 - 88 cm - mv) bestaat voornamelijk uit klastisch materiaal en is opgebouwd uit een aantal laagjes van wisselende dikte en samenstelling, die hieronder worden beschreven.

Laag 2

- 100 - 94 cm - mv: Dichtgepakt silt en wat fijn zand (korrelgrootte 25 - 65 μm), met veel horizontaal georiënteerde fragmenten organisch materiaal tot 1 cm lang en 3 mm dik. In het sediment komen glauconietkorrels voor. Naar boven toe komen er steeds meer kleine korrels carbonaat in voor. In de bovenste 2 cm zijn enkele kleirijke en kalkrijke laminae aanwezig.
- 94 - 92,5 cm - mv: Dichtgepakte fijnzandige laag, met enkele minerale korrels (diameter tot 300 μm). In deze matig kalkrijke laag komen glauconietkorrels en enkele fragmenten horizontaal georiënteerd organisch materiaal voor. De laag bevat veel gipskristallen (diameter tot 400 μm).
- 92,5 - 89,5 cm - mv: Kalkrijke kleilaag met enkele siltlaagjes. Hierin komen enkele kleine fragmenten horizontaal georiënteerd organisch materiaal voor. Enkele diergangen zijn opgevuld met gipskristallen. Rond een enkele kleine holte komt een rode accumulatie van ijzer(hydr)oxiden voor.
- 89,5 - 89 cm - mv: Dichtgepakte, kalkrijke, fijnzandige laag, met enkele minerale korrels (diameter tot 300 μm) waaronder glauconietkorrels. Er is geen organisch materiaal aanwezig, wel zijn er veel kleine schelphelften (tot 500 μm lang) in de laag te zien. Rond een enkele kleine holte komt een rode accumulatie van ijzer(hydr)oxiden voor.
- 89 - 88 cm - mv: Kalkrijke kleilaag met enkele siltlaagjes, zonder fragmentjes organisch materiaal. Rond een enkele kleine holte komt een rode accumulatie van ijzer(hydr)oxiden voor.

Interpretatie

De veenlaag aan de basis van deze slijpplaat (laag 1) is identiek aan die in het bovenste deel van slijpplaat 00.040. De abrupte bovenkant van deze laag is een erosievlak. Laag 2 kan worden geïnterpreteerd als een marien sediment, gezien de samenstelling ervan: o.a. glauconiet, carbonaat en klei. Laag 2 bevat beneden 89,5 cm - mv, fragmenten organisch materiaal die uit het onderliggende veenmateriaal zijn losgespoeld. In dit deel van het gelaagde pakket is veel organisch materiaal aanwezig en is een groot deel van de kalk in het sediment opgelost. Samen met sulfaat uit het zoute water, zwavel uit de organische stof en mogelijk aanwezige sulfiden, is calcium uit het opgeloste carbonaat vrijgekomen en neergeslagen als gips in grovere laminae en in enkele opvullingen. In het bovenste deel van laag 2 (boven 92,5 cm - mv) komen enkele ijzerneerslagen voor bij holten, die aangeven dat in dit sediment aëratie optreedt of opgetreden is.

4.4 Boorkern Eemhof

4.4.1 Inleiding

Uit de boorkern Eemhof zijn twee monsters genomen waarvan slijpplaten voor micromorfologische analyse vervaardigd zijn (Fig. 7b). Eén slijpplaat omvat de scherpe grens tussen dekzand en veen (196 cm - mv). Dit veen is zandig en lijkt erosief op het dekzand te liggen, temeer daar een bodemprofiel in het dekzand ontbreekt (§ 3.2). Een tweede slijpplaat is gemaakt van het materiaal hoger in het veenpakket. Dit veen lijkt *in situ* te liggen. De slijpplaten worden hieronder van onder naar boven behandeld.

4.4.2 Slijpplaat 00.030 (202 - 187 cm - mv)

In slijpplaat 00.030 zijn drie lagen onderscheiden. De lagen worden hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de hele slijpplaat volgt. Laag 1 (202 - 197,5 cm - mv) bestaat uit gelaagd fijn zand; laag 2 (197,5 - 190 cm - mv) bestaat uit een afwisseling van lagen organisch materiaal en lagen fijn zand; laag 3 (190 - 187 cm - mv) bestaat fijn zand met houtresten.

Laag 1 - bodemmateriaal

Laag 1 bestaat uit afgeronde zandkorrels (diameter tot 240 μm) die grotendeels dicht gepakt zijn. De afzetting is opgebouwd uit scherp begrensde laminae die zich door verschillen in korrelgrootte onderscheiden. Op de grenzen van laminae komen regelmatig enkele fragmenten organisch materiaal voor, die horizontaal georiënteerd zijn. Dit zijn voornamelijk veenfragmenten. Over de gehele bestudeerde diepte komen dunne, voornamelijk uit amorf organisch materiaal bestaande, bruine huidjes voor op de korrels. Lokaal vormt dit materiaal bruggen tussen de korrels of vult het de holten tussen de korrels.

Laag 1 - holten

De enige holten in laag 1 zijn de pakkingsholten tussen de korrels.

Laag 1 - verschijnselen

- Aan het nog niet omgezette organische materiaal is vraat van mesofauna waar te nemen. Sommige vraatsporen zijn daarna weer met zandkorrels gevuld. Lokaal komen clusters van kleine ellipsvormige organische excrementjes voor.
- Kleine *in situ* wortels (doorsnede ca. 80 - 150 μm) komen willekeurig verspreid in het bodemmateriaal voor.
- Nabij de bovengrens van de laag komen enkele grotere zandkorrels voor (diameter tot 900 μm).

Laag 2 - bodemmateriaal

Het bodemmateriaal van laag 2 bestaat uit een afwisseling van lagen die voor het grootste deel uit verslagen organisch materiaal bestaan en lagen die voor het grootste

deel uit afgeronde zandkorrels (diameter tot 240 μm) in dichte pakking bestaan. Het onderste deel van laag 2 (1 cm) bestaat voornamelijk uit verslagen organisch materiaal, het middelste deel (4 cm) bestaat voor het grootste deel uit zand en het bovenste deel (2 cm) bestaat bijna geheel uit compact verslagen organisch materiaal. Het verslagen organisch materiaal bestaat uit stukjes veen, wortels, stengels, takjes, zaaddozen, sporangia etc. die tot 1,5 centimeter lang zijn. Langgerekte delen zijn horizontaal georiënteerd. Op de zandkorrels komen vaak dunne, voornamelijk uit amorf organisch materiaal bestaande, bruine huidjes voor.

Laag 2 - holten

De enige holten in laag 2 zijn de pakkingsholten tussen de zandkorrels.

Laag 2 - verschijnselen

- In de grote organische fragmenten komt op zeer beperkte schaal vraat voor. Lokaal is er wat chemische omzetting van organische stof, die zich uit in zwartkleuring of oplossen van celwanden. Verreweg het grootste deel van dit organisch materiaal is gaaf.
- De kleine organische fragmenten zijn voor een groot deel door vraat van bodemorganismen verkleind en omgezet. Hierin zijn deels excrementen met een duidelijke vorm (hier ellipsvormig, afgerond en ruw) aanwezig en deels vormloze excrementen. Hieruit volgt dat er meerdere species actief zijn (geweest).
- In het zandige materiaal komen regelmatig accumulaties van organisch materiaal voor: deels vraatrestanten, deels al dan niet geclusterde excreta.
- Eén stukje kruidachtig materiaal is zwart gekleurd en lijkt verkoold.

Laag 3 - bodemmateriaal

Het minerale bodemmateriaal van laag 3 bestaat uit, dicht gepakte, afgeronde zandkorrels (diameter tot ca. 240 μm) met veel houtresten. Langgerekte organische materialen zijn horizontaal georiënteerd. Tussen de zandkorrels komen vele accumulaties van organisch materiaal voor, die de holten tussen de korrels geheel vullen. Dit organisch materiaal is niet amorf. Hierin zijn celwanden en zeer kleine fragmentjes organisch materiaal te herkennen.

Laag 3 - holten

De enige holten in laag 3 zijn de pakkingsholten tussen de zandkorrels.

Laag 3 - verschijnselen

- In laag 3 zijn vrijwel alle zachtere organische materialen door de fauna omgezet. Alleen de houtige wortels zijn slechts gedeeltelijk aangetast: de houtige delen van de buitenste lagen zijn overgebleven.
- Holten die door vraat zijn gevormd zijn weer opgevuld, hetzij met zandkorrels, hetzij met een menging van zand en fijn verdeeld organisch materiaal.
- Lokaal komen excrementen voor met een duidelijke vorm (hier ellipsvormig, afgerond en ruw). De meeste excrementen zijn vormloos. Sommigen zijn later nogmaals vervormd door biologische activiteit. Er zijn in ieder geval meerdere species actief (geweest).

Interpretatie
Het dekzand in de ondergrond (laag 1) is verspoeld. Op de grens van enkele laminae komen veenfragmentjes voor, die aangeven dat op het moment van verspoeling er in de nabijheid al veenvorming plaatsgevonden had. De vraat van mesofauna in het zachtere organische materiaal in het verspoelde dekzand suggereert dat het dekzand in laag 1 na verspoeling weer drooggevallen is. Op het verspoelde dekzand ligt een gelamineerd pakket (laag 2) dat bestaat uit verslagen veen en zand, dat een tweede verspoelingsfase vertegenwoordigt, waarin zich in de omgeving al meer veen ontwikkeld had. In dit pakket en ook in het onderliggende verspoelde dekzand is een amorf soort organisch materiaal ingespoeld, dat als huidjes, bruggetjes en opvullingen tussen zandkorrels aanwezig is. Dit wijst eveneens op het (periodiek en/of kortstondig) droogvallen van laag 2 na afzetting. In laag 3 is door dierlijke activiteit geen gelaagdheid meer te herkennen, hetgeen eveneens tijdelijk droge condities na afzetting impliceert.

4.4.3 Slijpplaat 00.029 (181 - 166 cm - mv)

In het venige materiaal van slijpplaat 00.029 zijn geen afzonderlijke lagen te herkennen. De slijpplaat wordt hieronder als geheel beschreven en geïnterpreteerd.

Bodemmateriaal
Het bodemmateriaal bestaat uit veen met veel houtresten (tot 4 cm lang). De zachte weefsels van het veen zijn door vraat verkleind en omgezet. Over de gehele diepte komen hier en daar afgeronde zandkorrels voor (diameter 50 - 200 μm).

Holten
In het materiaal komen een aantal onregelmatige dierlijke holten en een aantal diergangen (doorsnede tot 1,5 mm) voor.

Verschijnselen
- In het materiaal bevinden zich herkenbare excrementclusters van mijten, potwormen en mogelijk springstaarten.
- Er komen enkele kleine verkoolde houtfragmentjes in het materiaal voor.
- Enkele wortelaansnijdingen die in het materiaal voorkomen zijn waarschijnlijk van een recente datum.
- Een enkele diergang heeft een verhoogde concentratie zandkorrels in de opvulling.

Interpretatie
Dit pakket is een autochtone veenlaag, waarin struiken en/of bomen hebben gegroeid. In dit veen is zo nu en dan wat zand ingewaaid en misschien een enkel stukje houtskool. Dit veen is, voor zover het de zachte weefsels betreft omgezet door de bodemfauna. Dit proces gaat waarschijnlijk ook nu nog door.

4.5 Boorkern Eemmeerdijk

4.5.1 Inleiding

Uit de boorkern Eemmeerdijk zijn vier monsters genomen waarvan slijpplaten voor micromorfologische analyse vervaardigd zijn (Fig. 8b). Twee slijpplaten vertegenwoordigen respectievelijk de dikke Bh-horizont (246 - 210 cm - mv) en de Abhb-horizont (210 - 197 cm - mv), die in § 3.2 zijn opgevat als de onderkant van een onthoofd bodemprofiel. Een volgende slijpplaat vertegenwoordigt die hierboven liggende Ahb- en Cr-horizonten (197 - 171 cm - mv). In § 3.2 zijn deze geïnterpreteerd als een tweede bodemprofiel in een laag verspoeld dekzand. De vierde slijpplaat toont het veen dat dit bodemprofiel afdekt en ook de overgang tussen het bodemprofiel en het veen (rond 171 cm - mv). Het veen lijkt *in situ* te liggen. De slijpplaten worden hieronder van onder naar boven behandeld.

4.5.2 Slijpplaat 00.038 (228 - 221 cm - mv)

In slijpplaat 00.038 zijn geen afzonderlijke lagen of horizonten te herkennen. De slijpplaat zal hieronder als geheel beschreven en geïnterpreteerd worden.

Bodemmateriaal
Het minerale materiaal bestaat hoofdzakelijk uit dichtgepakt fijn zand. De korrelgrootte van het materiaal varieert tussen 40 en 200 μm. De verschillende korrelgroottefracties lijken willekeurig door het materiaal te zijn verdeeld. De afgeronde korrels hebben een zeer dunne coating van organisch materiaal (<10 μm), waardoor het zand bruiner van kleur wordt.

Holten
Er komen pakkingsholten tussen de korrels en veel onregelmatige biologische holten voor.

Verschijnselen
- Lokaal komen enkele brokjes organisch materiaal voor.
- Er komen veel kleine wortels van een kruidvegetatie (doorsnede tot 2 mm) voor. Daarnaast zijn er sporadisch wortelsecties van een houtig gewas of struik.
- Er zijn duidelijke vraatsporen van bodemfauna aan het aanwezige organische materiaal.
- De door de bodemfauna gecreëerde holten en de locaties waar organisch materiaal door vraat verdwenen is, zijn grotendeels weer opgevuld met losgepakt lokaal zand. Vaak lopen meerdere, grotendeels weer opgevulde, sporen door elkaar, waarbij fragmenten organisch materiaal ingebed lijken te liggen in het bodemmateriaal.
- Een klein deel van het aanwezige organisch materiaal, met name kleine wortelsecties, hebben verzwarte buitenwanden door schimmelactiviteit. Lokaal komen grote concentraties schimmeldraden voor.

Interpretatie
Dit materiaal heeft enige tijd niet ver van een begroeid oppervlak gelegen, gezien de doorworteling van een kruidachtige vegetatie. Een beperkte selectie bodemfauna, misschien wel alleen potwormen, heeft veel organisch materiaal aangevreten en omgezet in excrementen. Deze excrementen en de fragmenten organisch materiaal zijn door gedeeltelijke opvulling van de holten met lokaal bodemmateriaal en herhaalde passages van de bodemfauna ingebed in de grondmassa. Daarnaast is verschimmeling van dood organisch materiaal opgetreden, wat op vernatting duidt. Uit deze omzettingen van organisch materiaal, en die uit hogere lagen, komt heel fijn organisch materiaal vrij dat door de neergaande waterbeweging in het profiel, zich om de korrels van het zand heeft afgezet. Deze verschijnselen sluiten aan bij de macroscopische beschrijving als B-horizont.

4.5.3 Slijpplaat 00.037 (210 - 195 cm - mv)

In deze slijpplaat zijn twee bodemhorizonten onderscheiden. De lagen worden hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de hele slijpplaat volgt. Horizont 1 (210 - 196,5 cm - mv) is de als 'ABhb' gecodeerde horizont (Fig. 8b). Horizont 2 (196,5 - 195 cm - mv) is als 'Cr' gecodeerd, en wordt verondersteld bij het bovenliggend bodemprofiel te horen. De grens tussen beide horizonten lijkt erosief (Fig. 11).

Horizont 1 - bodemmateriaal
Het minerale bodemmateriaal in horizont 1 bestaat hoofdzakelijk uit onregelmatig dichtgepakt en matig losgepakt fijn zand. De korrelgroottes van de minerale delen variëren tussen 40 en 200 μm. De verschillende korrelgroottefracties lijken willekeurig door het materiaal verdeeld. De korrels zijn afgerond en hebben een dunne, bruinkleurige, coating van organisch materiaal (10 - 15 μm dikte), waardoor het zand een bruine kleur krijgt. Tussen de korrels komt een min of meer amorf organisch materiaal voor dat de holten voor ca. 40 % vult. Dit organische materiaal is bruin van kleur. In de bovenste centimeter neemt het aandeel van dit amorfe organische materiaal af tot ca. 15 %. De bovengrens van de horizont is scherp en licht golvend (Fig. 11).

Horizont 1 - holten
Tussen de korrels en het aanwezige organische materiaal komen pakkingsholten voor. Daarnaast is er een beperkt aantal kleinere biologische holten, deels voormalige wortelgangen en deels onregelmatige diergangen.

Horizont 1 - verschijnselen
- Er zijn veel kleine wortels van een kruidvegetatie aanwezig (doorsnede tot 2 mm). De wortels liggen ingebed in het bodemmateriaal en zijn soms vervormd door druk op de korrels.
- Op enkele plaatsen is min of meer amorf organisch materiaal willekeurig verspreid in het bodemmateriaal aanwezig. Hierin zijn soms weer wortels gegroeid.

- Een klein deel van het aanwezige organische materiaal, met name kleine wortelsecties, hebben verzwarte buitenwanden door schimmelactiviteit. Hier en daar komen schimmeldraden voor.
- Enkele sporangia zijn, willekeurig verspreid, ingebed in het bodemmateriaal.
- Enkele grotere afgeronde korrels (diameter tot 900 μm) zijn, willekeurig verspreid, ingebed in het bodemmateriaal.
- Enkele grote stukken verkoold organisch materiaal, met enkele daarvan afgebroken brokjes (diameter tot 800 μm) zijn, willekeurig verspreid, ingebed in het bodemmateriaal. In een enkel verbrand stukje is bodemmateriaal aanwezig in celholten. De bodemfauna heeft lokaal hiervan delen geconsumeerd, waardoor er donkerbruine zones in het amorfe organische materiaal tussen de korrels voorkomen.
- Aan de rand van de slijpplaat is de rand van een groter botfragment aanwezig, dat ontkalkt en verbrand is (diameter aanwezige deel is 1 mm).

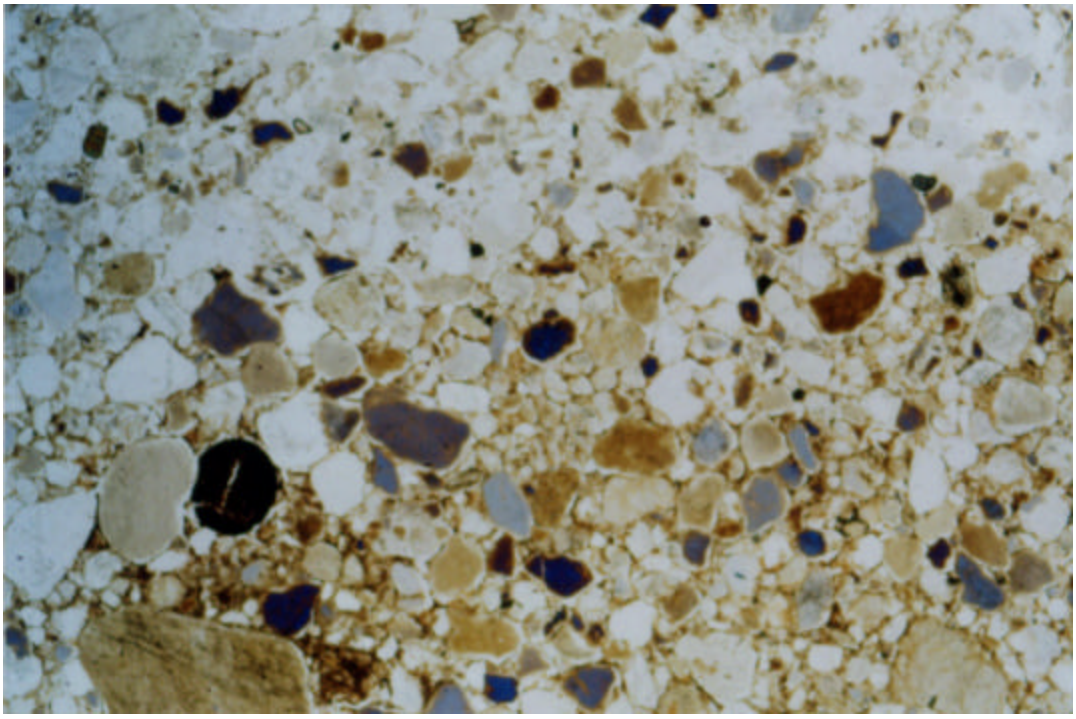


Fig. 11 Microscopisch beeld van de scherpe, waarschijnlijk erosieve, grens tussen de ABhb- en de Cr-horizont op 196,5 cm – mv in boorkern Eemmeerdijk (vergroting ongeveer 25 x).

Horizont 2 - bodemmateriaal

Het minerale bodemmateriaal van horizont 2 bestaat hoofdzakelijk uit zwak gelaagd, fijn zand. De korrelgroottes van de minerale delen variëren tussen 40 en 200 μm. In het materiaal komen enkele brokjes veen, sporangia en een enkel stukje verkoold organisch materiaal voor.

Horizont 2 - holten
Tussen de korrels komen pakkingsholten voor. Daarnaast zijn er enkele kleinere biologische holten, deels voormalige wortelgangen en deels onregelmatige diergangen.

Horizont 2 - verschijnselen
- Er is een aantal kleine wortels van een kruidvegetatie aanwezig (doorsnede tot 2 mm).
- Een groter fragment verkoold organisch materiaal (diameter 400 μm) komt ingebed in het bodemmateriaal voor.

Interpretatie
Het bodemmateriaal van horizont 1 is waarschijnlijk een eolische afzetting waarop veel betreding heeft plaatsgevonden. Dit valt af te leiden uit de pakkingsverschillen en de aanwezigheid van materiaal dat te groot is om er tegelijkertijd mee afgezet te zijn. Dit zijn enkele grote afgeronde korrels, grote stukken verkoold organisch materiaal en het botfragment. Gezien de laatste twee materialen is het aannemelijk dat hier mensen zijn geweest. Er is veel omgezet vormloos organisch materiaal aanwezig tussen de korrels, en er is biologische activiteit geweest van waarschijnlijk overwegend potwormen. Deze laag is goed doorworteld met kleine wortels van een kruidvegetatie. Er is vernatting opgetreden, gezien de verzwarting van enkele wortelresten en aanwezige schimmeldraden. Het omgezette vormloze organische materiaal spreekt voor een interpretatie als sterk omgezette B-horizont. Ook de humushuidjes om de zandkorrels sluiten hier goed bij aan. Gezien de hele opbouw van de laag en de waargenomen kleine wortels van een kruidvegetatie, die in het algemeen dicht bij het oppervlak voorkomen, ligt een interpretatie als A-horizont meer voor de hand. Het dekzand van horizont 2 is verspoeld en met enkele brokjes verslagen veen, sporangia en enkele stukjes verkoold organisch materiaal licht gelaagd weer afgezet. Een groter stuk verkoold organisch materiaal is er waarschijnlijk op andere manier in terechtgekomen. Daarna is deze laag beperkt begroeid geraakt door een kruidachtige vegetatie. Er zijn echter te weinig bodemverschijnselen om te kunnen spreken van een A-horizont.

4.5.4 Slijpplaat 00.036 (192,5 - 177,5 cm - mv)

In slijpplaat 00.036 zijn twee lagen onderscheiden. De lagen worden hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de hele slijpplaat volgt. Laag 1 (192,5 - 180,5 cm - mv) bestaat voornamelijk uit fijn zand; laag 2 (180,5 - 177,5 cm - mv) bestaat uit laminae van silt, fijn zand en verslagen veen. In § 3.2 is het onderste deel van laag 1 (tot 183 cm - mv) als Cr-horizont gekarakteriseerd; laag 2 en het bovenste deel van laag 1 is als Ahb-horizont opgevat.

Laag 1 - bodemmateriaal
Het minerale bodemmateriaal bestaat voornamelijk uit dichtgepakt fijn zand. De diameter van de minerale delen varieert tussen 40 - 200 μm. De korrels zijn afgerond en de verschillende korrelgroottefracties lijken willekeurig verdeeld door het

materiaal. In het bodemmateriaal komen ook enkele brokjes veen, sporangia en veel fragmentjes verkoold organisch materiaal (waaronder hout) voor. Naar boven toe nemen de fragmentjes verkoold materiaal (diameter ca. 1,5 mm) in aantal toe.

Laag 1 - holten
Er zijn kleine pakkingsholten tussen de korrels en biologische holten: wortelgangen (doorsnedes tot 2,5 mm) en onregelmatige kleine diergangen.

Laag 1 - verschijnselen
- Er komen regelmatig wortels van een kruid- en een struik/boom-vegetatie voor.
- Er zijn een aantal leeggegeten wortels waargenomen. Hiervan zijn alleen de buitenwanden voor een groot deel nog over. De leeggegeten centrale holten zijn weer gevuld met vormloze excreta bestaande uit donkerbruin fijn verdeeld organisch materiaal met veel zandkorrels (diameter tot 90 μm). In de restanten van de buitenwanden en er omheen komen schimmeldraden voor. De doorsnedes van deze opgevulde wortelgangen zijn tot 2,5 mm.
- Verkoold organische materiaal is aan de randen vaak uiteengevallen en soms is er vraat geweest aan minder verkoolde delen. Het fijne gruis hiervan vormt lokaal huidjes rond de korrels of vult de pakkingsholten op. Dit neemt naar boven toe, waardoor het bodemmateriaal een grijze kleur krijgt.
- Er zijn enkele grote afgeronde zandkorrels waargenomen (diameter tot 1,4 mm).
- Enkele ontkalkte botfragmentjes zijn ingebed in het bodemmateriaal.

Laag 2 - bodemmateriaal
De onderste centimeter van deze laag bestaat uit gelaagd mineraal materiaal. Siltige en zandige laminae wisselen zich af. Ook komen enkele laminae met verslagen organisch materiaal voor. De aanwezige fragmentjes verkoold organisch materiaal (diameter 1,5 mm), zijn deels afkomstig van een kruidvegetatie en misschien van riet. De bovenste centimeters van de laag bestaan grotendeels uit verslagen organisch materiaal.

Laag 2 - holten
In laag 2 zijn kleine pakkingsholten tussen de korrels aanwezig, alsmede enkele biologische holten, voornamelijk onregelmatige kleine diergangen.

Laag 2 - verschijnselen
- Er zijn een aantal wortels van een kruidvegetatie en mogelijk een struik/boom-vegetatie aanwezig.
- Het verslagen organisch materiaal in de laminae is verzwart door biologische omzettingen en bijmenging van asfragmenten.
- Laag 2 bevat een sectie door waarschijnlijk een (recente) potworm
- Er is een klein ontkalkt botfragmentje gevonden.

Interpretatie
Het moedermateriaal in deze slijpplaat bestaat waarschijnlijk volledig uit verspoeld lokaal materiaal. Laag 1 bestaat voornamelijk uit verspoeld dekzand dat as, verkoold

organisch materiaal en enkele stukjes bot bevat. Laag 2 bevat een fijnere fractie dekzand en meer verspoeld organisch materiaal met dezelfde bijmengingen. Beide lagen zijn na afzetting goed beworteld door een kruidvegetatie en een boom- en/of struikvegetatie. Een deel van deze wortels zijn door vraat van bodemorganismen, waaronder wormen, omgezet en een groot deel van de verslagen organische fragmenten zijn verzwart, waarschijnlijk door bacteriële omzettingen onder latere natte condities. Veel van het organische materiaal in de A-horizont (boven 183 cm - mv) is allochtoon en is niet het resultaat van bodemvorming. Het naar boven toenemend gehalte aan organische stof in de A-horizont weerspiegelt de toenemende vernatting en veenvorming in de omgeving. Periodiek afgezette laagjes overspoeld dekzand en organische stof werden in de zich ontwikkelende A-horizont opgenomen.

4.5.5 Slijpplaat 00.035 (177,5 - 162,5 cm - mv)

Slijpplaat 00.035 sluit direct aan bij slijpplaat 00.036 en toont de overgang tussen de A-horizont van de bodem in het verspoelde dekzand en het bovenliggende veenpakket (Fig. 8b). In slijpplaat 00.035 zijn drie lagen onderscheiden. De lagen worden hieronder apart beschreven, waarna een interpretatie voor de hele slijpplaat volgt. Laag 1 (177,5 - 175 cm - mv) bestaat uit verslagen organisch materiaal; laag 2 (175 - 168 cm - mv) bestaat uit gelamineerd fijn zand, silt en verslagen organisch materiaal; laag 3 (168 - 162,5 cm - mv) bestaat uit veen.

Laag 1 - bodemmateriaal
Het bodemmateriaal bestaat uit verslagen veen met enkele zandkorrels en bovenin de laag een horizontaal liggende tak (doorsnede 1,8 cm). Asresten en/of fragmenten verkoold organisch materiaal maken ook deel uit van het bodemmateriaal.

Laag 1 - holten
De enige holten in laag 1 zijn enkele onregelmatige biologische holten, voornamelijk gevormd door bodemfauna.

Laag 1 - verschijnselen
- Er zijn enkele wortels van een kruid- en struik/boom-vegetatie waargenomen.
- In enkele zachtere organische weefsels komen excrementen van mijten voor.
- In de tak en andere grotere organische weefsels komen veel schimmeldraden voor.
- In het veen zijn veel sporenkapsels aanwezig.

Laag 2 - bodemmateriaal
Het moedermateriaal is gelamineerd en bestaat voornamelijk uit fijn-zandig en siltig mineraal materiaal, waartussen verslagen veen aanwezig is. Asresten en/of fragmenten verkoold organisch materiaal maken ook deel uit van het bodemmateriaal. In het bovenste deel van deze laag is een horizontaal liggende tak van een boom/struik aanwezig (doorsnede 1,5 cm).

Laag 2 - holten
Er komen een aantal biologische holten voor. Een deel hiervan zijn regelmatige holten met een voornamelijk verticaal verloop; dit zijn wortelgangen. Een ander deel betreft onregelmatige holten, geproduceerd door de bodemfauna.

Laag 2 - verschijnselen
- Regelmatig komen wortels van een kruid- en een struik/boom-vegetatie voor.
- Er is sprake van vraat door wormen van zachte delen van wortels, waardoor de epidermis overblijft. De hierdoor ontstane holten zijn meestal gevuld met een mengsel van fijne siltkorrels en omgezet organisch materiaal. Ook zachte delen van het verslagen veen zijn op deze manier door wormen omgezet.
- In enkele zachtere organische weefsels komen excrementen van mijten voor.
- Het organische materiaal, inclusief kleine wortelresten, is sterk verzwart, deels door vraat aan verkoolde resten en/of asresten, en deels door schimmelactiviteit. In al het organische materiaal komen schimmeldraden voor.
- Er komen veel sporangia in het sediment voor.

Laag 3 - bodemmateriaal
Het moedermateriaal bestaat voornamelijk uit veenmateriaal dat ter plekke gegroeid is. In de onderste centimeters komen veel ingespoelde fragmenten verkoold organisch materiaal met een horizontale oriëntatie voor, evenals zandkorrels. Hoger in de laag neemt het gehalte aan zandkorrels af. In de gehele laag komen asresten en verkoold organisch materiaal (diameter tot 1 mm) voor in het ter plekke gegroeide veen.

Laag 3 - holten
Er komen een aantal biologische holten voor. Een deel hiervan zijn regelmatige holten met een voornamelijk verticaal verloop; dit zijn wortelgangen. Een ander deel betreft onregelmatige holten, geproduceerd door de bodemfauna.

Laag 3 - verschijnselen
- Het veen is grotendeels door bodemorganismen, waaronder wormen, en verwering omgezet, waardoor het veraard is.
- Regelmatig komen wortels van een kruid- en een struik/boom-vegetatie voor.
- Er is vraat door wormen geweest van zachte delen van wortels. Hierbij is alleen de epidermis overgebleven en zijn de holten meestal gevuld met organisch materiaal, of met een mengsel van fijne siltkorrels en omgezet organisch materiaal.
- In het veen komen regelmatig sporangia voor.
- Op ca. 164 cm - mv komen twee secties voor van delen van mijten.

Interpretatie
Het moedermateriaal van de lagen 1 en 2 is verspoeld. Er komen grotere stukken verslagen veen in voor, en mengsels van fijn zand en van silt met verslagen veen. In dit materiaal komen twee horizontaal liggende takken voor met een diameter van minimaal 1,5 cm, hetgeen wijst op een nabijheid van struiken/bomen. Asfragmenten

en fragmenten verkoold organisch materiaal in deze lagen zijn een indicatie van vuren/branden in de nabijheid, mogelijk door toedoen van de mens. In het veen dat zich ter plaatse vormde (laag 3) zijn zandkorrels en verkoold organisch materiaal ingespoeld. Tot boven in laag 3 komen asfragmenten voor. Dit wijst op frequente vuren/branden in de omgeving over langere perioden. Gezien de aanwezigheid van de wortels is het veen begroeid geweest met een kruidenlaag en struiken/bomen. In het veen heersten periodiek drogere condities. Hierdoor kon het veen door bodemfauna, waaronder wormen en mijten, worden omgezet en veraarden.

5 Macrobotanisch onderzoek en ^{14}C-dateringen

5.1 Inleiding

Evenals in het micromorfologisch onderzoek richtte het macrobotanisch onderzoek zich voornamelijk op het materiaal nabij de overgang tussen het dekzand en het basisveen in de vier boorkernen. De volgende doelen stonden hierbij centraal:

- het vaststellen van de conserveringsgraad van het organische materiaal;
- het verkrijgen van inzicht in de paleo-ecologische ontwikkelingen rondom het tijdstip van verdrinking van het dekzandlandschap;
- het beoordelen van de kwaliteit van het basisveen om betrouwbaar materiaal voor ^{14}C-analyse te kunnen selecteren.

In aansluiting op het macrobotanisch onderzoek zijn zeven monsters geselecteerd en ingezonden voor ^{14}C-datering. Het hoofddoel van het daterend onderzoek was het tijdstip van beginnende veenvorming op het dekzand vast te stellen. Dit tijdstip vertegenwoordigt tevens het einde van bewoonbaarheid van het dekzandoppervlak op een bepaalde locatie.

5.2 Macrobotanisch onderzoek

In Bijlage 1 worden de resultaten van het macrobotanisch onderzoek gegeven. In de Figuren 5b, 6b, 7b en 8b is weergegeven welke intervallen macrobotanisch zijn onderzocht. Per kern is een interval van ca. 15 tot 30 cm bemonsterd rond de overgang van dekzand naar basisveen (in boorkern Rassenbeektocht zijn ook enkele monsters van een dieper gelegen veenlaag in het dekzand bemonsterd en geanalyseerd). In de tabellen van Bijlage 1 zijn de gevonden macroresten voor iedere boorkern gerangschikt naar soort en diepteligging binnen het bemonsterde interval. Het materiaal in de intervallen is verdeeld in monsters van 0,5 cm tot enkele centimeters dikte (meestal 1 cm dik), die afzonderlijk op macroresteninhoud geanalyseerd zijn. De in Bijlage 1 gegeven dieptes geven de bovengrens van de monsters weer. Alle geanalyseerde monsters bevatten zeer sterk vergaan plantenmateriaal, wat het niet eenvoudig maakt om de voormalige vegetatie vast te stellen. Bij de analyses is geprobeerd zoveel mogelijk de plantenresten onder te brengen in een categorie (Bijlage 1). Tevens is van ieder macrorestenmonster het zandgehalte bepaald; de resultaten hiervan zijn weergegeven in Bijlage 2.

Van de vegetatie die zich in het Holoceen op het dekzand heeft ontwikkeld, zullen plantenresten in de bodem zijn achtergebleven. De hoeveelheid en de kwaliteit van de restanten zijn afhankelijk van de conserveringsomstandigheden en de tijdsduur (van zowel de aanwezigheid van de vegetatie als van het latere afbraakproces). Toen in de loop van het Holoceen de grondwaterstand dusdanig gestegen was, dat zich veen op het dekzand kon gaan ontwikkelen, werden de conserverings-

omstandigheden voor het plantenmateriaal beter. In de beginfase van de veenontwikkeling zal er echter nog wel een relatief sterke afbraak zijn geweest en in deze periode ontstond een overgangslaag van zand naar veen, waarin het zandgehalte opwaarts sterk afneemt. Het is hoofdzakelijk dit type materiaal dat in dit onderzoek is geanalyseerd.

Niet nader te identificeren macroresten

Door de variabele conserveringsomstandigheden waren niet alle macroresten even goed te identificeren. Sommige macroresten waren dermate goed geconserveerd dat determinatie tot op soortniveau mogelijk was. In andere gevallen echter, was slechts een zeer globale aanduiding mogelijk, zoals: 'worteltje', 'hout', 'takje' of 'gefragmenteerd plantenmateriaal'. Dergelijk materiaal is in de tabellen van Bijlage 1 ingedeeld in Groep 1: niet nader te identificeren macroresten. Hieronder volgt een korte toelichting op enkele typen macroresten uit Groep 1.

In Groep 1 zijn verschillende categorieën wortels onderscheiden. In het algemeen geldt dat het goed mogelijk is om 'monocotylenwortels' te onderscheiden van 'houtige wortels'. De monocotylenwortels zijn een goede indicatie voor de lokale aanwezigheid van grassen en zegges. De houtige wortels zijn donkerbruin tot zwart, en vaak veel dikker dan de monocotylenwortels. Soms zijn er dunne worteltjes te onderscheiden met een 'opgeblazen' uiterlijk. Zij worden geïnterpreteerd als 'wortels met mycorrhiza'. Tezamen met de overige houtige wortels zijn zij een indicatie voor de lokale aanwezigheid van bomen en/of struiken. De categorie 'donkere fijne worteltjes' is minder goed aan een plantengroep te koppelen, maar lijken vaak met houtige gewassen te zijn geassocieerd (Boorkern Winkelweg).

De categorie 'hout en takjes' omvat vooral de grotere stukken van dit materiaal. De stukken hout zijn soms op soort te determineren. Vaak betreft het wortelhout van bomen zoals berk of els, maar ook (bovengronds) hout van berk, els, eik of wilg komt voor. In het algemeen betreft het hier ter plekke gegroeide bomen.

De overige macroresten in Groep 1 zijn te omschrijven als slecht te identificeren plantenmateriaal. Soms zijn er stukjes bast of blad te herkennen en is hun aandeel te schatten. Vaak zijn de stukjes te klein en zijn ze ondergebracht in de categorie 'gefragmenteerd plantenmateriaal'. Verkoold materiaal is binnen Groep 1 apart onderscheiden. In de kernen Eemmeerdijk en Rassenbeektocht komt op een aantal diepten verkoold plantenmateriaal voor. Soms is het zo fijn, dat het niet is aan te geven of het verkoolde houtresten betreft. De grotere stukken waren wel als houtskool herkenbaar.

Nader te identificeren macroresten

In de Groepen 2 tot en met 8 zijn de nader te identificeren macroresten ondergebracht. De groep niet-botanische macroresten (Groep 2) omvat resten van

insecten (voornamelijk kevers), mijten en andere dierlijke resten (wormeieren e.d.). Het betreft hier waarschijnlijk resten van landdieren. De groep van de waterorganismen (Groep 3) omvat resten van watervlooien en mosdiertjes, die leven in zoet water. Zij wijzen op de nabijheid van open water. De herkenbare zaden, vruchten, epidermisresten, bladmossen e.d., vertegenwoordigen planten die zijn in te delen in min of meer duidelijke ecologische groepen (Groepen 4 t/m 8).

Boorkern Winkelweg

In de boorkern Winkelweg is de grens van (verspoeld) dekzand naar veen vrij duidelijk te onderscheiden rond 195 cm - mv. In het onderzochte interval van deze boorkern komen weinig herkenbare resten voor. De grovere plantenresten (indet) in boorkern Winkelweg bestaan voornamelijk uit houtresten en bastfragmenten. Het gefragmenteerde materiaal bestaat uit stukjes wortel, bast, hout en periderm, en wijst op een sterke omzetting, zoals die in een bodem kan plaatsvinden. Het zandige deel beneden 195 cm - mv bevat, naast houtresten en vele worteltjes, veel resten (sclerotia) van de bodemschimmel *Cenococcum geophilum*. Deze is voornamelijk bekend als een mycorrhiza-vormende schimmel in bossen met verschillende ecologische condities. In deze kern is *Cenococcum* een belangrijke indicator voor de aanwezigheid van een oude (bos)bodem (Jensen, 1975). In het venige deel boven 195 cm - mv komt *Cenococcum* niet meer voor, maar domineren de houtresten van els en wilg. In de overgangszone tussen zand en veen is wat eikenhout aangetroffen. We hebben hier te maken met een oude bosbodem, die onder water is komen te staan en waarop zich een nat elzen-wilgenbos heeft ontwikkeld.

Boorkern Rassenbeektocht

In de boorkern Rassenbeektocht zijn, in vergelijking met de andere kernen, veel typen macroresten gevonden. De grens tussen zand en veen ligt hier op 119 cm - mv. In het venige deel van het onderzochte interval zijn de moerasbosmacroresten (Groep 7) goed vertegenwoordigd. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de associatie van gevonden macroresten meer wijst op een berkenbroekbos (Vaccinio-Betuletea pubescentis) dan op een elzenbroekbos. Berkenbroekbossen zijn lage bossen van voedselarme, zure veengronden en venig-minerale bodems met een hoge waterstand. Zij komen voor aan de randen van hoogveengebieden. Niet alleen de berken, elzen en wilgen, maar ook de planten uit de groep van hoogveenplanten behoren tot de elementen van de berkenbroekbossen. Zelfs een aantal soorten uit de moerasvegetaties (riet [*Phragmites australis*], pluimzegge [*Carex paniculata*], snavelzegge/blaaszegge [*Carex rostrata/C. vescicaria*] en waternavel [*Hydocotyle vulgaris*]) komen regelmatig in de berkenbroekbossen voor (Stortelder *et al.*, 1999). Tussen 117 en 110 cm - mv komt gefragmenteerd, sterk afgerond plantenmateriaal voor. Dit kan een aanwijzing zijn dat het materiaal verspoeld is. Opvallend is het nagenoeg volledig ontbreken van plantenresten in de zandige ondergrond beneden 119 cm - mv. Hier worden voornamelijk houtige resten en monocotylenwortels aangetroffen. Zij zijn afkomstig uit de veenlaag erboven.

Het ontbreken van *Cenococcum* in het zand is een aanwijzing dat het oorspronkelijke oude dekzandoppervlak verdwenen is. De overblijfselen van moerasplanten, waterplanten en micro-organismen uit zoet water in het veen, zijn belangrijke indicatoren voor open zoet water. Dit doet vermoeden dat we hier met verspoeld hoogveen/berkenbroekveen te maken hebben. Mogelijk maakten de moerasplanten deel uit van de vegetatie ter plekke. Het vermoeden van verslagen veen waarin bestanddelen uit verschillende paleo-ecologische contexten en van verschillende ouderdom samen voorkomen, wordt bevestigd door de micromorfologische analyse (subparagraaf 4.3.3) en de ^{14}C-dateringen van de verschillende bestanddelen (§ 5.3).

Dieper, 232 - 220 cm - mv, komt een tweede venige laag voor. Van twee monsters hieruit is de plantensamenstelling onderzocht. Deze bestaat voor meer dan 90 % uit bladmossen van voornamelijk één soort. De determinaties van de bladmosresten uit deze laag zijn nog niet volledig bevredigend afgehandeld. De eerste determinatie (Margadant, 1973) wees op *Entodon (E. concinicum?).* Deze soort lijkt erg op *Pleurozium schreberi.* Een tweede determinatie (Smith, 1980) wees opnieuw op *Entodon*. Er is een aanzienlijk verschil tussen de milieus waarin *Entodon* en *Pleurozium* worden aangetroffen. *Entodon* is een cylindermos die vooral voorkomt in droge, zonnige kalkgraslanden. *Pleurozium* daarentegen, is een bronsmos die floreert op het strooisel in droge bossen en heidevelden op arme zure zandgronden.

Boorkern Eemhof

In de boorkern Eemhof is de grens tussen (verspoeld) dekzand en zandig veen aanwezig rond 196 cm - mv. Hierboven is een laag zandig veen aangetroffen (196 - 184 cm - mv). De in het zand aangetroffen plantenresten wijzen op de aanwezigheid van een bosvegetatie met berken. De resten van moerasplanten, zoals riet, maar ook die van els zijn een indicatie voor de aanwezigheid van nattere omstandigheden. In het interval tussen 195 en 187 cm - mv domineren de resten van broekboselementen (berken en elzen).

De moerasplanten, waarvan eveneens resten aanwezig zijn, kunnen onderdeel van de broekbosvegetatie zijn geweest. Broekbossen komen regelmatig onder water te staan, en zeker dicht bij een rivier (de voormalige loop van de Eem) is het mogelijk dat er zand in het veen terecht komt. Anderzijds suggereren de uitkomsten van het micromorfologisch onderzoek (subparagraaf 4.4.2) dat al het materiaal beneden 187 cm - mv verslagen is. Gezien het feit dat de aanwezige macroresten van het broekbos niet zijn vermengd met de overblijfselen van soorten uit andere milieus, is het wel goed mogelijk dat het verslagen materiaal van lokale herkomst is. In het interval tussen 187 en 172 cm - mv komen voornamelijk houtresten (van elzen en berken) en wat rietresten voor. Dit materiaal bevat weinig zand. Hoewel er maar weinig andere herkenbare resten aanwezig zijn, is het aannemelijk dat we hier te maken hebben met de overblijfselen van een broekbos. Het micromorfologisch onderzoek wijst erop dat het materiaal boven 181 cm - mv waarschijnlijk *in situ* gevormd veen is.

Boorkern Eemmeerdijk

Het zandgehalte in boorkern Eemmeerdijk neemt sterk af boven 171 cm - mv. Op basis van de macroresteninhoud ligt de grens tussen het (verspoelde) dekzand en het veen in deze kern iets hoger: tussen 168 en 165 cm - mv. Beneden 168 cm - mv komt regelmatig fijn gefragmenteerd verkoold materiaal voor, terwijl boven 165 cm - mv veel bastresten en houtresten (van voornamelijk elzen) worden aangetroffen. Tussen 165 en 161 cm - mv komt zilverkleurig dun bastachtig materiaal voor. Alle onderzochte monsters bevatten grote hoeveelheden sclerotia van de bodemschimmel *Cenococcum geophilum*, met de hoogste concentraties tussen diepte 169 en 165 cm - mv.

We hebben hier hoogstwaarschijnlijk te maken met de top van een begraven bodem, waarvan oppervlak rond 165 cm - mv heeft gelegen. Over de vegetatie op de zandbodem is niet veel te zeggen, behalve dat het hoogstwaarschijnlijk een bos is geweest. Van de veenvormende vegetatie zijn eveneens maar weinig herkenbare resten over gebleven. De aangetroffen resten wijzen op een (broek)bos. In de micromorfologische studie is de top van de begraven bodem in het verspoelde dekzand vastgesteld op 168 cm - mv (subparagraaf 4.5.5). Hierboven lijkt sprake te zijn van *in situ* gegroeid veen. De betrekkelijk hoge aantallen sclerotia van *Cenococcum geophilum* in het venige materiaal tussen 168 en 165 cm - mv wijzen op relatief droge omstandigheden met enige bodemvorming in het venige materiaal. Dit stemt overeen met de resultaten van de micromorfologische analyse (subparagraaf 4.5.5). Door de relatief droge omstandigheden heeft het oude 'droge' bos op het dekzand lang stand kunnen houden, voordat het plaatsmaakte voor moerasbos of rietmoeras. Materiaal dat nattere fasen van veenontwikkeling vertegenwoordigt is in boorkern Eemmeerdijk niet bemonsterd.

5.3 ^{14}C-dateringen en de reconstructie van voormalige grondwaterstanden

Zes monsters die voor ^{14}C-datering zijn aangeboden, zijn 1 tot 14 cm boven de grens tussen dekzand en veen genomen. De locaties van de monsters in de boorkernen is weergegeven in de Figuren 5b, 6b, 7b en 8b. De macroresten voor datering werden zoveel mogelijk uit ter plaatse gevormd veen geselecteerd, alhoewel bij nader inzien in enkele gevallen ook verslagen materiaal is gedateerd. Eén monster is genomen nabij de top van de diepere veenlaag in het dekzand, in boorkern Rassenbeektocht. In Tabel 1 zijn de resultaten van de ^{14}C-analyse gegeven, samen met gegevens over het gedateerde materiaal en de positie van de monsters.

Uit de ^{14}C-analyse in het laboratorium volgt de ouderdom van het monster in ^{14}C-jaren. De ^{14}C-leeftijden kunnen door middel van calibratie omgezet worden naar werkelijke ouderdommen in kalenderjaren. Ook de calibratieresultaten zijn in Tabel 1 gegeven. Hieronder volgt een korte toelichting op de calibratieprocedure. Daarna volgt een interpretatie van de ^{14}C-dateringen met betrekking tot de ontwikkeling van de grondwaterstand.

Tabel 1 *^{14}C-dateringen uitgevoerd voor dit onderzoek*

Nr.	Naam van het monster	Laboratorium-nummer	^{14}C-ouderdom (^{14}C-jaren BP)[1]	Gecalibreerde ouderdom (kalenderjaren v. Chr.)[2]			Coördinaten en hoogte-ligging van het monster (hoogte in m t.o.v. NAP)	Materiaal
				mediaan	1σ-bereik	2σ-bereik		
Conventionele dateringen								
11	Almere OF-A175	GrN-25938	5440 ± 120	4279	4410 - 4150	4510 - 3990	155,195 / 475,235 / -4,16	elzenhout
12	Almere OF-B182	GrN-25939	5390 ± 60	4235	4290 - 4150	4350 - 4070	155,955 / 477,510 / -5,48	wilgenhout
AMS-dateringen								
13	Almere OF-A191	GrA-17228	4885 ± 40	3676	3706 - 3642	3742 - 3610	155,195 / 475,235 / -4,29	insectenresten en botanische macroresten[3]
14	Almere OF-C158	GrA-17303	4165 ± 35	2758	2830 - 2698	2862 - 2638	154,455 / 475,585 / -2,47	insectenresten, dierlijke resten, berkenzaad
15	Almere OF-D97H	GrA-15349	3690 ± 60	2084	2170 - 1990	2250 - 1910	153,640 / 478,765 / -4,83	botanische macroresten[4]
16	Almere OF-D97M	GrA-15350	4200 ± 60	2798	2890 - 2710	2930 - 2610	153,640 / 478,765 / -4,83	botanische macroresten[5]
17	Almere OF-D199	GrA-17230	12240 ± 50	12260	12302 - 12210	12342 - 12178	153,640 / 478,765 / -5.84	bladmos

1 BP = Before Present ('Present' is 1950 AD).

2 De mate van gladheid (σ_s) van de gebruikte calibratiecurve calibratiecurve is gebaseerd op de samenstelling van het monster: hout σ_s = 100; macroresten (insectenresten en botanisch materiaal) σ_s = 60.

3 1 *Carex acuta/C. nigra* vrucht, 3 *Betula pendula* zaden, 2 *Betula* sp. zaden, 2 *Betula* sp. katjesschubben.

4 2 *Carex* sp. vruchten, 9 *Eriophorum vaginatum* sklerenchym spoelen, 1 *Hydrocotyle vulgaris* vrucht, 1 *Molinia caerulea* vrucht, 4 *Myrica gale* vruchtdelen, 1 *Polytrichum strictum* bladschede, 2 *Potentilla erecta* vruchten, 2 *Sphagnum cuspidatum* bladen, 1 *Sphagnum palustre* blad, 3 *Sphagnum* sp. bladen, 1 *Alnus* sp. vrucht, 2 *Betula* sp. vruchten, *Betula* sp. periderm, 1 *Carex paniculata* vrucht.

5 1 *Carex acuta/C. nigra* vrucht, 1 *Oenanthe aquatica* vrucht, 2 *Menyanthes trifoliata* zaadfragmenten, 2 *Nymphaea alba* zaadfragmenten, 1 *Phragmites australis* vrucht, 3 *Phragmites australis* schubjes, 1 onbekend zaadfragment.

Calibratie van ^{14}C-dateringen

De ^{14}C-leeftijd van een monster volgt uit het in een laboratorium gemeten resterende ^{14}C-gehalte van een monster en de bekende snelheid van radioactief verval van ^{14}C. Uitgangspunt hierbij is wel dat het initiële ^{14}C-gehalte van het monster eveneens bekend is. Hierbij wordt aangenomen dat het initiële ^{14}C-gehalte bij ontstaan van het bemonsterde materiaal in evenwicht was met het ^{14}C-gehalte in de toenmalige atmosfeer. Omdat het ^{14}C-gehalte in de atmosfeer in het verleden aan schommelingen onderhevig is geweest, is er geen lineaire relatie tussen de ^{14}C-ouderdom en de werkelijke ouderdom in kalenderjaren. Beiden zijn door een min of meer grillige calibratiecurve aan elkaar gekoppeld. Om de ^{14}C-leeftijden van de basisveenmonsters uit deze studie om te zetten in kalenderleeftijden is gebruik gemaakt van het Groningse calibratieprogramma (versie CAL25) van het Centrum voor Isotopen Onderzoek van de Rijksuniversiteit Groningen (van der Plicht, 1993).

Het gebruik van de nauwkeurige calibratiecurve (Stuiver & Reimer, 1993) is alleen gerechtvaardigd voor calibratie van zeer precieze dateringen (lage standaardafwijking) van monsters met een zeer kleine tijdsdiepte. Indien de nauwkeurigheid van de datering minder is, is het juister een wat gladdere calibratiecurve te gebruiken. De geschatte nauwkeurigheid van de datering is onder meer afhankelijk van het gedateerde materiaal: kleine fragmenten hout en zaden vertegenwoordigen een veel geringere tijdsdiepte dan een bulkmonster van veen. In deze studie is de mate van gladheid van de calibratiecurve (uitgedrukt in σ_s) gebaseerd op het type gedateerde materiaal. Hierbij ligt σ_s tussen 60 en 100 (zie Tabel 1), uitgaande van de aanbevelingen van Törnqvist & Bierkens (1994). De uitkomsten van de calibratie zijn gegeven in Tabel 1. Hierbij is de mediaan gegeven en de bereiken die gebaseerd zijn op één standaardafwijking (1σ) en twee standaardafwijkingen (2σ). Dit laatste bereik houdt een statistische betrouwbaarheid van 95,4 % in.

De ontwikkeling van de grondwaterstand

In principe treedt veenvorming onder of rond de grondwaterspiegel op. Met name bosveen vormt zich nabij de grondwaterspiegel. Een datering van oud begraven bosveen op het dekzand is dus eigelijk een datering van een voormalige grondwaterspiegel. Een voorwaarde is wel dat het te dateren veen *in situ* ligt. Verslagen veen bestaat veelal uit een mengsel waarvan de verschillende bestanddelen sterk van elkaar verschillen ouderdom (zie bijv. dateringen 15 en 16 hieronder). De ^{14}C-ouderdom van verslagen materiaal heeft geen relatie met de grondwaterstand tijdens afzetting. Omdat de grondwaterstand bepalend was voor de bewoonbaarheid van het dekzandlandschap, zijn basisveendateringen van grote archeologische waarde. In feite geven zij aan op welk tijdstip de grondwaterspiegel op een bepaalde locatie tot aan het dekzandoppervlak was gestegen, waardoor bewoning nagenoeg onmogelijk werd. Hieronder zal de uitkomst van de dateringen besproken worden in relatie tot de ontwikkeling van de grondwaterstand in het studiegebied. De nummers van de dateringen verwijzen naar Tabel 1.

De oudste datering **(datering 17)** vertegenwoordigt een niveau dat ca. 4 cm (218 cm - mv, 5,84 m - NAP) onder de top van de diepere veenlaag in boorkern Rassenbeektocht ligt. De datering, 12.240 ± 50 BP wijst op een einde van veenvorming tegen het einde van het Bølling (ca. 13.000 - 12.000 BP). De veenlaag wordt afgedekt door een laag Jong Dekzand uit het Oude Dryas (ca. 12.000 - 11.800 BP). De geleidelijke overgang tussen veen en Jong Dekzand boven het gedateerde niveau wijst erop dat de condities langzaam droger werden. De hoge lokale grondwaterstand die leidde tot veenvorming in een laagte in het Oude Dekzand, werd mogelijk mede veroorzaakt door een nog intacte permafrost in het Bølling (zie o.a. Hoek, 1997, pp. 117-118). Ook de fijne textuur van het Oude Dekzand zal een rol gespeeld hebben. De uitstekende conservering van de veenlaag en onderliggende bodem maken de locatie zeer interessant voor verder geologisch en paleo-ecologisch onderzoek, zeker gezien onze geringe kennis over het Bølling. De overige dateringen vallen in het Midden-Holoceen, een tijdvak waarin de grondwaterspiegel in het dekzand sterk beïnvloed werd door de snelle stijging van de zeespiegel. De dateringen worden hieronder besproken in volgorde van toenemende absolute hoogteligging.

Datering 12 is een conventionele datering van stuk wilgenhout van ongeveer 4 cm (191 cm - mv; 5,48 m - NAP) boven de grens tussen dekzand en basisveen in boorkern Winkelweg. Het veen op het dekzand op deze locatie was zeer sterk omgezet zodat geen zaden- of vruchtenmateriaal uit het veen voor datering kon worden aangeboden. Het macroscopisch bodemkundig onderzoek, de micromorfologische analyse en het macrorestenonderzoek wijzen erop dat het gedateerde stuk hout afkomstig is uit een context van ter plaatse ontwikkeld basisveen. Derhalve vertegenwoordigt de datering, 5390 ± 60 BP, bij benadering het tijdstip van verdrinking van het dekzandoppervlak op de boorlocatie.

Dateringen 15 en 16 zijn AMS-dateringen van geselecteerde macrorestenfracties uit boorkern Rassenbeektocht. De gedateerde fracties zijn afkomstig van 2 cm boven (117 cm - mv; 4,83 m - NAP) de ondergrens van de laag verslagen veen. Omdat het venige materiaal een mengsel van macroresten uit verschillende ecologische groepen bevat, bestaat het vermoeden dat het veen verslagen is. Ook de micromorfologische analyse wijst hierop (subparagraaf 4.3.3). Datering 15 vertegenwoordigt de overblijfselen van hoogveen- en berkenbroekboselementen; datering 16 vertegenwoordigt restanten van een moerasvegetatie. Het aanzienlijke verschil in ^{14}C-ouderdom (ca. 475 ^{14}C-jaren) van de verschillende fracties bevestigt het vermoeden dat het materiaal verslagen is. Deze dateringen zijn daarom onbruikbaar voor het reconstrueren van de voormalige grondwaterstand.

De **dateringen 11 en 13** zijn gedaan aan materiaal uit boorkern Eemhof. Datering 13 is een AMS-datering van macroresten bestaande uit berken(broek)bosoverblijfselen aangevuld met insectenresten. Dit materiaal is afkomstig van slechts 1 cm boven (195 cm - mv; 4,29 m - NAP) de grens tussen het (verspoelde) dekzand en het venige materiaal. Datering 11 is een conventionele datering van een stuk hout (els), dat afkomstig was van een diepte van ca. 182 cm - mv (4,16 m - NAP); 14 cm boven grens tussen zand en veen. Ondanks de hogere positie in de boorkern heeft het stuk

elzenhout een aanzienlijk hogere ^{14}C-ouderdom dan de geselecteerde macroresten van juist boven de grens tussen zand en veen. Deze geologische inconsistentie (hoger liggende lagen worden immers geacht altijd jonger te zijn) doet twijfels rijzen over de intactheid van het veen. De kans is groot dat beide dateringen verslagen materiaal vertegenwoordigen. Hoewel het macrorestenonderzoek vrij eenduidige indicaties voor een voormalige (berken)broekbosvegetatie opleverde, suggereren de uitkomsten van het micromorfologische onderzoek de aanwezigheid van verslagen veen tussen 196 en 187 cm - mv. Van de context van het gedateerde elzenhout is geen micromorfologische studie gedaan. Voorlopig is het meest aannemelijk dat beide dateringen aan lokaal verspoeld (berken)broekbosmateriaal gedaan zijn. De dateringen hebben daardoor een onduidelijke relatie met de voormalige grondwaterstand.

Datering 14 is een AMS-datering van voornamelijk insectenresten (aangevuld met een berkenzaad) uit boorkern Eemmeerdijk. De geselecteerde resten zijn afkomstig van een niveau dat ongeveer 8 cm (163 cm - mv; 2,47 m - NAP) boven de grens tussen (verspoeld) dekzand en basisveen ligt (uitgaande van de grens zoals vastgesteld in de macroscopische beschrijving van de boorkern). Hoewel het materiaal op dit niveau relatief weinig herkenbare macroresten bevat, zijn wel veel hout- en bastfragmenten van elzen waargenomen. De beschikbare geologische en paleobotanische gegevens en de micromorfologische analyse wijzen op accumulatie van houtige overblijfselen van een bos dat ter plekke gegroeid heeft. Deze accumulatie was alleen mogelijk als de grondwaterstand nabij het maaiveld stond. De datering vormt waarschijnlijk een goede benadering van het tijdstip waarop de stijgende grondwaterspiegel het dekzandoppervlak op de boorlocatie Eemmeerdijk had bereikt.

De ontwikkeling van de grondwaterstand in het studiegebied in de tijd kan inzichtelijk gemaakt worden door de gecalibreerde ouderdom en absolute diepteligging van de gedateerde monsters uit te zetten in een zogenaamd tijd-diepte-diagram (Fig. 12). Deze gegevens zijn hierin uitgezet als rechthoekjes, waarvan de dikte de ingeschatte maximale verticale fout voorstelt (ca. 30 cm voor deze monsters), en de breedte het 2σ-bereik van de gecalibreerde ouderdom van de monsters (Tabel 1). De verticale fout ontstaat door een opeenstapeling van fouten in dieptemeting bij boren en waterpassen en de onzekerheid over de precieze relatie tussen het niveau van veenvorming en de grondwaterstand. Meer informatie over deze procedure is te vinden in Makaske *et al.* (2002). Ter vergelijking zijn meer basisveendateringen uit de omgeving uitgezet in het diagram. Het betreft hier een dateringen die gedaan zijn in het kader van de naburige archeologische opgraving 'Hoge Vaart' (Spek *et al.*, 1997; Gotjé, 1997a) en een eerder gepubliceerde datering uit Zuidelijk Flevoland (van Smeerdijk, 1989) (zie ook Makaske *et al.*, 2002). Locaties van deze dateringen zijn weergegeven in Figuur 1a.

Wanneer de uitgezette basisveengegevens vergeleken worden met een curve die de stijging van het gemiddeld zeeniveau weergeeft, valt op dat de rechthoekjes de trend van de curve in het algemeen goed volgen. Het lijkt erop dat de grondwaterstand in de omgeving van het studiegebied direct gestuurd werd door het niveau van de

zeespiegel. De rechthoekjes 15 en 16 liggen ver beneden deze trend en vertegenwoordigen overduidelijk verslagen materiaal dat geen enkele relatie met de voormalige grondwaterstand heeft. De rechthoekjes 11 en 13 daarentegen, die verondersteld worden lokaal verspoeld (berken)broekveen te vertegenwoordigen, liggen minder ver van de curve. Het valt verder op dat de meeste rechthoekjes iets boven de zeespiegelcurve liggen. Met andere woorden: de grondwaterstand waarbij beginnende veenvorming op het dekzand plaatsvond lag in het algemeen iets boven het gemiddeld zeeniveau. Dit kan verschillende oorzaken hebben. In de eerste plaats is het aannemelijk dat de (grond)waterspiegel in het gebied een zekere getijdenbeweging vertoonde; in de beschouwde periode bestond er open verbinding tussen de Flevo-lagune en de zee. In het algemeen wordt aangenomen dat veenvorming plaats vindt in de buurt van gemiddeld hoogwater in plaats van rond het gemiddelde waterniveau. In de tweede plaats is het mogelijk dat juist in de omgeving van het studiegebied de instroom van rivierwater van de Eem zorgde voor een lokale verhoging van de (grond)waterspiegel. Dit laatste is afhankelijk van de mate waarin de afwatering van de Eem werd belemmerd door veenvorming of sedimentatie nabij de monding in de lagune. Het is momenteel niet aan te geven welke van de twee oorzaken van toepassing is. Waarschijnlijk speelden beide processen een rol.

Uit de bovenstaande reconstructie van de ontwikkeling van de grondwaterspiegel is af te leiden dat de verdrinking van het dekzandoppervlak in het studiegebied een proces is dat duizenden jaren in beslag heeft genomen. Uit Figuur 12 blijkt dat de laagste delen van het dekzandlandschap (in het pleistocene dal; ca. 8 m - NAP) even voor 5000 v. Chr. al binnen bereik van de stijgende waterspiegel in de lagune waren gekomen. Het is echter aannemelijk dat door opstuwingseffecten van rivierwater in het smalle dal de grondwaterspiegel in deze omgeving al eerder het niveau van 8 m - NAP had bereikt. Het hoogste punt van het voormalige dekzandlandschap in het studiegebied is de top van de begraven dekzandrug bij boorlocatie Eemmeerdijk. Deze locatie wordt vertegenwoordigd door rechthoekje 14 (Fig. 12), dat aangeeft dat de verdrinking van het dekzandlandschap in het studiegebied naar alle waarschijnlijkheid rond 2750 v. Chr. was voltooid.

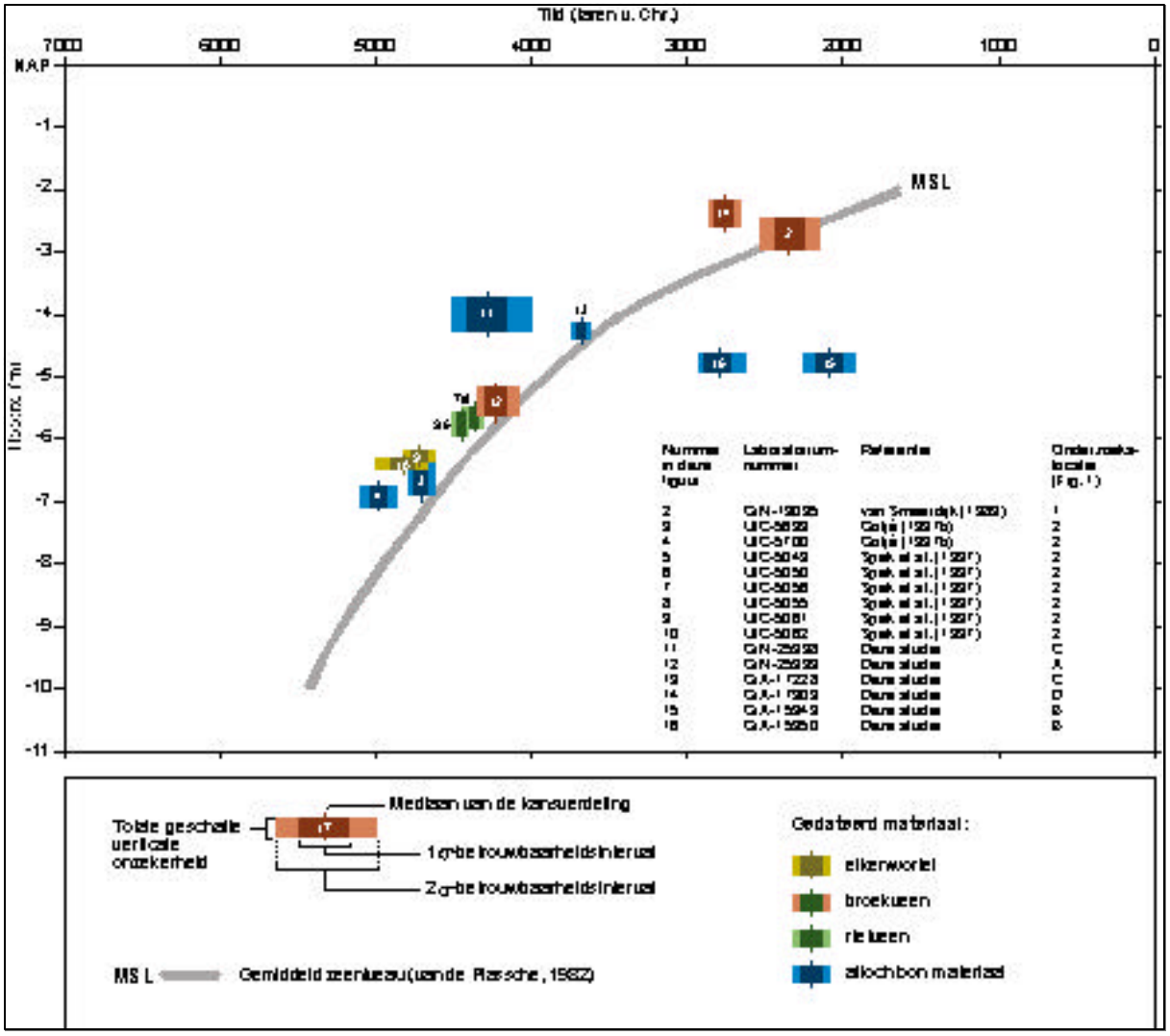


Fig. 12 Diagram waarin de ouderdom van de gedateerde veenmonsters (X-as) is uitgezet tegen de diepteligging ten opzichte van NAP (Y-as). De gegevens zijn weergegeven als rechthoekjes die de onzekerheidsmarges in diepteligging en ouderdom vertegenwoordigen. De nummers bij de rechthoekjes corresponderen met Tabel 1. Tevens is een curve gegeven die de ontwikkeling van het gemiddeld zeeniveau beschrijft (van de Plassche, 1982).

6 Bodemfysisch en geochemisch onderzoek

6.1 Inleiding

Rond Almere, nabij het huidige onderzoeksgebied, is door de ROB in de jaren 1998 en 1999 reeds onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van geochemische prospectie in het kader van het project 'Zuidelijk Flevoland'. Gedurende dat onderzoek zijn zowel *on-site*- als *off-site*-bodemmonsters onderzocht. De resultaten gaven aanleiding tot de hypothese dat het mogelijk is om onderscheid te maken tussen *on-site*- en *off-site*-monsters op basis van de calcium/magnesium-verhouding in de organische grenslaag tussen dekzand en basisveen. Onder andere doordat tijdens het werk rond Almere slechts één extractiemethode kon worden gebruikt en doordat de onderscheidende laag zich juist boven het zandoppervlak leek te bevinden, en niet zoals verwacht in de top ervan, is het huidige project aangegrepen voor nader onderzoek.

Het doel van het huidige bodemfysisch en geochemisch deelonderzoek is tweeledig. Allereerst is dit de bodemfysische en geochemische karakterisatie van de vier kernen: de nulmeting. Dit deel van het onderzoek voorziet, in samenhang met de bodemkundige profielbeschrijvingen en de resultaten van de micromorfologische analyse, in de informatie over de bodemkundige situering van de organische monsters. Daarnaast heeft het huidige onderzoek tot doel de mogelijkheden voor geochemische prospectie in afgedekte landschappen verder te verkennen. De gegevens uit het huidige studiegebied zullen in § 6.3 vergeleken worden met de resultaten van het project 'Zuidelijk Flevoland' in de omgeving van Almere. Omdat het huidige project met vier boringen te kleinschalig is als op zichzelf staand onderzoek naar de mogelijkheden van geochemische prospectie en omdat de bemonsteringsstrategie hier niet op gericht was, wordt het vooral gezien als een mogelijkheid om bekend te worden met de geochemische en bodemkundige omstandigheden in het gebied. In dit verband bieden de resultaten van het deelonderzoek geochemie vooral achtergrondgegevens die van belang zijn voor de synthese en voor eventueel vervolgonderzoek dat in de regio plaats zal vinden.

Uit de vier gestoken boorkernen zijn monsters voor bodemfysische en geochemische analyse genomen. De monsters zijn verdeeld over de totale lengte van de boorkernen om een goed beeld te krijgen van de profielopbouw en de invloed die de verschillende substraten (klei/zand/veen) op elkaar hebben. Per analyse is een keuze gemaakt uit de beschikbare monsters. De drie verschillende substraten zijn steeds zo veel mogelijk vertegenwoordigd in de geselecteerde monsters. Niet alle monsters konden echter voor elk type analyse ingestuurd worden. In sommige gevallen was het moedermateriaal niet geschikt. In andere gevallen was er te weinig materiaal van een bepaalde diepte beschikbaar om alle analyses op uit te voeren. Dit was meestal het geval voor materiaal rond de overgang van zand naar veen, waar kleine monsters genomen zijn vanwege de snelle verandering met diepte. In dat geval zijn er

prioriteiten gesteld; voor de minder belangrijk geachte analyses zijn monsters ingestuurd die zich iets hoger of lager in het profiel bevonden.

De volgende fysische bodemkenmerken zijn betrokken in het onderzoek:

- textuur bepaald met behulp van laser-diffractie-analyse;
- gloeiverlies bepaald ter indicatie van het gehalte aan organische stof.

De geochemische karakterisering van de kernen bestaat uit de bepaling van:

- de totaalgehaltes van 11 hoofd- en nevenelementen door middel van röntgenfluorescentie;
- de (totaal)gehaltes van 34 hoofd- en nevenelementen na extractie met koningswater, naar analogie van eerder prospectieonderzoek (project 'Zuidelijk Flevoland');
- de gehaltes van 4 elementen die aan het oppervlak van bodemdeeltjes geadsorbeerd zijn (kationen uitwisselingscapaciteit, CEC), met behulp van de ammonium/natrium-acetaat methode;
- de zuurgraad van de bodemlagen (pH-H_2O bij grond : water = 1 : 5, bepaald voor veldvochtige en ovendroge monsters).

6.2 Resultaten

6.2.1 Textuur

De textuuranalyses zijn uitgevoerd als aanvulling op en ter controle van de visuele schatting van de textuur die is weergeven in de beschrijving van de boorkernen in § 3.2. Hier zullen vooral de analyseresultaten van de zandmonsters besproken worden. In Figuur 13 zijn de cumulatieve korrelgrootteverdelingen van de dekzandmonsters uit boorkern Eemmeerdijk gegeven.

Als eerste valt op hoeveel de curves van de zandmonsters op elkaar lijken, ook al zijn de geanalyseerde monsters uit verschillende horizonten afkomstig. Het zand is goed gesorteerd, wat blijkt uit het steile verloop van de curves. Gemiddeld ligt de mediaan van de zandfractie (M50) van alle geanalyseerde monsters rond de 180 µm. Een kleine bijmenging van uiterst fijn zand/grof silt (materiaal met een mediaan van ca. 70 µm) komt regelmatig voor, vooral in de bovenste meter van het dekzandprofiel. Alleen wanneer de korrelgrootteverdeling niet-cumulatief wordt uitgezet, is dit duidelijk te zien. In Figuur 14 is het verschil tussen de korrelgrootteverdelingen van vier monsters uit het bodemprofiel in het dekzand in boorkern Winkelweg te zien. De curves van twee monsters uit het bovenste deel van het profiel (201-202 en 216-222 cm - mv) vertonen een een dubbele piek, waarvan één rond 70 µm. De curve van een monster dat nog iets lager in het profiel (240-242 cm - mv) is genomen vertoont slechts één piek, met echter nog wel een lichte opbolling ter hoogte van 70 µm. Dit laatste verschijnsel is nagenoeg afwezig in de curve van een monster dat nog 10 cm dieper in het profiel is genomen.

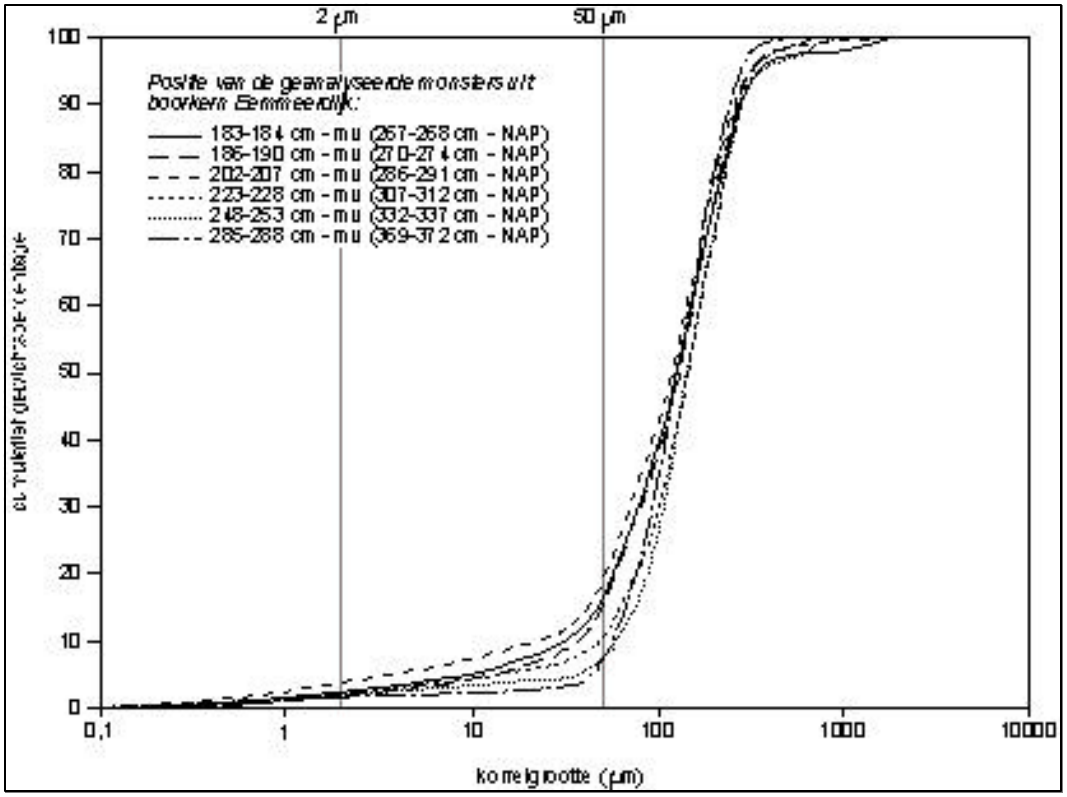


Fig. 13 Cumulatieve korrelgrootteverdelingen van de dekzandmonsters uit boorkern Eemmeerdijk. De korrelgrootteverdelingen zijn in dit diagram zo weergegeven dat voor iedere korrelgrootte (X-as) via de curve op de Y-as het gewichtspercentage kan worden afgelezen van het materiaal dat fijner of gelijk aan die korrelgrootte is.

Omdat uit de bodemkundige en micromorfologische analyse van profiel Winkelweg is gebleken dat het dekzand boven 249 cm - mv waarschijnlijk is verspoeld, ligt het voor de hand te veronderstellen dat de heterogene samenstelling van de bovenste drie monsters te maken heeft met dit herafzettingsproces. In monsters uit boorkern Rassenbeektocht, echter, is een licht verhoogde aanwezigheid van de fractie rond 70 µm aangetroffen in monsters die weliswaar de top van het dekzand vertegenwoordigen, maar die waarschijnlijk niet zijn verspoeld. Het is dus ook mogelijk dat de heterogene samenstelling te maken heeft met eerdere verstuivingsfasen van de bovenste laag dekzand en niet zozeer met het verspoelingsproces.

Uit een vergelijking blijkt dat vooral voor de leemgehaltes (deeltjes < 50 µm) de laser-metingen en de schattingen die gedaan zijn bij beschrijving van de boorkernen (§ 3.2) slecht overeenkomen. Er wordt minder leem gemeten dan de veldschatting doet verwachten. Van de in totaal 29 monsters is het leempercentage in 20 gevallen minstens 5% lager gemeten dan geschat. Waarschijnlijk zorgen water en/of organische stof voor een lemiger aanvoelen van het materiaal.

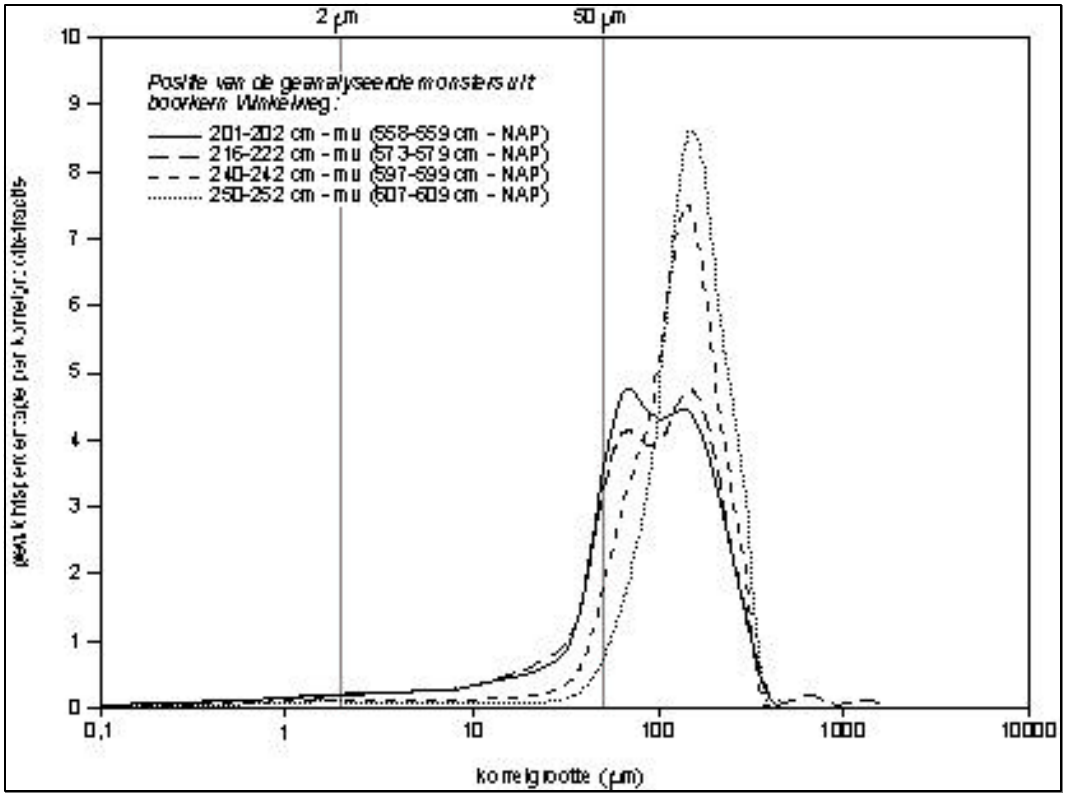


Fig. 14 Korrelgrootteverdelingen (niet-cumulatief) van vier dekzandmonsters uit boorkern Winkelweg. In dit diagram zijn gewichtspercentages (Y-as) per korrelgroottefractie (X-as) uitgezet.

De classificatie van de monsters op basis van de geschatte zandmediaan (M50) komt redelijk goed met die volgens de metingen overeen. Wanneer meting en schatting verschillen, is het vaak zo dat het monster matig fijn zand (150-210 µm) is volgens de meting en zeer fijn zand (105-150 µm) volgens de schatting. Daarnaast zijn er grote verschillen gevonden tussen de gemeten M50 en de geschatte M50 voor monsters afkomstig uit gelaagde afzettingen (bijvoorbeeld: 174 µm gemeten - 100 µm geschat). Dit verschil wordt wellicht verklaard doordat een deelmonster uit één laminae in het laboratorium is geanalyseerd, terwijl de schatting als gemiddelde voor het hele gelamineerde pakket is vastgesteld.

Samenvattend kan worden gesteld dat de schattingen niet altijd overeen komen met de metingen; maar dat de verschillen niet erg groot zijn.

6.2.2 Gloeiverlies en zuurgraad

'Loss on Ignition' (LOI) weerspiegelt voor de zandige, nauwelijks kalkhoudende, zandmonsters voornamelijk het gehalte aan organische stof. De monsters van de afdekkende zavellaag (Laagpakket van Lelystad) verliezen met toenemende diepte steeds meer gewicht door het gloeien. Van 6 à 7 % loopt het gloeiverlies op tot 16 à

35 %. Het basisveen heeft LOI-waarden van 25 tot 91 %. In de zandlaag onder het veen is het gloeiverlies beneden de 10%. Dieper in het zandpakket daalt het gloeiverlies tot onder de 1%.

Uit de analyses blijkt dat de kleimonsters in het algemeen een pH van 7 à 8 hebben. De veenmonsters vallen binnen een pH-bereik van 4,6-6,5. De pH-waarden voor het veen uit boorkern Eemmeerdijk zijn het hoogst, namelijk tussen de 5,9 en 6,5 (m.u.v. één zeer lage pH-waarde van 3,3 die mogelijk op een meetfout berust). De pH-waarden voor de dekzandmonsters liggen tussen 6 en 8. De pH-waarden van het zand in boorkern Rassenbeektocht liggen in de buurt van 6 tot 6,6 en zijn dus duidelijk lager dan die voor de overige profielen die tussen 6,2 en 8 liggen.

6.2.3 Totaalgehaltes aan hoofd- en nevenelementen

De resultaten van de analyse van de totaalgehaltes aan hoofd- en nevenelementen worden weergegeven als oxidepercentages van de volgende 11 hoofd- en nevenelementen: Al, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, P, K, Si, Na, en Ti (Bijlage 3). Een punt van aandacht is dat de oxidepercentages aangeleverd zijn in percentages van het totaalgewicht van het gedroogde (105 °C) niet-gegloeide monster. Om te weten hoe de verhouding voor het gegloeide materiaal is (dus zonder organische stof, (kristal)water, en vervluchtigde mineralen als sulfiden en carbonaten), is een omrekening uitgevoerd waarvan de resultaten in Bijlage 3b weergegeven zijn. De gemeten Cr_2O_3 percentages liggen te dicht bij de detectielimiet (0,01%) en worden niet als informatief gezien (zeker ook omdat een groot deel van het aanwezige Cr een contaminatie kan zijn als gevolg van de maalprocedure).

De dataset van de oxides van Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Na, P, en Si en Ti (dus Cr niet!), omgerekend naar de verhouding voor gegloeid materiaal, is ingevoerd in het statistische programma 'Statistica'. Er is gebruik gemaakt van *principal component analysis* om de structuur van de dataset te verduidelijken (Bijlage 4). Dit is een vorm van datareductie waarbij men van 10 variabelen teruggaat naar enkele factoren die het overgrote deel van de totale variantie kunnen verklaren. Op basis van de dataset, 10 variabelen (elementen) en 17 cases (monsters), zijn drie factoren samengesteld. Het blijkt dat met drie factoren 97% van de totale variantie verklaard kan worden, wat zeer hoog is. Bovendien blijkt dat de eerste factor alleen al goed is voor 91% van de totale variantie. Factor 2 voor 3,7% en factor 3 voor 2,1%. Uit de plot van de *factor loadings* (die tonen uit welke variabelen de factoren zijn opgebouwd) blijkt dat factor 1 als ‘silica-factor’ gezien moet worden (Bijlage 4). Factoren 2 en 3 staan voor de bijdrage van Na, Ca, K, P, Al, Fe, Ti, Mn en Mg. Het verschil tussen de factoren 2 en 3 wordt met name gevormd door Na tegenover Mn, Fe en Ca. Uit de uitgezette *factor scores* in Bijlage 4 (die tonen hoe de verschillende monsters zich tot de factoren verhouden) blijkt dat groepjes ontstaan van kleimonsters en zandmonsters, waarbij monsters B315 en B316, mengsels van holoceen zand en klei, een tussenpositie innemen.

Uit de statistische analyse komt dus naar voren dat het silicagehalte synoniem is voor de bepalende factor. Aangezien de meeste monsters vooral uit zand bestaan is het niet verwonderlijk dat er met de eerste factor al een verklaarde variantie wordt bereikt van 91%. Wanneer je onderscheid wilt maken binnen de zandmonsters moet je dit doen op basis van verschillen die slechts een paar procent van de totale variantie bedragen. De conclusie is derhalve dat het substraat (zand/klei) zo overheersend is dat de overige verschillen (bijvoorbeeld ontstaan door bodemvorming en/of menselijke bewoning) hierbij volledig in het niet vallen.

6.3 Vergelijking tussen de resultaten van de huidige studie en die van het project 'Zuidelijk Flevoland'

In 1998 en 1999 is door de ROB rond Almere onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van bodemchemisch onderzoek voor de prospectie van Steentijd-vindplaatsen. Uit dit onderzoek is de hypothese naar voren gekomen, dat het, op basis van de verhouding tussen de met koningswater extraheerbare elementen calcium en magnesium in de organische grenslaag van dekzand en basisveen, mogelijk is onderscheid te maken tussen *on-site*- en *off-site*-monsters.

De resultaten van dit eerdere onderzoek (in het kader van het ROB-project 'Zuidelijk Flevoland') zijn samengevat in Fig. 15, waarin calcium tegen magnesium is uitgezet. Uit de figuur blijkt dat de verhouding calcium/magnesium voor alle *off-site*-monsters constant is, op één monster na. De hypothese uit het 'Zuidelijk Flevoland' onderzoek was dan ook dat dit ene monster een tot nu toe onbekende *on-site*-locatie betreft. Tegelijkertijd werd het niet uitgesloten geacht dat het relatief hoge magnesiumgehalte van de *on-site*-monsters door zout water veroorzaakt zou kunnen zijn. Het was daarom noodzakelijk te onderzoeken in hoeverre (relatief) recente verzouting en verzoeting invloed kunnen hebben gehad op de gemeten gehaltes calcium en magnesium in de top van het dekzand. Hieronder wordt uitgewerkt hoe in het huidige project getracht is deze vraag te beantwoorden.

Uit de vier kernen van het huidige project zijn monsters geselecteerd voor analyse via koningswaterextractie en ICP-AES. Ook in het ROB-onderzoek 'Zuidelijk Flevoland' zijn de monsters op deze wijze geanalyseerd. Alle monsters uit het project 'Zuidelijk Flevoland' waren afkomstig uit begraven bodems die het hele jaar onder de grondwaterspiegel liggen (de monsters waren afkomstig van een diepte van minstens 1,5 m). Omdat zich boven de huidige grondwaterspiegel andere bodemvormende processen afspelen, die van invloed zijn op de chemie van de bodem, kunnen monsters van boven de grondwaterspiegel niet vergeleken worden met monsters van eronder. Van de in het huidige onderzoek bemonsterde bodems, zijn alleen de monsters uit boorkern Winkelweg afkomstig van ruimschoots onder de huidige grondwaterspiegel. Alleen monsters uit deze boorkern kunnen daarom worden vergeleken met de resultaten van het eerdere onderzoek. Twee monsters uit boorkern Winkelweg komen uit een vergelijkbare bodemhorizont als de monsters van het project 'Zuidelijk Flevoland', en komen daarom in aanmerking om uitgezet te worden in Figuur 15.

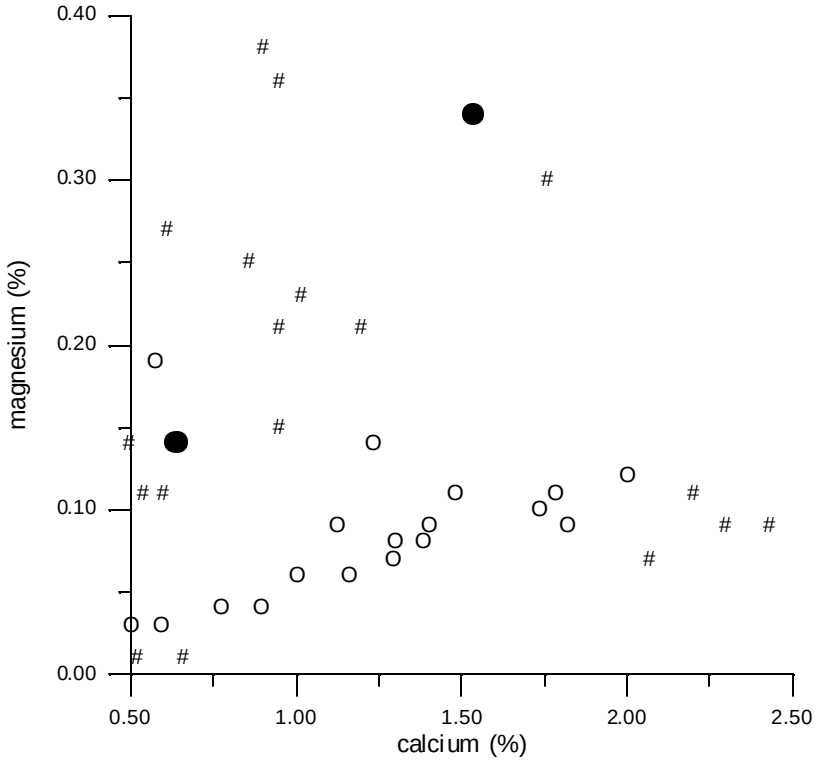


Fig. 15 De resultaten van het geochemisch onderzoek in het project 'Zuidelijk Flevoland'. In dit diagram is het calcium- tegen het magnesiumgehalte uitgezet voor 36 monsters van de organische grenslaag tussen dekzand en veen. De monsters aangegeven met hekjes (#) zijn on-site monsters; met de open cirkels (O) zijn off-site monsters aangegeven. Behalve de 36 monsters van het project 'Zuidelijk Flevoland' zijn ook twee monsters uit het huidige onderzoek weergegeven met dichte cirkels (●).

Op basis van de positie van deze twee monsters in Fig. 15, zou geconcludeerd moeten worden dat het *on-site*-monsters betreft. De monsters plotten immers tussen de *on-site*-monsters uit het project 'Zuidelijk Flevoland'. Uit het micromorfologisch deelonderzoek komt de aanwezigheid van menselijke activiteit op deze plaats inderdaad naar voren (subparagrafen 4.2.2 en 4.2.3). Uit de verdere resultaten (zie hieronder) zal echter blijken dat de invloed van recente verzouting en verzoeting op de gehaltes calcium en magnesium in de top van het dekzand groot kan zijn. Daarom wordt geconcludeerd dat de gemeten gehaltes calcium en magnesium niet noodzakelijkerwijs verband houden met de gehaltes calcium en magnesium zoals die na eventuele bewoning zouden zijn achtergebleven. De veronderstelling uit het eerdere onderzoek dat, op basis van de met koningswater extractie te bepalen verhouding tussen de elementen calcium en magnesium in de organische grenslaag van dekzand en basisveen, onderscheid gemaakt kan worden tussen *on-site*- en *off-site*-monsters, moet dan ook worden verworpen.

De vraag is gerezen in hoeverre recente processen het met koningswater extraheerbaar gehalte calcium en magnesium in de organische grenslaag van dekzand en basisveen kunnen beïnvloeden. Deze vraag is middels twee deelonderzoeken, die hierna achtereenvolgens worden beschreven, te beantwoorden.

Tabel 2 Calcium- en magnesiumgehaltes van 12 monsters volgens twee verschillende bepalingen.

Monster	ICP		CEC		CEC	
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (% van ICP-bepaling)	Mg
Boorkern Winkelweg						
A167-169	1600	400	1223	255	76	64
Boorkern Rassenbeektocht						
B337-338			10606	1215		
B339	15200	1500			70	81
B342	1500	100	1123	122	75	122
B351	1100	200	742	122	67	61
Boorkern Eemhof						
C32	14900	1400	12892	1555	87	111
C50-52	5000	600	3188	365	64	61
C54-56	1200	500	782	85	65	17
C71	2300	600	1323	97	58	16
C150	6400	1400			71	75
C151			4531	1045		
Boorkern Eemmeerdijk						
D527	3100	200			79	85
D528			2446	170		
D543-544	2200	400	1644	207	75	52
D549	1500	400	1203	122	80	31

Allereerst is bepaald welk deel van het met koningswater extraheerbaar gehalte calcium en magnesium deel uitmaakt van de “Cation Exchange Capacity” (CEC). Elementen die deel uitmaken van de CEC kunnen namelijk makkelijk worden omgewisseld tegen elementen uit het grondwater. In Tabel 2 zijn voor 12 monsters uit de vier kernen van het huidige onderzoek enerzijds de gehaltes calcium (Ca) en magnesium (Mg) gegeven na extractie met koningswater en analyse via ICP-AES (kolom 2 en 3, ICP), en anderzijds de gehaltes calcium en magnesium als deel van de CEC (kolom 4 en 5, CEC). In drie gevallen waren de monsters te klein om beide bepalingen uit te kunnen voeren aan hetzelfde monster. In die gevallen worden twee elkaar opeenvolgende monsters uit het bodemprofiel met elkaar vergeleken. In kolom 6 is gegeven welk deel van het met koningswater extraheerbare calcium deel uitmaakt van de CEC. In kolom 7 is gegeven welk deel van het met koningswater extraheerbare magnesium deel uitmaakt van de CEC.

Het blijkt dat 58% tot 87% van het met koningswater extraheerbare calcium deel uitmaakt van de gemakkelijk uitwisselbare elementen. Voor magnesium geldt dat 16% tot 100% van het met koningswater extraheerbaar gehalte deel uitmaakt van de CEC. De waarden 111% en 122% in de laatste kolom kunnen niet betekenen dat er meer magnesium in de CEC zit dan er koningswater extraheerbaar is. Deze waarden moeten het gevolg zijn van verschillen tussen de deelmonsters en/of onnauwkeurigheden in de metingen. Geconcludeerd wordt dat een aanzienlijk deel van de met koningswater extraheerbare gehaltes calcium en magnesium in de

organische grenslaag tussen dekzand en basisveen deel uitmaakt van de CEC, en dus makkelijk kan worden omgewisseld tegen elementen in het grondwater.

Het tweede deelonderzoek is gericht op de samenstelling van de CEC. Uit de vier boorkernen die in het huidige onderzoek zijn gestoken, zijn monsters verzameld uit het gehele profiel: vanaf het maaiveld tot in het dekzand. De hypothese voor dit deelonderzoek is dat het aandeel uitwisselbaar magnesium in de som van de uitwisselbare tweewaardige ionen (calcium en magnesium) afhankelijk is van het milieu waaronder het sediment is afgezet. In de holocene klei (overwegend brak/zout milieu) wordt een relatief hoog aandeel magnesium verwacht, in het veen (zoet milieu) wordt een relatief laag aandeel magnesium verwacht. Het aandeel magnesium in de CEC van het dekzand is minder eenduidig te voorspellen. Deze hypothese is mede gebaseerd op de aanname dat er geen grote uitwisseling van grondwater tussen de verschillende substraten plaats heeft gevonden. Verondersteld wordt dat de basisveenlaag slecht waterdoorlatend is.

In de Figuren 16 t/m 19 zijn uitwisselbaar magnesium, respectievelijk uitwisselbaar calcium (y-as, uitgezet tegen de som uitwisselbaar calcium en magnesium (x-as). De Figuren 17 en 19 zijn details uit de Figuren 16 en 18. Elk punt in de figuren is voorzien van een code waarvan de letter de boorkern aangeeft (A = boorkern Winkelweg; B = boorkern Rassenbeektocht, C = boorkern Eemhof; D = boorkern Eemmeerdijk) en het cijfer de volgorde van de monsters in de boorkern (monster 1 is uit de top afkomstig; het monster met het hoogste nummer uit het diepste deel). De monsters afkomstig uit éénzelfde boorkern zijn met een lijn met elkaar verbonden. Het moedermateriaal (klei, veen of zand) van een monster kan indirect worden afgelezen uit de som uitwisselbaar calcium + magnesium. Deze som is rond de 40 meq/100 g voor klei, ongeveer 140 meq/100 g voor veen en < 20 meq/100 g voor zand. Wanneer een monster bestaat uit een mengsel van moedermaterialen, ligt de som tussen deze waarden in.

Uit de Figuren 16 t/m 19 blijkt dat het aandeel uitwisselbaar magnesium, respectievelijk calcium, door iedere boorkern [klei, veen(!) en zand] heen constant is, op de bovenste monsters per profiel na. De bovenste monsters bevatten steeds relatief minder uitwisselbaar magnesium en meer uitwisselbaar calcium, wat kan worden veroorzaakt door een verdergaande verzoeting van het profiel sinds de inpoldering of de toepassing van $CaCO_3$ sinds het landbouwkundig gebruik. Verder valt op dat boorkern Winkelweg meer uitwisselbaar magnesium bevat dan de andere drie profielen.

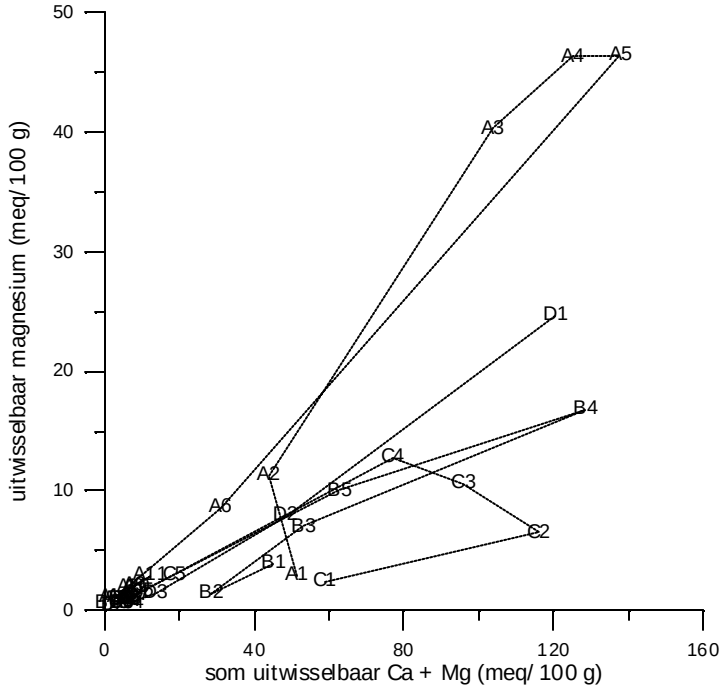


Fig. 16 Uitwisselbaar calcium + magnesium (x-as) uitgezet tegen uitwisselbaar magnesium (y-as) voor de monsters uit de vier boorkernen van het huidige onderzoek. De monsters afkomstig uit één boorkern zijn door lijnen met elkaar verbonden. Zie tekst voor verdere uitleg.

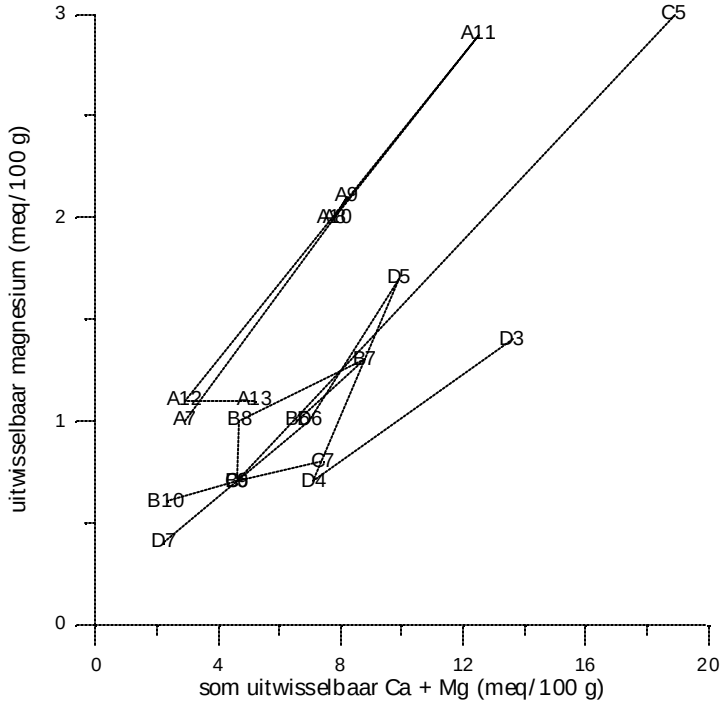


Fig. 17 Uitvergroting van een deel van Figuur 16. Uitwisselbaar calcium + magnesium (x-as) uitgezet tegen uitwisselbaar magnesium (y-as) voor de monsters uit de vier boorkernen van het huidige onderzoek. De monsters afkomstig uit één boorkern zijn door lijnen met elkaar verbonden. Zie tekst voor verdere uitleg.

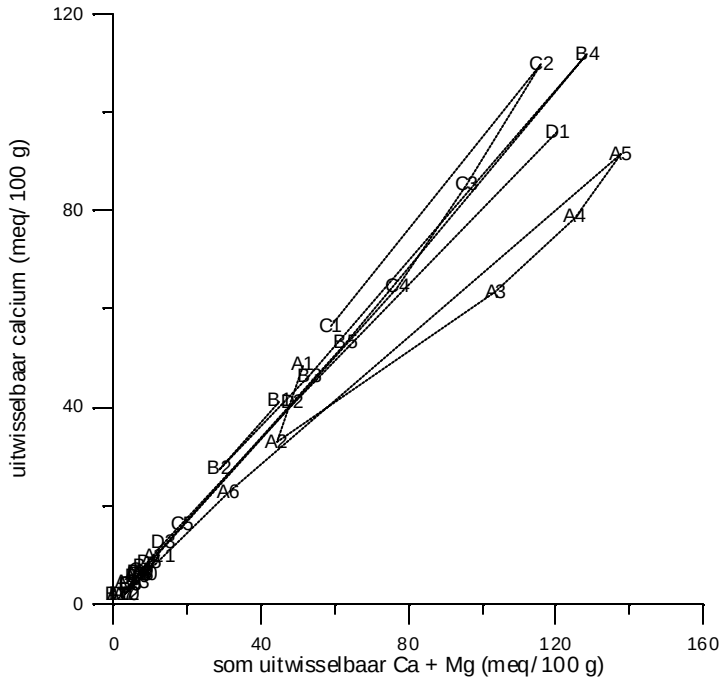


Fig. 18 Uitwisselbaar calcium + magnesium (x-as) uitgezet tegen uitwisselbaar calcium (y-as) voor de monsters uit de vier boorkernen van het huidige onderzoek. De monsters afkomstig uit één boorkern zijn door lijnen met elkaar verbonden. Zie tekst voor verdere uitleg.

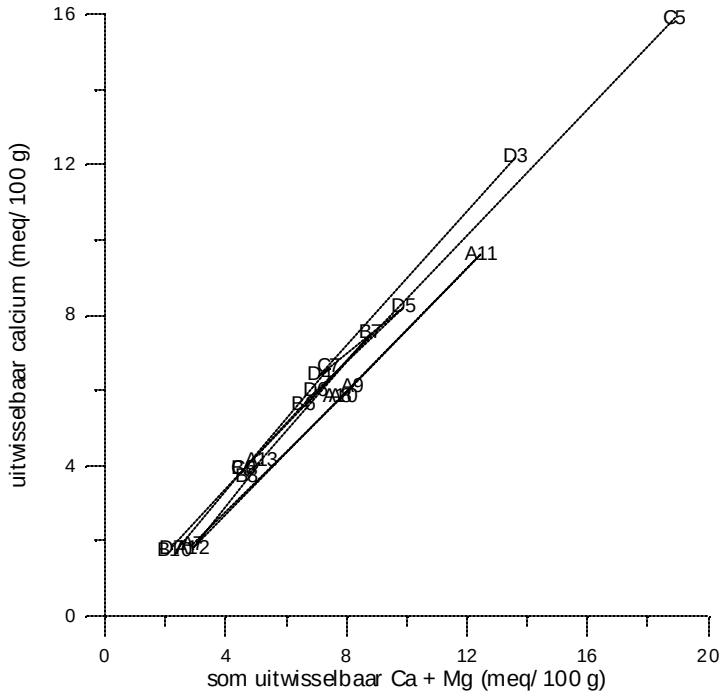


Fig. 19 Uitvergroting van een deel van Figuur 18. Uitwisselbaar calcium + magnesium (x-as) uitgezet tegen uitwisselbaar calcium (y-as) voor de monsters uit de vier boorkernen van het huidige onderzoek. De monsters afkomstig uit één boorkern zijn door lijnen met elkaar verbonden. Zie tekst voor verdere uitleg.

De hypothese voor dit deelonderzoek dat het aandeel uitwisselbaar magnesium in de som van de uitwisselbare tweewaardige ionen (calcium en magnesium) afhankelijk is van het milieu waaronder het sediment is afgezet, moet na het bestuderen van de Figuren 16 t/m 19 worden verworpen. Niet het milieu waaronder het sediment is afgezet bepaalt het huidige aandeel uitwisselbaar magnesium; het aandeel uitwisselbaar magnesium is constant voor de drie sedimenten die onder verschillende milieus zijn afgezet (zoute klei, zoet veen en zand). Wel bestaat er een verschil in het aandeel uitwisselbaar magnesium tussen boorkern Winkelweg en de drie andere boorkernen. Geconcludeerd wordt dat de samenstelling van de uitwisselbare ionen (de CEC) tot ruim na de afzetting van het sediment is beïnvloed. Zoet veen is in het geval van boorkern Winkelweg verzout; zoute klei is in de overige boorkernen verzoet. De huidige aandelen calcium en magnesium in de CEC weerspiegelen dus niet noodzakelijkerwijs de aandelen calcium en magnesium ten tijde van de afzetting van het sediment. Ook de samenstelling van de CEC van de organische grenslaag tussen dekzand en veen kan dan ruim na eventuele bewoning zijn gewijzigd.

Uit de boven beschreven twee deelonderzoeken zijn de volgende conclusies getrokken:

- een aanzienlijk deel van de met koningswater extraheerbare gehaltes calcium en magnesium in de organische grenslaag tussen dekzand en veen maakt deel uit van de CEC;
- de huidige samenstelling van de CEC weerspiegelt niet noodzakelijkerwijs de samenstelling zoals die recent na eventuele bewoning was.

Wanneer deze twee conclusies worden gecombineerd moet worden vastgesteld dat het niet waarschijnlijk is dat op basis van de verhouding tussen de met koningswater extraheerbare elementen calcium en magnesium in de organische grenslaag tussen dekzand en veen onderscheid gemaakt kan worden tussen *on-site*- en *off-site*-monsters.

De eerdere veronderstelling naar aanleiding van het onderzoek ‘Zuidelijk Flevoland’ dat dit wel mogelijk is, berust waarschijnlijk op de toevalligheid (?) dat alle destijds onderzochte *on-site*-locaties (nog altijd) door zout water worden beïnvloed, terwijl bijna alle destijds onderzochte *off-site*-locaties onder invloed staan van zoet water.

7 Inventarisatie van recente verstorende ingrepen

7.1 Inleiding

Het deelonderzoek dat in dit hoofdstuk wordt behandeld, had als doel de aard en omvang van verstorende ingrepen in de (natuurlijke) bodem van het studiegebied sinds de drooglegging in 1968 in kaart te brengen. Met een 'verstorende ingreep' wordt datgene bedoeld, wat de natuurlijke opbouw van de bodem in de weg staat.

Met betrekking tot verstorende ingrepen kan de ontwikkeling van de polder ingedeeld worden in verschillende fasen. De inpoldering en de inrichting van de nieuwe polder worden gezien als respectievelijk fase 1a en 1b. De ingebruikname van het land met de bijbehorende verstorende activiteiten worden gerekend tot fase 2. Tijdens de inpoldering en tijdens de inrichting van het gebied bestonden de verstorende maatregelen voornamelijk uit het aanleggen van drainagesystemen met het bijbehorende graaf- en stortwerk. Zowel gedurende de inrichting als tijdens de ingebruikname van het gebied werden grondverbeteringswerkzaamheden (bijv. diepploegen) toegepast. In fase 2 zorgden ook de aanleg van natuurgebieden en bebouwing voor verstoringen.

Fase 1a werd afgerond met de drooglegging van 43.000 ha grond, waarmee Zuidelijk Flevoland ontstond, op 28 mei 1968. In 1996 werd de fase van basisinrichting van Zuidelijk Flevoland (fase 2) afgesloten (RWS, 1996).

In dit hoofdstuk komen de volgende vragen aan de orde: (1) zijn er verstorende ingrepen gedaan in het gebied, en zo ja, om wat voor soort verstorende ingrepen gaat het; (2) wat zijn de oppervlakten en diepten van de verstoringen? Per fase kunnen de verstorende maatregelen worden onderverdeeld in verschillende soorten. In de volgende paragraaf zullen de verschillende ingrepen die in Zuidelijk Flevoland zijn toegepast worden beschreven. Voor een algemeen overzicht van landbouwkundige verstorende ingrepen en hun effect op archeologische waarden, wordt verwezen naar Heunks (1995).

7.2 Verstoringstypen in Zuidelijk Flevoland

7.2.1 Fase 1a: aanleg polders

Graafwerk

- Vóór het droogvallen van de polder zijn de holocene klei- en veenlagen ter plaatse van de geplande dijken verwijderd en zijn er twee hoofdvaarten uitgebaggerd.
- Na de aanleg van dijken rondom de voormalige Zuiderzee werd het gebied ontwaterd via drainagesleuven.

Opbrengen van grond

- Met het storten van bagger (onder water, voordat Zuidelijk Flevoland droogviel) zijn stortgronden ontstaan. Het grootste deel van deze bagger, die is vrijgekomen ter plaatse van de dijken, is buitendijks gestort; een klein deel is gestort binnen de polder, in een strook die parallel loopt aan de Eemmeerdijk. De bagger uit de twee hoofdvaarten (de Hoge en Lage Vaart) is geheel binnen de polder geborgen, het grootste deel in vier grote depots in Zuidelijk Flevoland. De beste manier van grondverbetering voor voormalige stortgronden is egalisatie gevolgd door diepploegen (Menke *et al.*, 1998).
- De twee hoofdvaarten zijn gebaggerd omdat de polder kort na het droogvallen te moeilijk begaanbaar zou zijn. Tijdens het droogmalen is er met het afstromende water weer sediment naar de vaarten afgevoerd waardoor deze weer opgevuld raakten. Na het droogvallen zijn de vaarten met behulp van zuigers opgeschoond. De specie is aan één kant van de vaart gespoten en vloeide uit over een breedte van 300 à 400 m. Zo ontstonden vloeigronden.
- Tochtwallen zijn ontstaan bij het graven van tochten, waarbij de grond ter zijde van de tocht werd neergelegd. De tochtwallen variëren in samenstelling, afhankelijk van de bodem ter plaatse. De hoogteligging van de wal vormde een belemmering voor de bewerkbaarheid van het land. Daarom vond egalisatie van de wallen plaats. De verbetering van de tochtwallen bestond uit het uitschuiven en egaliseren van het materiaal, gevolgd door diepploegen.
- Vóór het droogvallen van de polders, werd gewonnen zand opgeslagen in zogenaamde klapzanddepots. Het zand was vaak afkomstig uit zandwinputten in de polder, in de randmeren of in het IJsselmeer. Bij het afgraven van de zanddepots bleef altijd een zekere hoeveelheid zand achter op de oorspronkelijke bodem. Hierdoor bleven de bodem en archeologica beschermd. Ten behoeve van grondverbetering van de afgegraven zanddepots voor de landbouw werden de achtergebleven zandresten echter geëgaliseerd. De egalisatie werd weer opgevolgd door diepploegen.

7.2.2 Fase 1b: aanleg verkaveling

Verkaveling door middel van kanalen en sloten

De bodems werden geclassificeerd en onderverdeeld in kavels, die door waterwegen gescheiden werden. Direct langs deze kanalen en sloten is de grond verstoord door de graafwerkzaamheden. De bestemming van de kavels werd door medewerkers van de afdeling Landinrichting van de voormalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) voor uitgifte bepaald.

Ontwateringssysteem

Nadat het afwateringssysteem, bestaande uit kanalen, tochten en sloten in de nieuwe polder was aangelegd, werden de gronden voorzien van een goed ontwateringssysteem, bestaande uit een stelsel van drains. Hieraan ging vaak een (tijdelijke) begreppeling vooraf.

Grondverbetering bij verkaveling
Alvorens de kavels werden uitgegeven werd her en der grondverbetering toegepast om de landbouwkundige waarde te verbeteren. De bodem kent tekortkomingen voor akkerbouw; deze kunnen antropogeen zijn of van natuurlijke aard. Tekortkomingen van de grond zijn bijvoorbeeld een te dun kleidek of een te dik zanddek, een dikke schelpenlaag, puin- of stenenconcentraties en een heterogene profielopbouw, zoals dat voorkomt in tocht- en stortgronden. Daar waar mogelijk is in het gebied grondverbetering toegepast. Behalve voor landbouwdoeleinden zijn ook grondverbeteringen toegepast ten behoeve van bosaanleg en natuurbouw. Grondverbeteringen werden zowel tijdens de aanleg van de verkaveling toegepast (fase 1b), als tijdens de ingebruikname van het land (fase 2).

Voor het begrip grondverbetering zijn in het verleden verschillende definities gegeven, die soms onvolledig bleken of die door nieuwe technieken en veranderde eisen verouderd zijn. In dit rapport wordt gebruik gemaakt van de definitie van Boelens & Koning (1986): “een cultuurtechnisch werk dat tot doel heeft door een technische ingreep de bodemfysische en/of de bodemchemische eigenschappen van het profiel te wijzigen opdat deze eigenschappen beter voldoen aan de door de gebruiker gestelde eisen waarbij de ingreep een duurzame verandering van bepaalde, relevante, bodemkundige parameters tot gevolg heeft”. Grondverbeteringen beïnvloeden de toestand van de bodem dus per definitie en zullen daarmee veelal hun invloed uitoefenen op de gesteldheid van de in de bodem gelegen archeologica.

7.2.3 Fase 2: ingebruikname van het land voor landbouw, infrastructuur, bewoning, natuur en recreatie

Ploegen bij akkerbouw
Onder ploegen wordt verstaan: het jaarlijks omwerken van de akkers. Dit kan in een aantal gevallen leiden tot aantasting van archeologisch materiaal. Hierbij gaat het om resten die dicht onder het maaiveld of in de bouwvoor liggen.

Diepe grondbewerking bij akkerbouw
Bij diepe grondbewerkingen gaat het in de regel om eenmalige werkzaamheden, of werkzaamheden die eens in de vijf of tien jaar uitgevoerd worden. Dit kan nodig zijn om bijvoorbeeld schelpenlagen of andere storende lagen te breken en te vermengen met de bovengrond. Hierbij komen de termen ondergrondbreken (of -ploegen), mengwoelen en diepploegen aan de orde. Bij deze grondbewerkingen worden met behulp van zware landbouwmachines bodemlagen respectievelijk losgemaakt, gemengd of zelfs omgedraaid. Voor toelichtingen op deze methoden wordt verwezen naar Boelens & Koning (1986).

Het scheuren van grasland bij weidegrond
Het scheuren van grasland wordt toegepast ten behoeve van het produceren van productiegras. Het grasland wordt gemiddeld eens in de tien jaar doorgezaaid, of gescheurd en ingezaaid. Bij het doorzaaien vindt geen grondbewerking plaats. Indien het gras gescheurd en ingezaaid wordt, vindt alleen aantasting plaats wanneer er

dieper dan de zode wordt gewerkt, bijvoorbeeld bij het gebruik van een woeler (Marinelli & Wentink, 1998).

Egalisatie en diepploegen van voormalige gronddepots

Na het droogvallen van de polder is grond opgebracht in de vorm van zanddepots en depots waar gemengde bagger- en stortgrond is geplaatst. De zanddepots lagen vaak op of nabij kruispunten van aan te leggen wegen. Ook bij het afgraven van deze zanddepots bleef altijd een zekere hoeveelheid zand achter op de oorspronkelijke bodem, waardoor bodem en archeologica beschermd worden. Egalisatie en diepploegen van de zandgronden ten behoeve van de landbouw zorgden echter weer voor verstoringen.

Egalisatie van klinkverschillen

Egalisaties kunnen nodig zijn omdat door (differentiële) inklinking van de holocene bovengrond in de toekomst naar verwachting meer reliëf zal ontstaan. Ook de verschillen in ontwateringsdiepte spelen een rol. In natuurgebieden als de Oostvaardersplassen ligt de ontwateringsbasis bijvoorbeeld veel hoger dan in het landelijk gebied van Zuidelijk Flevoland. De rijping en maaivelddaling verlopen daardoor trager en als gevolg ligt dit oorspronkelijk laagst gelegen gebied van Flevoland nu relatief hoog (Lenselink, 1996).

Onderhoud van kanalen, sloten en greppels

Het onderhoud van sloten en greppels omvat twee aspecten: het schonen van de sloot of greppel, en herstelwerkzaamheden. Greppels en sloten dienen jaarlijks geschoond te worden. Dit werk bestaat onder meer uit het afmaaien en verwijderen van talud-begroeiing, het uitdiepen van de sloot en kleine herstelwerkzaamheden aan het talud. Met name door de twee laatstgenoemde werkzaamheden komt grond vrij die in de regel naast de sloot gelegd wordt, of over het perceel verdeeld wordt. Door deze werkzaamheden kunnen, afhankelijk van de diepte van de sloot, archeologische resten aangetast worden en kunnen resten aangetroffen worden in de vrijgekomen grond (Marinelli & Wentink, 1998).

Opbrengen van grond voor bebouwing, infrastructuur en aanplanting

Door de groei van de Nederlandse bevolking raakt de randstad steeds voller, waardoor een uitloop naar Almere en omstreken is ontstaan. Er worden steeds meer woonwijken met bijbehorende infrastructuur gepland. De bodemsamenstelling van de stedelijke gebieden van Almere en Zeewolde bestaat voor het grootste deel uit een pakket opgespoten pleistoceen zand. Door de manier van opspuiting van dit zand ontstaat een nagenoeg ondoordringbare samenstelling. Ten behoeve van de vegetatie in het stedelijke landschap is daarom klei opgebracht (Menke *et al.*, 1998).

Ontgronding en vergraving

Ontgronding en vergraving vindt vooral plaats ten behoeve van (her)gebruik van grond voor andere doeleinden op een andere locatie, en/of omdat deze op de oorspronkelijke locatie overbodig is (geworden). Voorbeelden van locaties waar dit plaatsvindt of heeft plaatsgevonden zijn:

- zandwinputten (en zanddepots) die gebruikt zijn bij de bouw van Zeewolde, Almere, de Rijkswegen A6 en A27 en de spoorlijn Almere-Lelystad;
- sportterreinen, zoals golfvelden;
- plaatsen waar natuurontwikkeling plaatsvindt.

Zuidelijk Flevoland heeft een totale oppervlakte van 43.000 ha. In Tabel 3 is terug te vinden welke diepe grondbewerkingen en bijbehorende oppervlakten er tot en met 1983 in Zuidelijk Flevoland zijn toegepast om de grond te verbeteren, voornamelijk ten behoeve van de akkerbouw (en bosbouw). Het grootste gedeelte van het gediepploegde oppervlakte, ca. 1000 ha, is gelegen in de sectie Jz buiten het studiegebied. Het overige deel van het gediepploegde oppervlakte betreft de tochtgronden, een deel van de vloeiwal langs de Hoge Vaart en enkele resten van afgegraven zanddepots (Koning & Ente, 1986). Deze grondbewerkingen zijn dus niet puur ten behoeve van de landbouw toegepast. Mengwoelen en ondergrondbreken zijn in Zuidelijk Flevoland uitsluitend toegepast (enkele gemengwoelde tochtwallen buiten beschouwing gelaten) op voor bosaanplant bestemde gronden in de buiten het onderzoeksgebied gelegen sectie Pz.

Tabel 3 Diepe grondbewerkingen in Zuidelijk Flevoland (naar Boelens & Koning, 1986).

Verstoring	Oppervlakte (ha)
Ondergrondbreken/-ploegen	97
Mengwoelen (bij bosgrond)	364
Diepploegen	1523
Totaal	1984

Naar aanleiding van gedetailleerd bodemkundig onderzoek door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) werd er in 1986 een bodemkundige code- en profielenkaart opgesteld voor Zuidelijk Flevoland (Koning & Ente, 1986), waarin de aangetroffen verstoringen aangegeven zijn. Het grondverzet dat in de hiernavolgende periode (vanaf 1986 t/m 1996) plaatsvond, is weergegeven in Tabel 4. Hieraan zijn een aantal verstoringen van vóór 1986 toegevoegd, waarvan bleek dat deze nog niet waren aangegeven op de bodemkundige code- en profielenkaart. Deze gegevens zijn verzameld door het RIZA (waarin de voormalige RIJP is opgegaan) en zijn afkomstig van verpachtingskaartjes en van grondverzetadviezen van de RIJP aan eigenaren van percelen. Vrijwel alle grondverbeteringen zijn daadwerkelijk uitgevoerd zoals ze zijn voorgesteld.

Als alle gegevens bij elkaar worden opgeteld, dan blijkt dat er in heel Zuidelijk Flevoland tot 1998 in totaal zo'n 6260 hectare grond verbeterd is (Menke *et al.*, 1998). Hieronder vallen de tochtwallen met een totale lengte van 700 kilometer. Alle grondverbeteringen bij elkaar beslaan bijna 15 % van de totale oppervlakte van Zuidelijk Flevoland.

Tabel 4 Grondverzet uitgevoerd in de periode 1986-1996 in Zuidelijk Flevoland (enkele gegevens van vóór 1986 zijn toegevoegd) (bron: archief RWS-RIZA).

Verstoring		Oppervlakte (ha)
Grondverbetering i.v.m.:	Stortgrond	170
	Zanddepot	233
	Tochtgrond	649
	Vloeigrond	141
	Overige zandplekken	690
Diepe grondbewerking i.v.m. schelpenbanken		843
Aanleg zuigput		45
Egalisatie vanwege ongelijke maaiveldligging		76
Onbekend		525
Totaal		3372

7.3 Inventarisatie van verstoringstypen in het studiegebied

In de Figuren 20 en 21 zijn de voor het studiegebied geïnventariseerde verstoringstypen in kaart gebracht. De kaarten met de geïnventariseerde verstorende maatregelen zijn gemaakt met behulp van gegevens afkomstig van kaarten en ruwe gegevens van voornamelijk: Koning & Ente (1986), Menke *et al.* (1998) en Marinelli & Wentink (1998).

Fase 1a: aanleg polders

- Graafwerk - De twee hoofdvaarten liggen grotendeels buiten het studiegebied.
- Stortgrond - De bagger uit de twee hoofdvaarten is binnen de polder geborgen, voornamelijk in vier grote depots die echter buiten het onderzoeksgebied liggen.
- Vloeigrond - De Hoge Vaart, waarlangs vloeigronden voorkomen, ligt voor een klein gedeelte binnen het studiegebied. De specie werd aan één kant van de vaart gespoten en vloeide uit over een breedte van 300 à 400 m. In het perceel Kz 50 (en klein deel van Kz 57 en Kz 58) zijn zandige vloeigronden aangetroffen, die zijn geëgaliseerd en gediepploegd tot een diepte van 60 cm over een totaal oppervlakte van 5 ha.
- Tochtgrond - Op vele plaatsen in het onderzoeksgebied werden de langs tochten gelegen tochtwallen geëgaliseerd en eventueel nog gediepploegd. De diepte van de verstoringen varieert van zo'n 45 tot 85 cm (Figuren 20 en 21).
- Zanddepots - Na het afgraven van de klapzanddepots bleef een hoeveelheid zand achter op de oorspronkelijke bodem. Ten behoeve van de verbetering voor de landbouw werden de achtergebleven zandresten echter geëgaliseerd en gediepploegd tot een diepte van ca. 60 tot 100 cm. Deze depots komen voor in de percelen Nz 2 en Kz 57 (Fig. 20). Er is hier geen onderscheid gemaakt tussen de klapzanddepots die voor het droogvallen van de polder zijn ontstaan en de zand- en baggerdepots die na het droogvallen zijn gecreëerd (in fase 2).

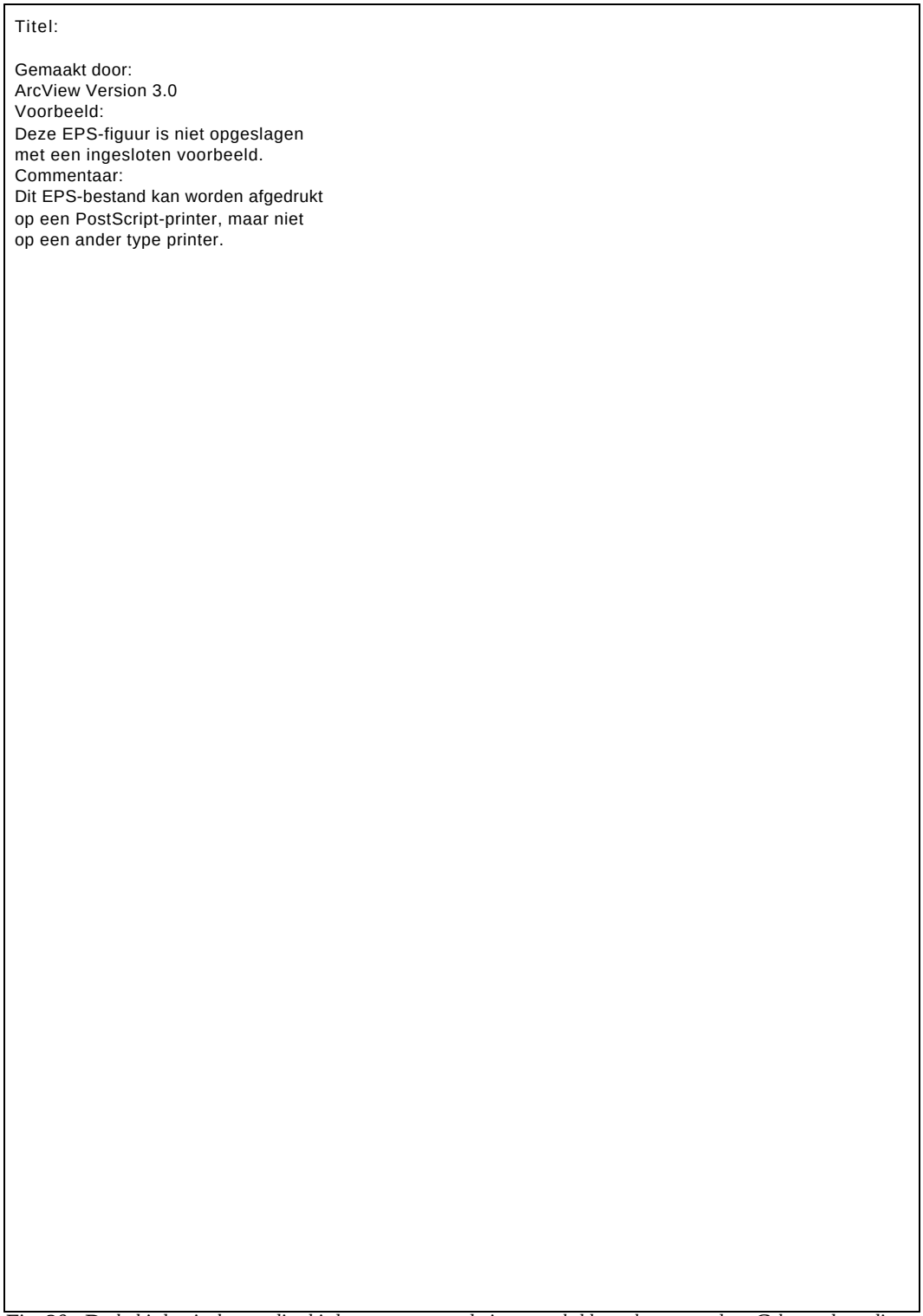


Fig. 20 Deelgebieden in het studiegebied waar verstorende ingrepen hebben plaatsgevonden. Gebaseerd op diverse bronnen; zie tekst.

Fase 1b: aanleg verkaveling

- Verkaveling door middel van kanalen en sloten - Het aantal hectares verstoorde grond langs kanalen en sloten wordt hier buiten beschouwing gelaten en zijn derhalve niet in de berekeningen meegenomen. Het spreekt voor zich dat er verstoringen voorkomen in een smalle zone langs genoemde waterwegen.
- Ontwateringssysteem - De intensiteit van het ontwateringssysteem, die tot uiting komt in de afstanden tussen de afzonderlijke greppels en drains, wordt bepaald door de fysische gesteldheid van de bodem, tijdens de aanleg van het systeem. De greppels zijn net als de eerder genoemde waterwegen terug te vinden op de topografische kaarten. Het aantal hectares verstoorde grond langs deze greppels is niet in de berekening meegenomen. Ook hier geldt dat er verstoringen voorkomen in een smalle zone langs de greppels. De drains zijn niet direct zichtbaar in het landschap. De bodemverstoringen die hierdoor zijn ontstaan en bijbehorende locatiebepalingen, blijken niet apart te zijn meegenomen tijdens eerder uitgevoerde inventarisaties. Voor het ontstaan van de polder hebben Ente & Wiggers (1963) echter wel een voorspelling gedaan over de intensiteit van de ontwatering, door gebruik te maken van de ervaringen opgedaan in de Wieringermeer, de Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland, en van de kennis van de bodemgesteldheid. De intensiteit van de drains zal volgens hen wisselen van 48 m of meer, tot 8 m, terwijl gebieden met een sterke kwel soms niet in aanmerking komen voor drainage, en dus een blijvende begreppeling zullen hebben. De nauwe drainafstanden komen voor in de gebieden met matige kwel. De wijde drainafstanden van 24 tot 48 m komen voor in het centrale gedeelte van Zuidelijk Flevoland, waar de gronden tot een flinke diepte uit klei bestaan. Daarnaast kunnen afstanden van 48 m worden aangetroffen op plaatsen waar zand tot aan of tot direct onder het oppervlak reikt.
- Grondverbetering bij verkaveling - Bij grondverbeteringen wordt hier niet bedoeld het egaliseren en/of diepploegen van stort- en vloeigronden en zanddepots, maar latere ingrepen. Hieronder vallen bijvoorbeeld het diepploegen van een schelpenlaag, of het bewerken van een dun kleidek op zand ten behoeve van bosinplant. In het studiegebied werd in perceel Nz 114 grondverbetering toegepast. Het ging hier om een met zand gevulde vaargeul met een ongelijke maaiveldligging. In totaal werd een oppervlakte van 4,8 ha geëgaliseerd en gediepploegd tot op een diepte van 110 cm.

Fase 2: ingebruikname land

- Ploegen bij akkerbouw - Grote oppervlakten van het onderzoeksgebied hebben een agrarische bestemming. Er kan derhalve van uit worden gegaan dat er in het overgrote gedeelte van het gebied is geploegd tot op een diepte van ca. 40 cm. Gebieden met bebouwing en infrastructuur of met een natuurbestemming vormen hierop een uitzondering, alsmede de gebieden waar permanent gras op staat (geen wisselbouw).
- Diepe grondbewerking bij akkerbouw - Gewoonlijk spreekt men pas van diepploegen bij diepten groter dan 40 á 45 cm (Ente & Wiggers, 1963). Er wordt van uitgegaan dat de diepe grondbewerkingen niet dieper gaan dan ca. 2 m beneden maaiveld (Marinelli & Wentink, 1998). In het studiegebied zijn geen diepe grondbewerkingen in verband met schelpenbanken toegepast.

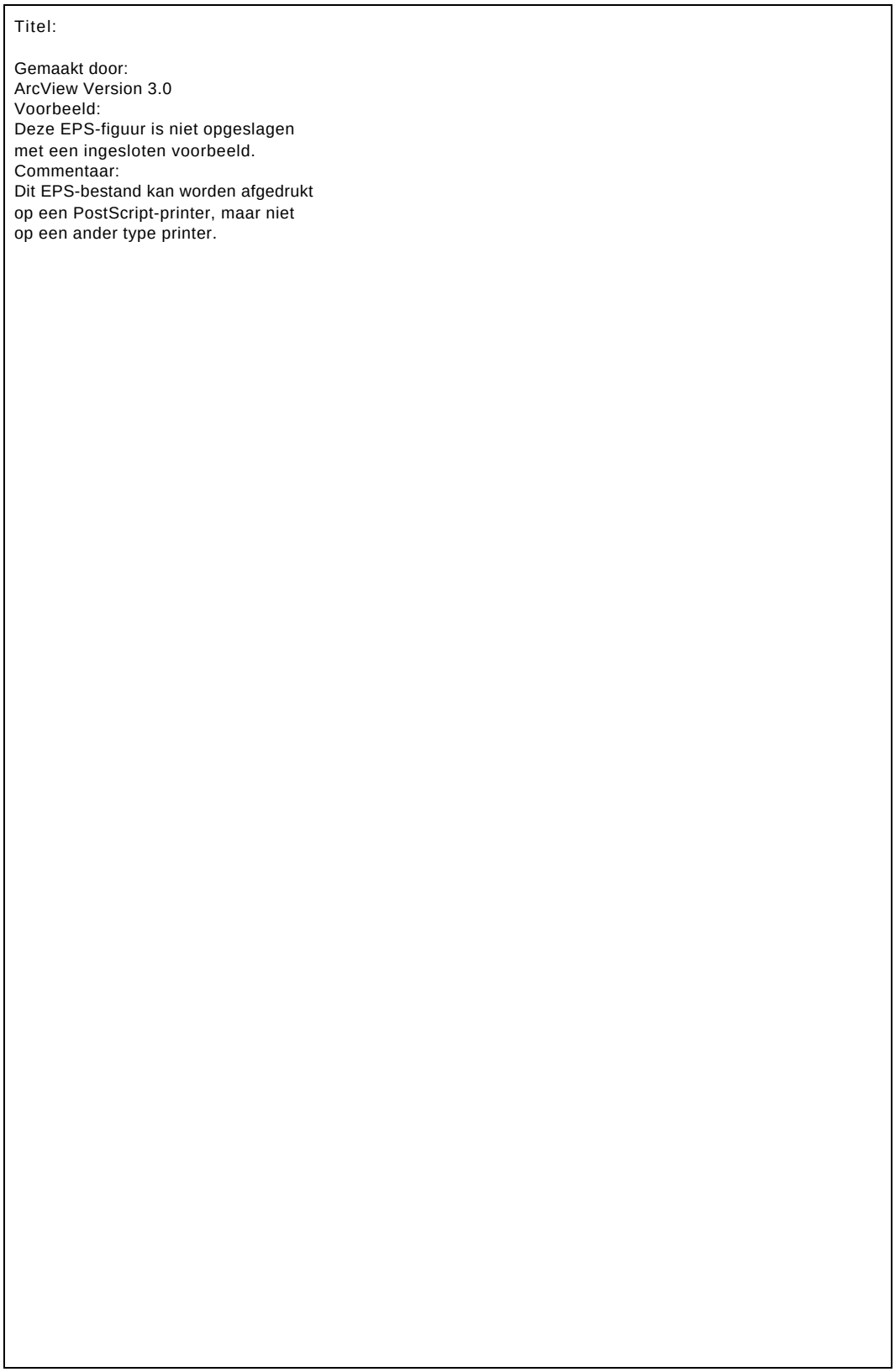


Fig. 21 Percelen waar verstorende ingrepen hebben plaatsgevonden in de periode tussen ca. 1980 en 1996. Per perceel zijn de verstoorde oppervlakte en de verstoringsdiepte weergegeven. Gebaseerd op diverse bronnen; zie tekst.

Het scheuren van grasland bij weidegrond - Er zijn geen gegevens gevonden over de diepte van het scheuren van grasland in het studiegebied en de locaties waar dit is toegepast.

- Onderhoud van kanalen, sloten en greppels – Direct langs alle sloten en greppels in het studiegebied moet rekening gehouden worden met een verstoring van het natuurlijke bodemprofiel.
- Opbrengen van grond voor bebouwing, infrastructuur en aanplanting - Op het perceel Nz 1 is zand opgespoten ten behoeve van bebouwing.
- Ontgronding en vergraving bij bebouwing, infrastructuur en natuurontwikkeling – Langs het tracé van de Rijksweg A27 ligt in de percelen Kz 48, Kz 4 en Kz 5 een zand- of gronddepot met een diepte van tenminste 80 cm. Verder liggen er in en aan de rand van het plangebied een aantal natuurgebieden. Het betreft het weidevogelgebied het Gruttoveld (percelen Nz 10 en Nz 11), het rietmoeras het Gorzenveld (Nz 17), de ruigte Rassenbeektochtstrook (langs de randen van de percelen Nz 7, Nz 8, Nz 9 en Nz 12) en het bos/moerasgebied het Stichtse Brugbos (Kz 4, Kz 5, Kz 6 en Kz 44; niet apart als natuurgebied weergegeven in Fig. 20).

De verstorende ingrepen die in natuurgebieden hebben plaatsgevonden zijn vrij divers van aard en betreffen een aantal van de hierboven genoemde verstoringstypen. Veelal zijn natuurgebieden gesitueerd op plekken waar voorheen ontgrondingen (bijv. zandwinning) en/of vergravingen hebben plaatsgevonden. Hierdoor hebben deze gebieden soms een lager maaiveldniveau. In sommige gevallen is het maaiveld verlaagd ten behoeve van het creëren van natuur. Soms is ook grond opgebracht.

De naam van het natuurgebied de Rassenbeektochtstrook doet al vermoeden dat daar sprake is van verstoring in de vorm van tochtgronden. Deze gronden zijn gedeeltelijk geëgaliseerd en bestaan nog gedeeltelijk uit ruggetjes waarop ruigtes zijn ontstaan. Sinds het gebied bestempeld is als natuurgebied zijn er een aantal poelen aangelegd ten behoeve van flora en fauna (mondelinge mededeling K. Stapensea, Stichting Flevo Landschap). Deze poelen zijn deels afgegraven tot in de ondiepe opduikingen van het zand. Het Gorzenveld was vroeger een rietproefveld (mondelinge mededeling N. Dijkshoorn, Stichting Flevo Landschap). Dit gebied werd afgeschermd met een met folie beklede dijk, zodat het niet kon draineren. Hierdoor kreeg de bodem in het betreffende gebied geen kans om te rijpen, terwijl de omgeving inklonk. Zodoende ligt dit terrein met de daaromheen opgebrachte grond tegenwoordig hoger dan het omliggende bouwland. Het gebied wordt nu gebruikt voor natte natuur. Het Gruttoveld is het restant van een 1000 ha groot natuurgebied, de Ganzengouw, dat is opgeheven vanwege de Oostvaardersplassen. Rondom het Gruttoveld ligt ook een dijk met folie, maar deze is speciaal aangelegd ten behoeve van de natte natuur. In het voorjaar van 2000 zijn hier een paar ondiepe geulen gegraven. In het Stichtse Brugbos liggen een aantal zanddepots die gebruikt zijn voor de aanleg van de Rijksweg A27. Daarnaast zijn er in dit gebied een aantal grondafgravingen geweest ten behoeve van de afwerking van de bermen (mondelinge mededeling N. Dijkshoorn).

Tabel 5 Grondverzet uitgevoerd in de periode 1986-1996 in het studiegebied (enkele gegevens vanaf ca. 1980 zijn toegevoegd) (bron: archief RWS-RIZA).

Verstoring		Oppervlakte (ha)
Grondverbetering i.v.m.:	Stortgrond	0
	Zanddepot	31
	Tochtgrond	71
	Vloeigrond	15
	Overige zandplekken	5
Diepe grondbewerking i.v.m. schelpenbanken		0
Aanleg zuigput		0
Egalisatie vanwege ongelijke maaiveldligging		22
Onbekend		85
Totaal		229

Ook voor het studiegebied zijn de aangetroffen verstoringen die stammen uit 1983 of eerder, aangegeven op de eerder genoemde bodemkundige code- en profielenkaart van Zuidelijk Flevoland (Koning & Ente, 1986). Het grondverzet dat in het studiegebied plaatsvond in de periode 1986 – 1996, is weergegeven in Tabel 5. Hieraan zijn een aantal verstoringen vanaf 1980 toegevoegd, waarvan bleek dat deze nog niet waren aangegeven op de code- en profielenkaart. Het blijkt dat het aantal bodemverstoringen in deze periode gering is.

Alle voor het studiegebied geïnventariseerde verstoringen zijn in kaart gebracht in de Figuren 20 en 21. In Figuur 20 zijn de locaties van de verschillende opgesomde verstoringstypen weergegeven. Hierbij is een onderverdeling gemaakt tussen: (1) vloeigronden, stortgronden en/of vergraven gronden; (2) gediepploegde en/of gemengwoelde gronden; (3) zanddepots en (4) zandopspuitingen. Figuur 21 kan gezien worden als een aanvulling op Figuur 20, omdat hierin de oppervlakten en diepten van de verschillende soorten verstoringen per perceel zijn aangegeven. Deze figuur geeft echter alleen de verstoringen weer die stammen van de periode van ca. 1980 tot 1996.

Het aantal hectares verstoorde grond langs kanalen, sloten, greppels en drains is niet in de inventarisatie meegenomen. Ook de eerder genoemde maatregelen in de natuurgebieden zijn niet in de berekeningen meegenomen. Vanwege de relatief grote hoeveelheid verstoringen in de natuurgebieden zijn deze gebieden (m.u.v. het Stichtse Brugbos) apart weergegeven in Figuur 20. Verder moet gesteld worden dat waarschijnlijk niet alle overige verstoringen in de figuren opgenomen zijn. Zoals eerder al aangegeven is, is veel informatie tijdens allerlei reorganisaties en opruimingsacties bij verschillende instanties in de laatste tientallen jaren verloren gegaan. Tenslotte kan vermeld worden dat sommige gegevens moeilijk te achterhalen zijn, zoals bijvoorbeeld informatie over het (zonder advies van de RIJP) diepploegen van akkerland door de eigenaren.

8 Evaluatie

8.1 De gaafheid van de dekzandbodems en het basisveen

De vier boorkernen vormen slechts een zeer kleine steekproef van de begraven dekzandbodems in het studiegebied. Voor alle bestudeerde bodemprofielen geldt echter dat zij een complexe ontstaanswijze hebben, die pas duidelijk wordt bij een interdisciplinaire studie, waarvan microscopische analyse een noodzakelijke onderdeel is. Enkele bodems (boorkernen Winkelweg en Eemmeerdijk) lijken op het eerste gezicht op eenvoudige podzolprofielen met een uitspoelingshorizont. Bij nadere analyse blijken ze te bestaan uit een opeenstapeling van paleosols, waarbij erosieve grenzen tussen de opeenvolgende sedimentpakketten waarin de bodems zich hebben ontwikkeld, niet uitgesloten kunnen worden. In twee andere boorkernen is het bodemprofiel in het dekzand onthoofd (boorkern Rassenbeektocht) of volledig geërodeerd (boorkern Eemhof). Ook basisveen op het bodemprofiel in deze boorkernen is verslagen. Uit het voorgaande blijkt dat het niet eenvoudig is de gaafheid van het bodemarchief in het studiegebied te karteren. Eenvoudige visuele inspectie van het bodemprofiel in het veld op basis van handboringen (bijv. van der Heijden & van Eijk, 1996) lijkt in ieder geval volstrekt onvoldoende te zijn.

De vraag dringt zich op wanneer aantasting van de bodems heeft plaatsgevonden: (1) vóór, (2) tijdens, of (3) na verdrinking van het landschap. Erosie die lang voor verdrinking heeft plaatsgevonden is moeilijk te traceren, omdat de sporen hiervan door latere bodemvorming kunnen zijn uitgewist. Op de boorlocatie Winkelweg lijkt sprake te zijn geweest van hellingprocessen en afzetting in het dekzandlandschap voor verdrinking. Na afzetting van een nieuwe laag verspoeld dekzand was er weer ruimschoots tijd voor hernieuwde bodemvorming. Het gevolg was een opeenstapeling van paleosols (258 - 195 cm - mv). Mogelijk trad tussen de accumulatiefasen ook enige erosie op. In de overige kernen wijst de aanwezigheid van een gelamineerde overgangslaag van fijn zand en silt en organisch materiaal tussen het dekzand en het veen op verspoeling tijdens verdrinking. Deze laag kenmerkt zich in het algemeen door een opwaarts toenemend gehalte aan organische stof en beperkte verschijnselen van bodemvorming die duiden op kortstondig en/of periodiek droogvallen. De mate van erosie die tijdens of voor deze verspoeling is opgetreden varieert. In boorkern Rassenbeektocht is sprake van een onthoofd bodemprofiel; in boorkern Eemhof is het bodemprofiel volledig geërodeerd; terwijl in boorkern Eemmeerdijk waarschijnlijk lichte erosie van het oorspronkelijke bodemprofiel is opgetreden.

Een interessante vraag is of er enig verband is tussen de ligging van een bodemprofiel in het voormalige landschap en de mate waarin het profiel nu nog intact is. Verwacht mag worden dat erosie vooral de hoger gelegen delen van het voormalige landschap heeft aangetast. Het lijkt geen toeval dat het laagst gelegen bodemprofiel (boorkern Winkelweg) zich kenmerkt door overwegend accumulatie, gelijktijdig met bodemvorming, terwijl in twee hoger gelegen profielen

(Rassenbeektocht en Eemhof) aanzienlijke erosie van de top van het bodemprofiel heeft plaatsgevonden. De onthoofding van het profiel op boorlocatie Rassenbeektocht lijkt een logisch gevolg van de kwetsbare ligging hoog op de flank van een dekzandrug. De sterke erosie op boorlocatie Eemhof is moeilijker aan landschappelijke ligging te koppelen. Opvallend is dat het hoogstgelegen bodemprofiel (boorlocatie Eemmeerdijk), op de top van een dekzandrug, niet sterk is aangetast. Onder de verspoelde toplaag gaat hier een grotendeels intacte begraven bodem schuil.

Voor wat betreft de kwaliteit van het plantaardige organische materiaal in het bodemprofiel geldt dat al het materiaal door bodemvormende processen sterk is omgezet. Dit blijkt uit de micromorfologische studie, zowel als uit het botanische macrorestenonderzoek. Dit is niet verwonderlijk als we bedenken dat de bodems in het dekzand zich vanaf het begin van het Holoceen duizenden jaren lang bij diepe grondwaterstanden ontwikkelden. In dergelijke bosbodems in dekzand worden bijna alle organische afvalproducten van het bos vrij snel omgezet in humus. Een belangrijke indicator van de aanwezigheid van de oude bosbodem is de bodemschimmel *Cenococcum geophilum* die in de boorkernen Winkelweg en Eemmeerdijk veelvuldig in de dekzandbodem is aangetroffen.

Opmerkelijk is dat ook in het bovenliggende veen weinig herkenbare macroresten zijn aangetroffen. Het veen in boorkern Rassenbeektocht vormt hierop een uitzondering. Uit de analyses blijkt echter dat juist dit veen verslagen is. De goede kwaliteit van dit organisch materiaal ligt daarom voor de hand: het materiaal is waarschijnlijk gevormd bij relatief hoge (grond)waterspiegels en vervolgens geërodeerd en onder water afgezet, waarna het niet meer is drooggevallen. Anders is het gesteld met het basisveen in de overige boorkernen, dat zich voor een groot deel ter plaatse heeft gevormd. Het is duidelijk dat dit veen al vlak na vorming bloot stond aan vrij droge, zuurstofrijke condities, waarin de organische stof onder andere door bodemfauna kon worden omgezet. Waarschijnlijk was er sprake van sterk wisselende waterstanden. Periodiek natte omstandigheden ontstonden hierbij door getijdenwerking, storm- en riviervloeden. Het voorkomen van grote hoeveelheden *Cenococcum geophilum* in de onderste centimeters van het basisveen in boorkern Eemmeerdijk wijzen op veenvorming onder relatief droge omstandigheden. Gezien het feit dat zelfs het basisveen in boorkern Winkelweg sterk is gedegradeerd, dit veen ligt permanent beneden de huidige grondwaterspiegel, geeft aan dat de omzetting van organische stof dateert uit de tijd dat het grondwater nabij het maaiveld stond. Sindsdien is de (grond)waterspiegel gestegen tot het moment van drooglegging van de polder.

De geïdentificeerde macroresten uit het *in situ* liggende basisveen, wijzen erop dat zich na de verdrinking van het dekzandbodem een broekbosvegetatie ontwikkelde, waarin elzen een belangrijke soort waren, naast wilgen en berken. Dit vegetatiebeeld sluit goed aan bij een zoetwatermilieu waarin laagveenontwikkeling plaatsvond onder invloed van een stijgende grondwaterspiegel.

Geochemische veranderingen bleven ook na permanente verdrinking plaatsvinden in de dekzandbodems en het basisveen. Uit het geochemisch deelonderzoek in het huidige project blijkt dat de samenstelling van de uitwisselbare ionen (de CEC) tot ruim na de afzetting of bodemvorming wordt beïnvloed. In de praktijk betekent dit dat in zoet water gevormd veen later via het grondwater een 'verzouting' kan ondergaan, terwijl in zout of brak water afgezette kleien later kunnen 'verzoeten'. Deze geochemische processen beïnvloeden aldus de kwaliteit van de begraven bodem en het basisveen, al moet nog veel duidelijk worden over de precieze effecten.

Tot slot heeft een veelheid aan menselijke verstorende ingrepen in de bodem plaatsgevonden, met name sinds de drooglegging van Zuidelijk Flevoland in 1968. Naast de verandering van het niveau en de kwaliteit van het grondwater (van zout naar zoet), vonden de meest radicale fysieke ingrepen plaats boven de huidige grondwaterspiegel tot ca. 1 m onder het huidige maaiveld. Het gaat hier vooral om landbouwkundige ingrepen als (diep)ploegen, mengwoelen en het aanleggen van drainagesystemen.

8.2 Implicaties voor archeologische waarden

In de voorgaande paragraaf zijn de processen geschetst die bepalend zijn voor de kwaliteit van de begraven dekzandbodem en de hierop liggende veenlaag. Deze processen bepalen indirect ook de kwaliteit van archeologische waarden die rond dit grensvlak voorkomen. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste processen die in dit onderzoek zijn geïdentificeerd en hun effect op archeologische waarden. Hierbij is een min of meer chronologische volgorde aangehouden. In Tabel 6 wordt per boorkern een overzicht gegeven van de kwaliteit van de begraven dekzandbodem en de basis van de afdekkende veenlaag met betrekking tot archeologische waarden.

Erosie en verspoeling

Vast staat dat op een aantal plaatsen erosie en verspoeling van de top van de dekzandbodem heeft plaatsgevonden. Voorts zijn in drie van de vier boorkernen archeologische vondsten gedaan, in de vorm van bot, vuursteen en houtskool. Alleen in boorkern Eemhof, waar volledige erosie van de dekzandbodem heeft plaatsgevonden, is geen archeologisch materiaal aangetroffen. Met nadruk moet erop gewezen worden dat de kans op het al dan niet voorkomen van archeologisch materiaal bij de keuze van de boorlocaties geen enkele rol speelde. Dit maakt het extra bijzonder dat toch in drie van de vier boringen archeologisch materiaal is aangetroffen; het bevestigt eens te meer de archeologische rijkdom van het gebied. Opvallend is dat het aangetroffen archeologisch materiaal tot vrij diep in het bodemprofiel voorkomt, in dekzandlagen die niet verspoeld lijken te zijn. Het is niet goed duidelijk hoe het materiaal op deze plaatsen terecht is gekomen. De conclusie is dat oppervlakkige verspoeling van dekzand de overvloedig aanwezige archeologische waarden, slechts ten dele heeft aangetast. In hoeverre de informatiewaarde van de archeologische vindplaatsen die ten dele zijn verspoeld is aangetast, is vanuit dit

onderzoek niet te beoordelen. Mogelijk valt dit mee: ook in de succesvolle opgraving 'Hoge Vaart' werd in een bodemkundig onderzoek oppervlakkige verspoeling van de top van de dekzandbodem vastgesteld (Spek *et al.*, 1997).

Het vaststellen van verspoeling van een dekzandlaag hoeft niet per definitie te betekenen dat de in deze laag aanwezige archeologische materialen ook verspoeld zijn. Door latere menselijke activiteiten op de verspoelde laag dekzand kan deze toch *in situ* liggende archeologische materialen bevatten. Anderzijds is wel duidelijk dat de verspoeling oudere archeologische vindplaatsen ter plaatse zal hebben aangetast, zodat de verspoelde laag tegelijkertijd *ex situ* en *in situ* liggend archeologisch materiaal uit verschillende perioden kan bevatten. De opzet van dit onderzoek was niet geschikt om dergelijke situaties te kunnen herkennen.

Archeologisch interessante locaties bestaan, behalve op de toppen van dekzandruggen, mogelijk ook op de lagere delen van hellingen in het dekzandlandschap, waar sites kunnen zijn afgedekt door van de hellingen afgespoeld zand. In boorkern Winkelweg is een dergelijk pakket aangetroffen van 54 cm dikte, waaronder vuursteensplinters en botfragmentjes in het oorspronkelijke bodemprofiel werden aangetroffen. Met de standaard prospectiemethoden met behulp van Edelman-boor en guts zullen deze vindplaatsen over het hoofd worden gezien, omdat het boorgereedschap niet geschikt is om zo diep in het dekzand door te dringen. Juist deze vindplaatsen echter, kunnen door de afdekking met dekzand zeer goed geconserveerd zijn.

Omzetting van plantaardige organische stof onder aërobe condities

Een belangrijk deel van het materiaal met archeologische informatiewaarde bestaat uit plantaardige organische stof. Uit het macrobotanische en micromorfologische onderzoek is naar voren gekomen dat de plantaardige organische resten in het bodemprofiel en aan de basis van de afdekkende veenlaag sterk zijn vergaan. Het is tevens duidelijk geworden dat dit degradatieproces zich overwegend reeds lang geleden heeft voltrokken. Het is belangrijk erop te wijzen dat duizenden jaren lang, vrij droge bodemcondities in de top van het dekzand heersten, waarin degradatie van organische stof in archeologische sites een volkomen natuurlijk proces was. Uit de basisveendateringen blijkt dat pas rond 5000 v. Chr. (mogelijk iets eerder) de grondwaterspiegel zodanig gestegen was dat in de laagste delen van het gebied conservering van organisch materiaal mogelijk werd. Vervolgens heeft het nog duizenden jaren geduurd voordat rond 2750 v. Chr. het hoogste deel van het gebied vernatte. Alleen in archeologische sites die dateren van juist voor de verdrinking van een bepaalde plek in het dekzandlandschap kan de organische stof eventueel goed geconserveerd zijn. Echter, de sterke omzetting van de veenlaag direct op het dekzand, wijst eerder op matige conserveringsomstandigheden. Dit komt waarschijnlijk door sterke wisseling van de grondwaterstanden ten tijde van veenvorming.

Tabel 6 De ligging en kwaliteit van de dekzandbodem en het basisveen in de vier boorkernen

	Winkelweg	Rassenbeektocht	Eemhof	Eemmeerdijk
Hoogteligging van dekzandoppervlak t.o.v. maaiveld	-1,95 m	-1,19 m	-1,96 m	-1,71 m
Hoogteligging van dekzandoppervlak m t.o.v. NAP	-5,52 m	-4,85 m	-4,30 m	-2,55 m
Ligging dekzandoppervlak t.o.v. huidige grondwater-spiegel (GW)	permanent onder GW	nabij gem. GW, waarschijnlijk periodiek boven GW	onder gem. GW, mogelijk periodiek boven GW	permanent boven GW
Ligging boorlocatie in dekzandlandschap	zwak hellend oppervlak	flank dekzandrug	zwak hellend oppervlak	top dekzandrug
Archeologische indicatoren	vuursteen, bot	bot, houtskool	houtskool	bot, houtskool
Erosie oorspronkelijke dekzandbodem	lichte erosie	sterke erosie, onthoofd bodemprofiel	zeer sterke erosie, bodem volledig geërodeerd	lichte erosie
Dikte verspoelde laag dekzand op oorspronkelijk (geërodeerd) bodemprofiel	54 cm [a]	=4 cm	ca. 20 cm (?) [b]	10 en 29 cm [c]
Kwaliteit veen op het dekzand	in situ	verslagen	basis is verslagen, daarboven in situ veen	in situ
Kwaliteit botanisch materiaal in dekzandbodem	slecht	slecht	slecht	slecht
Kwaliteit botanisch materiaal in veen op het dekzand	slecht	goed	slecht	slecht
Geochemische veranderingen na afzetting	'verzouting' veen	'verzoeting' klei	'verzoeting' klei	'verzoeting' klei
Recente verstorende ingrepen tot op het dekzandoppervlak	geen	geen	geen	geen [d]

[a] Verspoeling heeft duidelijk in meerdere fasen plaatsgevonden, leidend tot een pakket dat in totaal 54 cm dik is.
[b] De dikte van de verspoelde laag is geschat op basis van macroscopische profielwaarnemingen.
[c] Verspoeling heeft in ieder geval in twee fasen plaatsgevonden. De ondergrens van het onderste verspoelde pakket ligt 29 cm onder de zand-veen grens; de ondergrens van het bovenste verspoelde pakket ligt 10 cm onder de zand-veen grens.
[d] In kavel Nz 114 net naast boorlocatie Eemmeerdijk (boorlocatie ligt op dijkvoet) hebben wel verstorende ingrepen (diepploegen) tot op het dekzandoppervlak plaatsgevonden

Chemische veranderingen in het bodemprofiel

Vanaf het moment dat de waterspiegel zover was gestegen, dat het dekzandoppervlak buiten het bereik van de wisselende waterstanden was gekomen, waren de conserveringsomstandigheden van het organische materiaal in het algemeen beter door zuurstofarme condities. Tegelijkertijd echter vormde het water een medium

waarin chemische uitwisseling van ionen mogelijk was. In het huidige onderzoek is met name de uitwisseling van calcium en magnesium aan de orde gekomen. Hoewel nog veel onderzoek op dit gebied nodig is, valt te verwachten dat met name de kwaliteit van het botmateriaal gevoelig is voor deze chemische processen onder de grondwaterspiegel. Het grootste deel van het in het dekzand waargenomen botmateriaal was ontkalkt. Ontkalkt bot blijft (micro)morfologisch als bot herkenbaar. Het is onbekend wanneer de ontkalking van het bot in de slijpplaatjes heeft plaatsgevonden.

Verstorende ingrepen van de moderne mens

Eén van de belangrijkste verstorende ingrepen van de moderne mens is uiteraard de verlaging van de grondwaterspiegel geweest, waardoor relatief hoog liggende archeologische sites opnieuw aan zuurstof werden blootgesteld. Naar verwachting heeft dit geen grote consequenties gehad voor de kwaliteit van het totaal aan archeologische waarden in het studiegebied. Ten eerste ligt slechts een klein deel van het dekzandoppervlak in het gebied boven de huidige grondwaterspiegel. Ten tweede is hierboven al betoogd dat de kwaliteit van het organische materiaal ten tijde van verdrinking van het dekzandoppervlak al dermate slecht was, dat de hernieuwde aëratie niet veel betekenis meer heeft.

Fysieke verstorende ingrepen (zoals egalisatie, diepploegen en mengwoelen) vonden vooral plaats boven de huidige grondwaterstand tot maximaal ca. 1 m onder het maaiveld. De toppen van enkele begraven dekzandruggen in het zuiden en midden van het gebied werden hierbij aangetast. Een voorbeeld hiervan is te vinden nabij boorlocatie Eemmeerdijk. Onder het dijklichaam op de boorlocatie is de top van de dekzandrug nog niet verstoord, zoals ook te zien is in de boorkern. In boorkern Eemmeerdijk is bot en houtskool aangetroffen, zowel in de verspoelde laag als eronder. Op de akker naast de dijk (kavel Nz 114) is de bouwvoor lichtgekleurd door het aangeploegde dekzand dat hier plaatselijk slechts 0,5 m onder het maaiveld ligt. Een eventuele archeologische site zal hier door diepe grondbewerking zeker zijn vernietigd. Kansen bestaan echter nog op kavel Nz 113 (momenteel grasland) waar volgens de ons bekende gegevens geen diepe grondbewerking heeft plaatsgevonden (zie Figuren 20 en 21).

Op basis van de Figuren 20 en 21, (ongepubliceerde) zanddieptekaarten van de RIJP en enkele andere bronnen is een systematische evaluatie mogelijk van de kans op ongestoorde, natuurlijke, dekzandprofielen binnen 1 m onder het maaiveld. In het studiegebied zijn drie begraven dekzandcomplexen waarvan de hoogste delen tot binnen 1 m - mv reiken (Fig. 22).

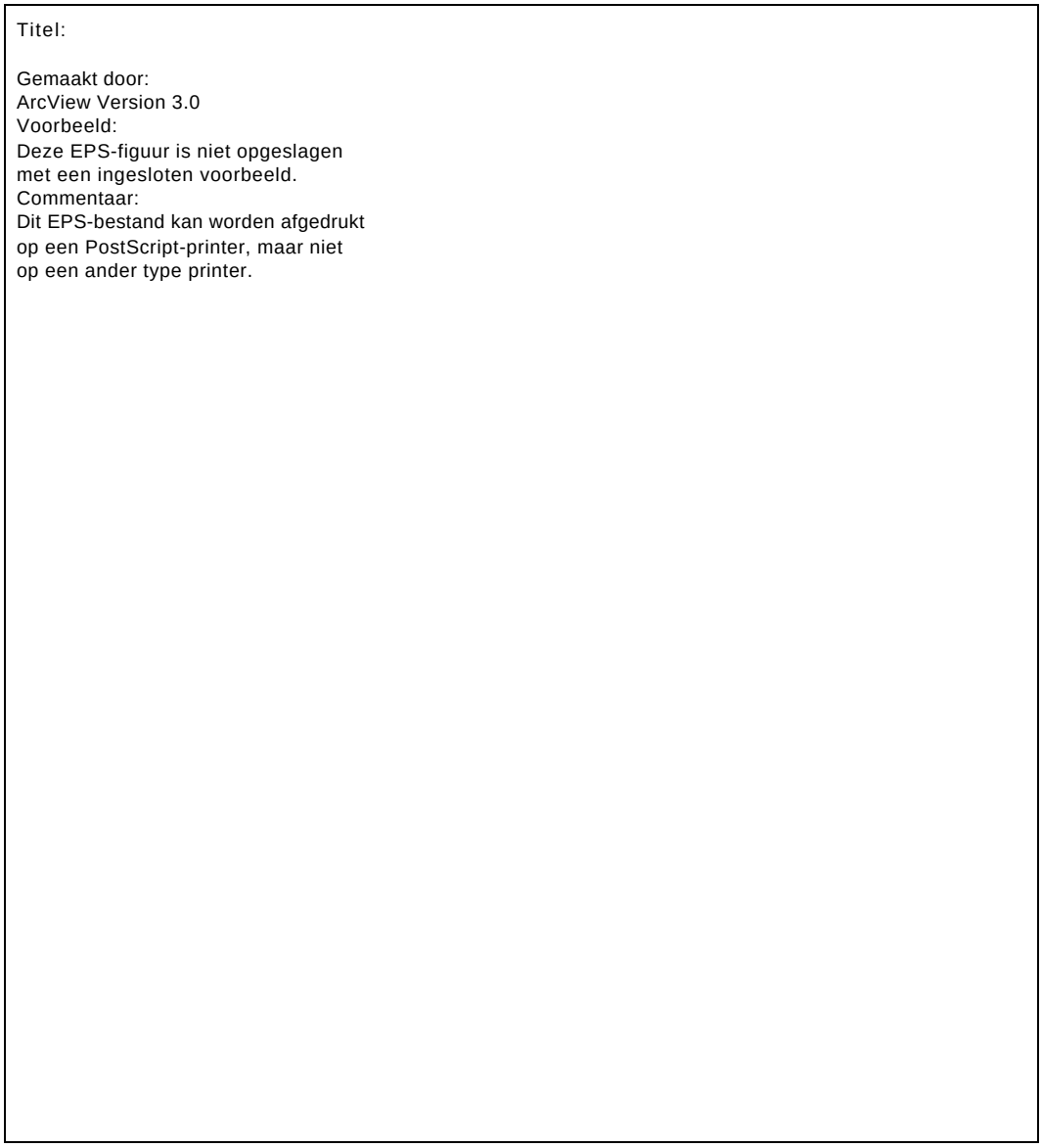


Fig. 22 Delen van het studiegebied waar het dekzandoppervlak ondieper dan 1 m onder het maaiveld voorkomt (Bronnen: ongepubliceerde gegevens RIJP; Heidemij, 1993; van der Heijden & van Eijk, 1996).

Allereerst is er een complex in het zuidoosten van het gebied in de kavels Nz 59, Nz 60 en Nz 61. Volgens de beschikbare gegevens heeft hier geen diepe grondbewerking plaats gevonden en bestaat er dus een aanzienlijke kans dat archeologische waarden op de dekzandrug nog niet zijn aangetast. Voorts is er, iets naar het westen, een hoog dekzandcomplex op kavels Nz 11, Nz 12, Nz 13, Nz 113 en Nz 114. Op dit complex is ook boorlocatie Eemmeerdijk gelegen. Hierboven is al gemeld dat op kavel Nz 114 verstoring van het dekzand door diepe grondbewerking heeft plaatsgevonden. Op de kavels Nz 12, Nz 13 en Nz 113 is geen verstoring dieper dan de bouwvoor (0,3 m - mv) bekend en bestaat dus ook aanzienlijke kans op onaangetaste archeologische

waarden. Op kavel Nz 11 ligt het natuurgebied Gruttoveld. Aangezien in veel natuurgebieden in Flevoland vroeger grote bodemingrepen hebben plaatsgevonden is het voorkomen van onverstoorde toppen van het dekzandcomplex hier allerminst zeker. Anderzijds melden van der Heijden en van Eijk (1996) dat hier natuurlijke bodemprofielen in het dekzand aanwezig zijn. Een derde dekzandcomplex beslaat de kavels Nz 7, Nz 8, Nz 9, Nz 10, Nz 70, Nz 71 en Nz 72. Diepe grondverstoring heeft plaatsgevonden op de kavels Nz 70 en Nz 71 in een strook van ca. 80 m breedte ten noordoosten van de Rassenbeektocht. In het overig deel van deze kavels is de top van het dekzand mogelijk nog onaangetast. In de kavels Nz 7, Nz 8, Nz 9 en Nz 10 blijkt geen diepe verstoring uit de beschikbare gegevens, enkele kleine gegraven poelen in het smalle natuurgebied Rassenbeektocht (noordoostrand van de kavels Nz 7, Nz 8 en Nz 9) daargelaten. Volgens van der Heijden en van Eijk (1996) is de top van het dekzand op kavel Nz 9 plaatselijk wel aangetast door landbouwactiviteiten. Uit boorkern Rassenbeektocht (B) blijkt ook aanzienlijke natuurlijke erosie van de noordflank van dit dekzandcomplex. Een kleine geïsoleerde dekzandopduiking is aanwezig op de kavels Nz 107 en Nz 108, vlakbij de Eemmeerdijk. Volgens de ons beschikbare gegevens hebben ter plaatse van de dekzandopduiking geen diepe bodemingrepen plaatsgevonden.

Samenvattend kan gesteld worden dat, ondanks de vele bodemingrepen in het studiegebied, er een grote kans is dat archeologische waarden gespaard zijn gebleven, zelfs op de hoogste delen van het begraven dekzandlandschap.

9 Conclusies en aanbevelingen

Uit voorgaande onderzoeken was naar voren gekomen dat in het studiegebied zeer belangrijke archeologische waarden verborgen zouden kunnen liggen. Alhoewel de huidige studie niet een archeologische waardering tot doel had, is uit de veldgegevens wel het beeld van een archeologisch rijk gebied ontstaan. Er zijn slechts vier boorkernen gestoken, waarvan drie in het studiegebied. In alledrie de boorkernen uit het studiegebied is archeologisch materiaal aangetroffen, in de vorm van bot, vuursteen en houtskool. Dit is opmerkelijk omdat bij de keuze van de boorlocaties niet gelet is op de kans op aanwezigheid van archeologische sites. De locatiekeuze werd bepaald door de wens monsters te kunnen verzamelen van verschillende bodemtypes, uit verschillende (paleo)landschappelijke eenheden, en van verschillende niveaus ten opzichte van de huidige grondwaterstand. De studie richtte zich op de gaafheid van de bodems in het begraven dekzandlandschap en op de kwaliteit van de hierop liggende laag basisveen op basis van een analyse van de vier gestoken boorkernen en van bestaande gegevens. Hieronder volgen de *conclusies* naar aanleiding van deze studie.

1. De bestudeerde begraven dekzandbodems hebben een zeer complexe ontstaanswijze, vanwege een afwisseling van fasen van erosie, afzetting van verspoeld dekzand en hernieuwde bodemvorming. Op enkele bestudeerde locaties overheerste erosie en worden incomplete (onthoofde) bodemprofielen aangetroffen, terwijl op andere plaatsen bodemvorming gepaard ging met overwegend accumulatie, waardoor een opeenstapeling van bodemprofielen ontstond.

2. Aangenomen mag worden dat, als gevolg van verspoelingsfasen, een deel van het archeologisch materiaal nabij het dekzandoppervlak niet meer *in situ* ligt. De indruk bestaat wel dat bij de verspoeling van de toplaag van het dekzand in het algemeen sprake was van een vrij rustig milieu waarin materiaal vaak slechts over kleine afstanden werd verplaatst. Een deel van de aangetroffen archeologische indicatoren bevindt zich ook dieper in intacte delen van de dekzandbodem. In hoeverre de informatiewaarde van de archeologische vindplaatsen die ten dele zijn verspoeld is aangetast, is vanuit dit onderzoek niet te beoordelen.

3. Het plantaardige organische materiaal in de dekzandbodem en in de afdekkende veenlaag is in het algemeen sterk omgezet en bevat weinig herkenbare botanische macroresten. De omzetting van het plantaardige materiaal is niet recent, maar dateert van voor de verdrinking van het dekzandlandschap. De eerste veenvorming op het dekzand vond waarschijnlijk plaats onder sterk wisselde waterstanden, waardoor periodiek omzetting van het pas gevormde veen plaats kon vinden. Later onstonden pas permanent natte condities. Het grootste deel van het (micromorfologisch) waargenomen botmateriaal in het dekzand is ontkalkt. Daarnaast is een deel

van het bot verbrand en komen ook kleine afgeronde botfragmentjes voor, die als sediment lijken te zijn getransporteerd en afgezet.

4. Uit ^{14}C-dateringen van het basisveen blijkt dat de verdrinking van het dekzandlandschap in het studiegebied door stijging van de grondwaterspiegel (als gevolg van zeespiegelstijging) een geleidelijk proces was dat duizenden jaren in beslag heeft genomen. De laagste delen van het dekzandlandschap kwamen kort voor 5000 v. Chr. al binnen bereik van het stijgende grondwater, terwijl de hoogste delen pas rond 2750 v. Chr. definitief overstroomden.

5. Uit het geochemisch deelonderzoek binnen het huidige project is gebleken dat de grenslaag tussen dekzand en veen na verdrinking nog belangrijke veranderingen in geochemische eigenschappen kan ondergaan. Dit bemoeilijkt de ontwikkeling van archeologische prospectiemethoden gebaseerd op geochemische karakteristieken.

6. In een groot deel van het studiegebied hebben sinds de drooglegging van de polder verstorende ingrepen in de bodem plaatsgevonden. Het gaat hierbij vooral om graafwerkzaamheden ten behoeve van de aanleg van de polders en latere agrarische grondwerkzaamheden als (diep)ploegen, mengwoelen, scheuren van grasland, egalisatie en het aanleggen van drainage. De beschikbare gegevens suggereren dat het begraven dekzandlandschap, en de hiermee geassocieerde archeologische waarden, hierdoor nauwelijks zijn aangetast. De ingrepen hebben vrijwel nergens dieper gereikt dan 1 m onder het huidige maaiveld. Slechts in een klein deel van het gebied ligt het dekzandoppervlak binnen 1 m onder het huidige maaiveld, terwijl bovendien in een deel hiervan menselijke ingrepen dermate ondiep zijn geweest dat het dekzandoppervlak gespaard is gebleven.

De huidige studie is grotendeels gebaseerd op een steekproef van geringe omvang. Het is een bewuste keuze geweest om in groot detail te kijken naar een beperkte hoeveelheid hoogwaardig materiaal uit het veld, in plaats van om vlakdekkende veldgegevens van een veel lagere kwaliteit te verzamelen. Als gevolg van deze keuze is nu meer inzicht verkregen in de complexe ontstaanswijze van de begraven dekzandbodems, hetgeen belangrijke consequenties heeft voor de inschatting van archeologische waarden. De *aanbevelingen* voor verder onderzoek die hieronder worden gedaan, borduren voort op deze aanpak.

1. In het huidige onderzoek zijn archeologische en aardkundige waarden vastgesteld die ruim onder de top van het dekzand liggen. Het gaat hier om archeologische indicatoren als vuursteensplinters en botfragmentjes die begraven zijn onder een pakket verspoeld dekzand (boorkern Rassenbeektocht), en om een zeer goed geconserveerde oude veenlaag uit het Bølling-interstadiaal (13.000 - 12.000 ^{14}C-jaren geleden). Deze laatste laag bevat waarschijnlijk een rijkdom aan paleo-ecologische informatie uit een tijdvak waarvan nog relatief weinig bekend is. Het door dekzand afgedekte

archeologische materiaal vertegenwoordigt mogelijk een relatief goed geconserveerde oudere site van ruim vóór de verdrinking van het dekzandlandschap. Bij een wetenschappelijke waardering van het bodembeschermingsgebied mogen dergelijke dieper gelegen aardkundige en archeologische waarden niet over het hoofd worden gezien.

2. In het huidige onderzoek is aangetoond dat er een grote bodemkundige variatie aanwezig is in het begraven dekzandlandschap, die zeer relevant is voor archeologische waardering. Het mag verwacht worden dat er een bepaalde systematiek in deze variatie schuilt, die in het huidige onderzoek niet ten volle in beeld kon worden gebracht. Een vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op de relatie tussen de verschillende bodemtypen en de ligging in het begraven landschap. Welke bodemtypes komt men achtereenvolgens tegen als men van de top van een dekzandrug langs de helling omlaag gaat tot in een beekdal? Een dergelijke opeenvolging van ideale bodemprofielen noemt men in de bodemkunde een catena. Met behulp van een dergelijke catena zouden bodemkundig-archeologische zones in het gebied onderscheiden kunnen worden.

3. Een curve die de stijging van de grondwaterspiegel in de tijd weergeeft, maakt het mogelijk voor ieder tijdstip een gebied af te grenzen waar in principe bewoning mogelijk was. In dit onderzoek is de stijging van de grondwaterspiegel voor het studiegebied globaal in beeld gebracht (Fig. 12). Er zijn echter nog belangrijke vragen. Waarom liggen de meeste tijddieptegegevens uit het studiegebied in Figuur 12 boven de curve voor gemiddeld zeeniveau? Wat was de belangrijkste oorzaak van de waargenomen wisselingen in de (grond)waterspiegel (getijdeninvloed, hoge rivierstanden, stormvloeden) waardoor het basisveen sterk werd omgezet? De best geconserveerde archeologische sites op het dekzandoppervlak dateren uit de periode van vlak voor de verdrinking. Een vervolgonderzoek dat leidt tot meer inzicht in de details van het verdrinkingsproces helpt bij een betere milieu-interpretatie van deze sites.

4. Uit het huidige onderzoek is gebleken dat zich na begraving van het dekzandoppervlak nog belangrijke chemische veranderingen in het bodemprofiel afspelen. Deze veranderingen kunnen een grote invloed hebben op de conservering van archeologische materialen. Vaak wordt ervan uitgegaan dat archeologische materialen onder de grondwaterspiegel in principe goed geconserveerd blijven. De kwaliteit van het grondwater speelt echter ook een belangrijke rol. Met name rond de conservering van bot in het dekzand zijn wat dit betreft nog vele vraagtekens. Onder bepaalde omstandigheden kan dit materiaal oplossen. Voor het ontwikkelen van een duurzaam beheer van het archeologisch erfgoed in het studiegebied, is een onderzoek naar de invloed van geochemische en hydrologische processen op de kwaliteit van botmateriaal zonder meer aan te bevelen.

Naast deze aanbevelingen voor verder onderzoek, kunnen ook aanbevelingen worden gedaan voor een verantwoord beheer van de archeologische waarden in het studiegebied.

1. Geadviseerd wordt het grondwater voorlopig te handhaven op het huidige peil. Gezien het feit dat het organische materiaal in het basisveen en de dekzandbodem zowel boven als onder de huidige grondwaterspiegel reeds sterk is omgezet heeft het verhogen van de grondwaterstand vanuit conserveringsoogpunt weinig zin. Verlaging moet echter ook worden ontraden om al te grote inklinking van het bodemmateriaal tegen te gaan. De geologische opbouw van het gebied is zodanig dat het gehalte aan organische stof in de afzettingen sterk toeneemt met de diepte. Een kleine verlaging van de grondwaterstand veroorzaakt het vrijkomen van grote hoeveelheden organisch materiaal voor oxidatie. Juist de oxidatie van organische stof veroorzaakt de meeste inklinking. Inklinking betekent dat het dekzandoppervlak dichter onder het maaiveld komt te liggen en eventueel binnen het bereik van verstorende landbouwkundige bodemingrepen.

2. Aanbevolen wordt diepe bodembewerking (30 tot 85 cm onder het maaiveld) te beperken tot die percelen waar het dekzandoppervlak zich volgens de huidige gegevens dieper dan 1 m onder het maaiveld bevindt. Een uitzondering zou kunnen worden gemaakt voor die (delen van) percelen waar in het verleden al diepe bodembewerking heeft plaatsgevonden. Volgens de archiefgegevens die voor het huidige onderzoek zijn geraadpleegd, is dit laatste maar op enkele plaatsen het geval. Zoals hiervoor al is gesteld, geven de archiefgegevens (mogelijk) een incompleet beeld. Het is derhalve aan te raden, door middel van gericht booronderzoek de juistheid van de archiefgegevens te controleren.

3. Door inklinking van het holocene sedimentpakket zullen reliëfverschillen aan het maaiveld in de komende tientallen jaren toenemen. De mate van inklinking is direct gerelateerd aan de dikte van het holocene pakket. Door de geringe dikte van het holocene pakket op dekzandruggen zal klink hierop beperkt zijn, terwijl naast de ruggen het maaiveld sterker zal dalen. Vanuit landbouwkundig oogpunt is in verband met een efficiënte bedrijfsvoering, egalisatie van percelen gewenst. Egalisatie echter, leidt ertoe dat archeologische waarden op dekzandruggen dichter onder het maaiveld komen te liggen en eventueel binnen bereik van (diepe) grondbewerking. Derhalve moet egalisatie ontraden worden. Ook vanuit het oogpunt van aardkundige waarden en landschappelijke diversiteit is egalisatie ongewenst.

Literatuur

Bakker, H. de & J. Schelling, 1989, Systeem voor bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. Centrum voor Landbouwpublicaties en Documentaties, Wageningen.

Bisdom, E.B.A. & D. Schoonderbeek, 1983, The characterization of the shape of mineral grains in this sections of soils by Quantimet and BESI. Geoderma 30, pp. 303-332.

Boelens, J.J. & E. Koning, 1986, Grondverbetering in de IJsselmeerpolders. Flevobericht 267, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad, 152 p.

Doppert, J.W.C., G.J.H., Ruegg, C.J. van Staalduinen, W.H. Zagwijn & J.G. Zandstra, 1975, Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. In: W.H. Zagwijn & C.J. van Staalduinen (Eds.), Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, pp. 11-56.

Ente, P.J. & A.J. Wiggers, 1963, Over de bodemgesteldheid van Zuidelijk Flevoland. Van zee tot land 34, Directie van de Wieringermeer (IJsselmeerpolders), 56 p.

Gotjé, W., 1997a, De vegetatie op en rond een mesolithische en vroeg-neolithische vindplaats: een ecologisch onderzoek aan drie kernen op de vindplaats Hoge Vaart. BIAXiaal 36, BIAX *Consult*, Amsterdam, 33 p. (is ook verschenen als deel 9 in Hogestijn & Peeters, 2001)

Gotjé, W., 1997b, Het landschap in Zuidelijk Flevoland tussen 9500 en 4300 BP; een landschapsreconstructie in het gebied Wet Bodembescherming. BIAXiaal 40, BIAX *Consult*, Amsterdam.

Heijden, F.J.G. van der & J.H.M. van Eijk, 1996, Een aanvullende archeologische inventarisatie van een deel van het Eemstroomgebied Zuidelijk Flevoland. Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Amersfoort.

Heidemij, 1993, Atlas: pleistoceen zand in Zuidelijk Flevoland. Rapportnummer 635/EA93/C326/21083, Heidemij Advies.

Heunks, E., 1995, Bedreigingen van het bodemarchief door landbouwkundige bodemtechnische ingrepen: een oriëntatie. RAAP-rapport 100, RAAP, Amsterdam, 62 p.

Hoek, W.Z., 1997, Palaeogeography of Lateglacial vegetations; aspects of Lateglacial and Early Holocene vegetation, abiotic landscape, and climate in The Netherlands. Nederlandse Geografische Studies 230, Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, Utrecht, 147 p.

Hogestijn, J.W.H. & J.H.M. Peeters (Eds.), 2001, De mesolithische en vroeg-neolithische vindplaats Hoge Vaart – A27 (Flevoland). Rapportage Archeologische Monumentenzorg 79, Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Amersfoort, 20 delen.

IWACO, 1999, Hydrologische modelberekeningen vernatting Hulkesteinse Bos. Rapport IWACO, Rotterdam, 21 p.

Jelgersma, S., 1980, Late Cenozoic sea level changes in the Netherlands and the adjacent North Sea basin. In: N.-A. Mörner (Ed.), Earth rheology, isostasy and eustasy. Wiley, London, pp. 435-447.

Jensen, H.A., 1975, Cenococcum geophilum Fr. In arable soil in Denmark. Særtryk af Friesia X, 1-5, pp. 300-413.
Jongerius, A. & G. Heintzberger, 1975, Methods in soil micromorphology; a technique for the preparation of large thin sections. Soil Survey Papers 10, Soil Survey Institute, Wageningen.
Koning, J. & P.J. Ente, 1986, De bodemkundige code- en profielenkaart van Zuidelijk Flevoland, schaal 1:25.000. Flevobericht 271. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad. 23 p.
Kooistra, M.J., 1990, The future of soil micromorphology. In: L.A. Douglas (Ed.), Soil micromorphology. Amsterdam, Elsevier, pp. 1-8.
Kooistra, M.J., 1991, A micromorphological approach to the interactions between soil structure and soil biota. Agriculture, Ecosystems and Environment 34, pp. 315-328.
Lenselink, G., 1996, Bodemarchief a) bewoningsgeschiedenis. In: Spierings, M. & H. Bos (eds.), Westelijk van de Knardijk, Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad, pp. 57-64.
Makaske, B., D.G. van Smeerdijk, J.R. Mulder & T. Spek, 2002, De stijging van de waterspiegel nabij Almere in de periode 5300-2300 v. Chr. Alterra-rapport 478, Alterra, Wageningen, 105 p.
Margadant, W.D. 1973, (voorlopige tabellen) Beknopte blad- en levermosflora van Nederland. KNNV, Hoogwoud.
Marinelli, M.G. & S. Wentink, 1998, Gebiedsgericht project Eemgebied. Provincie Flevoland. Een archeologische verwachtingskaart in het kader van de BGM. RAAP-rapport 340, RAAP Archeologisch Adviesbureau, Amsterdam. 46 p.
Menke, U., E. van de Laar, & G. Lenselink, 1998, De geologie en bodem van Zuidelijk Flevoland. Flevobericht 415, Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad, 93 p.
Peeters, H., B. Makaske, J. Mulder, A. Otte-Klomp, D. van Smeerdijk, S. Smit, & T. Spek, in druk, Elements for archaeological heritage management: exploring the archaeological potential of drowned Mesolithic and Early Neolithic landscapes in southern Flevoland. Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek 45, pp. 83-125.
Plassche, O. van de, 1982, Sea-level change and water-level movements in the Netherlands during the Holocene. Mededelingen Rijks Geologische Dienst 36-1, 93 p.
Plicht, J. van der, 1993, The Groningen radiocarbon calibration program. Radiocarbon 35, pp. 231-237.
Provincie Flevoland, 2000, Ontwerp omgevingsplan. Provincie Flevoland, Lelystad.
Rijkswaterstaat (RWS), 1996, Westelijk van de Knardijk. Inrichting en ontwikkeling van Zuidelijk Flevoland 1968-1996. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad, 259 p.
Smeerdijk, D.G. van, 1989, Alder car, growth and drowning in the IJsselmeer region, an aspect of Dutch coastal development. Acta Botanica Neerlandica 38, pp. 477-491.
Smith., A.J.E., 1980, The Moss Flora of Britain and Ireland. Cambridge University Press, Cambridge.

Spek, T., E.B.A. Bisdom, & D.G. van Smeerdijk, 1997, Verdronken dekzandgronden in Zuidelijk Flevoland (archeologische opgraving 'A27-Hoge Vaart'): een interdisciplinaire studie naar de veranderingen van bodem en landschap in het Mesolithicum en Vroeg-Neolithicum. Rapport 472.1, DLO – Staring Centrum, Wageningen, 187 p. (is ook verschenen als deel 7 in Hogestijn & Peeters, 2001)

Stortelder, A.F.H., J.H.J Schaminée & P.W.F.M. Hommel, 1999, De vegetatie van Nederland 5. Opulus Press, Uppsala.

Stuiver, M. & P.J. Reimer, 1993, Extended ^{14}C data base and revised CALIB 3.0 ^{14}C age calibration program. Radiocarbon 35, pp. 215-230.

Törnqvist, T.E. & M.P.F. Bierkens, 1994, How smooth should curves be for calibration of radiocarbon ages? Radiocarbon 36, pp. 11-26.

Weerts, H.J.T., P. Cleveringa, J.H.J. Ebbing, F.D. de Lang, & W.E. Westerhoff, 2000, De lithostratigrafische indeling van Nederland; Formaties uit het Tertiair en Kwartair. TNO-rapport 00-95-A, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht.

Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen (Eds.), 1975, Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 134 p.

Bijlage 1

Resultaten van de macrorestenanalyse:
(A) Boorkern Winkelweg
(B) Boorkern Rassenbeektocht
(C) Boorkern Eemhof
(D) Boorkern Eemmeerdijk

Bijlage 1A Resultaten van de macrorestenanalyse van boorkern Winkelweg

diepte in m onder maaiveld (bovenzijde monster)	1,87-1,94	1,944	1,954	1,964	1,974	1,984	1,994	2,004	2,014	2,024	2,034	2,044	2,054	
diepte in m onder NAP (bovenzijde monster)	5,44-5,51	5,515	5,525	5,535	5,545	5,555	5,565	5,575	5,585	5,595	5,605	5,615	5,625	
hoeveelheid residu	redelijk	redelijk	redelijk	redelijk	matig	matig	matig	weinig	matig	matig	matig	weinig	matig	
Afbraak	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	
Groep 1: niet nader te identificeren macroresten														
monocotylen wortels (fijn) (%)	5	5	5	.	5	5	10	20	10	25	5	5	20	
donkere fijne worteltjes (%)	10	10	10	10	25	60	65	75	50	50	50	30	.	
wortels met mycorrhiza (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	10	5	
houtige worteltjes (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25	
hout en of takjes (%)	70	80	50	60	50	15	.	5	15	10	20	50	20	
Ericaceae takjes (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	Heide
gefragmenteerd plantenmateriaal (grover) (%)	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
indet plantenmateriaal (%)	.	.	30	25	15	15	20	.	10	5	5	.	.	
bastfragmenten (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	5	.	25	
Groep 2: niet-botanische macroresten														
Insecten	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
dierlijke resten	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	
Groep 7: macroresten van moerasbos														
Alnus spec. hout (%)	40	.	.	.	+	.	.	.	.	.	20	.	20	Els
Alnus spec. Wortelhout (%)	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Els
Betula spec. (vrucht)	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Berk
Salix spec. hout (%)	35	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Wilg
Cenococcum geophilum (bodemschimmel)	.	.	50	4	66	125	205	140	90	155	95	18	40	
Groep 8: Diversen														
Quercus spec. hout (%)	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Eik
Carex acuta / C. nigra type (nootje)	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Scherpe / Zwarte zegge

Bijlage 1B Resultaten van de macrorestenanalyse van boorkern Rassenbeektocht

diepte in m onder maaiveld (bovenzijde monster)	1,140	1,150	1,160	1,170	1,180	1,185	1,190	1,200	1,210	1,220	1,230	1,240	1,250	1,260	1,270	1,280	2,180	2,190	
diepte in m onder NAP (bovenzijde monster)	4,804	4,814	4,824	4,834	4,844	4,849	4,854	4,864	4,874	4,884	4,894	4,904	4,914	4,924	4,934	4,944	5,844	5,854	
hoeveelheid residu	redelijk	redelijk	veel	redelijk	redelijk	redelijk	z. weinig	weinig	weinig	z weinig	z weinig	z weinig	weinig	weinig	z weinig	z weinig	veel	veel	
afbraak	z sterk	z. sterk	z sterk	z sterk	z sterk	sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	weinig	weinig	
Groep 1: niet nader te identificeren macroresten																			
monocotylen wortels (grover) (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	
monocotylen wortels (fijn) (%)	.	.	10	10	5	5	10	10	10	30	20	20	20	10	20	40	.	.	
donkere fijne worteltjes (%)	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
wortels met mycorrhiza (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	5	5	.	10	10	10	10	20	.	.	
houtige worteltjes (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	10	40	40	30	50	65	55		.	.	
houtige wortels (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	5	20	20	10	5	15	10	30	.	.	
hout en of takjes (%)	15	15	15	30	50	40	.	10	.	.	.	.	5	1	.	.	.	.	
hout (takjes) verkoold (%)	.	.	+	5	.	.	.	.	5	.	10	25	5	.	.	.	.	.	
gefragmenteerd plantenmateriaal (verkoold) (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	5	.	.	
gefragmenteerd plantenmateriaal (grover) (%)	75	80	75	50	45	50	90	80	65	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
bastfragmenten (%)	5	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Groep 2: niet-botanische macroresten																			
insecten	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
dierlijke resten	+	+	.	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
mijten	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	
Groep 3: micro-organismen uit zoet water									.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Daphnia pulex type (ephippium)	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Lophopus crystallinus (ephippium)	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Plumatella spec. (stotablast)	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Groep 4: macroresten van oever- en moerasvegetaties																			
Alisma plantago-aquatica (vrucht)	.	.		.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Grote waterweegbree
Carex acuta / C. nigra type	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Scherpe / Zwarte zegge
Carex paniculata (nootje)	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Pluimzegge
Carex pseudocyparus (nootje)	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Hoge cyperzegge
Carex rostrata / C. vescicaria (nootje)	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Snavelzegge / Blaaszegge
Carex spec. (nootje)	2	1	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zegge
Carex spec. (klein nootje)	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zegge
Carex (hoekig nootje)	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Zegge
Hydrocotyle vulgaris (vrucht)	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Waternavel
Mentha aquatica (zaad)	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Watermunt
Menyanthes trifoliata (zaadfragmenten)	1	2	2	1	3	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Waterdrieblad
Oenanthe aquatica (vrucht)	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Watertorkruid
Phragmites australis (epidermis) (%)	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Riet
Phragmites australis (schubje)	2	1	3	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Riet
Phragmites australis (vrucht)	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Riet
Scirpus lacustris (vrucht)	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Mattenbies
Typha spec. (zaad)	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Lisdodde
Groep 5: macroresten van waterplanten																			
Hippurus vulgaris (zaad)	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Lidsteng
Nymphaea alba (zaadfragmenten)	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Witte waterlelie

Bijlage 1B (vervolg)

diepte in m onder maaiveld (bovenzijde monster)	1,140	1,150	1,160	1,170	1,180	1,185	1,190	1,200	1,210	1,220	1,230	1,240	1,250	1,260	1,270	1,280	2,180	2,190	
diepte in m onder NAP (bovenzijde monster)	4,804	4,814	4,824	4,834	4,844	4,849	4,854	4,864	4,874	4,884	4,894	4,904	4,914	4,924	4,934	4,944	5,844	5,854	
Groep 6: macroresten van hoogveenplanten							.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Myrica gale hout (%)	1	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gagel
Myrica gale (vruchtdelen)	3	1	4	3	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Gagel
Eriophorum vaginatum (sklerenchym spoelen)	7	4	9	.	.	1	3	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Eenarig wollegras
Molinia caerulea (vrucht)	.	.	1	1	.	.	.		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Pijpestrootje
Potentilla erecta (vrucht)	.	2	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Tormentil
Polytrichum strictum (bladscheden)	.	1	1	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Sphagnum cuspidatum (grote blaadjes)	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Sphagnum palustre (blaadjes)	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Sphagnum spec. (blaadjes)	2	1	3	1	.	.	1	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Sphagnum spec. (operculum)	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
mosblaadjes	.	.	3	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Groep 7: macroresten van moerasbos																			
Alnus spec. (vrucht)	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Els
Alnus spec. (propje)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Els
Betula spec. hout (%)	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Berk
Betula spec. periderm	.	.	+	+		+	+	+		.	.	.	.	.	.	.	.	.	Berk
Betula spec. (vrucht)	1	2	2	5	1	.	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Berk
Betula spec. (katjesschub)	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Berk
Salix spec. hout (%)	.	.	.	30	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Wilg
Cenococcum geophilum (bodemschimmel)	>10	.	70	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	
Groep 8: Diversen																			
Bladmos-1 (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	95	95	
Bladmos-2 (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	
Carex spec. (3 type nootjes)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	Zegge
Ranunculus sceleratus (vrucht)	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
diverse fragmenten	.	1	1	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2?	.	
zaadfragment	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	

Bijlage 1C Resultaten van de macrorestenanalyse van boorkern Eemhof

diepte in m onder maaiveld (bovenzijde monster)	1,709	1,722	1,722	1,742	1,772	1,812	1,837	1,862	1,872	1,882	1,892	1,907	1,922	1,932	1,947	1,952	1,967*	1,967*	1,982	1,992	
diepte in m onder NAP (bovenzijde monster)	4,045	4,058	4,058	4,078	4,108	4,148	4,173	4,198	4,208	4,218	4,228	4,243	4,258	4,268	4,283	4,288	4,303*	4,303*	4,318	4,328	
hoeveelheid residu	weinig	weinig	redelijk	weinig	redelijk	redelijk	redelijk	redelijk	redelijk	weinig	weinig	matig	weinig	redelijk	redelijk	redelijk	z. weinig	weinig	weinig	weinig	
afbraak	z. sterk	z. sterk	z. sterk	z. sterk	z. sterk	z. sterk	z. sterk	z. sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	
Groep 1: niet nader te identificeren macroresten																					
monocotylen wortels (grover) (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	15	.	.	10	
monocotylen wortels (fijn) (%)	15	.	+	5	5	10	5	15	15	20	20	15	15	10	10	25	50	10	25	50	
donkere fijne worteltjes (%)	.	.	.	.	.	.	.	50	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	
wortels met mycorrhiza (%)	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	
houtige worteltjes (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	60	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	
houtige wortels (%)	.	.	.	.	.	+	.	10	.	.	10	.	60	.	.	.	.	.	.	.	
hout en of takjes (%)	30	.	95	80	85	90	85	15	25	10	50	25	25	60	70	30	25	40	40	.	
gefragmenteerd plantenmateriaal (zeer fijn) (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25	.	.	10	10	.	20	.	.	
gefragmenteerd plantenmateriaal (grover) (%)	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	.	.	
indet plantenmateriaal (%)	30	.	.	.	1	.	5	.	25	.	.	.	.	10	10	.	.	.	30	.	
bastfragmenten (%)	.	.	.	.	5	.	5	5	.	.	.	.	+	.	+	5	.	+	.	.	
bladfragmenten (%)	.	.	.	.	.	+	.	.	5	.	15	5	.	.	.	+	.	.	.	.	
knopschub	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	7	.	1	2	.	.	.	.	.	
knop	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Groep 2: niet-botanische macroresten																					
insecten	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	+	.	.	+	.	+	.	+	+	.	
Conomelis anceps (vleugel)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	
dierlijke resten	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Groep 3: organismen uit zoet water																					
Daphnia pulex type (ephippium)	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	
Simocephalus spec. (ephippium)	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Groep 4: macroresten van oever- en moerasvegetaties																					
Phragmites australis (epidermis) (%)	20	.	.	.	5	.	+	.	20	+	.	10	.	20	.	15	.	.	5	40	Riet
Phragmites australis (schubje)	.	.	.	.	.	.	.	.	13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	Riet
Carex acuta / C. nigra type (nootje)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3	.	.	.	1	.	.	.	.	Scherpe / Zwarte zegge
Carex disticha (nootje)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	Tweerijige zegge
Carex spec. (nootje)	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	Zegge
Carex spec. (klein nootje)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	Zegge
Juncus spec. (zaad)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	Rus
Groep 7: macroresten van moerasbos																					
Alnus spec. hout (%)	.	100	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.	Els
Alnus spec. wortelhout (%)	.		95	80	85	90	45	+	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	Els
Alnus spec. (vrucht)	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	1	4	.	.	.	.	.	.	.	.	Els
Alnus spec.(propje)	.	.	.	.	.	stukje?	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	Els
Betula spec. wortelhout (%)	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	Berk
Betula spec. periderm (%)	5	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Berk
Betula pendula (vrucht)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	3	.	4	4	.	Ruwe berk
Betula spec. (vrucht)	.	.	.	.	.	.	.	.	5		2	25	.	1	.	2	.	.	2	.	Berk
Betula spec. (katjesschub)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	16	.	.	.	3	.	1	.	.	Berk
Betula spec. (helmknop)	.	.	.	.	.	.	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Berk
Cenococcum geophilum (bodemschimmel)	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3	.	
Groep 8: Diversen																					
mosblaadjes	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	
mostakje	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	1	.	.	

* Het monster van 1,967 m -mv kon worden gesplitst in een zandig en een venig deel die apart geanalyseerd zijn. Het eerst genoemde monster betreft het zandige deel en het laastgenoemde het venige deel.

Bijlage 1D Resultaten van de macrorestenanalyse van boorkern Eemmeerdijk

diepte in m onder maaiveld (bovenzijde monster)	1,612	1,627	1,637	1,652	1,667	1,677	1,687	1,697	1,707	1,717	1,727	1,737	1,747	1,757	1,767
diepte in m onder NAP (bovenzijde monster)	2,454	2,469	2,479	2,494	2,509	2,519	2,529	2,539	2,549	2,559	2,569	2,579	2,589	2,599	2,609
hoeveelheid residu	matig	redelijk	matig	matig	redelijk	matig	matig	weinig	weinig	redelijk	redelijk	redelijk	weinig	weinig	weinig
afbraak	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk	z sterk
Groep 1: niet nader te identificeren macroresten															
monocotylenwortels (grover) (%)	5	5	5	5	.	.	.	10	.	.	.	5	.	20	10
monocotylenwortels (fijn) (%)	10	10	10	10	15	10	10	20	25	20	20	10	25	10	30
donkere fijne worteltjes (%)	20	15	.	.	10	20	10	10	20	15	10	.	.	.	20
wortels met mycorrhiza (%)	.	.	5	5	5	.	.	+	.	5	10	.	.	10	5
houtige worteltjes (%)	.	10	10	10	.	20	5	.	.	.	.	.	10	.	10
houtige wortels (%)	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	10	.	10	.
hout en of takjes (%)	10	20	15	10	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.
hout (takjes) verkoold (%)	.	5	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
gefragmenteerd plantenmateriaal (verkoold) (%)	.	.	5	+			5	5	5	1	+	5	5	5	10
gefragmenteerd plantenmateriaal (zeer fijn) (%)	20	20	20	20	30	20	40	20	20	30	50	40	50	40	15
gefragmenteerd plantenmateriaal (grover) (%)	.	.	.	.	30	20	20	30	10	20	.	20	.	.	
indet plantenmateriaal (%)	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
bastfragmenten (%)	25	5	10	20	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Groep 2: niet-botanische macroresten															
insecten	+	+	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
dierlijke resten	.	+	+	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.
Groep 7: macroresten van moerasbos															
Alnus spec. hout (%)	.	20	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Betula spec. (vrucht)	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cenococcum geophilum (bodemschimmel)	198	375	303	564	354	398	466	220	295	166	168	195	140	172	135

Bijlage 2

Zandgehalte van de monsters die op macrorestensamenstelling zijn onderzocht

Bijlage 2 Zandgehalte van de monsters die op macrorestensamenstelling zijn onderzocht

diepte (m - mv)	diepte (m - NAP)	volume (ml)	zand >170 µm (ml)	zand <170 µm (ml)	zand >170 µm (%)	zand <170 µm (%)	zand totaal (%)
Boorkern Winkelweg							
1,870	5,440	58,0	-	-	-	-	-
1,944	5,515	11,0	-	-	-	-	-
1,954	5,525	12,0	0,1	0,2	0,8	1,7	2,5
1,964	5,535	9,0	0,2	0,5	2,2	5,6	7,8
1,974	5,545	9,5	0,6	1,7	6,3	17,9	24,2
1,984	5,555	9,0	1,0	2,1	11,1	23,3	34,4
1,994	5,565	11,0	1,9	4,7	17,3	42,7	60,0
2,004	5,575	9,0	2,5	3,5	27,8	38,9	66,7
2,014	5,585	9,0	1,5	4,0	16,7	44,4	61,1
2,024	5,595	9,0	1,5	4,0	16,7	44,4	61,1
2,034	5,605	9,0	1,5	4,0	16,7	44,4	61,1
2,044	5,615	8,0	1,8	4,0	22,5	50,0	72,5
2,054	5,625	10,0	2,0	5,0	20,0	50,0	70,0
Boorkern Rassenbeektocht							
1,140	4,804	9,5	-	0,1	-	0,5	0,5
1,150	4,814	9,0	-	-	-	-	-
1,160	4,824	8,0	0,1	<0,1	0,6	<1,0	>0,6
1,170	4,834	10,0	0,2	0,5	2,0	5,0	7,0
1,180	4,844	10,0	0,4	0,4	3,5	4,0	7,5
1,185	4,849	6,0	0,7	0,7	11,7	11,7	23,3
1,190	4,854	5,0	1,1	2,1	22,0	42,0	64,0
1,200	4,864	10,0	4,0	4,8	40,0	48,0	88,0
1,210	4,874	9,0	2,6	2,7	28,9	30,0	58,9
1,220	4,884	8,0	3,0	2,6	37,5	32,5	70,0
1,230	4,894	10,0	3,8	3,6	38,0	36,0	74,0
1,240	4,904	10,5	4,2	4,0	40,0	38,1	78,1
1,250	4,914	10,0	4,0	4,0	40,0	40,0	80,0
1,260	4,924	10,0	4,6	3,5	46,0	35,0	81,0
1,270	4,934	9,0	3,7	2,7	41,1	30,0	71,1
1,280	4,944	9,5	4,2	4,0	44,2	42,1	86,3
2,180	5,844	15,0	0,5	4,5	3,3	30,0	33,3
2,190	5,854	12,0	<0,1	3,0	<1,0	25,0	>25,0

Bijlage 2 (vervolg)

diepte (m - mv)	diepte (m - NAP)	volume (ml)	zand >170 µm (ml)	zand <170 µm (ml)	zand >170 µm (%)	zand <170 µm (%)	zand totaal (%)
Boorkern Eemhof							
1,709	4,045	16,0	-	-	-	-	-
1,722	4,058	18,0	-	-	-	-	-
1,742	4,078	10,0	-	-	-	-	-
1,772	4,108	17,0	-	0,4	-	2,4	2,4
1,812	4,148	14,0	-	1,0	-	7,1	7,1
1,837	4,173	8,0	+	1,2	+	15,0	>15,0
1,862	4,198	15,0	1,5	6,0	10,0	40,0	50,0
1,882	4,218	8,0	0,9	3,0	11,3	37,5	48,8
1,892	4,228	10,0	0,7	2,5	7,0	25,0	32,0
1,907	4,243	12,0	<0,1	0,8	<1,0	6,7	>6,7
1,922	4,258	9,0	<0,1	0,3	<1,0	3,3	>3,3
1,932	4,268	10,0	<0,1	0,8	<1,0	8,0	>8,0
1,947	4,283	11,0	0,1	0,8	0,9	7,3	8,2
1,952	4,288	8,5	0,1	0,8	1,2	9,4	10,6
1.967*	4.303*	3,5	0,7	1,4	20,0	40,0	60,0
1.967*	4.303*	6,0	0,1	0,6	1,7	10,0	11,7
1.982*	4.318*	4,0	0,1	0,6	2,5	15,0	17,5
1.982*	4.318*	5,0	0,9	1,3	18,0	26,0	44,0
1,992	4,328	8,0	1,8	5,5	22,5	68,8	91,3
Boorkern Eemmeerdijk							
1,612	2,454	10,0	-	0,1	-	1,0	1,0
1,627	2,469	10,5	0,5	0,6	4,8	5,7	10,5
1,637	2,479	11,0	0,3	0,5	2,7	4,5	7,3
1,652	2,494	12,0	<0,1	-	<1,0	-	<1,0
1,667	2,509	9,0	<0,1	-	<1,0	-	<1,0
1,677	2,519	8,0	<0,1	-	<1,0	-	<1,0
1,687	2,529	10,0	0,3	0,2	3,0	2,0	5,0
1,697	2,539	7,0	0,2	0,1	2,1	1,4	3,6
1,707	2,549	9,5	0,4	0,6	4,2	6,3	10,5
1,717	2,559	9,0	1,2	1,4	13,3	15,6	28,9
1,727	2,569	9,5	1,0	1,4	10,5	14,7	25,3
1,737	2,579	9,0	1,4	1,4	15,6	15,6	31,1
1,747	2,589	8,5	1,7	2,0	20,0	23,5	43,5
1,757	2,599	10,0	3,4	2,5	34,0	25,0	59,0
1,767	2,609	10,0	3,1	4,2	31,0	42,0	73,0

* De monsters van 1,967 en 1,982 m - mv konden worden gesplitst in een zandig en een venig deel, welke apart zijn geanalyseerd

Bijlage 3

Resultaten van de bepaling van de totaalchemie met behulp van röntgenfluoriscentie (XRFS):
(A) verhoudingen voor niet-gegloeid materiaal
(B) verhoudingen voor gegloeid materiaal

Bijlage 3a Resultaten van de bepaling van de totaalchemie met behulp van röntgenfluoriscentie (XRFS): verhoudingen voor niet-gegloeid materiaal

Diepte (cm t.o.v. mv)		**Diepte (cm t.o.v. NAP)**		**Monster**	**Al_2O_3 (%)**	**CaO (%)**	**Cr_2O_3 (%)**	**Fe_2O_3 (%)**	**K_2O (%)**	**MgO (%)**	**MnO (%)**	**Na_2O (%)**	**P_2O_5 (%)**	**SiO_2 (%)**	**TiO_2 (%)**	**LOI (%)**	**Totaal (%)**
Boorkern Winkelweg																	
-49	-53	-406	-410	110	10,24	2,25	<0,01	4,84	2,10	1,55	0,08	0,59	0,11	59,0	0,59	17,77	99,1
-86	-89	-443	-446	118	8,82	1,38	<0,01	6,19	1,68	1,20	0,08	0,54	0,11	52,0	0,53	26,57	99,1
-196	-197	-553	-554	154	2,58	0,46	0,03	0,62	0,76	0,04	0,02	0,4	0,03	85,0	0,23	8,81	99,0
-216	-222	-573	-579	167-169	3,25	0,39	0,01	0,66	0,98	0,08	0,01	0,57	0,03	88,34	0,23	4,31	98,9
Boorkern Rassenbeektocht																	
-60	-65	-426	-431	309	9,93	2,03	<0,01	4,67	2,00	1,53	0,09	0,64	0,13	58,22	0,58	19,15	99,0
-88	-89	-454	-455	315	4,87	2,26	0,01	1,85	1,28	0,71	0,06	0,69	0,11	82,0	0,40	4,50	98,7
-89	-92	-455	-458	316	6,66	2,01	<0,01	4,13	1,52	0,80	0,04	0,7	0,08	63,4	0,41	19,25	99,0
-120	-121	-486	-487	342	1,40	0,25	0,04	0,77	0,43	<0.01	0,01	0,15	0,01	91,1	0,16	4,72	99,0
-129	-131	-495	-497	351	2,66	0,25	0,02	0,54	0,87	<0.01	0,01	0,35	0,03	92,0	0,12	2,15	99,0
-138	-142	-504	-508	355	2,93	0,23	0,02	0,56	0,91	0,05	0,01	0,39	0,01	92,11	0,12	1,56	98,9
-175	-180	-541	-546	363	2,38	0,17	0,03	0,54	0,86	0,03	0,01	0,43	0,01	94,17	0,05	0,40	99,1
Boorkern Eemhof																	
-56	-61	-290	-295	11	9,56	2,74	<0,01	3,88	1,94	1,50	0,04	0,58	0,12	55,32	0,56	22,84	99,1
-199	-201	-433	-435	54-56	3,99	0,4	<0,01	0,88	1,19	0,13	0,01	0,66	0,04	90,0	0,23	1,35	98,8
-241	-246	-475	-480	71	3,33	0,52	<0,01	0,8	1,03	0,23	0,02	0,55	0,03	91,37	0,19	0,93	99,0
Boorkern Eemmeerdijk																	
-182	-183	-266	-267	530	1,91	0,42	0,04	0,48	0,72	<0.01	0,01	0,27	0,01	88,0	0,16	6,82	98,9
-202	-207	-286	-291	543-544	3,33	0,39	0,01	0,49	1,05	0,08	0,01	0,43	0,04	88,23	0,22	4,26	98,5
-223	-228	-307	-312	549	3,56	0,82	0,01	0,56	1,03	0,28	0,02	0,45	0,09	88,87	0,14	2,87	98,7

Bijlage 3b Resultaten van de bepaling van de totaalchemie met behulp van röntgenfluoriscentie (XRFS): verhoudingen voor gegloeid materiaal

Diepte (cm t.o.v. mv)		Diepte (cm t.o.v. NAP)		Monster	Al_2O_3/TM (%)	CaO/TM (%)	Cr_2O_3/TM (%)	Fe_2O_3/TM (%)	K_2O/TM (%)	MgO/TM (%)	MnO/TM (%)	Na_2O/TM (%)	P_2O_5/TM (%)	SiO_2/TM (%)	TiO_2/TM (%)	Totaal (%)
Boorkern Winkelweg																
-49	-53	-406	-410	110	12,59	2,77		5,95	2,58	1,91	0,10	0,73	0,14	72,53	0,73	100,0
-86	-89	-443	-446	118	12,16	1,90		8,53	2,32	1,65	0,11	0,74	0,15	71,69	0,73	100,0
-196	-197	-553	-554	154	2,86	0,51	0,03	0,69	0,84	0,04	0,02	0,44	0,03	94,27	0,25	100,0
-216	-222	-573	-579	167-169	3,44	0,41	0,01	0,70	1,04	0,08	0,01	0,60	0,03	93,43	0,24	100,0
Boorkern Rassenbeektocht																
-60	-65	-426	-431	309	12,44	2,54		5,85	2,51	1,92	0,11	0,80	0,16	72,94	0,73	100,0
-88	-89	-454	-455	315	5,17	2,40	0,01	1,96	1,36	0,75	0,06	0,73	0,12	87,01	0,42	100,0
-89	-92	-455	-458	316	8,35	2,52		5,18	1,91	1,00	0,05	0,88	0,10	79,50	0,51	100,0
-120	-121	-486	-487	342	1,48	0,27	0,04	0,82	0,46		0,01	0,16	0,01	96,59	0,17	100,0
-129	-131	-495	-497	351	2,75	0,26	0,02	0,56	0,90		0,01	0,36	0,03	94,99	0,12	100,0
-138	-142	-504	-508	355	3,01	0,24	0,02	0,58	0,93	0,05	0,01	0,40	0,01	94,63	0,12	100,0
-175	-180	-541	-546	363	2,41	0,17	0,03	0,55	0,87	0,03	0,01	0,44	0,01	95,43	0,05	100,0
Boorkern Eemhof																
-56	-61	-290	-295	11	12,54	3,59		5,09	2,54	1,97	0,05	0,76	0,16	72,56	0,73	100,0
-199	-201	-433	-435	54-56	4,09	0,41		0,90	1,22	0,13	0,01	0,68	0,04	92,28	0,24	100,0
-241	-246	-475	-480	71	3,40	0,53		0,82	1,05	0,23	0,02	0,56	0,03	93,17	0,19	100,0
Boorkern Eemmeerdijk																
-182	-183	-266	-267	530	2,07	0,46	0,04	0,52	0,78		0,01	0,29	0,01	95,63	0,17	100,0
-202	-207	-286	-291	543-544	3,53	0,41	0,01	0,52	1,11	0,08	0,01	0,46	0,04	93,58	0,23	100,0
-223	-228	-307	-312	549	3,71	0,86	0,01	0,58	1,07	0,29	0,02	0,47	0,09	92,74	0,15	100,0

TM = (%Al_2O_3 + %CaO + %Cr_2O_3 + %Fe_2O_3 + %K_2O + %MgO + %MnO + %Na_2O + %P_2O_5 + %SiO_2 + %TiO_2)/100

Bijlage 4

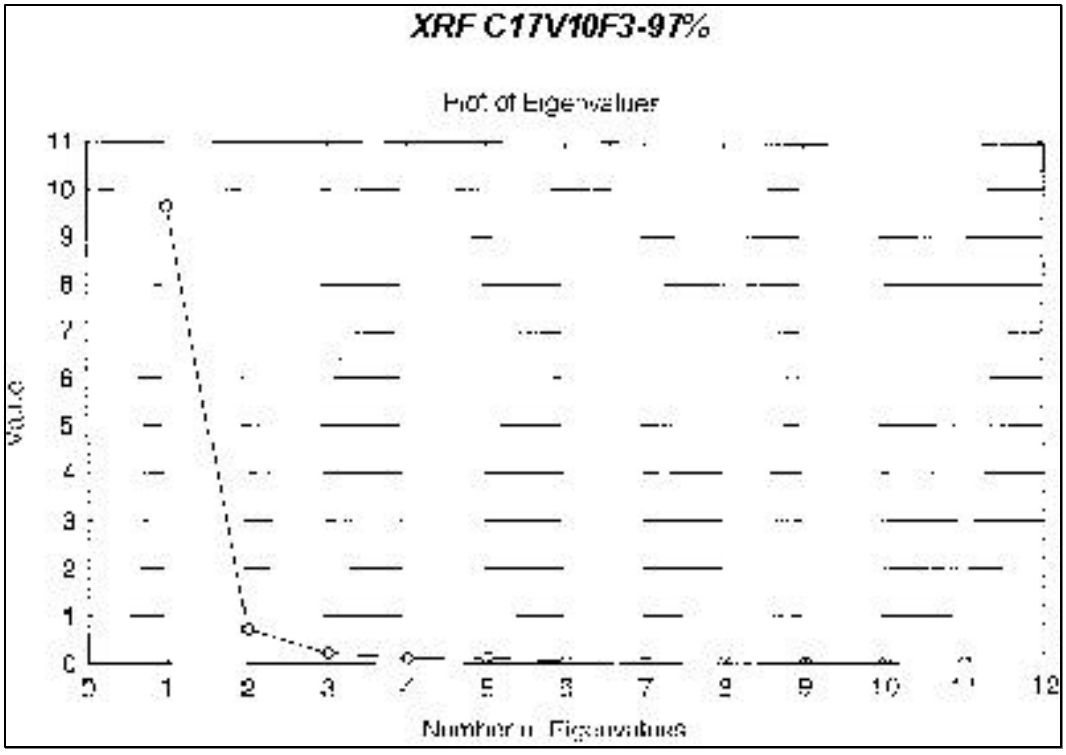
Principal components analysis van de gegevens uit Bijlage 3

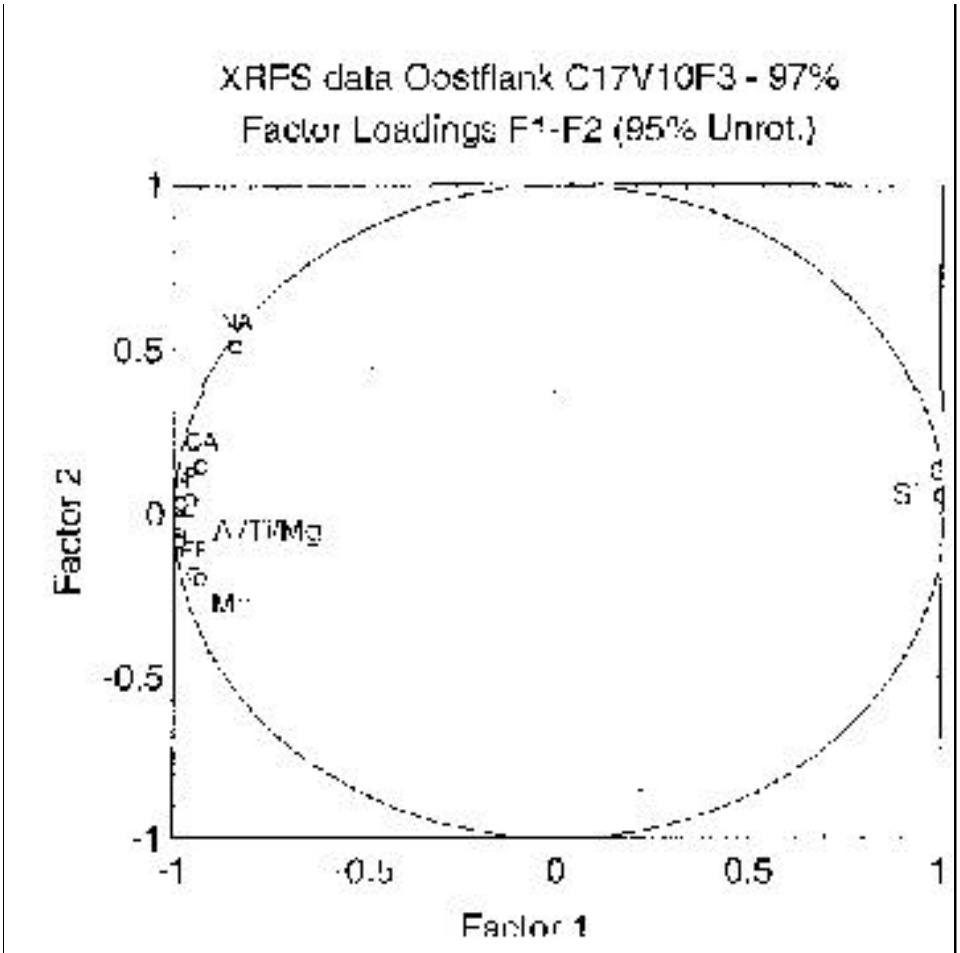
STAT. FACTOR ANALYSIS — Eigenvalues (c17v10f3.sta)
Extraction: Principal components

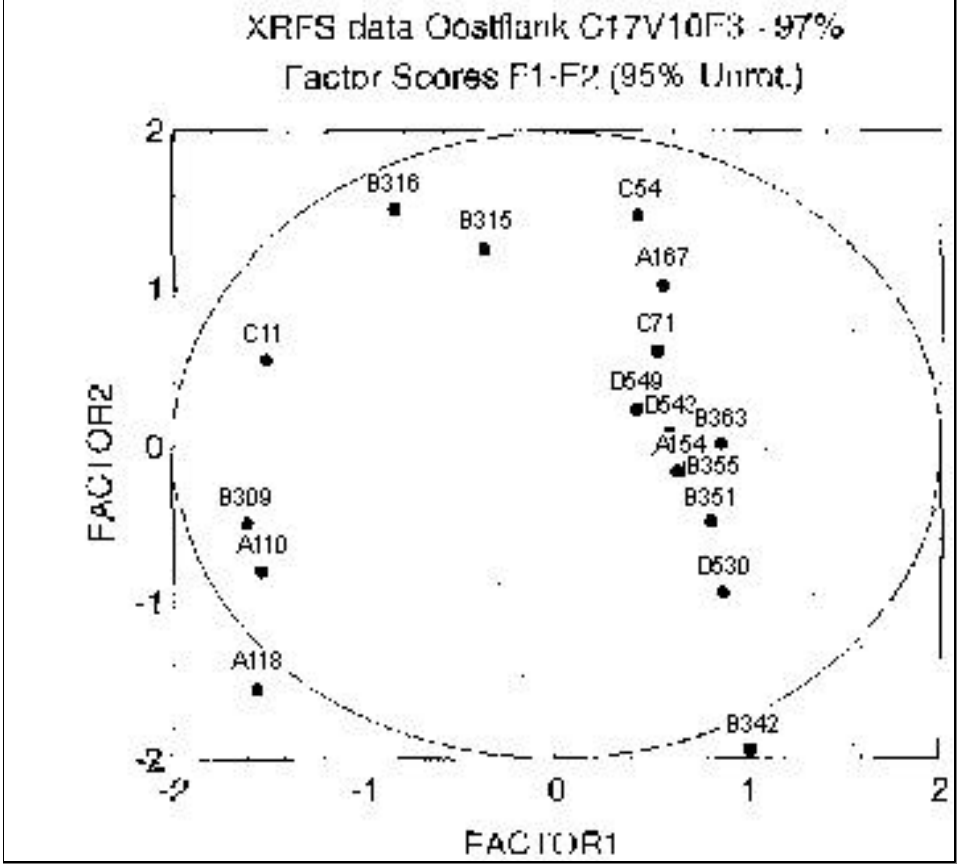
Value	Eigenval	% total Variance	Cumul. Eigenval	Cumul. %
1	9.121000	91.21000	9.121000	91.21000
2	.375884	3.75884	9.496884	94.96884
3	.210408	2.10408	9.707292	97.07292

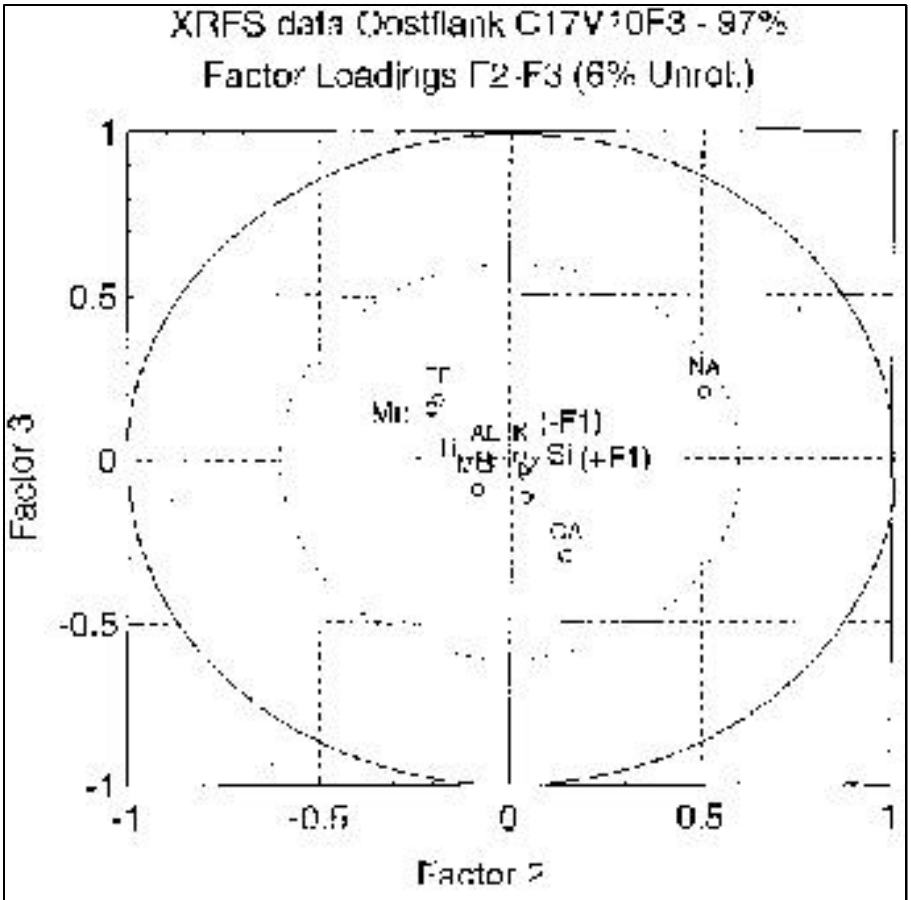
STAT. FACTOR ANALYSIS — Communalities (c17v10f3.sta)
Extraction: Principal components
Rotation: Unrotated

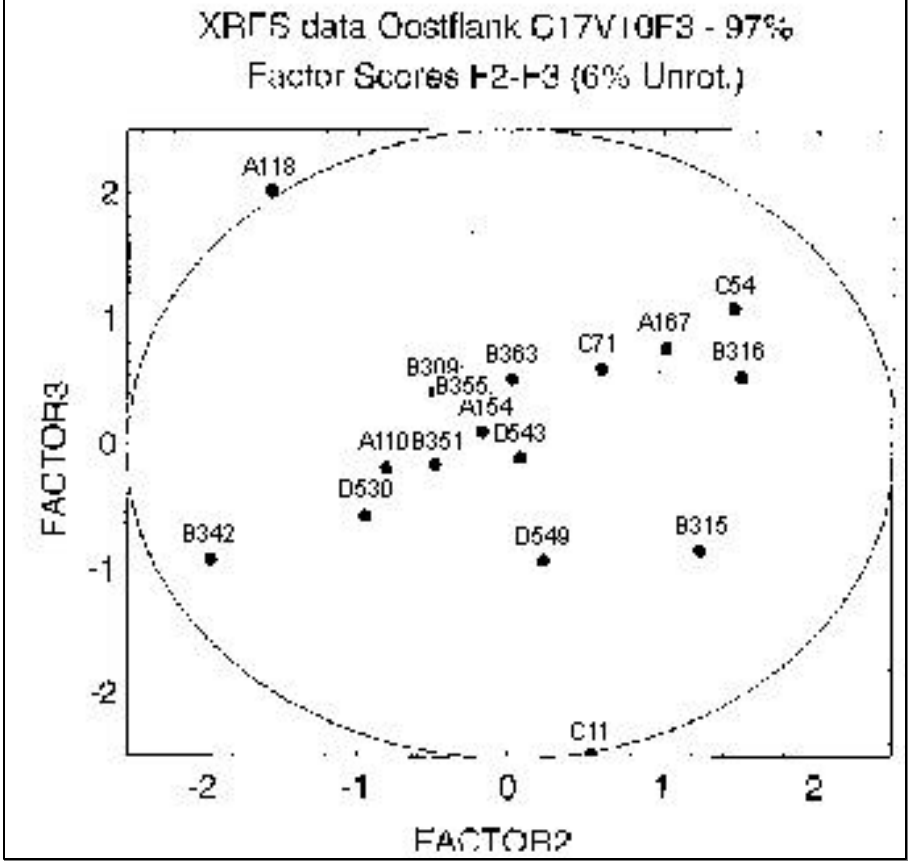
Variable	From 1 Factor	From 2 Factors	From 3 Factors	Multiple R-Square
AL	.976193	.980303	.980335	.999518
CA	.887555	.888409	.977094	.995096
FE	.838214	.932380	.965652	.999186
K	.956557	.967549	.967571	.999015
MG	.973688	.981012	.989813	.997047
MN	.836092	.906811	.930765	.963154
NA	.639052	.951123	.999084	.835696
P	.917095	.918784	.932799	.978552
SI	.991179	.994106	.994221	.999938
TI	.985376	.969407	.969959	.992000




XRFS data Oostflank C17V10F3 - 97%
Factor Loadings F1-F2 (95% Unrot.)
Factor 2
Factor 1
1
0.5
0
-0.5
-1
-1
-0.5
0
0.5
1
Al/Ti/Mg


XRFS data Oostflank C17V10F3 - 97%
Factor Scores F1-F2 (95% Unrot.)
FACTOR2
FACTOR1
2
1
0
-1
-2
-2
-1
0
1
2
B316
B315
C54
A167
C71
C11
D549
D542
B363
A154
B355
B309
B351
A110
D530
A118
B342


XRFS data Oostflank C17V10F3 - 97%
Factor Loadings F2-F3 (6% Unrot.)
Factor 3
Factor 2
1
0.5
0
-0.5
-1
-1
-0.5
0
0.5
1
NA
Si (+F1)
CA


XRFS data Oostflank C17V10F3 - 97%
Factor Scores F2-F3 (6% Unrot.)
FACTOR3
FACTOR2
A118
C54
A167
C71
B316
B363
B309
B355
A154
D543
A110
B351
D530
B342
D549
B315
C11
2
1
0
-1
-2
-2
-1
0
1
2

Lijst van afkortingen

AD	Anno Domini – kalenderjaren na Chr.
AMS	Accelerator Mass Spectrometry - methode waarbij isotopen worden gescheiden door gecombineerd gebruik van een deeltjesversneller en een massaspectrometer.
BP	Before Present - tenzij anders vermeld is dit het aantal ^{14}C-jaren (niet gelijk aan kalenderjaren) vóór 1950 AD
CEC	Cation Exchange Capacity - kationenuitwisselingscapaciteit
ICP-AES	Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrophotometry – methode waarbij een vloeistof wordt verhit tot een plasma, waarvan de samenstelling wordt bepaald door de straling te meten die wordt uitgezonden wanneer de ionen in het plasma bij afkoeling weer terugvallen in een 'normale' energietoestand.
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre
M	molariteit – het aantal mol van een stof dat is opgelost per liter water
M50	in dit rapport gebruikt voor de mediane korrelgrootte van de zandfractie van een sedimentmonster (vaak ook gebruikt om de mediane korrelgrootte van het totale sedimentmonster aan te duiden)
mv	Maaiveld (-mv = onder het maaiveld)
LOI	Loss on ignition – gloeiverlies (bij verhitting tot 550 ºC)
NAP	Normaal Amsterdams Peil (-NAP = onder NAP)
pH	Zuurgraad
ppm	parts per million - miljoenste delen
RIJP	Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders
NITG	Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (een TNO-instituut)
RIZA	Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (een instituut van Rijkswaterstaat)
RWS	Rijkswaterstaat
XRFS	Röntgenfluorescentie – methode waarmee de atomaire samenstelling van een monster kan worden bepaald door middel van röntgenbestraling, waarbij de electronen in het monster in een aangeslagen energietoestand raken en bij terugvallen in de 'normale' energietoestand straling uitzenden met voor het atoom karakteristieke spectrale eigenschappen.
µm	Micrometer (10^{-6} m)