

TNO-rapport

2006-U-R0026/A

Archeologische degradatieprocessen

**Een geo-archeologische studie in twee pilot-gebieden,
gelegen in het Oer-IJ estuarium (NH)**

Datum	22 december 2005
Auteur(s)	Janneke Klein, Roelof Stuurman & Peter Vos
Opdrachtgever	PaleoTerra
Projectnummer	005.24103

Goedgekeurd door	Dr. M. van der Meulen
------------------	-----------------------

Aantal pagina's	66
Aantal bijlagen	11

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In de afgelopen decennia is het Nederlandse archeologische beleid veranderd van een sterk opgravingsgerichte benadering naar een strategie van het behoud van de archeologische sites in situ (in de bodem / ondergrond). Alleen indien het om planologische redenen noodzakelijk is, wordt een site opgegraven.

Voorwaarde voor het behoud van het archeologisch erfgoed in situ is dat in de bodem gunstige condities heersen voor de conservering van het archeologisch erfgoed.

Probleem is echter dat de archeologische conservering van het erfgoed (kwaliteit van het erfgoed) en verloop van de conservering in de tijd (archeologische degradatie processen) veelal niet goed bekend zijn. Door bijvoorbeeld door polderpeilverlagingen - en de daaraan gekoppelde verlaging van de grondwaterstand - kan de kwaliteit van het aanwezige archeologische erfgoed in de bodem sterk achteruit gaan (/ zijn gegaan). Een van de belangrijkste voorwaarden voor het behoud van archeologische materialen in de Nederlandse bodem is de afwezigheid van zuurstof. In laag Nederland kan worden aangenomen dat de bodem onder de GLG (gemiddeld lage grondwaterstand) zuurstofloos is. Dit geldt niet voor zandige afzettingen, die arm zijn aan organisch materiaal, op de hoge gronden.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een eenvoudige methode om het conserverend vermogen van de bodem voor het behoud van het archeologisch erfgoed in kaart te brengen. Daartoe zijn twee testgebieden (pilotgebieden) in 'laag Nederland' onderzocht. Het betreft twee gebieden bij Castricum en Uitgeest, gelegen in het voormalige Oer-IJ estuarium. Het pilotgebied in de Castricummer polder bestond hoofdzakelijk uit zandige afzettingen die gevormd waren in het voormalige intergetijde gebied van het estuarium. Het pilotgebied in de Uitgeesterbroek lag aan de rand van het voormalige estuarium en de ondergrond bestaat daar hoofdzakelijk uit klei op veen.

Gekozen is voor een ruimtelijke hydrogeologische kartering (3D lagenmodel). Groot voordeel van een ruimtelijk model is dat op ieder gewenst punt in de pilotgebieden de laagbouw (waaronder de archeologische niveaus) in relatie tot de GLG - en de daaraan gekoppelde redox potentiaal - in beeld gebracht kan worden. Ook kunnen met het hydro-geologisch lagenmodel veranderingen in de grondwaterstanden gesimuleerd worden en de effecten van deze simulaties op de archeologische conservering geanalyseerd worden. Hydro-geologische simulatiestudies zijn vanwege de beschikbare tijd in deze studie niet uitgevoerd.

Het geologisch lagenmodel is gebouwd aan op basis van de beschikbare boorgegevens (DINO database van TNO-R&O, en eigen veldwaarnemingen). In dit model zijn vervolgens het prehistorisch oppervlak (IJertijd / Romeinse tijd; rode lijn) en de GLG (dikke zwarte lijn) ingebracht. Het prehistorisch oppervlak (waarin en waaronder zich archeologische sporen kunnen bevinden) is bepaald aan de hand van veldkennis (niveau onder de Middeleeuwse overstromingsafzettingen). Het GLG en het GHG (gemiddeld hoge grondwaterstand) zijn herleid aan de hand van gegevens uit bestaande bronnen (DINO-database en gegevens van de waterschappen, en de archeologische adviesbureaus PaleoTerra en RAAP), en eigen veldwaarnemingen (hydromorfe kenmerken). Verder is de relatie tussen de grondwaterstanden en de redoxpotentiaal in de pilot-gebieden onderzocht. Daarbij is ook gelet op het kalkgehalte van de nabij het oppervlak voorkomende laageenheden.

Omdat de afgelopen decennia veel veranderingen hebben plaatsgevonden, die de grondwaterstand beïnvloeden dient het grondwaterstandsvlak (opnieuw) gekarteerd te worden. In poldergebieden kan dit relatief eenvoudig door - met deskundig oordeel -

gericht te boren en daar de grondwaterstand aan de hand van hydromorfe kenmerken te bepalen. Met behulp van de AHN en polderpeilkaarten kan het grondwatervlak geëxtrapoleerd worden.

Hieronder zullen de belangrijkste conclusies, die uit deze studie getrokken kunnen worden met betrekking tot de hydrologische condities en de archeologische conservering worden in de proefgebieden samengevat.

Hydrologische condities

- Aangezien de hoogte van het maaiveld invloed heeft op de afstand tussen de grondwaterspiegel en het oppervlak (drooglegging) is in de pilotgebieden onderzocht of er bodemdaling of stijging heeft plaats gevonden. In de Castricumerpolder is het maaiveld over het gehele gebied ongeveer 10 tot 20 cm gedaald. Alleen midden in het noorden is een gebiedje wat een daling van meer dan 50 cm heeft ondergaan. Bij de Uitgeesterbroekpolder is het maaiveld over het hele gebied minstens 20 cm gedaald. Vooral rondom het Vroonmeer is het maaiveld verder gedaald; op sommige plaatsen is de daling tussen 1980 en 2002 bijna een meter.
- In de Castricumerpolder is het polderpeil sinds 1885 over het grootste deel van het gebied niet sterk veranderd. Uitzonderingen hierop zijn een gebiedje in het oosten en in het zuidoosten, die een verlaging van het peil hebben ondergaan.
- In het westelijke deel van de Uitgeesterbroekpolder is het polderpeil sinds 1885 in een deel van het pilotgebied 25 cm gedaald en in een deel van het gebied was de daling van de grondwaterstand zelfs 80 cm
- Over het algemeen kan gezegd worden dat - ondanks dat het polderpeil over de afgelopen 50 jaar in de meeste gevallen is gedaald - de grondwaterstand in deze gebieden niet heel sterk is veranderd.
- In veel gevallen is de GHG in de Uitgeesterbroekpolder hoger geworden, wat betekent dat het grondwater in natte periodes tegenwoordig hoger komt dan vroeger. De stijging van de GHG hangt vermoedelijk samen met de maaiveld daling in het gebied.
- In de verandering van de GLG zit geen eenduidig patroon voor alle punten in de pilotgebieden: sommige zijn gelijk gebleven, anderen zijn gestegen of gedaald.

Archeologische conservering

- Uit het onderzoek kwam naar voren dat het bodemmilieu voor de conservering van de archeologische resten wisselend van kwaliteit is. Op sommige plaatsen heeft het bodemmilieu redelijk goede condities om de resten te conserveren, maar op de meeste plaatsen is de kwaliteit van het bodemmilieu slecht waardoor de organische resten bedreigd worden. Op geen enkel van de onderzochte plaatsen staat het grondwater gedurende het gehele jaar boven het archeologische niveau (= prehistorisch oppervlak uit de IJzertijd / Romeinse tijd). Op de meeste plaatsen staan de archeologische resten gedurende een paar maanden per jaar in het grondwater. Deze cycli van verdroging en vernatting zijn zeer ongunstig voor het behoud van het archeologisch erfgoed.
- In de Castricumerpolder ligt bij alle punten de top archeologisch niveau tamelijk dicht onder het oppervlak. Voor alle punten in deze polder geldt dat de archeologische resten van maart tot en met september geheel boven het grondwater staan. Vanaf eind oktober staat het onderste deel van het erfgoed in het grondwater,

en blijft ongeveer 4 maanden in het grondwater staan. De bovenste laag van het erfgoed staat hoogstens een paar dagen per jaar in het grondwater. Bij de Castricumerpolder is de redoxpotentiaal maar op twee tijdstippen in het jaar bepaald. Ondanks de vaak lage grondwaterstanden komen er over de gehele diepte van de verschillende profielen hoge redoxklassen voor, en is de redoxpotentiaal ter hoogte van het archeologisch erfgoed min of meer reducerend. Twee maanden later echter is de redoxklasse over het gehele profiel weer laag, wat waarschijnlijk de hele zomer zo blijft totdat de bodem weer een hoge grondwaterstand bereikt in oktober of november.

- In de Uitgeesterbroekpolder zit het archeologisch niveau op de meeste plaatsen ongeveer 3 maanden per jaar in het grondwater. Wel is te zien dat de redoxklasse op de diepte van het archeologisch erfgoed op veel plaatsen ongeveer de helft van het jaar Eh 7 of lager is.
- In de Castricumerpolder - die voor het grootste deel uit zand bestaat - is de afwisseling van droog en nat ongunstig doordat de grond in de zomer sterk uitdroogt. In de Uitgeesterbroekpolder, een klei – veen gebied, is dit iets minder van belang omdat klei en veen minder sterk uitdrogen dan zand. Nog een voordeel van het klei – veen landschap is dat de capillaire opstijging hoog zal zijn, en dat het slecht doorlaatbaar is voor zuurstof. Een zandbodem heeft wel als voordeel dat de doorlaatbaarheid hoger is, waardoor er meer kwel optreedt en er infiltratie vanuit de sloten plaats vindt. Ondanks dit verschil is de conserveringstoestand bij beide gebieden slecht.
- Aangezien de grondwaterstand over de afgelopen decennia niet significant is veranderd, kan ervan uitgegaan worden dat de condities voor het behoud van het erfgoed al decennia lang slecht zijn. Het is dus belangrijk te weten in welke conditie het erfgoed zich nu bevindt om te kunnen beslissen of het nemen van maatregelen nuttig is. Als het erfgoed zich namelijk nu al in slechte staat bevindt, kan het beter opgegraven worden. Het nemen van maatregelen, zoals het verhogen van het polderpeil, zal de staat van het materiaal niet meer doen verbeteren.
- Voor het behoud van de archeologische resten is het beter altijd onder of boven het grondwater te liggen dan cycli van verdroging en vernatting te ondergaan. Op plaatsen waar de GLG ongeveer op dezelfde diepte of iets hoger ligt dan het archeologische niveau en de resten dus voor het grootste deel van het jaar in het grondwater staan, heersen gunstige condities voor het behoud van dit erfgoed. Als de GLG niet veel lager ligt dan het archeologisch niveau zou het zinvol kunnen zijn om de grondwaterstand een fractie te verhogen. Als de GLG meer dan 10 cm verschilt met de diepte waarop de archeologische resten zich bevinden, zou het grondwater wel enkele decimeters verhoogd kunnen worden maar dit zal waarschijnlijk op tegenstand stuiten. In sommige gebieden ligt het archeologisch erfgoed erg ondiep (ongeveer 20 cm), in deze gebieden is het waarschijnlijk niet mogelijk om de archeologische resten permanent onder water te laten staan. Een maatregel die genomen zou kunnen worden in gebieden waarbij de grondwaterstand het grootste deel van het jaar lager staat dan het archeologisch niveau, zou een verlaging van de grondwaterstand kunnen zijn. Op deze manier staan de archeologische resten het gehele jaar door boven het grondwater. Een moeilijkheid ontstaat als de archeologische resten over een grote diepte verspreid zitten; het bovenste deel van de resten ligt bijna nooit in het grondwater terwijl het onderste gedeelte een groot deel van het jaar in het grondwater staat.

Degradatiekaarten

Met behulp van het 3-D modellen is het nu eenvoudig om een degradatiekaarten te vervaardigen van de pilotgebieden. Op deze kaarten wordt zichtbaar gemaakt waar en hoeveel het archeologisch potentieel zich onder of boven de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand bevindt (Bijlage 11). Deze informatie kan worden gebruikt voor:

- ruimtelijke plannen die van invloed zijn op de grondwaterstand, en daar aan gerelateerd,
- plannen van archeologisch onderzoek met betrekking tot behoud en beheer van het archeologisch erfgoed, zoals als uitgangspunt voor plannen om de conservering te herstellen, het bepalen van de 'Gewenste Grondwatersituatie Archeologisch Erfgoed" en het inrichten van grondwatermeetnetten die de conserveringstoestand helpen beheren.

Met behulp van grondwatermodellen of hydrologische analytische berekeningen kan worden berekend wat gedaan moet worden om de conserveringstoestand te herstellen of hoe moet worden voorkomen dat de conserveringstoestand slecht (-er) wordt.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	7
2	Opzet van het onderzoek	9
3	Geogenese en geologische laagopbouw	11
3.1	Geogenese.....	11
3.2	Lithostratigrafie pilotgebieden.....	14
3.3	Lithologisch lagenmodel.....	19
4	Bodemchemische factoren en processen (theorie)	27
5	Hydrogeologische beschrijving van het studiegebied	30
5.1	Hydrogeologie	30
6	Aanvullend hydrogeologisch veldonderzoek	32
6.1	Veldwerk.....	32
6.2	Uitwerking veldgegevens	33
6.3	Resultaten	35
7	Conclusies over kwaliteit, betrouwbaarheid en variabiliteit van de gebruikte hydrogeologische gegevens	52
7.1	Bestaande gegevens	52
7.2	Eigen metingen	52
8	Conserverend vermogen van de bodem voor het behoud van het archeologisch erfgoed	54
8.1	Meetlocaties bij bekende archeologische sites.....	54
8.2	Het maken van voorspellingen over de conserveringstoestand van de bodem	56
8.3	Het extrapoleren van puntmetingen naar een ruimtelijk beeld	57
8.4	Aanbeveling voor generieke aanpak.....	58
9	Discussie: Grondwater – oppervlaktewater relatie in poldergebieden	61
9.1	Inleiding.....	61
9.2	Ervaringen uit veldonderzoek in het West-Nederlandse poldergebied.....	62
9.3	Conclusie	63
	Literatuurlijst	65

1 Inleiding

Onder het begrippen ‘archeologisch erfgoed’ en ‘archeologisch bodemarchief’ worden de sporen en materialen verstaan die de mens in het verleden in de bodem (ondergrond) heeft achtergelaten. Door de materialen in de bodem op te graven en de sporen goed te ‘lezen’ (interpreteren) wordt inzicht verkregen in de bewoningsgeschiedenis en het menselijk handelen in het verleden. Binnen het huidige archeologie beleid staat het behoud van het archeologisch bodemarchief in de grond centraal (Van Heeringen et al, 2004). Daardoor blijft dit archief bewaard voor toekomstige generaties onderzoekers, die in de toekomst over betere onderzoekstechnieken zullen beschikken dan de huidige. Alleen als het in het kader van de planologische ontwikkeling van een gebied strikt noodzakelijk is, worden waardevolle archeologische sites opgegraven.

Het probleem bij de instandhouding van het archeologisch erfgoed is de (sluipende) afbraak van het archeologische materiaal door hydrochemische en fysische degradatieprocessen in de bodem. Om de bestaande archeologische waarden goed te kunnen behouden en beheren, is inzicht nodig in deze afbraakprocessen. Met behulp van kennis over aardkundige processen wordt inzicht verkregen hoe de bedreigde archeologische waarden – voorkomend op diverse locaties met een verschillende geologische ondergrond - het beste beschermd en beheerd kunnen worden. Meestal zijn grondwaterstandverlagingen en verzuring (ontkalking) de oorzaak van hydrochemische degradatie. De snelheid waarmee het archeologisch materiaal afbreekt, is afhankelijk van het type materiaal, de samenstelling van de grondlagen en de grondwatersituatie en bodemchemie. Van belang is dat de historische (grond-)watersituatie wordt beschreven en dat de historische grondwaterstand (grondwaterregime) wordt vastgesteld.

Bodemdaling (zetting en oxidatie van veen) zijn degradatieprocessen die ook sterk verband houden met de problematiek van de grondwaterstandveranderingen. Met name in de klei/veengebieden van het zeekleilandschap en het rivierenlandschap vormt dit type degradatieproces een grote bedreiging voor het archeologisch erfgoed. Verder is lokale ophoging van grondlagen niet zonder archeologisch risico. De negatieve effecten van deze ingreep op archeologisch erfgoed is niet goed bekend. Het monitoren van de kwaliteit van archeologische vindplaatsen, verschaft inzicht in deze vorm van (mogelijke) degradatie.

Morfologie, samenstelling van de ondiepe ondergrond en landgebruik beïnvloeden dit type degradatieproces sterk. Omdat de samenstelling van de grondlagen bij alle degradatieprocessen een belangrijke rol speelt, is het bij archeologische conservering verstandig de processen voor evaluatie in te delen naar aardkundig hoofdlandschappen.

Belangrijke factoren waar op gelet moet worden bij het behoud van archeologische materialen in situ zijn (Kars & Smit, 2003):

- De degradatiemechanismen die een rol spelen bij archeologische materialen en sporen.
- De conserveringspotentiaal van de bodem.
- De fysieke verstoring door bioturbatie, landbouw, zetting en dergelijke.

De scope van dit project ‘*conserverend vermogen archeologisch erfgoed in de bodem van het Oer-IJ estuarium*’ betref de condities van het bodemmilieu voor het behoud van deze archeologische resten in situ.

Een van de belangrijkste voorwaarden voor het behoud van archeologische materialen in deze gebieden is de afwezigheid van zuurstof, ofwel de aanwezigheid van grondwater. Een andere belangrijke voorwaarde is de zuurgraad van de bodem. Naast deze twee factoren wordt het behoud van de archeologische resten bepaald door een zeer groot aantal variabelen. Hierdoor is het moeilijk om in te kunnen schatten hoe en hoe snel degradatieprocessen verlopen bij bepaalde veranderingen in het bodemmilieu (Kars & Smit, 2003). Voorbeelden van indicatoren voor degradatie zijn: veranderingen in grondgebruik, percelering en natte en droge infrastructuur, veranderingen in de grondwaterstand, verzuring of bemesting en verhoging of verlaging van het maaiveld (van Heeringen et al, 2003).

Doel van dit onderzoeksproject is als volgt beschreven: het onderzoeken van het conserverend vermogen van de bodem met betrekking tot de fysieke kwaliteit van de ter plaatsen aanwezige archeologische vindplaatsen; dit voor twee geologisch verschillende onderzoekslocaties (pilotgebieden) binnen het voormalige getijdegebied van het Oer-IJ. Het betreft hier de hydrochemische archeologische degradatie processen; de fysische degradatie processen zijn in dit kader niet onderzocht. Belangrijke parameters zijn naast de grondwaterstand, de zuurgraad en de redoxpotentiaal van de bodem. Het onderzoek wordt uitgevoerd op basis van bestaande onderzoeksgegevens. Het eindresultaat van het project is een digitale kaartlaag voor de twee deelgebieden met een resolutie tot op vindplaatsniveau.

Het achterliggende doel is om op basis van deze pilotstudie de mogelijkheden en beperkingen voor het samenstellen van een landsdekkende conserveringskaart (door S. Smit ook wel de '*IndicatieKaart Archeologische Conservering*' genoemd) te inventariseren; een kaart die gemaakt zal worden op grond van bestaande geologische, hydrologische en bodemchemische data in Nederland.

De pilotgebieden zijn genomen in de Castricummer polder (het gebied tussen de RD-coördinaten 106/504 en 108.506.5; Bijlage 1A) en de Uitgeesterbroekpolder (het gebied tussen de RD-coördinaten 110/502 en 112/504.5; Bijlage 1B). In het pilotgebied van de Castricummerpolder bestaat de ondergrond overwegend uit zand. Daar liggen de voormalige getijdenafzettingen van het Oer-IJ aan- of nabij het oppervlak. Het pilotgebied van de Uitgeesterbroekpolder kan omschreven worden als een klei op veengebied; een gebied dat op de overgang lag van het getijde gebied van het Oer-IJ en het aangrenzende veengebied van centraal Noord-Holland.

Het project 'conserverend vermogen archeologisch erfgoed in de bodem van het Oer-IJ estuarium' valt onder het Senter programma Technologie & Samenleving / Archeologie. Het project naar het conserverend vermogen van het archeologisch erfgoed wordt getrokken door de vakgroep Geoarcheologie (voorheen PaleoTerra; ir. S. Smit) en de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, ROB (dr. R.M. van Heeringen).

Het hydrologische en bodemchemische onderzoek is uitgevoerd door J. Klein, studente van de vakgroep Hydrologie van de Universiteit van Amsterdam (VU) in het kader van een stage onderzoek bij het TNO-BenO. Het geologisch onderzoeksdeel (laagbeschrijving, stratigrafie en geogenese) is verricht door drs. P.C. Vos, die tevens de projectuitvoering leidde. De ruimtelijke lithologische lagenmodellen (3D) van de pilotgebieden zijn vervaardigd door drs. H. Veldkamp. Drs. R. Stuurman en ir. S. Smit hebben de stage van de VU begeleid en hebben meegeschreven aan de hydrologische en bodemchemische conclusies van dit rapport.

2 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek naar de condities van het bodemmilieu voor het behoud van deze archeologische resten in de twee pilotgebieden kent een aantal stappen, die in de volgende hoofdstukken beschreven zullen worden. Het betreft de volgende onderdelen:

Beschrijving van de geogenese van de Oer-IJ regio, de voorkomende lithologische laageenheden en het ruimtelijk lagenmodel van de pilotgebieden (hoofdstuk 3)

De Oer-IJ regio omvat het gebied tussen Velsen, Limmen, Zaandam en Amsterdam. In het verleden lag in dit gebied tussen 4500 en 2000 voor heden een estuarium (getijdengebied), waarvan de monding (zeegat) lag ten zuiden van Castricum aan Zee. Dankzij uitgebreid geologisch en archeologisch onderzoek dat de afgelopen decennia in het gebied is uitgevoerd is de paleogeografische ontwikkeling van dit gebied redelijk bekend (Vos & Soonius, 2004). De lithologische samenstelling van de laageenheden en de geologische opbouw van de lagen (stratigrafie) binnen de twee pilotgebieden worden in hoofdstuk 3 behandeld. De laagkenmerken en de stratigrafie zijn voor het grootste deel bepaald aan de hand van het boorbestand in DINO (Data en Informatie Nederlandse Ondergrond; de geologische database van het TNO-BenO). Vervolgens zijn met behulp van de onderscheiden laageenheden in de boringen twee ruimtelijke lithologische lagenmodellen gegenereerd van de beide pilotgebieden, tot 4 meter – NAP. De hoogte van het maaiveld in de ruimtelijke modellen is verkregen uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

Bodemchemische factoren en processen, theorie (hoofdstuk 4)

De bodemfactoren en processen die van invloed zijn op de conservering van het archeologisch erfgoed in de bodem worden behandeld in dit hoofdstuk. Het betreft de grondwaterstand, reductieoxidatie potentiaal, de zuurgraad, geleidbaarheid, temperatuur en de lithologische samenstelling van de ondergrond (o.a. organische stof- en kalkgehalte).

Hydrologische beschrijving van de pilotgebieden (hoofdstuk 5)

In dit hoofdstuk wordt de grondwatersituatie van de twee pilotgebieden behandeld.

Aanvullend hydrogeologisch veldonderzoek (hoofdstuk 6)

In dit hoofdstuk worden de bestaande hydrologische meetgegevens in de beide deelgebieden geïnventariseerd en geanalyseerd, zoals de polderpeilen, grondwatertrappen en verzuringsgevoeligheid.

De bestaande hydrologische meetgegevens zijn verkregen uit:

- De grondwater database van het TNO-BenO in DINO
- Het COLN-archief waar zich grondwaterstanden bevinden uit de periode 1950-1955, (2) op basis van de grondwatertrappenkaart, (3) op basis van hydromorfe kenmerken
- Polderpeil metingen van RAAP
- Waterstaatskaarten (1:50.000), blad 19W (1885, 1951, 1970 en 1982)
- Recente hydrologische metingen in de proefgebieden van PaleoTerra, die gelegen zijn binnen de pilotgebieden.

Naast deze bestaande gegevens zijn in het kader van de stage van J. Klein een aantal controle boringen uitgevoerd in de pilotgebieden, en zijn een aantal aanvullende hydrologische waarnemingen gedaan in deze boringen (bepaling grondwaterstand, beschrijving hydromorfe kenmerken, bepaling zuurgraad en redoxpotentiaal)

In de hoofdstukken 7 en 8 worden conclusies getrokken over *kwaliteit, betrouwbaarheid en variabiliteit van de gebruikte hydrogeologische gegevens en het conserverend vermogen van de bodem voor het behoud van her archeologisch erfgoed in de pilotgebieden*. Tot slot wordt in hoofdstuk 8 een aantal aanbevelingen gedaan voor toekomstig geohydrologisch onderzoek met betrekking tot het behoud en beheer van het archeologisch erfgoed in de Oer-IJ regio.

3 Geogenese en geologische laagopbouw

3.1 Geogenese

De naam ‘Oer-IJ’ is afkomstig van de bodemkundige Gúray (1952). Hij gaf deze naam aan het voormalige mariene getijdensysteem, dat gedurende de prehistorie (4500 – 2000 voor heden) lag binnen het gebied tussen Velsen, Limmen, Uitgeest, Assendelft, Zaandam en Amsterdam. Dit getijdensysteem was de voorloper van het latere IJ-meer, dat tijdens de Middeleeuwen tot volle wasdom kwam. Het Oer-IJ kon in de prehistorie een estuarium genoemd worden omdat het via de rivierloop van de Utrechtse Vecht verbinding had met de Oude Rijn (de toenmalige hoofdloop van de Rijn).

In het gebied van het Oer-IJ estuarium heeft in de afgelopen 25 jaar veel (geo)archeologisch onderzoek plaatsgevonden. Een belangrijke geologisch studie in de regio is het uitbrengen van het geologisch kaartblad Alkmaar (19W) geweest (Westerhoff, et al, 1987). Deze studie heeft voor wat betreft het mondingsgebied (Castricumerpolder) dankbaar gebruikt gemaakt van de bodemkundige kartering van De Roo (1953), een bodemkartering die in die tijd een sterk fysisch geografische inslag had.

Grootschalige opgravingen hebben in de jaren '80 en '90 onder meer plaatsgevonden in de Assendelverpolder en in de Broekpolder (Beverwijk / Heemskerk). Onlangs is er bij de aanleg van een spoortunnel bij Uitgeest een Midden IJzertijd kano gevonden in een getijde kreek van het Oer-IJ en daarbij kwamen naast de getijde geulafzettingen ook de strandwalafzettingen en de overvening van de strandwal in beeld.

De (geo)archeologische onderzoeken in de Assendelverpolder, de Broekpolder en die bij Uitgeest hebben veel gegevens opgeleverd over de landschapscondities van de laatste 5000 jaar. Op basis van deze kennis is een landschapsgenese gereconstrueerd voor het deel van het Oer-IJ estuarium tussen Castricum en Assendelft. Aan de basis van dit model liggen de volgende onderzoeksrapporten en publicaties ten grondslag: Vos, 1983; Brandt, e.a., 1987; Therkorn, e.a., 1997; Vos, 1998; en Therkorn, 2000. Op basis van deze kennis zijn door Vos en Soonius (2004) een viertal kaartvisualisaties gemaakt van de landschapsonwikkeling tussen 2500 v. en 900 n Chr. (figuur 1 t/m 4). Deze kaarten zijn gemaakt in het kader van de Archeologische Kennis Inventarisatie (AKI) van het Oer-IJ estuarium (S. Lange et al, 2004).

De landschapsgenese van het Oer-IJ op basis van de bovengenoemde kennis is samengevat in tabel 1. In het volgende hoofdstuk zal dit genetische model gekoppeld worden aan de lithologische laageenheden die in de pilotgebieden voorkomen aan van het Oer-IJ (tijd/milieu reconstructie van de lagen).

Tabel 1: Landschapsgenetisch model van het Oer-IJ estuarium (zie ook figuren 1 t/m 4).

Periode in cal.j. vC /nC	Landschapsgenese
Fase 1: Periode voor 2500 vC	<i>Ontstaan van het Oer-IJ.</i> Tussen 4000 en 2500 vC nam de stijging van de relatieve zeespiegel langs de Nederlandse kust af. Het gevolg was dat de getijdengebieden in Holland en Zeeland verlandden, dit doordat de netto ophoging van deze gebieden (door sedimentatie) groter werd dan de stijging van de zeespiegel. Door deze verlanding namen de getijvolumes van de

Periode in cal.j. vC /nC	Landschapsgenese
	<p>mariene bekkens in Holland en Zeeland af, breidden de veengebieden zich vanuit het achterland uit, werden de getijdengeulen in de bekkens kleiner, en ontstond er een gesloten strandwallenkust met enkele zeegaten waarop rivieren uit het achterland afwaterden. Het Oer-IJ systeem was een van die zeegaten. Dit zeegat ontwikkelde zich tijdens de dichtzanding van het oude zeegat van Haarlem. Ter hoogte van de overgang Beverwijk – Heemskerk zich een nieuwe getijgeul die vanaf die tijd het achterliggende gebied ging afwateren. Het zeegat van Haarlem werd daarmee overbodig en stooft vervolgens volledig dicht.</p>
Fase 2: 2500 –1500 vC	<p><i>Mariene activiteit langs de randen van de Oer-IJ geul en veenvorming in het beschutte achterland.</i> Getijde afzettingen vormen zich in het hart van het Oer-IJ gebied. Slechts een beperkt deel (o.a. kwelderafzettingen in de Broekpolder) is daarvan overgebleven. Dit was het gevolg van latere geulerosie in het Oer-IJ. Deze erosie heeft een aanzienlijk deel van de oude Oer-IJ getijdenafzettingen opgeruimd. Door de geïsoleerde ligging van de Assendelferpolder en de Uitgeesterbroekpolder (t.o.v. het hart van het Oer-IJ in die tijd) groeide daar het veen hoog op en werd dit veen alleen nog maar gevoed door regenwater (met een laag gehalte aan nutriënten) Het gevolg was dat daar zich op grote schaal oligotroof veen ging vormen.</p>
Fase 3: 1500 – 1000 vC	<p><i>Actieve mariene fase en noordwaartse opschuiving van het mondingsgebied richting Castricum-Uitgeest.</i> Door de vergroting van de mariene activiteit in het Oer-IJ werden de extreem hoge waterstanden (EHW) groter. Het gevolg was dat de randzone van het estuarium vaker overspoeld en dat daar zich een kleilaagontwikkelde op het veen. Door incidentele overstromingen van het veengebied in de Assendelferpolder en de Uitgeesterbroekpolder breidden de rietveengordel zich daaruit over het oligotrofe veen. Waarschijnlijk ontwikkelde zich in deze veengebieden afwateringskreeken, die door afslag en autocompactie (daling veen door kleiafzetting) steeds breder werden. Het gevolg van deze ontwikkeling was dat daar brede komvormige depressies ontstonden waarin de ostracode klei tot afzetting kwam. Deze depressies stonden permanent onderwater.</p>
Fase 4: 1000 – 800 vC	<p><i>Aanloop naar de rustige mariene fase.</i> Een estuarium met beperkte getijdenwerking in het achterland. De getijdeslag en de extreme hoge waterstanden in het estuarium nemen af. De veenzone langs de flanken van het Oer-IJ wordt niet meer overstroomd door voedselrijk water. Daardoor kon zich in de oostelijke randzone van het Oer-IJ oligotroof veen op het rietveen vormen.</p>
Fase 5: 800 – 700 vC	<p><i>Rustige mariene fase.</i> Delen van het oligotrofe randveen worden ontwaterd via natuurlijke kreeken en gegraven sloten. De oostelijke veenrandzone van het Oer-IJ is geschikt voor bewoning. Kwelders aan de westkant lagen het grootste deel van het jaar droog. Rietkragen vormde zich langs de randen van de hoofdgeul van het Oer-IJ en binnen het kwelderlandschap van de Assendelferpolder en de Uitgeesterbroekpolder (het 'rietstengel niveau').</p>
Fase 6:	<p><i>Actieve mariene fase.</i> De toename van de mariene activiteit is</p>

Periode in cal.j. vC /nC	Landschapsgenese
700 – 600 vC	mogelijk veroorzaakt door grotere zoetwaterafvoeren uit het Flevomeer- en Vechtgebied (ontstaan van de noordelijke riviertak van de Rijn). Door de grotere waterafvoer uit het achterland werd het zeegat groter en werd de getijde werking groter in het estuarium. Door de toename van de getijslag werd ook het getijde volume (komberging) groter. De toename van de getijslag werd daarnaast ook vergroot door 'autoloading processen' (zakking door kleiafzetting op slapveen) en door de daling van het veen/klei gebied als gevolg van (antropogene) ontwatering in de voorafgaande bewoningsperiode van het veen. Omdat er een lineaire relatie bestaat tussen getijvolume en de natte doorsnede van getijgeulen Door de toename van het getij volume in het Oer-IJ worden ook de geulen en de getijslag groter en stijgt het EHW niveau. Als gevolg van het laatste proces wordt de veenrandzone regelmatig overstroomd.
Fase 7: 600 – 400 vC	<i>Omslag van een actieve naar een rustige mariene fase.</i> Het effect van het opslibbingsproces in het estuarium wordt groter het proces van de kombergingsvergroting. Door de verkleining van het getij volume werden de geulen en krekken geleidelijk ondieper (verkleining natte doorsnede)
Fase 8: 400 – 200 vC	<i>Rustige mariene fase.</i> Verdere afname mariene activiteit in het estuarium. Het proces van opslibbing en dichtslibben van de getijde krekken en geulen gaat door. Kwelderrekken waren nog wel open maar getijde werking was beperkt (restgeul fase). Door het dichtslibben van de geulsystemen werd de getijde werking in het estuarium geremd (toename bodemweerstand) en als gevolg daarvan namen de getijde hoogten (GHW en EHW) af. De rietveen-randzone werd niet meer overstroomd met voedselrijk water. In deze veenzone begon - op de plaatsen die niet bewoond en kunstmatig ontwaterd werden - de oligotrofe veenvorming.
Fase 9: 200 – 0 vC	<i>Fase van de incidentele stormvloeden.</i> Oer-IJ estuarium raakt geïsoleerd van de zee. Kwelders worden nog slechts een incidenteel tijdens grote stormvloeden overstroomd. Het zeegat voor de kust is vrijwel gesloten. Alleen tijdens extreme stormen breekt de zee nog in het Oer-IJ gebied en worden grote hoeveelheden zand van het mondings- en duinengebied het Oer-IJ in gestuwd. Met uitzondering van de incidentele stormvloeden lagen de kwelders permanent droog. Van getij werking in het estuarium was in deze periode nauwelijks meer sprake.
Fase 10 0-200 nC	<i>Verlandingsfase.</i> Het Oer-IJ is verland en geïsoleerd van de Noordzee. De strandwal voor de kust heeft het Oer-IJ van de zee afgesloten en er is geen mariene invloed meer merkbaar in het achterland van het Oer-IJ. Dit gebied is geheel verzoet en waterde af via het IJsselmeer gebied naar zee.
Fase 11: 200 – 400 nC	<i>Vernattingsfase door gebrekkige interne drainage.</i> Ontwatering in het verlande estuarium verslechterde. In de lagere delen ontstaan (ondiepe meren) en in het voormalige kwelder gebied in Assendelft begon de veenvorming.

3.2 Lithostratigrafie pilotgebieden

De lithologische laageenheden in de pilotgebieden worden op formatie- en laagpakketniveau ingedeeld op basis van de nieuwe stratigrafische indeling van Nederland (De Mulder e.a., 2003). De afzonderlijke lagen - die voorkomen binnen de laagpakketten - zijn in deze nieuwe lithostratigrafische indeling echter (nog) niet afzonderlijk onderscheiden. De bestaande oudere stratigrafische indelingen zullen op dit niveau niet worden toegepast. De indeling van De Roo (1953) wordt niet gebruikt omdat het hier een verouderde genetische classificatie betreft en omdat alleen de oppervlakte sedimenten (tot 1.2 m –maaiveld) beschreven zijn. De klassieke laagindeling van de Rijks Geologische Dienst – namelijk Afzettingen van Calais 1 t/m 4 en Duinkerke 1 t/m 3b, die in de jaren '60 t/m '90 door de bij de oppervlakte kartering van Nederland 1 : 50.000 gebruikt is - wordt eveneens niet overgenomen omdat deze indeling niet strikt lithostratigrafisch is, maar in hoofdzaak gebaseerd is op ouderdomverschillen (chronostratigrafie).

Om deze reden is met betrekking tot de voorkomende laageenheden in de pilotgebieden een nieuwe (informele) lithostratigrafische indeling samengesteld. Deze nieuw benoemde laageenheden vormen het *framework* van de lithologisch lagenmodellen in de pilotgebieden (hoofdstuk 3.3)

Binnen het bovenste mariene pakket in de studiegebieden (Formatie van Naaldwijk / Laagpakket van Walcheren; voorheen afzettingen van Duinkerke) zijn de volgende eenheden onderscheiden:

- *IJ-polder afzettingen*: dit zijn alle zoet tot brakwater afzettingen die gevormd zijn in het voormalige IJ-meer en de Crommenije. Ook de laterale overstromingsafzettingen vanuit de meren (IJ en het Uitgeestermeer) worden tot deze laag gerekend. De IJ-polder afzettingen worden gevormd vanaf c. 1 nC, vanaf de tijd dat het zeegat bij Castricum definitief is verland en de mariene invloed alleen via het achterland in de regio kwam (via Zuiderzee gebied en de Rekere bij Alkmaar).
- *Oer-IJ afzettingen* : alle brakke en mariene getijdenafzettingen die gevormd zijn vanuit het zeegat van het Oer-IJ. Het Oer-IJ getijdensysteem is vanaf c. 3000 – 2500 vC ontstaan (hoofdstuk ..). De Oer-IJ afzettingen zijn dus gevormd in de periode tussen c. 3000 en 0 vC.

De IJ-polder en Oer-IJ afzettingen zijn gevormd op het Hollandveen. Dit Hollandveen (laagpakket) wordt gerekend tot de Formatie van Nieuwkoop (voorheen onderdeel van de Formatie van Westland). In de Zaansteek ligt dit veenpakket aan het oppervlak en vormt daar het grote veenweide gebied van centraal Noord-Holland. De mariene klastische afzettingen onder de Oer-IJ afzettingen en het Hollandveen worden gerekend tot het Laagpakket van Wormer (voorheen Afzettingen van Calais). Deze afzettingen vormen het substraat in het lagenmodel van de Uitgeesterbroekpolder. In het model van het pilotgebied van de Castricumerpolder ontbreekt het Laagpakket van Wormer omdat daar dit laagpakket te diep ligt en / of omdat het geërodeerd is tijdens de vorming van de Oer-IJ afzettingen.

De laageenheden die voorkomen binnen de bovengenoemde eenheden zullen hieronder per pilotgebied kort beschreven worden. Aan de laageenheden zijn (informele) codes toegevoegd zodat de lagen makkelijk te coderen zijn in de profielen en het ruimtelijk model (hoofdstuk 3.3).

3.2.1 *Laageenheden in de Castricumerpolder*

IJ-polder afzettingen

Assendelverpolder laag, Castricumerpolder facies (Ap-c)

Lithologie: lichte tot vrij zware kleien (klei, matig siltig tot zwak zandig), die kalkloos tot kalkrijk zijn. Het humeus gehalte van de eenheid is in het algemeen laag. In de Castricumerpolder bevat de (Ap-c) laag meer kalk en is deze laag in het algemeen veel zandiger dan de (Ap-u) laag in de Uitgeesterbroekpolder. Dit wordt veroorzaakt doordat in de Castricumerpolder gedurende de afzetting veel kalkhoudend zand in de directe omgeving beschikbaar was, dit in tegenstelling tot de situatie in de Uitgeesterbroekpolder. Ook door later antropogene verstoringen (ploegen) kan veel zand in de klei zijn gemengd.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De Ap-laag vormt een deklaag in de lager gelegen delen (> 0.5 m –NAP) van de Castricumerpolder. De dikte van de laag varieert veelal tussen 20 – 100 cm, en de laag ligt meestal op een diepte tussen de 0.5 – 1.5 m – NAP. Op die locaties waar de Ap-deklaag een geringe dikte heeft, is deze laag geheel opgenomen in de geploegde bouwvoor.

Ouderdom: c. 300 – 1800 nC (fase 11 en later)

Genese: Overstromingskleien, afgezet vanuit restkreken (/ sloten) van het Oer-IJ (o.a. De Dije) Uitgeestermeer)

Oude terminologie: *Pikklei* (De Roo, 1953); *Duinkerke III* (Westerhoff et al, 1987)

Heemskerkerbroekpolderlaag (Hp)

Lithologie: kalkloze, humeuze en venige kleien. Zandlaagjes kunnen in deze gronden voorkomen. Deze laagjes kunnen ingestoven zijn in de kleien, maar kunnen ook door de mens zijn aangebracht (verstoring). De laageenheid kan ook uit kleilig rietveen en rietveen bestaan; in dat geval zou deze afzetting volgens de nieuwe lithostratigrafische indeling tot de Formatie van Nieuwkoop gerekend moeten worden.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De laag komt voor in de restgeulen van de oude prehistorische getijde krekensysteem. De Hp-laag ligt aan maaiveld of wordt afgedekt door een dunne deklaag Ap-afzettingen. De dikte van de laag varieert veelal tussen 20 – 100 cm, en de laag ligt meestal op een diepte tussen c. 0.5 – 1.5 m -NAP

Ouderdom: c. 300 – 1250 nC (fase 11 en later)

Genese: Middeleeuwse restgeulopvullingen. De laageenheid is oorspronkelijk veel dikker geweest en heeft ook een grotere verbreiding gehad. Door ontwatering is veel organisch mater verdwenen door geoxidatie. De laag heeft daardoor tegenwoordig een kleinere verbreiding gekregen vergeleken met het gekarteerde gebied in 1953 door De Roo.

Oude terminologie: *delgronden* (De Roo, 1953); *Duinkerke III Afzettingen* (Westerhoff, e.a. 1987)

Oer-IJ afzettingen

Castricumerpolderlaag (Cp)

Lithologie: zandige afzettingen, waarvan de korrelgrootte mediaan voor het overgrote deel valt in de klasse ‘zeer fijn zand’. De zandige afzettingen zijn kalkhoudend. De zandige afzettingen bevatten een wisselend gehalte aan klei; de grondsoort kan variëren tussen zand, zwak siltig en klei, matig zandig. De top van de Cp-laag is vaak vrij homogeen (arm aan sedimentaire structuren en kleilaagjes). Op grotere diepte (> 1 m)

nemen de sedimentaire structuren, kleilaagjes en schelpen (laagjes) in de eenheid. Mariene schelpen kunnen aanwezig zijn als losse exemplaren, maar kunnen ook in levenstand voorkomen. Op nog grotere diepte worden ook vaak veendetrituslaagjes en verslagen brokken veen in deze laagte aangetroffen. Ook de korrelgrootte kan op grotere diepte toenemen.

Stratigrafische positie / diepte ligging: In de hogere delen van de polder (rond 0 m NAP) komt de laag aan maaiveld voor. Waar de Oer-IJ getijde geulen zich diep hebben ingesneden kan de laag meer dan 18 m dik zijn.

Ouderdom: c. 2500 - 200 vC (fase 2 t/m 9)

Genese: Mariene getijdenafzettingen, hoofdzakelijk gevormd binnen het intergetijde en supragetijdenmilieu (wadden en geulen).

Oude terminologie: *Stroomwal- en stroomgeulgronden* (De Roo, 1953); *Duinkerke I* en oudere afzettingen (Westerhoff, e.a. 1987)

Broekpolderlaag (Bp)

Lithologie: zandige, veelal zwak humeuze kleien, die gelaagd zijn met dunne 'kronkelige' zandlaagjes. De kleien zijn sterk siltig tot sterk zandig. De kleien zijn meestal kalhoudend. Mariene schelpfragmenten kunnen in de laagte voorkomen, maar schelpen in levenstand ontbreken.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De grootste verbreiding van de Bp-laagte ligt in het overgangsgebied van de strandwal- en duinzanden van Beverwijk, Heemskerk, en Uitgeest naar het centrale deel van het Oer-IJ estuarium. In het pilot-gebied, dat centraal in het Oer-IJ mondingsgebied ('binnendelta' cf De Roo, 1953) ligt, ontbreekt de Bp laag.

Ouderdom: c. 2000 – 200 vC (fase 2 t/m 9)

Genese: Kwelderafzettingen, gevormd langs de randen van de strandwallen en duinen.

Oude terminologie: *Strandwalovergangsgonden* en *strandwalgronden* (De Roo, 1953); *Duinkerke I* en ouder (Westerhoff, e.a. 1987)

3.2.2 *Laagte in de Uitgeesterbroekpolder*

IJ-polder afzettingen (IJPA)

Assendelpolder laag, Uitgeesterbroek facies (Ap-u)

Lithologie: zware, stugge kleien (klei, zwak tot matig siltig), die doorgaands kalkloos zijn. De Ap-u facies is in het algemeen zwak humeus, maar lateraal waar de laag overgaat naar het veen wordt de laag sterk humeus (venig). Bij droogte ontstaan prismatische blokken in deze zware klei.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De Ap-u-laag is de afdekkende kleilaag in de polder met een dikte van veelal 20 – 50 cm. De laag ligt meestal op een diepte tussen c. 1 – 2 m –NAP.

Ouderdom: c. 500 – 1800 nC. Het grootste deel van de laag is gevormd in de tijd na de eerste veenontginningen in het gebied (vanaf 900 nC; na fase 11)

Genese: Overstromingskleien, afgezet vanuit de omringende meren (IJ, Crommenije, Uitgeestermeer)

Oude terminologie: *Pikklei* (De Roo, 1953); *Duinkerke III* (Westerhoff, e.a. 1987)

Oer-IJ afzettingen (OIIA)

Uitgeesterbroekpolderlaag (U<40 en Up>40)

Lithologie: kleiige afzettingen (klei, zwak tot uiterst siltig), die kalkloos tot kalkhoudend kunnen zijn. De kleien bevatten zandlaagjes en zijn kalkhoudend in en nabij de kreekafzettingen. De Up-u laag in het algemeen zwak humeus, maar lateraal - waar de laag overgaat naar het veen - wordt de laag sterk humeus en wordt deze ook venig. De laterale kleiafzettingen - dunner dan 40 cm - zijn in het algemeen kalkloos en zijn veelal sterk (riet) doorworteld. Bij droogte ontstaan – net als in de bovenliggende Ap-u laag -prismatische blokken in deze kalkarme klei.

De kalkhoudende dikkere Uitgeesterbroekpolderlaag (> 40 cm) wordt gecodeerd als

Up>40 en de kalkloze dunnere Uitgeesterbroekpolderlaag (< 40 cm) als *UP<40*.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De laageenheid ligt ingeklemd tussen de Ap-u / ox laag aan de bovenkant en het Hollandveen (hv) aan de onderkant. De top van de laag ligt meestal 25 tot 50 cm ondermaaiveld op een diepte van c. 1.5-2 m –NAP. Op die plaatsen waar kwelder getijdenkreeken zich hebben ingesneden tot in de top van het Laagpakket van Wormer kan de laag een dikte bereiken van c 2.5 m en ligt de basis rond de 4 m -NAP

Ouderdom: c. 1500 – 200 vC (fase 3 t/m 8)

Genese: de laageenheid is voor het grootste deel afgezet in een kweldermilieu. Op basis van genese kunnen de volgende milieus (facies) binnen deze kwelderafzettingen onderscheiden worden: kreek, restgeul, oeverwal en kwelderkom.

Oude terminologie: zavel, lichte klei of venige klei, niet verder benoemd door De Roo (1953); *Duinkerke I* en oudere afzettingen (Westerhoff, e.a. 1987).

Uitgeesterbroekpolderlaag - ostracodenlaag (Up-o)

Lithologie: De ostracodenlaag (of ostracodenklei) vormt een specifieke sublaag binnen de Up laag. Het zijn humeuze tot sterk humeuze kleien, die veel ostracoden bevatten. Naast ostracoden kan de laag ook veel mollusken bevatten, zoals *Cardium glaucum* en hydrobia's. De hydrobia's zijn vaak geconcentreerd in laagjes. De ostracodenklei is niet of nauwelijks doorworteld.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De laageenheid ligt aan de basis van de Up-laag, op een diepte van c 3 – 4 m –NAP. De laag is veelal niet dikker dan 1 m. De overgang tussen de ostracodenlaag en het onderliggende Hollandveen is erosief. Geometrisch vormt de ostracoden-eenheid langgerekte komvormige depressies in het Hollandveenlichaam.

Ouderdom: c. 1500 – 800 vC (fase 3 en 4). Hydrobia laagjes in de ostracodenklei zijn in de Assendelpolder gedateerd op 3060 ± 70 ¹⁴C jaren BP (Vos, 1998).

Genese: De erosieve basis, de langgerekte komvormen, de diepte ligging van de eenheid en de schelpen duiden op een brakke onderwaterafzetting. Mogelijk zijn het oude 'afwateringsbanen' in het veen geweest, die onderinvloed stonden van getijde werking. De afzettingen zijn ouder dan 600 vC, omdat jongere Midden-IJzertijd getijdenkreeken, die morfologisch in het veld duidelijk zichtbaar zijn, zich in de ostracoden-afzettingen hebben ingesneden. Deze jongere kreeken volgen overigens gedeeltelijk het langgerekte kompatroon van de ostracodenklei.

Oude terminologie: Roo (1953) en Westerhoff (e.a. 1987) hebben deze dieper liggende eenheid niet apart onderscheiden. In de Assendelpolders is deze eenheid wel herkend en als *ostracodenklei* beschreven (Vos, 1998).

Hollandveen (Hv)

Oxidatie laag (Ox)

Lithologie: zwarte, kruimelige organische laag. De laag is een restant van een oorspronkelijk veenpakket dat voor het grootste deel geoxideerd is. In de meest geoxideerde vorm bestaat de laag uit een kalkloze, humeuze klei met zwarte vlekken. Lateraal, naar het veengebied van de Zaanstreek toe, is meer veen bewaard gebleven, en bestaat de laag uit een amorfe sterk geoxideerde veenlaag.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De Ox-laag ligt ingeklemd tussen de Ap-u en de Up laag, op een diepte van c. 25 tot 50 cm – maaiveld (c 1.5 – 2 m –NAP).

Ouderdom: c. 300 - 1000 nC (fase 11).

Genese: veenlaag die vanaf de Middeleeuwse ontginningen geheel of grotendeel is geoxideerd. Het residu is herkenbaar als een zwartige laag, gelegen tussen de eenheden Ap-u en Up. Mogelijk is een deel van het veen ook verdwenen door het afbranden van de venen. Daarvoor zijn - in een vergelijkbare laag is ter hoogte van Euvelgunne (Groningen) - micromorfologische aanwijzingen voor gevonden (Exaltus, in Schrijen & Vos, 2004).

Oude terminologie: Roo (1953) en Westerhoff (e.a. 1987) hebben het ‘oxidatie niveau’ alleen onderscheiden in de laterale fase naar het grote veengebied. Daar hebben zij deze laag als venige laag of als ‘veensplit in de Duinkerke afzettingen’ herkent. In de Assendelverpolders is de Ox-laag als oxidatieniveau beschreven (Vos, 1998).

Hollandveen - hoofdmember (Hv)

Lithologie: veen, bruin donkerbruin of roodbruin. Het grootste deel van het veenpakket bestaat uit rietveen. Daarnaast komt lokaal ook oligotroof veen (o.a. heide, veemos en wollegras) in het veenpakket voor. Deze voedselarme veenlaag is in dit onderzoek niet apart als laageneheid onderscheiden.

Stratigrafische positie / diepte ligging: Het Hollandveen ligt ingeklemd tussen de Uitgeesterbroekpolder laag en het Laagpakket van Wormer. De veenlaag is vrijwel overal aanwezig in de ondergrond van de uitgeesterbroekpolder. Wel is de laag op een aantal plaatsen gedeeltelijk geërodeerd door de Up en de UP-o lagen. Het veenpakket ligt op een diepte tussen de c. 1.7 en 4 m –NAP.

Ouderdom: c. 2500 - 0 vC (fase 2 t/m 9).

Genese: Nadat het gebied rond 3000 – 2500 vC werd afgeschermd van de openkust door strandwallen vormde zich daar op grote schaal veen. Eutroof veen vormde zich indien het periodiek werd overstroomd met voedselrijk water uit de omgeving en oligotroof veen indien het alleen gevoed werd door regenwater. De wisselende aanvoer van voedselrijk regenwater hing samen met de landschapsveranderingen in het Oer-IJ.

Oude terminologie: veengronden Roo (1953) en ‘Hollandveen’ Westerhoff (e.a. 1987).

Laagpakket van Wormer (Wo)

De top van het Laagpakket van Wormer vormt de basiseenheid (substraat tot 5 m - NAP) van het onderzoeksgebied in de Uitgeesterbroek.

Lithologie: de top van het Laagpakket bestaat uit een blauwgrijze klei (de ‘ouwe blauwe’) die veelal c. 35% lutum bevat (klei sterk tot matig siltig). Verder is de top in het algemeen kalkloos tot arm en matig tot sterk doorworteld. Naar onder toe wordt het laagpakket in het algemeen zandiger, gaat het meer mariene schelpen bevatten en wordt de klei kalkhoudend.

Stratigrafische positie / diepte ligging: De top van Laagpakket van Wormer ligt onder het Hollandveen, op een diepte van c. 4 meter –NAP. Het laagpakket kan in dit gebied een dikte bereiken van meer dan 12 m.

Ouderdom: de top van het laagpakket is gevormd tussen 4000 en 3000 vC (fase 1).

Genese: de top van het laagpakket is gevormd in een supragetijdenmilieu (kwelderklei).

Oude terminologie: het laagpakket laag te diep om door bodemkartering van de Roo (1953) te worden onderscheiden. Westerhoff, e.a. (1987) rekenen deze eenheid tot de afzettingen van Calais.

Top van het Laagpakket van Wormer, gescheiden door een de Hollandveensplit

Achter de strandwal van Assum en Uitgeest is d. e top van het Laagpakket van Wormer in tweeën gesplitst door een dunne rietveenlaag (Hollandveensplit). Waar deze veensplit voorkomt, worden de Wormer afzettingen onder de split als Wormer 1 (Wo1) aangeduid en de Wormer afzettingen boven de laag als Wo2. De Hollandveensplit zelf wordt aangeduid met de code Hv 1 en de hoofdmember boven de Wo 2 als Hv2. De Hv1 laag is gevormd tussen c. 3350 en 3000 vC en de veenontwikkeling van hoofd Hollandveen member (Hv2) begint daar rond c. 2500 vC.

Antropogene lagen (of cultuurlagen)

Prehistorische cultuurlagen in Uitgeesterbroekpolder komen voor (/ zijn te verwachten) tussen de Ox-laag en de Up-u laag. Gedurende de Late IJzertijd en de Romeinse tijd was de top van de kwelder van de Up-u laag geheel verland en geschikt voor bewoning. In de Castricumerpolder ligt het prehistorische oppervlak (oude maaiveld) aan de top van de Castricumerpolderlaag (Cp)

Mogelijk dat ook in de top van het Laagpakket van Wormer antropogene sporen aanwezig zijn. Archeologische bewijzen zijn daarvoor tot nu toe niet gevonden in het gebied. Wel is het aangrenzende strandwallengebied van Uitgeest en Dorregeest in die tijd (Neolithicum) bewoond geweest.

3.3 Lithologisch lagenmodel

De boordata - op basis waarvan het ruimtelijke lithologische lagenmodel is gegenereerd voor de twee pilotgebieden – bestaat uit boorgegevens uit DINO en uit eigen boringen gezet in het kader van dit project. De bovenste laagniveau van het lagenmodel (maaiveld) is verkregen uit de AHN hoogtegegevens.

De eerste stap in de bouw van de ruimtelijke lagenmodellen was de maaiveldhoogten van de gebruikte boringen aangepast te passen aan de AHN-maaiveldhoogtegegevens. In het verleden waren de maaiveldhoogten van de boringen namelijk gebaseerd aan de hand hoogtegegevens op de topografische kaarten 1:10.000 of 1:25.000. Deze boorhoogtegegevens zijn echter niet zo nauwkeurig. Door de AHN hoogte gegevens te gebruiken wordt een consistent bestand voor het model verkregen; de maaiveldhoogten van de boringen komen overeen met de top (maaiveld) van het lagenmodel.

De tweede stap in dit proces was de beschikbare boringen voor de pilotgebieden van de hierboven beschreven stratigrafie te voorzien ('labelen': laageenheden voorzien van laagcodes). De eenheden die gemodelleerd zijn in de pilotgebieden van de Castricumerpolder en van de Uitgeesterbroekpolder zijn weergegeven in de figuren 6 en 9; en in de profieldoorsneden van bijlage 4. Tevens zijn in de tabellen 2 en 3 de

relevante hydrogeologische karakteristiek eigenschappen (lithologie, k-waarde, dikte-range en kalkgehalte) van de eenheden met betrekking tot de archeologische degradatie processen samengevat.

Tabel 2: Hydrogeologische karakteristieke eigenschappen van de onderscheiden laageenheden in de Castricumerpolder

<i>Castricumerpolder</i>	<i>code</i>	<i>lithologie</i>	<i>k-waarde</i>	<i>dikte</i>	<i>kalk</i>
Prehistorisch oppervlak	AA				kalkloos
Assendelverpolderlaag	Ap-c	Klei, matig siltig tot zwak zandig	0,006/0,002	20-100 cm	Kalkloos tot kalkrijk
Heemskerkerbroekpolderlaag	Hp	Klei, humeus en weinig, eventueel met zandlaagjes	0,006/0,002	20-100 cm	kalkloos
Castricumerpolderlaag	Cp	Zand, median 'zeer fijn zand'	0,6/0,3	<18 m	kalkhoudend
Broekpolderlaag	Bp	Klei, zandig en zwak humeus	0,006/0,002		kalkhoudend

Tabel 3: Hydrogeologische karakteristieke eigenschappen van de onderscheidde laageenheden in de Uitgeesterbroekpolder

<i>Uitgeesterbroekpolder</i>	<i>code</i>	<i>lithologie</i>	<i>k-waarde kh/kv (m/dag)</i>	<i>dikte</i>	<i>kalk</i>
Prehistorisch oppervlak	AA				
Assendelverpolderlaag	Ap-u	Klei, zwaar en stug	0,006/0,002	20-50cm	kalkloos
Oxidatielaag	Ox				kalkloos
Uitgeesterbroekpolderlaag <40cm	Up<40	Klei, zwak tot uiterst siltig	0,006/0,002	250 cm (kreek)	kalkloos
Uitgeesterbroekpolderlaag >40cm	Up>40		0,006/0,002		Kalkarm/ kalkrijk
Uitgeesterbroekpolderlaag Ostracodelaag	Up-0	Klei, humeus tot sterk humeus	0,006/0,002	<100cm	kalkrijk
Hollandveen-hoofdmember	Hv	Veen, rietveen	0,025/0,019		kalkloos
Hollandveensplit	Hv1	veen	0,025/0,019		kalkloos
Hollandveen-hoofdmember boven Hv1	Hv2	veen	0,025/0,019		kalkloos

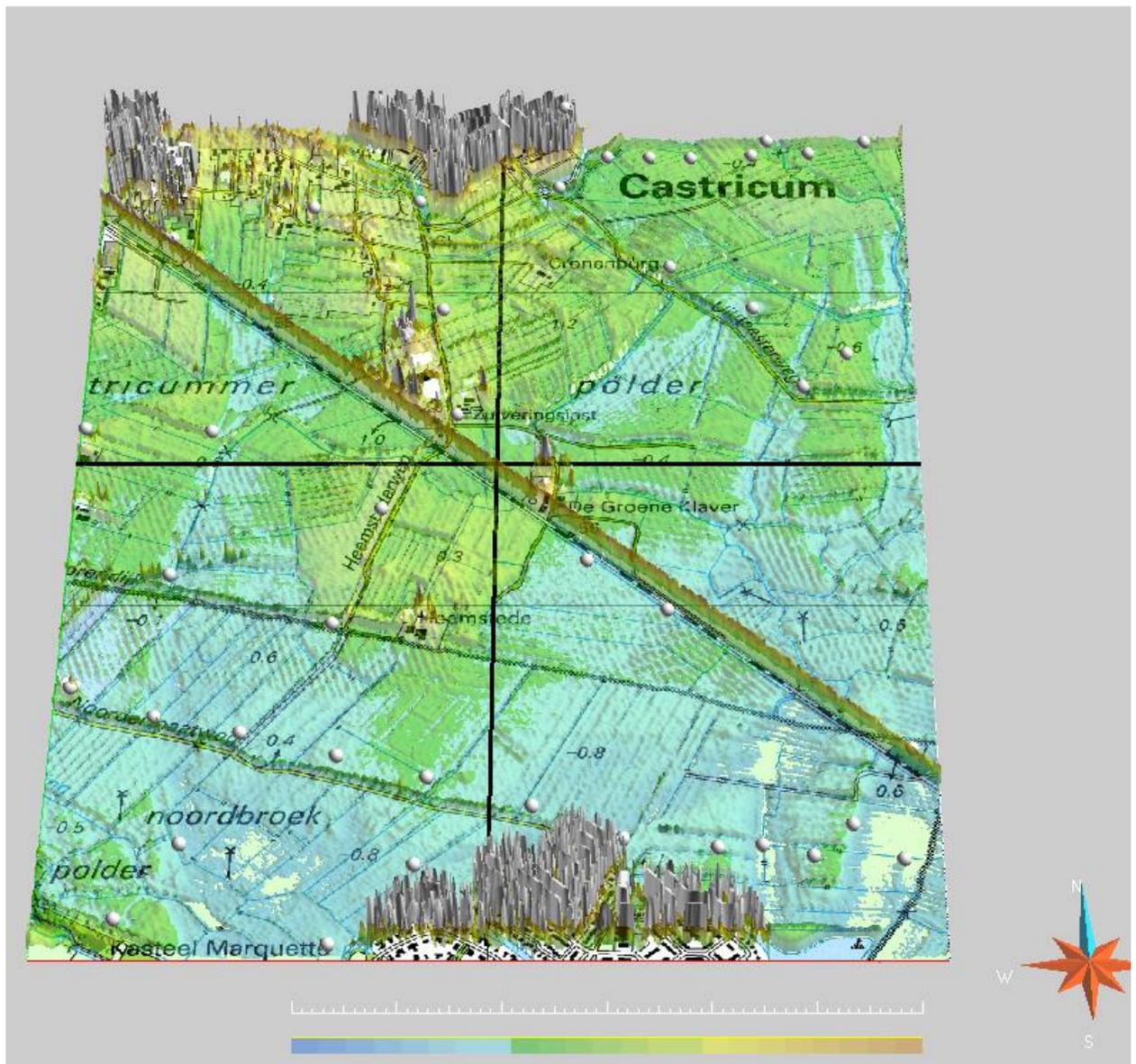
<i>Uitgeesterbroekpolder</i>	<i>code</i>	<i>lithologie</i>	<i>k-waarde kh/kv (m/dag)</i>	<i>dikte</i>	<i>kalk</i>
Laagpakket van Wormer	Wo	Klei, sterk tot matig siltig	0,006/0,002		kalkloos
Laagpakket van Wormer Tussen Hv1 en Hv2	Wo1	Klei, sterk tot matig siltig	0,006/0,002		kalkloos
Laagpakket van Wormer Onder Hv1	Wo2	Klei, sterk tot matig siltig	0,006/0,002		kalkloos

Om de consistentie van de laaginterpretaties (stratigrafische codes) van de pilot-gebieden ruimtelijk te kunnen controleren, zijn alle boringen in een 3D visualisatie- en modelleerpakket (GoCad) ingevoerd. Daar waar nodig (inconsistenties in de stratigrafische labelling) zijn de interpretaties herzien. Vervolgens zijn van alle laageenheden de diepteligging van de top van de lagen geïnterpoleerd volgens een trendvlak-residu methode. Deze methode houdt in dat uit de boorgegevens eerst op grove schaal een trendvlak wordt geïnterpoleerd, waarna op fijne schaal het residu van de diepteligging op het trendvlak wordt geïnterpoleerd met behulp van Linear Kriging. Trend en residu worden bij elkaar opgeteld en vormen de top van de laageenheid. Tot slot is het model gecontroleerd op consistentie (snijdende lagen, verspreidingsgrenzen), en, waar nodig, aangepast. Het uiteindelijke lagenmodel is een zogenaamd '2.5D' model, wat inhoudt dat van een laageenheid alleen de boven- en onderkant zijn gemodelleerd. De eenheid zelf wordt homogeen verondersteld, d.w.z. intern is geen variatie.

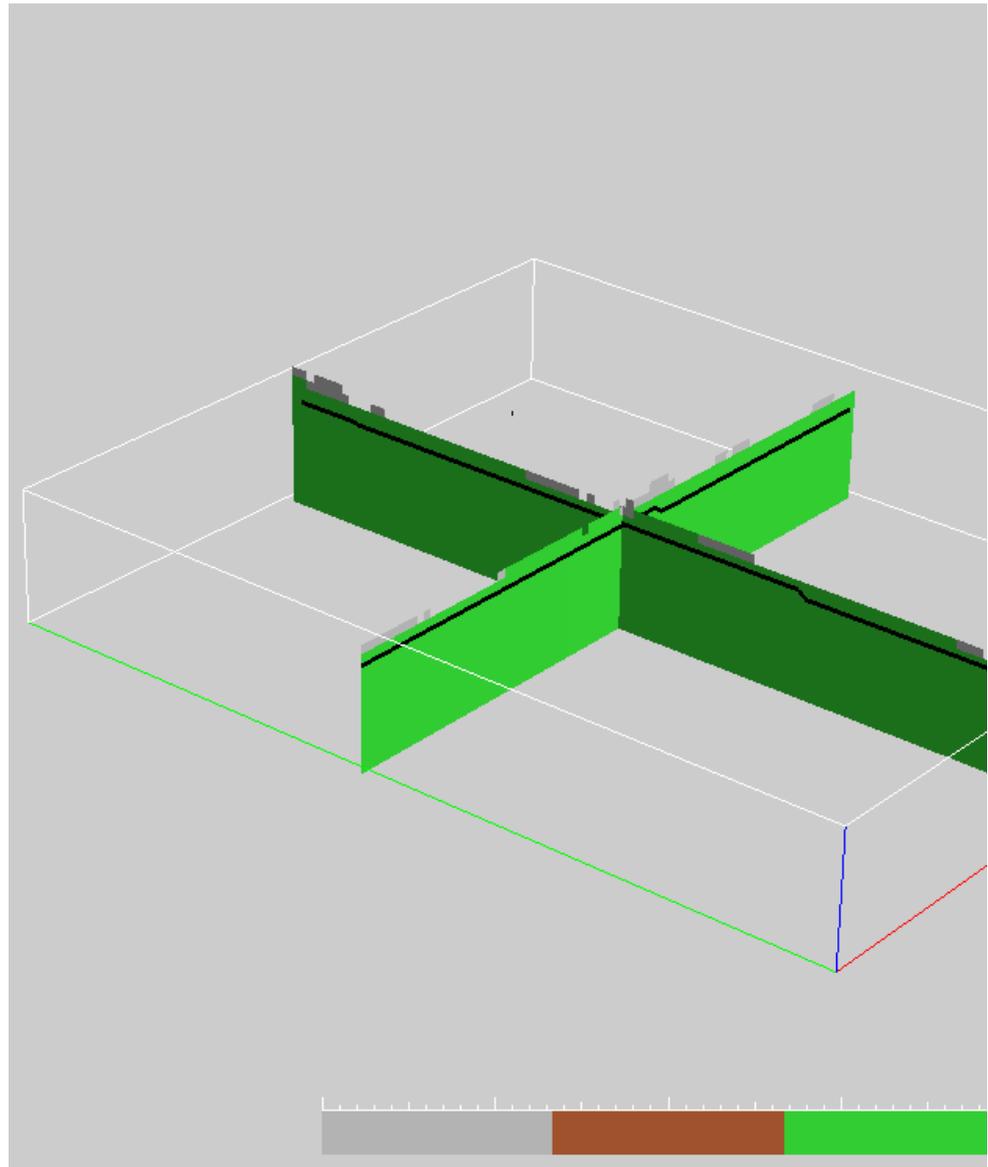
Na deze stappen zijn in het model nog handmatig twee geulensystemen (kreekpatronen) ingebracht die behoren tot de Uitgeesterbroekpolder-laag. Deze Up-geulen snijden lokaal in tot in de top van de Wo. Door de beperkte hoeveelheid boorinformatie is het onmogelijk dit soort geulen op acceptabele wijze in het model in te brengen, wanneer louter gebruik wordt gemaakt van standaard interpolatietechnieken. Deze geulen zijn daarom deterministisch in het model ingebracht. De geul-(of kreek)patronen zijn in het AHN goed zichtbaar als topografisch hooggelegen zones (kreekkruggen) en zijn aan de hand van deze patronen begrensd (figuur 7). Bij het inbrengen de geulen in het model is er vanuit gegaan dat de geulen insnijden tot in de (top van de) Wormer-laag en dat de geulen een symmetrische U-vormige dwarsdoorsneden hebben.

In het lagenmodel van de Uitgeesterbroekpolder zijn alle (sub)lagen van de Uitgeesterbroekpolder laag samen genomen; dit om het model niet te complex te maken en omdat de sublagen in een boorbeschrijvingen niet van elkaar onderscheiden konden worden (te beperkte beschrijvingen). In de profieldoorsneden van bijlage 4b en 4c zijn de sublagen wel aangegeven (Uitgeesterbroekpolderlaag, jongere en oudere facies, en de ostracodenlaag). Vergelijk ook bijlage 4a en b met figuur 8.

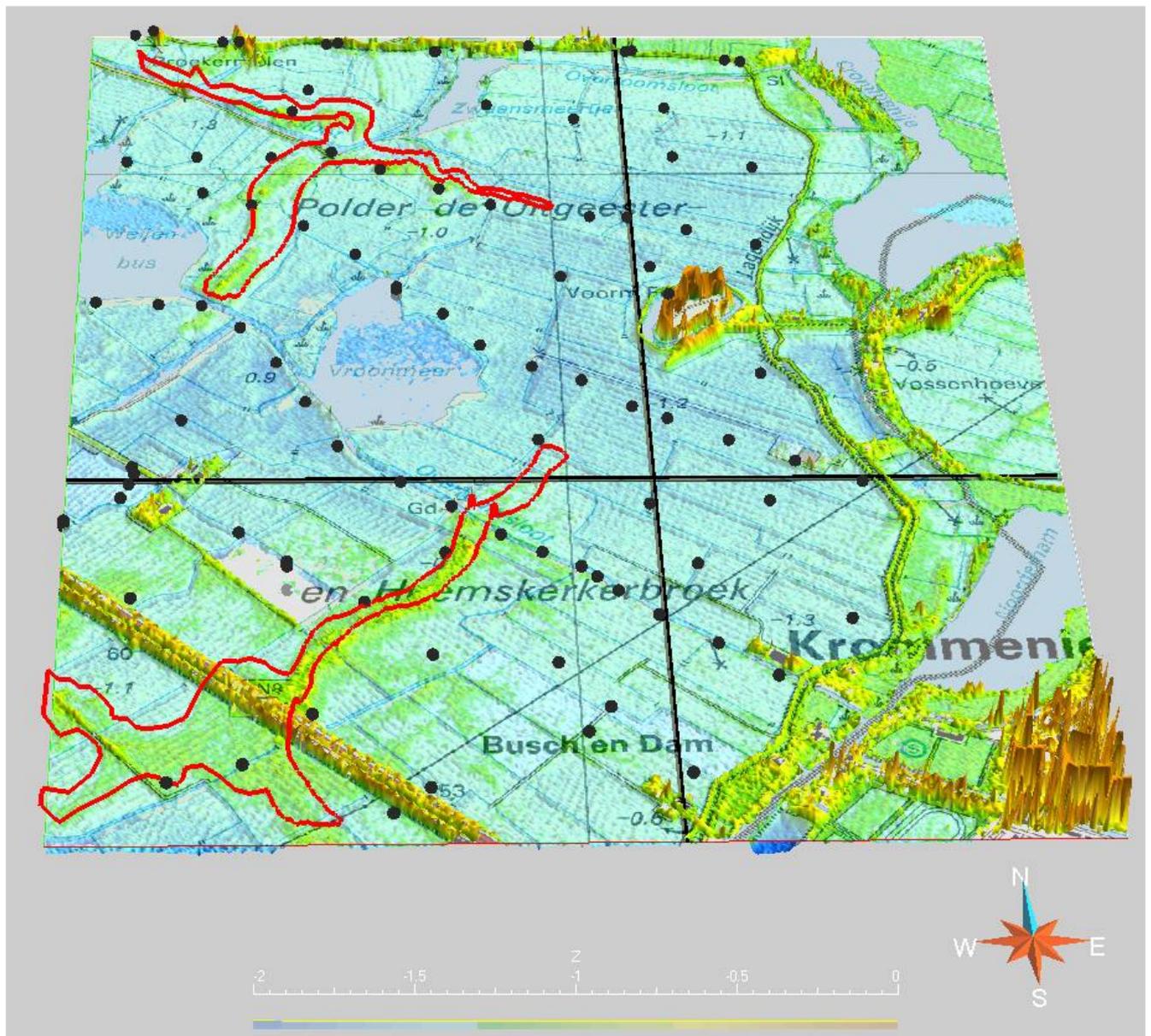
Figuur 5: AHN maaiveldkaart van het pilotgebied in de Castricumerpolder. Naast de maaiveldhoogte zijn op de kaart weergegeven: de topografie (slootpatronen), de boorpunten en twee profiellijnen (zie ook figuur 6).



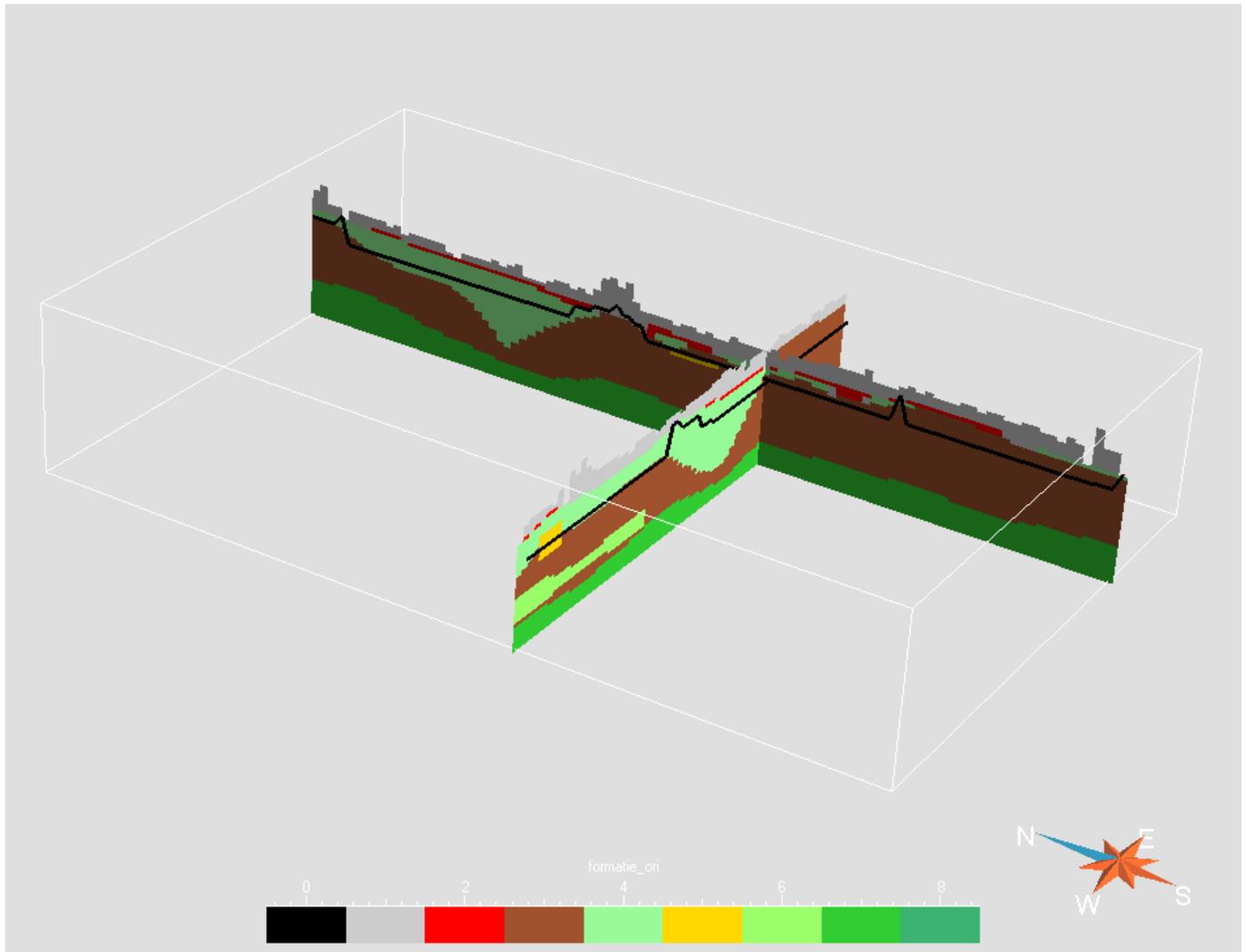
Figuur 6: Dwars doorsnede door het lagenmodel van het pilotgebied in de Castricumerpolder (locatie zie figuur 5). Zwarte lijn is het GLG niveau, grijze laag is de Assendelpolderlaag, Castricumerpolder facies (Ap-c), en de groene laag is de Castricumerpolder laag (Cp).



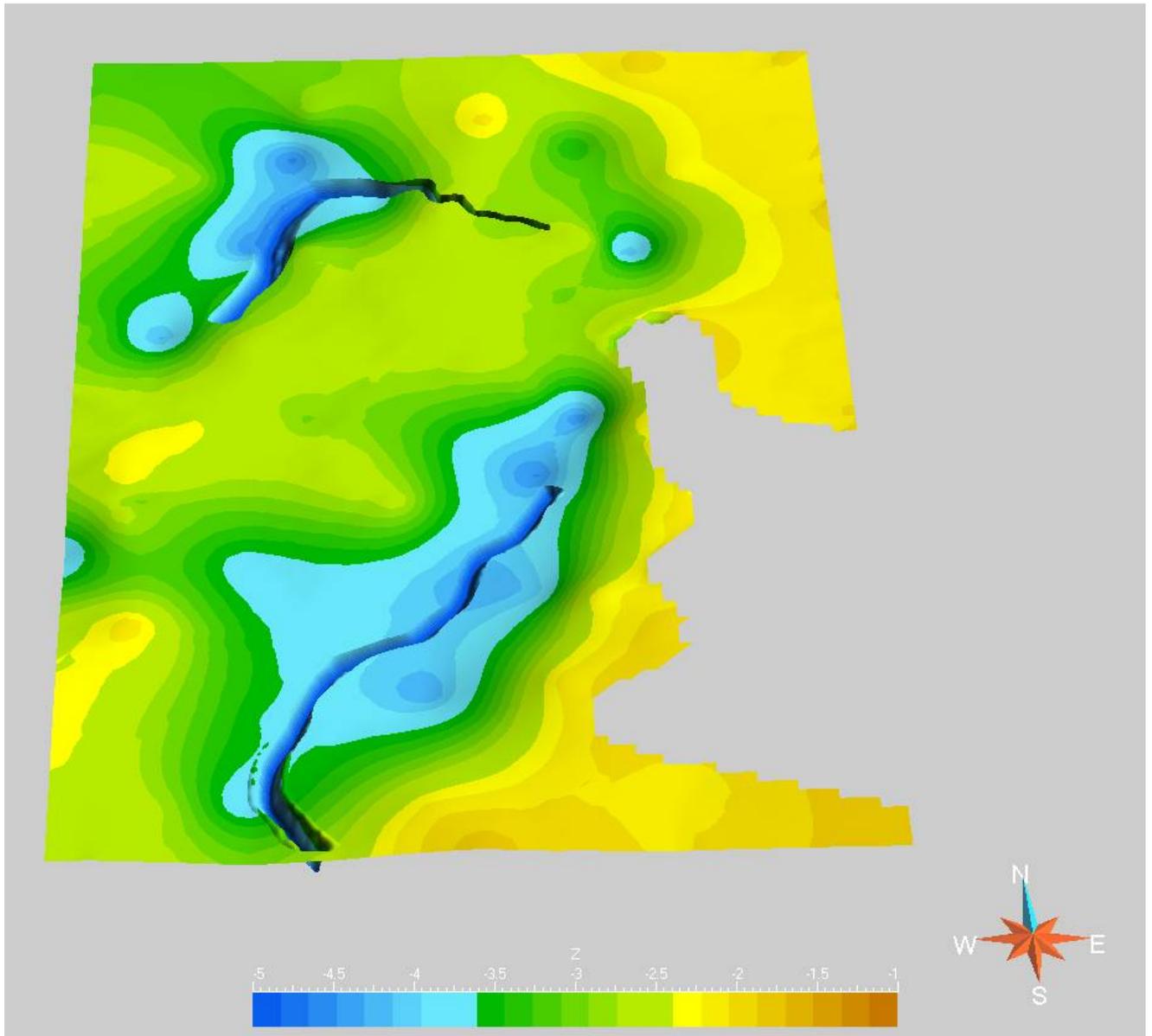
Figuur 7: AHN maaiveldkaart van het pilotgebied in de Uitgeesterbroekpolder. Naast de maaiveldhoogte zijn op de kaart weergegeven: de topografie (slootpatronen), de boorpunten, de kreekinsnijdingen (rode lijnen) en twee profiellijnen (figuur 8).



Figuur 8: Dwarsdoorsnede door het lagenmodel van het pilotgebied in de Uitgeesterbroekpolder. Zwarte lijn is het GLG niveau, grijze laag is de Assendelpolderlaag, Uitgeesterbroekpolder facies (Ap-u), de rode laag is het oxidatie laag (Ox), de grijsgroene laag is de Uitgeesterbroekpolder laag (Up), de bruine lagen is het Hollandveen (Hv), en de groene lagen aan de basis zijn de kleilagen horende bij het Laagpakket van Wormer (Wo).



Figuur 9: De onderkant de Uitgeesterbroekpolderlaag, inclusief de ostracoden laag (Up), gegenereerd uit het lagenmodel van de Uitgeesterbroekpolder



4 Bodemchemische factoren en processen (theorie)

In dit hoofdstuk zullen de bodemfactoren en processen besproken worden, die invloed hebben (gehad) op de conservering van het archeologisch erfgoed.

Belangrijke parameters die het behoud van het archeologisch erfgoed bepalen:

- **De grondwaterstand** is een belangrijke parameter voor conservering omdat de grondwaterstand in belangrijke mate de redoxpotentiaal bepaalt. In het grondwater is de beschikbaarheid van zuurstof lager dan boven de grondwaterspiegel, wat leidt tot een lagere redoxpotentiaal in het grondwater. De hoogste grondwaterstanden komen voor in de winter en dan in het algemeen op locaties die het verst zijn gelegen van een sloot. De afstand tot een sloot is voor een belangrijk deel bepalend voor de afvoersnelheid van neerslag. Er bestaan echter ook grondwatersituaties, zoals in veenweide- of oeverlandengebieden, waar vanuit de sloot infiltratie plaatsvindt en de grondwaterstand midden tussen sloten juist lager ligt. De grondwaterstand heeft gedurende het jaar een golfvormig verloop met meestal in de winter de hoogste en in de zomer de laagste grondwaterstanden. Jaarlijks zitten er grote verschillen in de grootte van de fluctuaties door onder andere verschillen in neerslag en verdamping, af- en ontwatering, kwel, doorlatendheid en bergend vermogen. Om de fluctuatie van het grondwater te karakteriseren zijn de van jaar tot jaar verschillende fluctuaties tot een gemiddelde herleid, de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) (Steur & Heijink, 1991). De GHG en de GLG worden gevormd als de grondwaterstand voor enige tijd op eenzelfde diepte voorkomt en ze zijn in het bodemprofiel vaak duidelijk te onderscheiden. De GHG en de GLG zijn op twee manieren te bepalen. Ten eerste kan in het bodemprofiel, aan de hand van zogenaamde hydromorfe kenmerken, de diepte waarop de bodem reducerend wordt als grens worden genoteerd. Een tweede manier is om uit grondwaterstandgegevens per hydrologisch jaar de drie hoogste en de drie laagste standen te middelen, het gemiddelde over acht jaar geeft dan de GHG en GLG.
- **De reductieoxidatie potentiaal** is een meting van de algemene sterkte van de oxiderende agents die aanwezig zijn in het milieu. Zuurstof kan elektronen, afkomstig van andere materialen, opnemen waardoor deze destabiliseren. De lucht is rijk aan zuurstof en in het grondwater komt opgeloste zuurstof in geringe mate voor. Zuurstof kan ook voorkomen in bijvoorbeeld nitraat (NO_3) of sulfaat (SO_4^{2-}), welke aanwezig kunnen zijn in het grondwater. De redoxpotentiaal meet niet alleen de sterkte van de zuurstof maar ook van de aanwezige nitraat, sulfaat, ijzer, mangaan, etc. (van Heeringen & Theunissen, 2002). Van Heeringen et al. (2004) stellen dat de reductieoxidatiegrens ligt bij de laagste gemiddelde grondwaterstand. Deze uitspraak gaat voor Holoceen Nederland in het algemeen wel op, maar geldt niet voor alle situaties op de zandgronden. Onder weinig reactieve sedimenten zoals de grove zandgronden in Zuid-Nederland, de lössgronden, stuif- en dekzanden kan er tot ver onder de grondwaterstand oxisch grondwater bevinden. In de zanden van de F. van Sterksel (Noord-Brabant, Limburg) kan het grondwater tot 20 m –mv nog oxisch zijn. Een redoxpotentiaal van + 800mV geeft aan dat het milieu sterk oxiderend is, en dat de organische resten dus snel zullen worden afgebroken. Een redoxpotentiaal van –400mV betekent een sterk reducerend milieu, wat goed is voor het behoud van de meeste archeologische materialen. Om een duidelijk beeld van de verschillende redoxpotentialen over de diepte te verkrijgen zijn de redoxpotentialen omgezet naar een verdeling in klassen (zie tabel 4). Hoe hoger de klasse, des te gunstiger zijn de condities voor het behoud van het archeologisch erfgoed. De redoxpotentiaal kan verklaard worden uit het verloop van de grondwaterstand: meer dan 25 cm boven het grondwater is de redoxpotentiaal over

het algemeen oxiderend (klasse 5 à 4 en lager) en in het grondwater is de redoxpotentiaal over het algemeen reducerend (klasse 7 en hoger) (van Heeringen et al, 2003).

Bovengrens (mV)	Ondergrens (mV)	Klasse
800	681	1
680	561	2
560	441	3
440	321	4
320	201	5
200	81	6
80	-39	7
-40	-159	8
-160	-279	9
-280	-400	10

Tabel 4: Klasse indeling van de redoxpotentiaal

- Het belang van **de zuurgraad** voor het behoud van archeologische resten is niet eenduidig. Over het algemeen geldt dat een verandering van de zuurgraad leidt tot ongunstige ontwikkelingen. Materialen die eventueel profiteren van een gunstiger milieu zijn vaak al aangetast door een ongunstige zuurgraad in het verleden. Nadat er een sediment is afgezet, treedt er, afhankelijk van het kalkgehalte, eventueel verzuring op door invloeden van begroeiing en (zure) regen. De sterkste verzuring treedt op boven in het bodemprofiel en neemt met de diepte geleidelijk af. Naarmate de zure regen dieper in de bodem dringt, wordt het zuur geneutraliseerd (van Heeringen et al, 2003). In een zuur milieu zullen micro-organismen waarschijnlijk minder actief zijn dan normaal. Hierdoor zal er minder bioturbatie zijn en zal het materiaal minder beïnvloed worden door micro-organismen in vergelijking met een neutraal tot basisch milieu. De pH-waarde van de omgeving bepaald voor een deel de snelheid van veel oxidatie reacties. Zowel een relatief hoge als een relatief lage pH kunnen de oxidatie van organisch materiaal versnellen. De oxidatie van metalen is sneller bij een lagere pH waarde (Van Heeringen et al, 2004). De oxidatie van pyriet door grondwaterstandverlaging is een veel voorkomend proces dat verzuring veroorzaakt. Hierbij wordt tevens veel sulfaat gevormd. In bijna alle kleigronden komt pyriet voor.
- Ook **het organische stofgehalte en het kalkgehalte** zijn te gebruiken als een indicatie voor de mate van het conserverend vermogen van het milieu. Een afname van het organische stofgehalte wijst op oxiderende omstandigheden wat een aanwijzing is voor de achteruitgang van de kwaliteit van de betreffende laag. Bij een afname in kalkgehalte neemt de kans op verzuring in deze laag toe aangezien kalk in staat is het systeem te bufferen en bijdraagt aan de stabiliteit van een basische bodem. Een stabiele zuurgraad is goed voor het behoud van archeologische resten in de bodem (van Heeringen et al, 2003).
- Een lage **saliniteit** is gunstig voor het behoud van metalen. Metalen corroderen sneller in een milieu met hoge chloridegehalten.
- **De temperatuur** reflecteert de fysische kwaliteit van het grondwater en is gemakkelijk te meten. De temperatuur kan een aanwijzing zijn voor stroming van water (en dus van de introductie van zuurstof), en de verblijftijd van grondwater. Hoge temperaturen in de winter en lage temperaturen in de zomer zijn een indicatie voor een langere verblijftijd van water in de bodem. Hoge temperaturen in de zomer en lage in de winter zijn een indicatie van ‘vers’ regenwater wat de bodem

inkomt. Dit verse water heeft meestal een hoger zuurstofgehalte en redox-potentiaal (van Heeringen & Theunissen, 2002).

- Verschillende **bodemtypen** hebben een verschillende mate van conservering. In zandige gebieden is de doorlaatbaarheid veel hoger waardoor de stroomsnelheid en het transport veel hoger zijn dan in kleiige gebieden. Hierdoor kunnen er verse zuurstof en chloride-ionen, die metalen aantasten, aangevoerd worden, terwijl producten van degradatie in oplossing kunnen gaan en afgevoerd worden (Kars & Smit, 2003).

Archeologisch materiaal ingebed in klei of in zand met een kleilaag erboven, zal waarschijnlijk niet sterk beschadigd worden doordat de doorlaatbaarheid van klei voor zuurstof slecht is. Bij een lage grondwaterstand kan een veenlaag gelegen boven het archeologisch materiaal de zuurstof verhinderen naar beneden door te dringen doordat het wordt gebruikt om het veen te oxideren (Van Heeringen et al, 2004).

De hoeveelheid zuurstof, de redoxpotentiaal en de zuurgraad bepalen voor het grootste deel het conserverend vermogen van de bodem. Maar er is weinig bekend over hoe deze parameters samen een 'schaal' voor het conserverend vermogen van de bodem kunnen vormen. De gunstige bodemcondities verschillen ook per archeologisch materiaal. Een milieu met een laag zuurstofgehalte en een lage redoxpotentiaal is beter voor organisch materiaal dan een milieu met een hoog zuurstofgehalte en een hoge redoxpotentiaal. Het zuurstofgehalte, de redoxpotentiaal en de zuurgraad kunnen sterk variëren over korte afstand. Op basis van het grondwater is deze variatie geringer. De zuurgraad van grondwater varieert sterker dan de zuurgraad van de vaste fase. Extra variatie kan verwacht worden op archeologische vindplaatsen door de verstoring van menselijke activiteit in het verleden (Van Heeringen et al, 2004).

Capillaire opstijging speelt ook een rol bij de conservering van het archeologisch erfgoed. De dikte van de capillaire zone is in kleibodems groter dan in zandbodems. Deze dikte moet opgeteld worden bij de grondwaterspiegel om de diepte te weten tot waar zuurstof kan penetreren. Er is veel zuurstof aanwezig boven de capillaire zone en er is weinig zuurstof aanwezig in de capillaire zone en in het grondwater. De zuurstofconcentratie in het grondwater kan variëren doordat geïnfiltrerd regenwater meer zuurstof bevat dan sijpelend water wat voor langere tijd in de bodem aanwezig is. Met behulp van de redoxpotentiaal kan een schatting gemaakt worden van de hoogte van de capillaire zone en het zuurstofgehalte. Hoe hoger de redoxpotentiaal, des te hoger is de oxiderende capaciteit van de bodem, wat over het algemeen duidt op een hoger zuurstofgehalte (Van Heeringen et al, 2004).

Samenvattend kan worden gesteld dat het conserverend vermogen bepaald wordt door de positie (plaats, diepte) binnen het Nederlandse landschap (bodemopbouw, grondwaterregiem, mate van verstoring) en op basis van de eerder beschreven parameters gekarteerd kan worden. Een relatief onbekende invloed (parameter) vormt hierbij echter verschillen in bodemfauna (o.a. bacteriën). Bij funderingsonderzoek is bijvoorbeeld gebleken dat (grenen-) houten funderingen onder vergelijkbare conserveringsomstandigheden wel of niet worden aangetast. Deze aantasting vindt onder het grondwaterniveau tot op grote diepte plaats.

5 Hydrogeologische beschrijving van het studiegebied

Het archeologisch degradatieonderzoek vond plaats in twee pilotgebieden binnen het Oer-IJ estuarium, namelijk in de Castricumerpolder en in de Uitgeesterbroekpolder. Het pilotgebied in de Castricumerpolder ligt fysisch geografisch gezien binnen het voormalige mondingsgebied ('*Binnendelta*' cf. De Roo, 1953) van het Oer-IJ estuarium. De ondiepe ondergrond tot c. 5 m beneden maaiveld bestaat daar overwegend uit zandig gelaagde afzettingen (in dit rapport: *Castricumerpolder laag, CP*). Het *binnendeltalandschap* bestaat overwegend uit grasland, alleen op de *stroomwalgronden* (De Roo, 1953) is bouwland mogelijk. Het regelen van de waterstand in deze polders wordt bemoeilijkt door de ongelijke hoogteligging van het land (Westerhoff et al, 1987).

Het pilotgebied in de Uitgeesterbroekpolder ligt op de overgang van het grote veengebied van de Zaanstreek en de estuariene afzettingen van het Oer-IJ (gelegen oostelijk van de strandwal van Beverwijk en Heemskerk). De ondiepe ondergrond van de Uitgeesterbroekpolder kan worden samengevat als een '*klei-op-veen*' sequentie (in dit rapport: *Assendelverpolder laag, Uitgeesterbroek facies* en *Uitgeesterbroekpolder laag, ongedifferentieerd op Hollandveen*). De Uitgeesterbroekpolder bestaat overwegend uit graslanden. Wisselend wordt op een aantal percelen maïs verbouwd als veevoer.

De twee pilotgebieden behoren tot het waterschap "*Hoogheemraadschap Noordhollands Noorderkwartier*", waarin het voormalige dijkwaterschap "*Het lange rond*", het en tot het boezem- en bemalingswaterschap "*Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland*" zijn samengevoegd.

De hydrologische omstandigheden, die zich voordoen in de pilotgebieden, worden in de volgende hoofdstukken kort gekarakteriseerd.

5.1 Hydrogeologie

5.1.1 Grondwaterstroming

De lage ligging van de polders heeft tot gevolg, dat het overtollige water langs kunstmatige weg moet worden afgevoerd. De lozing heeft voornamelijk plaats op een stelsel van waterlopen met een hoog waterpeil, de boezems. Tijdens droogte kunnen de polders water uit een boezem inlaten. De boezems lozen hun water op natuurlijke en/of kunstmatige wijze op andere boezems of op het buitenwater. Voor aanvulling tijdens droogte kunnen de meeste boezems ook zoet water inlaten of inmalen, dit systeem van inlaten en elders lozen kan ook gebruikt worden voor verversing.

Het kunstmatig handhaven van lage freatische grondwaterniveaus in de poldergebieden heeft de oorspronkelijke stromingspatronen in de diepere pakketten verstoord. Als het grondwaterpeil bijvoorbeeld lager ligt dan de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket ontstaat er een verticaal omhoog gerichte grondwaterstroming (kwel). In het omgekeerde geval heeft dit een naar beneden gerichte grondwaterstroming tot gevolg (infiltratie). Kwantitatief kan de grootte van de grondwaterstroming onder andere worden bepaald uit het doorlatend vermogen van de ondergrond. De intensiteit van de kwel- en infiltratiestromingen kan berekend worden uit stijghoogteverschillen tussen diep grondwater en het freatisch water en de verticale hydraulische weerstand van de afdekkende laag (de Holocene 'deklaag'). Het kunstmatig verlagen van de grondwaterstand heeft ook geleid tot de inklinking van de

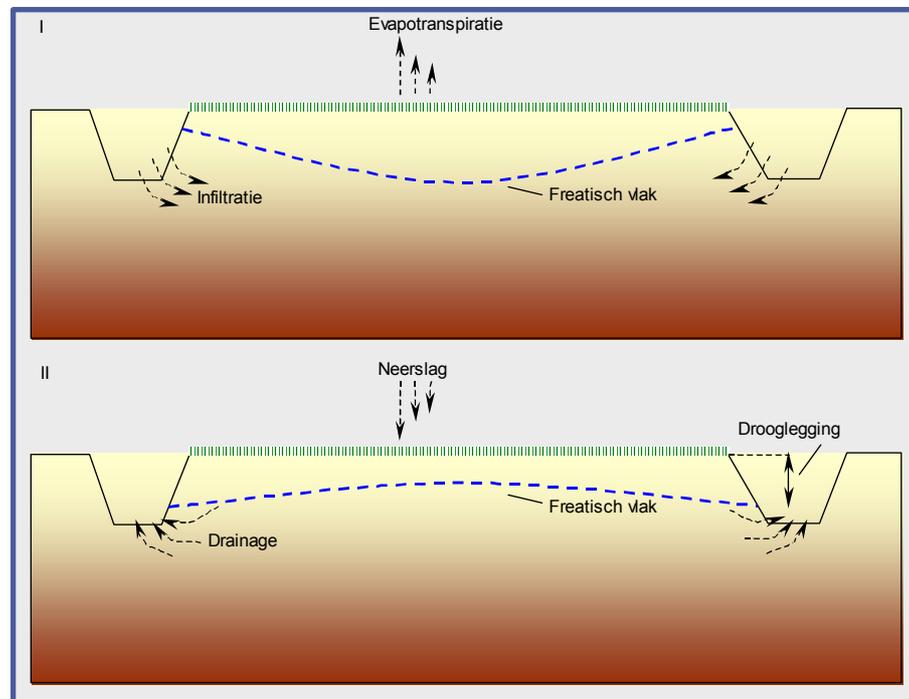
bodem. Doordat kreekkruggen door hun hoge zandgehalte minder inklinken dan klei, ontstaan er inversieruggen.

De grondwaterstroming loopt vanaf het duingebied in oostelijke richting naar de lagere gebieden. Hierdoor is het duingebied een belangrijk inzijggebied, waar neerslag infiltreert. Verder treden er vooral grondwaterstromingen naar de grote droogmakerijen op. De Schermer, Beemster, Purmer en Wormer kunnen dan ook als gebieden van grondwaterafvoer worden aangemerkt (dit zijn kwelgebieden) (Lageman & Homan, 1979).

5.1.2 Hydrogeologie

De lokale grondwaterstroming wordt in beide studielocaties bepaald door de aanwezigheid van een slecht doorlatende Holocene deklaag die bestaat uit overwegend kleiige en veenlagen (waaronder het Basisveen). De dikte van deze deklaag in de pilotgebieden bedraagt c. 16-20 m. Deze deklaag sluit het onderliggende watervoerende pakket af dat bestaat uit Pleistocene wind- en rivierzanden. De Holocene deklaag heeft een zeer hoge weerstand, in de orde van duizenden dagen. De doorlatendheid van het onderliggende watervoerende pakket is hoog ($k = 10\text{-}25\text{ m/d}$).

In de polders wordt de grondwaterstand in de winter hoofdzakelijk bepaald door de neerslag, de polderpeilen, de doorlatendheid van de bodem en door de eventueel aanwezige drainage. In de zomer daalt de grondwaterstand door verdamping (figuur 10). De grondwaterstand in de percelen kan hierdoor onder het slootpeil zakken. Ter plaatse van de sloten is er dan infiltratie, terwijl het kwelwater uit het watervoerende pakket naar het perceel toe stroomt. Het kwelwater verlaat het grondwater als waterdamp. Dit proces is ook van belang voor de hydrogeochemie.



Figuur 10: De grondwatersituatie in het poldergebied (zomer, winter)

6 Aanvullend hydrogeologisch veldonderzoek

6.1 Veldwerk

Naast de bestaande gegevens zijn er, om het aantal gegevens uit te breiden, in de pilot-gebieden een aantal boringen gezet. Aangezien de onderzoekstijd beperkt was, is er maar op één moment gemeten en kan er dus niet worden gekeken naar de veranderingen in de tijd.

In de Uitgeesterbroekpolder wijken kreekruigen ('inversieruggen', ontstaan door differentiële klink) wat betreft geologische opbouw sterk af van de rest van het landschap in dit gebied. De voormalige kreken hebben zich tot aan de basis van het Hollandveen ingesneden en zijn gevuld met kalkrijke, zandige kleiafzettingen, die deel uitmaken van de *Uitgeesterbroekpolder laag*. In dit gebied is daarom besloten één doorsnede over een grote kreekrug te maken aan de hand van vijf boringen. Tevens zijn er twee boringen gezet in een lagere gebieden naast de kreekruigen. Deze gebieden worden gekenmerkt door een relatief dun dek kleiafzettingen (*Assendelverpolder laag*, *Uitgeesterbroek facies* en *Uitgeesterbroekpolder laag*) op veen (Hollandveen). In de Castricumerpolder zijn er in zoveel mogelijk verschillende eenheden met opnamen gedaan, wat totaal vijf boringen opleverde. De plaatsen van de gezette boringen zijn te zien in de Bijlage 1A en 1B (boringen met nummer op het kaartje). De boringen zijn gezet met een edelmanboor, een guts en een ramguts.

Bij de boringen zijn de volgende parameters bepaald:

- De coördinaten van elk punt zijn bepaald met een GPS. Bij sommige punten is de hoogte van het maaiveld bepaald met behulp van een landmeter.
- Van elke boring is een beschrijving gemaakt waarin de lithologie beschreven wordt. Vervolgens zijn de boorbeschrijvingen ingevoerd in de DINO-database zodat ze gebruikt konden worden voor het lithologische lagenmodel.
- De grondwaterstand is bij een paar van de boringen bepaald door het boorgat enkele uren open te laten staan en vervolgens hierin de grondwaterstand te meten met een peilklokje. Het is niet zeker dat op deze manier de juiste grondwaterstand wordt verkregen. Doordat het boorgat maar enkele uren openstaat voordat de grondwaterstand gemeten wordt, kan het zijn dat de grondwaterstand nog niet in evenwicht is en deze methode alleen een maat is voor de doorlatendheid van het sediment. Aangezien het niet mogelijk was alle boringen open te laten staan is de grondwaterstand op deze manier maar op een enkele plaats bepaald. Om toch een schatting van de grondwaterfluctuaties te kunnen maken zijn de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) en de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) bij elk boorpunt ook op basis van hydromorfe kenmerken bepaald.
- De hydromorfe kenmerken zijn aan de hand van de gleyverschijnselen in het bodemprofiel omschreven. De GHG is de diepte waarop er roestvlekken (bruine, oranje en zwarte cutans) in het profiel voorkomen, welke zijn ontstaan doordat de aanwezige zuurstof de bodemoplossing oxideert, waardoor Fe(III) en Mn(III, IV)-oxiden neerslaan. De GLG is de grens waar naar boven toe voor het grootste deel van de tijd oxiderende omstandigheden voorkomen en waar naar beneden toe de bodem permanent in het grondwater staat en waar het milieu dus permanent reducerend is (Tietema, 1999). Deze horizont is meestal grijs van kleur en er komen geen roestvlekken meer in voor.
- Het kalkgehalte is bepaald door 2 M HCl te druppelen op het opgeboorde sediment. Het kalkgehalte is geschat aan de hand van de bruiskracht van het sediment en kan

in drie verschillende klassen worden ingedeeld. Kalk is afwezig (klasse 1) als er geen gebruik wordt geconstateerd, als het bruisen hoorbaar is, is er zeer weinig tot weinig kalk (klasse 2) in het sediment aanwezig en als het sediment zichtbaar bruist, bevat het kalk (klasse 3).

- De zuurgraad is alleen bepaald op de plaatsen en dieptes die geen kalk bevatten en waar de pH dus neutraal of zuur is. Op de plaatsen die bemonsterd zijn, is ongeveer om de 5 cm een monster genomen. De zuurgraad van deze monsters is bepaald door de grond te mengen met CaCl_2 . Na te hebben geschud en weer een tijd stil te hebben gelegen is de pH bepaald met behulp van een pH-elektrode.
- De redoxpotentiaal is gemeten met een redoxprikstok. Een redoxprikstok is een stok waarbij aan de onderkant een platina plaatje zit dat is verbonden aan een koperdraad die naar de bovenkant van de stok loopt. Bovengronds kan de redoxpotentiaal worden afgelezen door een koppeling van de bodemelektrode aan een referentie-elektrode met een millivoltmeter. De redoxprikstok kan op verschillende dieptes in de bodem worden gestoken en de redoxpotentiaal kan op de gewenste dieptes worden afgelezen. De resultaten van de redoxpotentiaalmetingen kunnen variëren tussen de +800 mV en -400 mV. De gemeten redoxpotentialen zijn omgezet naar een klassenindeling van 1 tot en met 10 (zie tabel 4).

Van een aantal sloten is het slootpeil gemeten. Hoewel er al beschikking was over een kaart van de polderpeilen, gemaakt door het waterschap, bleken de gemeten slootpeilen niet altijd overeen te komen met de waardes van deze kaart en soms verschilden de slootpeilen op kleinere schaal al. Het slootpeil is gemeten met behulp van een waterpasinstrument, waarmee het mogelijk is slootpeilen ten opzichte van een peilschaal en ten opzichte van elkaar te bepalen.

Om te kijken hoe het verloop van de grondwaterstand ten opzichte van het slootpeil en op verschillende afstanden van een sloot is, is op een aantal afstanden van een sloot de GLG bepaald met behulp van een boring.

6.2 Uitwerking veldgegevens

Bestaande gegevens van de onderzoeksgebieden zijn gehaald uit kaarten en databases. Kaarten die gebruikt zijn, zijn de geologische kaart van Nederland (1984), waterstaatskaarten uit vier jaartallen (1885, 1951, 1970 en 1982), de bodemkaart van Nederland (1994) en de bodemkaart van de Roo (1953), drie topografische kaarten van verschillende uitgaven (1895, 1950, en 2002), twee hoogtekaarten van Nederland (1970 en 1980), een digitale topografische kaart en een digitale kaart van het waterschap (2002) waarin de peilvakken met hun polderpeil zijn weergegeven. De hoogtegegevens van het maaiveld van de onderzoeksgebieden komen uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), dit is een digitaal kaartbestand met voor elke gridcel van 5 bij 5 meter een waarde voor de hoogte van het maaiveld. Verder zijn er grondwaterstanden en boorbeschrijvingen gebruikt die afkomstig zijn uit de DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond)-database en uitgevoerd zijn door TNO-B&O. Bovendien is er gebruik gemaakt van polderpeilen die gemeten zijn in een aantal monumentale gebieden door het archeologische adviesbureau RAAP.

PaleoTerra heeft totaal negen peilbuizen in de twee polders staan, waarvan vijf in de Uitgeesterbroekpolder en vier in de Castricumerpolder. In de Uitgeesterbroekpolder worden vanaf 4 februari 2003 tot heden grondwaterstanden gemeten. In de Castricumerpolder worden de grondwaterstanden sinds 20 oktober 2003 gemeten. In sommige peilbuizen wordt de grondwaterstand vier maal per dag automatisch gemeten met een diver en in een aantal peilbuizen wordt de grondwaterstand ongeveer

maandelijks met de hand gemeten. Tevens is de redoxpotentiaal een aantal keer op elke locatie op verschillende diepten gemeten.

Alle boorpunten en peilbuizen zijn digitaal geprojecteerd op de topografische kaart. Door beide onderzoeksgebiedjes zijn twee doorsneden gemaakt aan de hand van de geologische kaart van de Roo (1953); op deze manier zijn de doorsneden zo gekozen dat ze zo veel mogelijk lithologisch verschillende eenheden snijden. Vervolgens zijn de doorsneden van het gebied gemaakt met hierin ook de sloten weergegeven met hun slootpeil.

Aan de hand van de waterstaatskaarten, de kaart van het waterschap, de metingen die RAAP heeft gedaan en uit eigen metingen is de verandering in polderpeil over de tijd beschreven.

De grondwaterstanden van de peilbuizen van TNO die in de gebieden aanwezig zijn, zijn in grafieken uitgezet, waarin ook het polderpeil is weergegeven. Waar mogelijk, zijn de GHG en de GLG berekend uit de bestaande reeksen van grondwaterstanden door per hydrologisch jaar de drie hoogste en drie laagste standen te middelen, en het gemiddelde hiervan over acht jaar te nemen. De veranderingen in grondwaterstand en de verschillen tussen het polderpeil en de grondwaterstanden zijn geanalyseerd. Meer gegevens over de grondwaterstand zijn bekend uit het onderzoek van PaleoTerra. Deze grondwaterstanden zijn ook geanalyseerd. Uit de bodemkaart zijn de grondwatertrappen gehaald en deze zijn vergeleken met de grondwatertrappen die tijdens de eigen metingen gevonden zijn, zodat het verschil tussen 1994 (jaar van uitgave van de bodemkaart) en het heden duidelijk wordt.

Aangezien de hoogte van het maaiveld invloed heeft op de afstand tussen de grondwaterspiegel en het oppervlak (drooglegging) is ook gekeken of er bodemdaling of stijging heeft plaats gevonden. Hiervoor is het AHN, wat in 2002 is gemaakt vergeleken met de Hoogtekaart van Nederland (voor de Castricumerpolder is deze kaart uitgegeven in 1970 en voor de Uitgeesterbroekpolder in 1980).

De polderpeilen zijn vergeleken met de uit grondwaterstandgegevens van TNO-B&O berekende GHG en GLG en met de door eigen metingen uit de boringen gehaalde GHG en GLG. Hieruit is een relatie gevonden tussen de GLG en het slootpeil. Tevens is gekeken naar de relatie tussen de afstand tot de sloot en de GLG. Er is een kaart geproduceerd met een voorspelling voor de GLG's in de onderzoeksgebieden. In deze kaart is ook rekening gehouden met de afstand tot waar het slootpeil invloed heeft op de GLG. Omdat de GHG en GLG van de peilbuizen van TNO-B&O berekende waarden zijn, en die van de eigen metingen en PaleoTerra uit de hydromorfe kenmerken van de bodem zijn gehaald, is op vier plaatsen waar een peilbuis van TNO-B&O staat een boring gezet. De onderzochte peilbuizen hebben allen grondwaterstandmetingen tot het heden. Omdat binnen de onderzoeksgebieden maar weinig peilbuizen tot op heden gemeten worden, liggen twee van de onderzochte peilbuizen buiten het gebied. Uit deze boring zijn de hydromorfe kenmerken gehaald, welke vergeleken zijn met de berekende GHG en GLG.

De redoxpotentialen, bepaald door PaleoTerra en door eigen metingen, zijn beschreven. De verschillen in zuurgraad en kalkgehalte, die alleen bekend zijn uit eigen boringen, zijn bekeken.

6.3 Resultaten

6.3.1 Beschrijving kaarten en bestaande metingen

Om onduidelijkheid wat betreft nummering te voorkomen zijn in tabel 5 de verschillende punten waar metingen zijn gedaan met hun naamgeving weergegeven.

	Peilbuizen TNO-B&O	Peilbuizen PaleoTerra	Eigen metingen
Castricumerpolder	1012, 1013, 1020, 0143, 0788	I, K, L, M	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Uitgeesterbroekpolder	0171, 0195, 0346, 0347	A, B, D, E, F	101, 102, 103, 104, 105

Tabel 5: Naamgeving van de metingen

In bijlage 1A en 1B zijn de topografische kaarten van de Castricumerpolder en de Uitgeesterbroekpolder afgebeeld. In beide kaarten zijn een aantal punten weergegeven: de donkerrode punten zijn de boringen die uitgevoerd zijn door TNO-B&O, de plaatsen waar TNO-B&O peilbuizen heeft of had staan zijn groen, de punten waar PaleoTerra metingen doet zijn geel, en de roze punten zijn de plaatsen waar tijdens dit onderzoek een boring is gezet.

Het AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland) is een digitale kaart met voor elke gridcel van 5 bij 5 meter een waarde voor de hoogte van het maaiveld ten opzichte van NAP. De hoogte van de punten wijkt gemiddeld 5 cm af van de werkelijke maaiveldhoogte met een standaardafwijking van 15 cm. Het AHN van de twee gebieden is weergegeven in bijlage 2A en 2B. Voor water wordt er geen waarde gegeven, dit zijn dan ook doorzichtige delen in de kaart waarbij de topografische kaart, die hieronder is afgebeeld, te zien is. In het AHN beeld van de Uitgeesterbroekpolder zijn de kreekruggen die deze polder doorkruizen duidelijk te onderscheiden. In het AHN van de Castricumerpolder is te zien dat het maaiveld in het noorden van de polder over het algemeen hoger ligt en dat de hoogte naar het zuiden toe geleidelijk afneemt. De Uitgeesterbroekpolder ligt over het algemeen lager dan de Castricumerpolder. In dezelfde bijlage zijn op het AHN beeld verschillende punten weergegeven: de gele punten zijn de plaatsen waar PaleoTerra metingen doet, de roze punten zijn de eigen gezette boringen en de boringen van TNO-B&O die gebruikt zijn voor het maken van doorsneden zijn blauw. In bijlage 3A en 3B is voor de Castricumerpolder de kaart van de Roo (1953) afgebeeld en voor de Uitgeesterbroekpolder de krekkaart (Vos, 1985). In beide kaarten zijn dezelfde punten afgebeeld als in bijlage 2.

Door beide gebieden zijn twee doorsneden gemaakt met de lithologische grenzen en de sloten erin weergegeven. Twee profieldoorsneden van de Uitgeesterbroekpolder en één van de Castricumerpolder en de bijbehorende locatiekaarten zijn afgebeeld in de bijlagen 4A t/m E. Aan de hand van de profieldoorsneden is geprobeerd een goed beeld van de onderzoeksgebieden te krijgen. In de profieldoorsneden van de Uitgeesterbroekpolder is te zien dat de bovenste laag in alle gevallen wordt gevormd door Assendelverpolderlaag (Ap laag; voorheen de 'pikklei'). Hieronder zit bij een aantal boringen het oxidatieniveau (residu oude veenlaag). Het oxidatieniveau bestaat uit een organogene / sterk humeuze klei (veelal zwart gevlekt en korrelig). De prehistorische klei (Uitgeesterbroekpolderlaag, Up laag), die in veel gevallen hieronder

ligt, is dikker en is kalkrijker met name in de kreekafzettingen. Hieronder ligt veen (Hollandveen, Hv), welke in de diepte wordt opgevolgd door het Laagpakket van Wormer (Wo laagpakket, voorheen Afzettingen van Calais). De zuid-noord doorsnede doorsnijdt meer kreekkruggen dan de west-oost doorsnede. In het oosten van het gebied komen dikkere lagen veen voor die ondieper onder het oppervlak beginnen. Uit de doorsneden van de Castricumerpolder blijkt dat dit gebied voornamelijk uit zandige afzettingen (Castricumerpolderlaag, Cp laag). De Cp-laag ligt in grote delen van het pilotgebied aan maaiveld. Op die plaatsen waart deze gronden lager liggen, zijn deze meestal opgevuld met kleiige gronden (Assendelverpolderlaag, Castricumerpolder facies; AP-c laag, voorheen pikklei) of met venige kleien (Heemskerkebroerpolderlaag; Hp laag, voorheen 'delgronden').

De profielbeschrijvingen van de eigen gezette boringen zijn weergegeven in bijlage 5. Een dwarsdoorsnede van de kreekrug in de Uitgeesterbroekpolder weergegeven in bijlage 4B. De kreekrugafzettingen bestaan voornamelijk uit zandig materiaal. De restinvulling van de kreek bestaat uit klei met weinig zand. Deze restvulling is afgezet toen de getijdenkreek zijn energie verloor en ging dichtslibben.

6.3.2 *Polderpeilen*

Gegevens van polderpeilen van de twee onderzoeksgebieden zijn verkregen uit vier verschillende waterstaatskaarten (1885, 1951, 1970 en 1982), een kaart met polderpeilen van het waterschap, een kaart met een paar gebiedjes waar RAAP het polderpeil heeft bepaald en uit eigen metingen in het gebied.

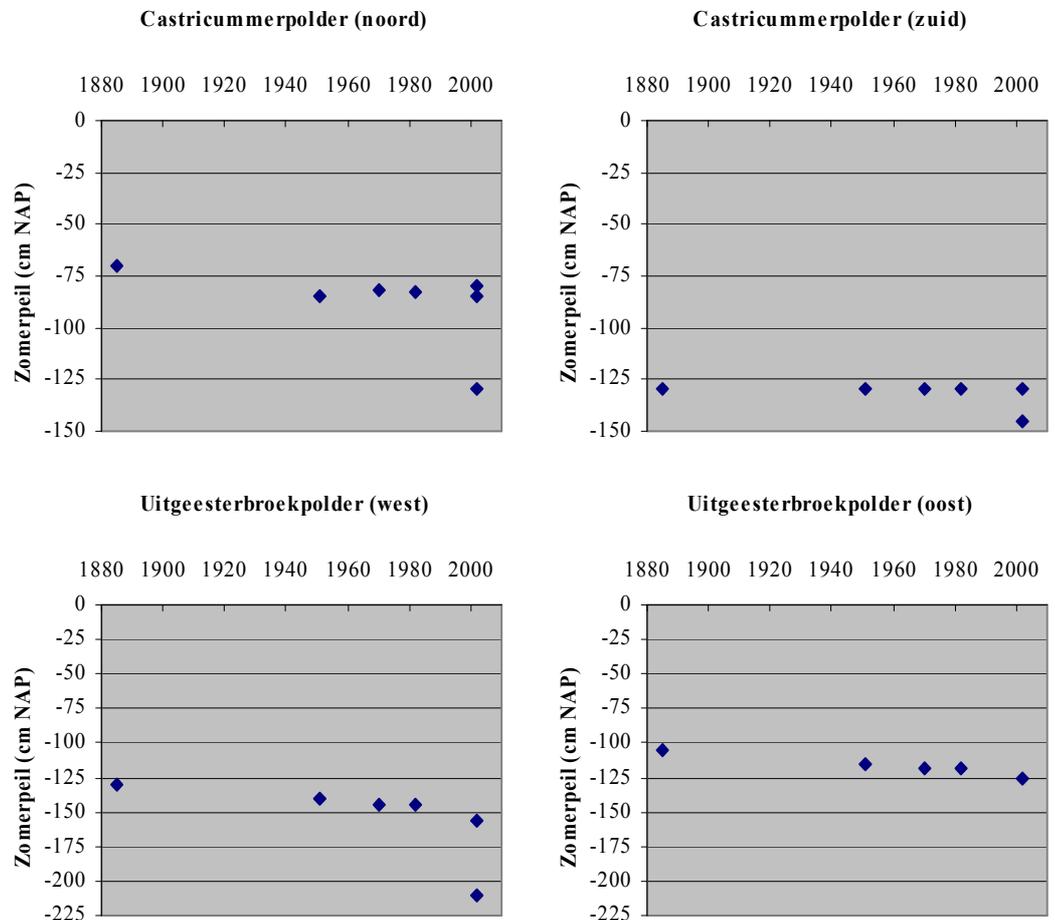
Aangezien de waterstaatskaarten uit verschillende jaren zijn, is het mogelijk historische polderpeilen met die van het heden te vergelijken. Na 1982 zijn er geen waterstaatskaarten meer gemaakt, wel zijn er polderpeilen van het waterschap bekend in dit gebied voor het jaar 2002 (zie bijlage 6A en 6B).

Uit de waterstaatskaarten bleek dat de Castricumerpolder gedurende de hele periode uit twee delen bestond, een noordelijk en een zuidelijk deel, met een verschillend polderpeil. Ook in de Uitgeesterbroekpolder kwamen twee delen met een verschillend polderpeil voor, een oostelijk en een westelijk deel. Uit de kaart van het waterschap bleek dat beide polders uit meer dan twee peilvakken bestaan. De polderpeilen van de peilvakken zijn in de meeste gevallen lager dan die, welke zijn weergegeven op de waterstaatskaart van 1982. In figuur 11 zijn voor de twee polders, beide bestaande uit twee gebieden, de veranderingen van het polderpeil in grafieken weergegeven.

In 1885 lag het zomerpeil van het noordelijke deel van de Castricumerpolder op -0.70 m NAP, in 1951 is dit zomerpeil gedaald naar -0.85 m NAP. In de decennia hierna verandert het polderpeil nauwelijks: in 1970 is het zomerpeil -0.82 m NAP en in 1982 is dit peil -0.83 m NAP. In 2002 is het zomerpeil ongeveer gelijk aan dat van 1982. Wel zit er binnen dit gebied een deelgebiedje waar het zomerpeil met een diepte van -1.30 m NAP dieper ligt dan dat van de rest van het gebied.

Het zomerpeil van het zuidelijk deel van deze polder is zowel in 1885 als in 1970 als in 1982 -1.30 m NAP, in 1951 is er geen peil voor deze polder bekend. Ook het zomerpeil van het zuidelijke deel van de Castricumerpolder heeft weinig verandering ondergaan, aangezien het grootste deel van dit gebied in 2002 nog steeds een zomerpeil van -1.30 m NAP heeft. Maar ook hier is er in het oosten een deelgebiedje met een lager zomerpeil van -1.45 m NAP. In de Castricumerpolder is het polderpeil het diepste in het zuidoosten met een zomer- en winterpeil van -1.45 meter NAP. In het noordwesten is het polderpeil het hoogste met een zomer- en winterpeil van -0.8 meter NAP. Met

uitzondering van deze twee gebiedjes is het polderpeil in deze polder sinds 1951 ongeveer gelijk gebleven.



Figuur 11: Verandering van het zomerpeil over de tijd.

Opm.: Voor 2002 zijn soms meerdere waardes gegeven omdat deze peilvakken in dat jaar uit twee delen bestonden.

In het westelijke deel van de Uitgeesterbroekpolder was het zomerpeil in 1885 -1.30 m NAP en is sindsdien gedaald naar -1.40 m NAP in 1951 en -1.45 m NAP in 1970. In 1982 is het zomerpeil gelijk gebleven in vergelijking met 1970. Dit westelijke deel van de Uitgeesterbroekpolder is volgens de kaart van 2002 opgedeeld in drie deelgebiedjes met allen een dieper zomerpeil dan dat van 1982 (zie bijlage 6B). Volgens de waterschapskaart heeft het zuidwesten het hoogste zomerpeil met een waarde van -1.21 m NAP, uit eigen onderzoek bleek dit peil echter lager te liggen. De dijken hebben allemaal een gelijk polderpeil, welke gelijk is aan het polderpeil van het noordwesten van het gebied.

Ook in het oostelijk deel van deze polder is het zomerpeil gedaald. In 1885 lag dit peil op -1.05 m NAP, in 1951 was het peil gedaald naar -1.15 m NAP, waarna het nog verder daalde naar -1.19 m NAP in 1970 en 1982. Volgens de kaart van het waterschap is het zomerpeil ten opzichte van de -1.19 m NAP in 1982 sterk gedaald naar -2.2 m NAP in 2002. Deze waarde bleek in het veld echter niet te kloppen aangezien er een waarde van -1.25 m NAP werd gemeten.

Archeologisch adviesbureau RAAP heeft in het onderzoeksgebied de polderpeilen op een aantal plaatsen gemeten. Uit deze metingen bleek dat op sommige plaatsen het polderpeil meer dan 10 cm afweek¹ van de door het waterschap bepaalde polderpeilen. In de Castricumerpolder kwamen de peilen van RAAP geheel overeen met de metingen van het waterschap. In de Uitgeesterbroekpolder daarentegen, mat RAAP in het zuidwestelijke deel een polderpeil van ongeveer 90 cm dieper dan het polderpeil welke het waterschap voor dit gebied had opgegeven.

De in dit onderzoek gemeten polderpeilen verschillen in sommige gevallen van die van het waterschap en RAAP. Het bleek dat de grote gebieden met eenzelfde polderpeil op de kaart van het waterschap vaak bestaan uit meerdere gebieden met een verschillend peil. Soms zitten er dammetjes of stuwjes in sloten waardoor het peil binnen een sloot verschilt. In het zuidwestelijke deel van de Uitgeesterbroekpolder klopt de waarde van het waterschap (zp = -1.21 m NAP en wp = -1.23 m NAP), zoals RAAP al had opgemerkt, inderdaad niet. Het gemeten peil was hetzelfde als dat welke RAAP ook had gevonden (zp = -2.10 m NAP). In het oostelijke deel van de Uitgeesterbroekpolder zijn ook andere waterpeilen gemeten dan die van het waterschap. De Crommenije en de hiermee verbonden sloten hebben namelijk een peil van -1.25 m NAP in plaats van een zomerpeil van -2.2 m NAP welke het waterschap voor dit gebied heeft genoteerd. Of dit hoge peil ten oosten van de Crommenije nog doorloopt is niet onderzocht.

6.3.3 *Grondwaterstanden*

Gegevens van de grondwaterstand zijn verkregen uit de DINO-database van TNO-B&O, metingen van PaleoTerra, de bodemkaart waarop de grondwatertrappen zijn vermeld en uit eigen metingen. De grondwatertrappen en de metingen die in het kader van dit onderzoek zijn uitgevoerd geven de GLG en GHG, welke alleen een indicatie zijn van de grondwaterstand. In de Uitgeesterbroekpolder is geprobeerd bij de eigen gezette boringen op vier plaatsen de grondwaterstand te meten. Op één plaats was deze echter niet meetbaar. Op de andere drie plaatsen is er wel een waarde voor de grondwaterstand verkregen. Echter, door de korte tijd tussen het openstaan van het boorgat en het meten van de grondwaterstand zijn de gevonden waarden niet betrouwbaar omdat ze meer een maat zijn voor de doorlaatbaarheid van de bodem.

De in de gebiedjes liggende peilbuizen van TNO zijn met hun meetperiode en filterdiepte weergegeven in tabel 6. In de Castricumerpolder zijn op vijf plaatsen gegevens van de grondwaterstand bekend, in de Uitgeesterbroekpolder zijn op vier plaatsen in het gebied grondwaterstanden gemeten. Bij de Castricumerpolder wordt op twee van deze vijf plaatsen nog steeds de grondwaterstand gemeten. In de Uitgeesterbroekpolder worden er geen grondwaterstanden meer gemeten. In bijlage 7 zijn de grondwaterstandmetingen voor de verschillende punten uitgezet in grafieken met hierin ook het zomer- en winterpeil aangegeven.

Polder	Naam peilbuis	Meetperiode	Diepte filter (cm -NAP)
Castricumerpolder	B19C1012	14/10/52 – 28/4/59	Onbekend
	B19C1013	28/4/60 – 27/8/93	219-269
	B19C1020	28/4/86 – 30/5/01	Onbekend
	B19C0143	28/4/66 – heden	196-246
	B19C0788	19/2/90 – heden	1688-1788

¹ Deze afwijking ligt buiten de marge van de 10 cm die het polderpeil mag afwijken van het streefpeil.

Polder	Naam peilbuis	Meetperiode	Diepte filter (cm –NAP)
Uitgeesterbroekpolder	B19D0171	12/1/78 – 20/7/79	2223-2323
	B19D0195	29/4/83 – 28/10/03	3651-3751
	B19D0346	14/6/79 – 13/5/87	Onbekend-252
	B19D0347	14/6/79 – 13/4/87	Onbekend-297

Tabel 6: Peilbuizen van TNO-B&O die in de onderzoeksgebieden liggen met hun meetperiode en filterdiepte

6.3.3.1 Castricumerpolder

Van punt 1020 is alleen de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld bekend omdat de hoogte van het maaiveld ten opzichte van NAP niet gemeten is. Daarom is de hoogte van het maaiveld van deze peilbuis uit het AHN gehaald.

In het zuidelijke deel ligt het zomerpeil vanaf 1885 al op –1.30 meter NAP. De grondwaterstanden (gemeten vanaf 1952) schommelen rond dit peil. Vanaf 1952 is het grondwaterpeil vooral in de wintermaanden hoger dan het polderpeil. Van 1960 tot 1992 (gegevens van peilbuis 1013) schommelt de grondwaterstand sterk maar de schommelingen lijken met het verloop van de tijd minder groot te worden. In de jaren 60 ligt de hoogste grondwaterstand bij peilbuis 1013 op –80 cm NAP en in de jaren 80 en 90 bij ongeveer –90 cm NAP, tevens wordt deze hoge grondwaterstand minder vaak bereikt. De diepste grondwaterstand ligt in de jaren 60 en in de jaren 80/90 rond –160 cm NAP. Wel wordt deze diepe grondwaterstand in de jaren 80/90 vaker bereikt dan in de jaren 60. Dit wijst erop dat, ondanks dat het polderpeil vanaf 1880 waarschijnlijk gelijk is gebleven, de grondwaterstand in de jaren 80/90 lager is in vergelijking met de jaren 60.

Peilbuis 1020 die ook in het gebied met een polderpeil van –1.30 m NAP ligt heeft in de wintermaanden gedurende één of meerdere maanden een hogere grondwaterstand dan het polderpeil. In de zomer is de grondwaterstand in alle gevallen lager dan het zomerpeil. Verder valt op dat van 13 augustus 1993 tot en met 29 maart 1995 de grondwaterstand opeens een stuk hoger ligt, waarschijnlijk is in deze periode het polderpeil tijdelijk verhoogd.

In het noordelijk deel van de Castricumerpolder was het zomerpolderpeil in 1951 –85 cm NAP en is sindsdien maar enkele centimeters veranderd. De grondwaterstand is bij peilbuis 0143-1 (peilbuis 0143, buis 1 met de ondiepste filter) in de zomer lager dan het zomerpeil en in de winter hoger dan het winterpeil. Bij 0143-3 zit het filter van –1861 tot –1811 cm NAP en bij 0143-5 zit het filter van –2884 tot –2834 cm NAP. Het gemiddelde van de punten 0143-3 en 0143-5 lijkt sterk op elkaar. De stijghoogtes zijn afwisselend, zonder een seizoensgebonden patroon, hoger of lager dan de grondwaterstand en het polderpeil; er treedt dus soms infiltratie en soms kwel op. Peilbuis 0143-1 vertoont tot 1992 ongeveer hetzelfde patroon als 0143-3 en 0143-5, maar na 1992 daalt de gemiddelde grondwaterstand in deze buis, terwijl de stijghoogte in de andere twee buizen stijgt. Dit kan erop wijzen dat er vanaf 1992 meer kwel optreedt.

Peilbuis 0788 geeft door de grote diepte van het filter alleen een indicatie van de hoeveelheid kwel. In de zomer is de gemeten stijghoogte lager dan het polderpeil dus treedt er infiltratie vanaf de sloot op, in de winter treedt er kwel naar de sloot op. Peilbuis 0788 lijkt een trend te ondergaan naar een stijghoogte die dichter onder het oppervlak ligt; tot 1995 zijn er in de zomer pieken met een lage stijghoogte terwijl er in

het begin van de 21^e eeuw veel minder pieken met een extreem lage stijghoogte voorkomen. Dit wijst erop dat er meer kwel gaat optreden.

In bijlage 8 zijn de grondwaterstanden en de redoxpotentialen die PaleoTerra heeft gemeten afgebeeld. De bovenste lijn geeft het maaiveld aan, de twee lijnen daaronder geven het archeologisch niveau weer. PaleoTerra heeft in dit gebied de grondwaterstand gemeten van 20 oktober 2003 tot 17 mei. Er zijn dus geen metingen van de zomermaanden. Wel is gedurende de hele tijd met een diver gemeten zodat het verloop van de grondwaterstand over de gemeten periode duidelijk zichtbaar is. Bij alle vier de punten vertoont de grondwaterstand in de winterperiode schommelingen van ongeveer 25 cm in soms maar een week tijd. Vanaf maart worden de schommelingen in de grondwaterstand bij de punten I, K en L minder. Bij punt M vertoont de grondwaterstand ook dan nog grote schommelingen.

6.3.3.2 *Uitgeesterbroekpolder*

In het westelijke deel van deze polder was het zomerpeil in 1951 –1.40 m NAP en in 1970 en 1982 –1.45 m NAP. De enige peilbuis die in dit gebied ligt, buis 0171, geeft door zijn diepe filter alleen maar de stijghoogte weer. Deze buis heeft in de winter stijghoogtes die ongeveer gelijk, of iets hoger zijn dan het winterpeil. De stijghoogtes liggen in de zomer ver onder het zomerpeil. In de zomer infiltreert er dus water vanuit de sloten naar deze diepe laag en in de winter treedt er kwel vanuit deze laag op.

In het oostelijke gedeelte van de Uitgeesterbroekpolder is het zomerpeil van –1.15 m NAP in 1951 gedaald naar –1.19 m NAP in 1970 en 1982 en –1.25 m NAP in 2002. In de peilbuizen 0346 en 0347 die in dit deel van de polder liggen is de grondwaterstand niet zo vaak hoger dan het zomerpeil. Bij beide peilbuizen lijkt de grondwaterstand een stijgende trend te vertonen; verder in de tijd zijn er namelijk minder pieken met een extreem lage grondwaterstand. Het filter van peilbuis 0195 ligt meer dan 35 meter onder NAP. Bij peilbuis 0195 is de stijghoogte op hetzelfde moment een stuk lager dan de grondwaterstand bij de buizen 0346 en 0347. Dit betekent waarschijnlijk dat er in dit deel van de polder infiltratie optreedt. Bij deze peilbuis is te zien dat de stijghoogte vanaf eind 1994 gaat stijgen en dus dichterbij de diepte van het zomer- en winterpeil komt. Er zal dan nog steeds infiltratie optreden, maar wel minder.

Uit de grondwatergegevens van PaleoTerra (zie bijlage 8) is duidelijk te zien dat de grondwaterstand in de zomer, vooral in de maand augustus, erg laag is. Deze lage grondwaterstanden zijn zelfs lager dan de GLG (zie tabel 7). Dit betekent dat het om incidenteel lage grondwaterstanden gaat. In de wintermaanden zit het grondwater dichterbij het oppervlak, bij punt A zelfs maar 10 cm onder het oppervlak.

6.3.4 ***GHG en GLG***

Uit eigen metingen bleek dat de GHG in de Uitgeesterbroekpolder dicht onder het oppervlak lag en soms tot het oppervlak kwam (zie tabel 6). Dit betekent dat tijdens een zeer natte periode de hele bodem verzadigd kan zijn met water. De GLG is vooral laag in de kreekrug (punt 2 en 3), bij de andere punten ligt hij dichterbij het oppervlak. De GLG verandert sterk van plaats tot plaats. Als de gemeten grondwatertrap wordt vergeleken met die van de bodemkaart is duidelijk dat bij de meeste punten, met uitzondering van punt 5, de gemeten GHG hoger is dan die van de bodemkaart. De punten 6 en 7 hebben op de bodemkaart een * bij hun grondwatertrap, wat betekent dat de GHG dieper dan 25 cm onder het maaiveld zit. De in dit onderzoek gevonden

ondiepe GHG's wijzen erop dat de grondwaterstand in de nattere periodes nu hoger ligt dan in 1990, toen de metingen voor de bodemkaart werden uitgevoerd. De GLG is alleen bij de punten 4, 6 en 7 gelijk gebleven. Van de overige punten is de GLG bij de punten 2 en 3 gedaald en bij de punten 1 en 5 gestegen.

In de Castricumerpolder is de GHG dieper in vergelijking met de Uitgeesterbroekpolder, maar ook hier staat het grondwater tamelijk dicht aan het oppervlak in natte perioden. De gemeten grondwatertrap komt op drie plaatsen (de punten 101, 103 en 105) overeen met de grondwatertrap van de bodemkaart. In de andere twee gevallen is de GHG hoger dan de waarde van >40 cm -MV die door de bodemkaart wordt gegeven.

	GHG 2004	GLG 2004	Grondwatertrap 2004	GHG/GLG (cm MV) 1994	Grondwatertrap 1994
Puntnr.	(cm MV)	(cm MV)	(veldonderzoek)	(bodemkaart)	(bodemkaart)
1	0	-75	II	40-80 / >120	VI
2	-5	-130	V	>40 / 80-120	IV
3	0	-125	V	>40 / 80-120	IV
4	-5	-90	III	>40 / 80-120	IV
5	0	-50	II	<40 / 80-120	III
6	-5	-80	II/III	<40 / 80-120	III*
7	0	-100	III	<40 / 80-120	III*
101	-5	-95	III	<40 / 80-120	III
102	-10	-105	III	>40 / 80-120	IV
103	-30	-100	III	<40 / 80-120	III
104	-20	-125	V	>40 / 80-120	IV
105	-5	-60	II	<40 / 50-80	II

Tabel 7: De GHG, de GLG, de grondwatertrap op basis van actuele hydromorfe kenmerken en de grondwatertrap van de bodemkaart voor de punten waar in het kader van dit onderzoek boringen zijn uitgevoerd

6.3.5 Bodemdaling

Aangezien de hoogte van het maaiveld invloed heeft op de afstand tussen de grondwaterspiegel en het oppervlak (drooglegging) is ook gekeken of er bodemdaling of stijging heeft plaats gevonden. Voor de Castricumerpolder is de Hoogtekaart uit 1970 vergeleken met het AHN van 2002 en voor de Uitgeesterbroekpolder is de hoogtekaart van 1980 vergeleken met het AHN. In beide gebieden heeft bodemdaling plaats gevonden. In de Castricumerpolder is het maaiveld over het gehele gebied ongeveer 10 tot 20 cm gedaald. Alleen midden in het noorden is een gebiedje wat een daling van meer dan 50 cm heeft ondergaan. Bij de Uitgeesterbroekpolder is het maaiveld over het hele gebied minstens 20 cm gedaald. Vooral rondom het Vroonmeer is het maaiveld verder gedaald; op sommige plaatsen is de daling tussen 1980 en 2002 bijna een meter.

6.3.6 *Conclusie verandering grondwaterstand*

In de Castricumerpolder is het polderpeil sinds 1885 over het grootste deel van het gebied niet sterk veranderd. Uitzonderingen hierop zijn een gebiedje in het oosten en in het zuidoosten, die een verlaging van het peil hebben ondergaan. De grondwaterstand is bij punt 1013 licht gedaald en bij 0788 licht gestegen hoewel het polderpeil bij beide punten niet sterk veranderd is over de afgelopen vijftig jaar. Mogelijk heeft grondwaterwinning deze verandering veroorzaakt. Bij buis 1012 is het door de weinige metingen niet mogelijk veranderingen te constateren. Bij de andere twee peilbuizen in dit gebied (0143 en 1020) is de grondwaterstand ongeveer gelijk gebleven. Ook als de gevonden grondwatertrappen vergeleken worden met die van de bodemkaart is deze bij drie van de vijf punten gelijk gebleven. Bij de overige twee punten is de GHG hoger geworden, de GLG is bij één punt lager geworden en bij één punt hoger geworden. In de Castricumerpolder heeft zich dus geen significante verandering in het polderpeil en in de grondwaterstand voorgedaan.

In het westelijke deel van de Uitgeesterbroekpolder is het polderpeil sinds 1885 in een deel van het gebied 25 cm gedaald en in een deel van het gebied was de daling van de grondwaterstand zelfs 80 cm. In het oostelijke deel is de grondwaterstand, als de eigen metingen als juist worden beschouwd, sinds 1885 20 cm gedaald. Als het polderpeil welke gegeven is door het waterschap juist zou zijn, zou de grondwaterstand sinds 1885 meer dan een meter zijn gedaald. De grondwaterstand van de enige peilbuis die in het westen van deze polder ligt vertoont geen trend, maar bestaat dan ook uit weinig metingen. In het oosten van het gebied vertonen de peilbuizen 0346, 0347 en 0195 een stijging in grondwaterstand dan wel stijghoogte. Bij de peilbuizen 0346 en 0347 is het polderpeil waarschijnlijk niet veranderd, deze peilbuizen zijn dan ook maar gemeten tot 1986. Bij buis 0195 is het polderpeil heel waarschijnlijk rond 1994 veranderd aangezien de stijghoogte dan significant toeneemt.

Bij drie van de zeven boorpunten zijn de GHG en de GLG gelijk gebleven. Bij de overige vier punten is de GHG van tegenwoordig hoger dan in 1990. In de verandering van de GLG zit geen trend aangezien deze bij twee punten hoger en bij twee punten lager is geworden.

De hogere GHG en de hogere grondwaterstanden bij sommige punten zouden verklaard kunnen worden doordat er bodemdaling heeft plaats gevonden.

Over het algemeen kan gezegd worden dat, ondanks dat het polderpeil over de afgelopen 50 jaar in de meeste gevallen is gedaald, de grondwaterstand niet heel sterk is veranderd. In veel gevallen is de GHG, vermoedelijk door maaiveld daling, wel hoger geworden, wat betekent dat het grondwater in natte periodes tegenwoordig hoger komt dan vroeger. In de verandering van de GLG zit geen eenduidig patroon voor alle punten: sommige zijn gelijk gebleven, anderen zijn gestegen of gedaald.

6.3.7 *Vergelijking van slootpeil met de GLG en GHG*

In tabel 8 zijn de GHG, GLG en het slootpeil van de eigen gezette boringen, de peilbuizen van TNO-B&O en van PaleoTerra weergegeven. In het algemeen geldt dat als de GLG wordt vergeleken met het polderpeil van de dichtstbijzijnde sloot, de GLG in alle gevallen lager ligt dan het slootpeil. Een uitzondering hierop is punt D van

PaleoTerra. De GHG ligt in bijna alle gevallen hoger dan het slootpeil. Dit betekent dat de grondwaterstand in de zomer onder het zomerpeil en in de winter boven het winterpeil ligt.

In de onderstaande tekst zullen de drie verschillende metingen apart besproken worden.

Puntnummer	Hoogte maaiveld (cm NAP)	Jaren waarover berekend	GHG (cm MV)	GLG (cm MV)	Drooglegging (cm MV)	GHG (cm NAP)	GLG (cm NAP)	Zomerpeil (cm NAP)	Winterpeil (cm NAP)
1	-160 (-164)		0	-75	-46	-164	-239	-210	-215
2	-84 (-87)		-5	-130	tussen -70 en -123	-92	-217	tussen -157 en -210	tussen -157 en -215
3	-89 (-102)		0	-125	tussen -50 en -108	-102	-227	tussen -157 en -210	tussen -157 en -215
4	-158 (-154)		-5	-90	-56	-159	-244	-210	-215
5	-176 (-170)		0	-50	tussen 13 en -40	-170	-220	tussen -157 en -210	tussen -157 en -215
6	-156		-5	-80	-54	-161	-236	-210	-215
7	-142		0	-100	-68	-142	-242	-210	-215
B19D0346	-55	1979-1986	-52	-90	-64	-107	-145	-119	
B19D0347	-96	1979-1986	-20	-59	-23	-116	-155	-119	
A	-116 (-110)		-6	-125	tussen -47 en -100	-116	-235	tussen -157 en -210	tussen -157 en -215
B	-89 (-96)		-44	-130	-114	-140	-226	-210	-210
D	-119 (-85)		-31	-68	-72	-116	-153	-157	-157
E	-108 (-75)		-40	-	-82	-115	-	-157	-157
F	-162 (-145)		-30	-	-65	-175	-	-210	-215
101	-95		-5	-95	-35	-100	-190	-130	-145
102	-31		-10	-105	-99	-41	-136	-130	-145
103	-67		-30	-100	-63	-97	-167	-130	-145
104	6 (15,5)		-20	-125	-100,5	-4,5	-109,5	-85	-95
105	-87		-5	-60	-43	-92	-147	-130	-130
B19C1020	-88	1992-1999	-40	-79	-42	-128	-167	-130	-145
B19C0143	-13	1996-2003	-57	-87	-72	-70	-100	-85	-95
B19C0788	11	1996-2003	-84	-129	-96	-73	-118	-85	-95
I	-19 (-10,4)		-14,6	-	-74,6	-25	-	-85	-95
K	-27 (0,9)		-38,9	-	-85,9	-38	-	-85	-95
L	6 (15,5)		-9,5	-125,5	-100,5	6	-110	-85	-95
M	-82 (-45,7)		-19,3	-131,3	-84,3	-65	-177	-130	-130

Tabel 8: De GHG, GLG en het slootpeil zowel ten opzichte van het maaiveld als ten opzichte van NAP van de eigen gezette boringen, de peilbuizen van TNO-B&O en de gegevens van PaleoTerra. De puntnummers 1 t/m F liggen in de Uitgeesterbroekpolder en de punten 101 t/m M liggen in de Castricumerpolder. De schuin gedrukte punten hebben door de weinige metingen een niet geheel juist berekende GHG en GLG. De hoogte van het maaiveld is de waarde die uit het AHN is gehaald en tussen haakjes staat de waarde die in het veld gemeten is.

6.3.7.1 *Peilbuizen TNO-B&O*

De GHG en GLG zijn voor verschillende peilbuizen berekend uit de reeksen van grondwaterstanden van TNO-B&O. Aangezien er niet bij alle peilbuizen regelmatig metingen zijn gedaan, zijn de GHG en de GLG waarschijnlijk niet heel erg nauwkeurig. De peilbuizen die schuin gedrukt zijn, hebben door de weinige of onregelmatige metingen een slecht berekende waarde voor de GHG en GLG, de overige peilbuizen hebben waarschijnlijk een meer op de werkelijkheid gebaseerde GHG en GLG. Van de punten 1012, 1013 en 0171 was het niet mogelijk de GHG en GLG te berekenen omdat bij deze peilbuizen veel te weinig metingen waren gedaan. De GHG en GLG zijn berekend over de laatste acht jaar waarin de peilbuis is gemeten. Dit is voor alle buizen, met uitzondering van de buizen 0346 en 0347, tamelijk recent. Voor de buizen 0346 en 0347 zijn de GHG en GLG berekend over de jaren 1979 tot 1986. Hierdoor zijn deze punten ook vergeleken met het polderpeil uit 1982 wat met een waarde van -119 cm NAP iets hoger was dan de -125 cm NAP van tegenwoordig. Voor de buizen 0346 en 0347 geldt dat het zomerpeil van -119 cm NAP lager is dan de GHG en hoger is dan de GLG.

Bij de peilbuizen 1020, 0143 en 0788 ligt de GHG zowel boven het zomer- als winterpeil. De GLG ligt onder het zomer- en winterpeil.

6.3.7.2 *Gegevens PaleoTerra*

De waardes van de GHG van de punten van PaleoTerra zijn uit de grafieken van grondwaterstandveranderingen gehaald. Als GHG is de hoogste grondwaterstand genomen die er voorkwam. Bij de meeste punten is niet meer dan één jaar gemeten en is de GHG dus gebaseerd op grondwaterstanden van één jaar, dit zou tot verkeerde waardes kunnen leiden. De GLG is gehaald uit boorprofielen die het ROB op de plaatsen van de peilbuizen heeft gezet. Niet bij alle punten stond aangegeven op welke diepte de bodem volledig gereduceerd was waardoor niet alle punten een GLG hebben. Bij punt B is de GLG uit de eigen boorbeschrijving gehaald. Bij punt D klopt het algemene patroon niet waarbij de GLG ondieper ligt dan het zomerpeil. Maar het verschil tussen het polderpeil en de GLG is niet groot. Tevens is het polderpeil maar een gewenste waarde die wel eens schommelt.

6.3.7.3 *Eigen projectboringen*

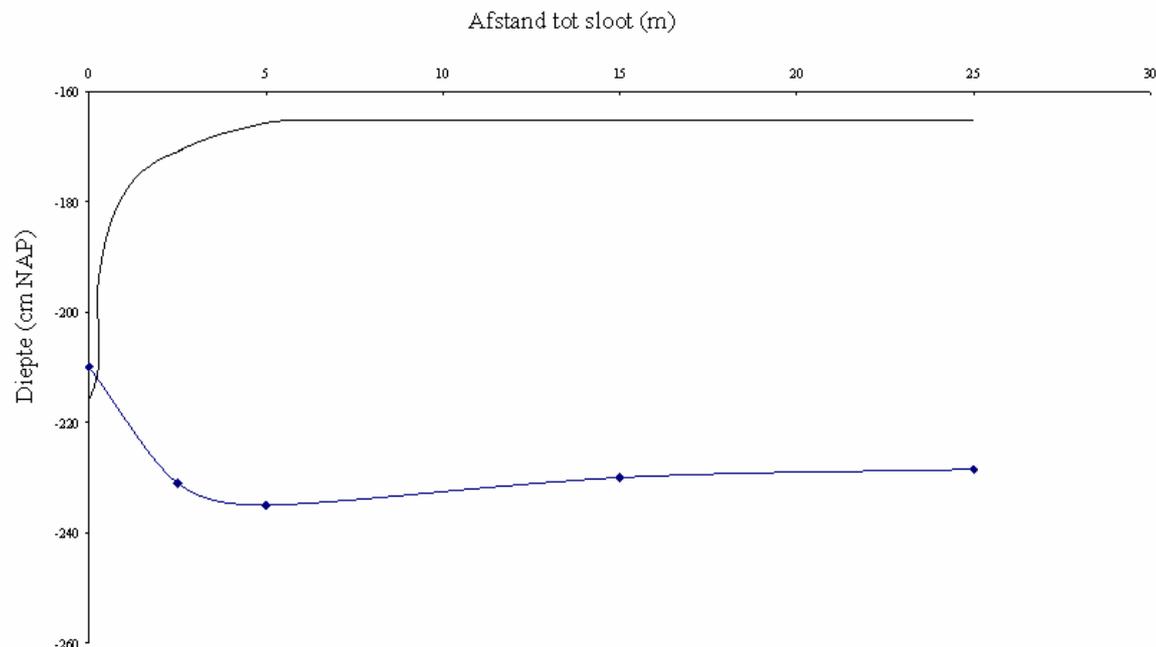
In de onderstaande tekst zal worden gekeken naar GLG ten opzichte van NAP.

Bij de punten 2 en 3 die op een kreekrug liggen is de GHG hoger dan bij de punten 1 en 4 die in hetzelfde weiland liggen. Een verklaring hiervoor is dat het maaiveld van de punten 2 en 3 hoger ligt waardoor op deze plaatsen geen greppeltjes zijn gegraven. Hierdoor vindt er geen afwatering via deze greppeltjes plaats en kan de grondwaterstand hoger komen. Als de punten 1 tot en met 7 met elkaar vergeleken worden, is te zien dat de punten die ongeveer even ver van een sloot met een slootpeil van -210 cm NAP als van een sloot met een slootpeil van -157 cm NAP liggen (de punten 2, 3 en 5) een hogere GLG hebben dan de punten die alleen bij een sloot met een peil van -210 cm NAP liggen (de punten 1, 4, 6 en 7). Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de punten 2, 3 en 5 naast de invloed van de sloot met het slootpeil van -

210 cm NAP ook beïnvloed worden door een sloot met een hoger slootpeil, waardoor de grondwaterstand minder laag wordt omdat er watertoevoer vanuit de sloot met een hoger slootpeil plaatsvindt.

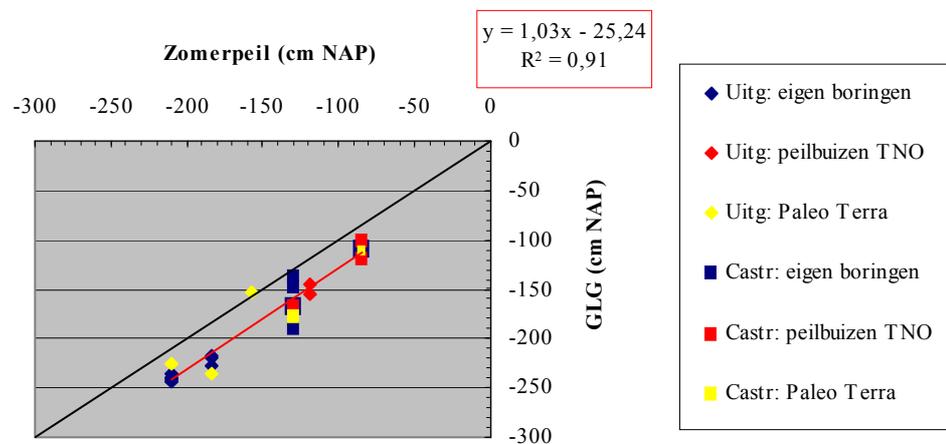
De punten 101, 102, 103 en 105 hebben allemaal ongeveer hetzelfde slootpeil maar de GLG verschilt wel per plaats. Dit zou waarschijnlijk verklaard kunnen worden door de geologie. Punt 101, met een diepe GLG, bestaat vanaf 1 meter diepte uit zeer fijn zand welke slecht doorlatend is waardoor de laterale aanvoer van water gering zal zijn, tevens ligt dit punt tamelijk ver van een sloot. Punt 103, welke ook een tamelijk diepe GLG heeft bevat in het hele profiel veel klei, wat de toevoer van water belemmert. Waarschijnlijk droogt de bodem sterk uit in droge periodes, vooral als er geen toevoer van water is doordat het punt ver van een sloot ligt en het sediment niet goed doorlatend is. De punten met een hogere GLG, 102 en 105, bestaan voornamelijk uit zand, welke een goede doorlatendheid heeft zodat het water uit de sloten gemakkelijk toestroomt. Punt 102 ligt dicht bij twee sloten en heeft dan ook de hoogste GLG. Punt 104 heeft een aanzienlijk hogere GLG en ligt dan ook in een gebied met een hoger polderpeil. Waarschijnlijk droogt de bodem altijd ongeveer dezelfde afstand onder het slootpeil uit, tenzij er een goede aanvoer van water is als het sediment dit toelaat.

In de twee gebieden is op drie plaatsen een profiel gemaakt waarbij op verschillende afstanden van de sloot de GLG is bepaald. In figuur 12 is voor één sloot de GLG op verschillende afstanden van deze sloot weergegeven. Afstand 0 van de sloot geeft het slootpeil zelf aan. In de grafiek is te zien dat de GLG in alle gevallen lager ligt dan het slootpeil. De diepte van de GLG neemt tot ongeveer 5 meter van de sloot tamelijk snel toe en blijft daarna ongeveer op dezelfde diepte. De invloed van de sloot op de GLG is dus ongeveer 5 meter. Ditzelfde gold voor de andere twee onderzochte profielen.



Figuur 12: De GLG op verschillende afstanden van de sloot. In het blauw is de GLG weergegeven en de zwarte lijn geeft de hoogte van het maaiveld. Een afstand van 0 meter geeft de sloot zelf aan

In figuur 13 zijn de GLG en het slootpeil tegen elkaar uitgezet. Punt 4 is het enige punt dat minder dan 5 meter van een sloot lag. Omdat dit punt niet veel afweek van de andere punten met eenzelfde polderpeil is deze wel bij de relatie betrokken. In de grafiek is te zien dat er een verband bestaat tussen het slootpeil en de GLG: bij een dieper slootpeil wordt de GLG ook dieper. Uit de berekende relatie tussen het zomerpeil en de GLG blijkt dat de laagste grondwaterstand ongeveer 25 cm lager dan het zomerpeil ligt. Ondanks de soms tamelijk grote spreiding in GLG's bij eenzelfde polderpeil is de correlatie groot met een waarde van 0,91. In de grafiek is te zien dat de twee gebieden (Uitgeesterbroekpolder zijn de ruiten en Castricummerpolder zijn de vierkanten) niet significant van elkaar afwijken. Voor de twee onderzoeksgebieden kan dus een gezamenlijke correlatie gebruikt worden.



Figuur 13: GLG uitgezet tegen het zomerpeil met in het zwart de 1 op 1 lijn en in het rood de correlatie

6.3.7.4 Vergelijking in het veld bepaalde GHG en GLG met berekende GHG en GLG

Omdat de GHG en GLG van de peilbuizen van TNO-B&O berekende waarden zijn, en die van de eigen metingen en PaleoTerra uit de hydromorfe kenmerken van de bodem zijn gehaald, is op vier plaatsen waar een peilbuis van TNO-B&O staat een boring gezet. De GHG en GLG die uit deze boringen zijn gehaald zijn weergegeven in de grafieken met grondwaterstanden in bijlage 9. Bij punt 0567 is te zien dat de GHG en GLG goed overeenkomen met de hoogste en laagste grondwaterstanden die over de afgelopen jaren zijn voorgekomen. Bij dit punt komen de berekende waarden dus goed overeen met de hydromorfe kenmerken die in de bodem te zien zijn. Ook bij punt 0980 komen de geconstateerde grenzen tamelijk goed overeen met de gemeten grondwaterstanden. Alleen zou verwacht worden dat de GLG lager zou liggen omdat er tamelijk vaak lagere grondwaterstanden worden bereikt. De boring ligt op enige afstand van de peilbuis (± 20 meter). Doordat de peilbuis binnen de bebouwde kom ligt kan het verschil in grondwaterstand misschien verklaard worden door drainerende lekke riolen. Bij punt 0143 komt de GHG goed overeen met de metingen van de grondwaterstand. Echter, de GLG ligt minstens 20 cm lager dan de waarde die de metingen aangeven als laagste grondwaterstand. Deze lage GLG die in het veld waargenomen is, kan verklaard worden als het grondwaterpeil in het verleden lager was, waardoor er nu nog roestvlekken in het profiel voorkomen waar er tegenwoordig nooit meer zuurstof komt.

De punten 0980 en 0143 liggen beide in een gebied waarvan het polderpeil op de kaart van het waterschap niet bekend is. Er kan dus niet gekeken worden of het polderpeil veranderd is of niet. Bij punt 0788 is het omgekeerde het geval: hier is de GLG die in het veld geconstateerd is, hoger dan de uit de grondwaterstanden verwachte GLG. Omdat de peilbuis dicht bij de weg lag en er allemaal stenen in de bodem zaten is de boring dicht bij de sloot gezet. Doordat de afstand tot de sloot kleiner is, zal de grondwaterstand in de droge maanden minder diep zakken en de GLG zal dus hoger zijn dan bij de metingen in de peilbuis.

De GHG en GLG die uit berekeningen worden gehaald en de GHG en GLG die in het veld worden waargenomen komen soms redelijk goed overeen, maar er zal rekening gehouden moeten worden met een afwijking die tussen de verschillende manieren van bepalen kan zitten.

6.3.8 *Redoxpotentiaal*

Voor de indeling van de redoxpotentialen in klassen wordt verwezen naar tabel 4. Als bij de gemaakte boringen wordt gekeken naar de verandering van de redoxpotentiaal over de diepte valt op dat de overgang van een lage redoxklasse (oxiderend) naar een hogere redoxklasse (reducerend) vrij abrupt gaat. De redoxpotentiaal blijft in een groot deel van de bodem vrij laag en maakt plotseling een sprong naar een hogere klasse. De diepte waarop de redoxpotentiaal sterk daalt, is waarschijnlijk de diepte tot waar capillaire opstijging plaats vindt, dit is ongeveer 25 cm boven de grondwaterstand, afhankelijk van het sediment. Hierboven is de redoxpotentiaal over het algemeen oxiderend (klasse 5 en lager). In het grondwater is de redoxpotentiaal meestal reducerend (klasse 6 of hoger). Maar uit de punten 1, 2 en 3 blijkt dat dit niet altijd het geval is. Als ervan uitgegaan wordt dat de grondwaterstanden die op deze punten gemeten zijn kloppen, blijkt dat de diepte van het grondwater niet altijd overeen komt met de redoxgrens. Bij punt 1 zit de grondwaterstand op 70 cm onder het maaiveld. De redoxpotentiaal is op deze diepte wel iets gedaald ten opzichte van de erboven liggende bodem maar hij is nog niet reducerend. Pas op -90 cm MV is de redoxpotentiaal echt reducerend. Ditzelfde geldt voor punt 3, waarbij de grondwaterstand op -121 cm MV ligt maar de redoxpotentiaal pas op -150 cm MV sterk reducerend wordt. Bij punt 2 is juist het omgekeerde het geval: de grondwaterstand ligt op -141 cm MV en de redoxgrens ligt op -130 cm MV. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de grondwaterstand nog niet in evenwicht is omdat de doorlatendheid van de bodem slecht is. Bij punt 105 valt op dat de grens tussen een oxiderend en reducerend milieu heel scherp is, op 50 cm valt de redoxpotentiaal nog in klasse 3 en op 60 cm valt hij in klasse 8. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden doordat hier kwel, wat zuurstofarm is, optreedt. In vergelijking met de andere punten in de Castricumerpolder heeft punt 105 ook een andere geologie met een moerige bovengrond die vaak vochtig is.

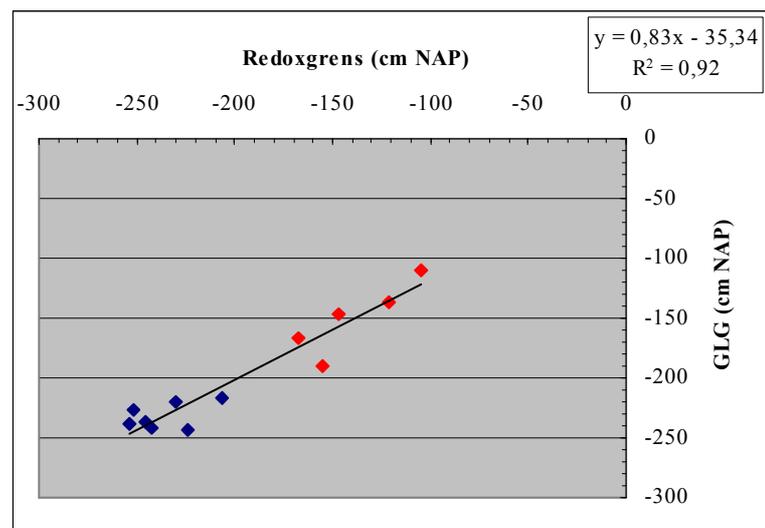
Als wordt gekeken naar de verschillen tussen de Castricumerpolder en de Uitgeesterbroekpolder valt op dat de redoxklasse van de diepste lagen in de Uitgeesterbroekpolder meestal 8 is en die van de Castricumerpolder 7.

In tabel 9 en figuur 14 is te zien dat de diepte van de redoxgrens en de GLG in sommige gevallen meer dan 10 cm van elkaar afwijken. De GLG is de in het bodemprofiel gevonden grens tussen een oxiderend en een reducerend milieu. De redoxgrens is de grens die is gevonden met de redoxprikstok. In de grafiek is te zien dat de redoxgrens afneemt als de GLG lager is, maar ook is te zien dat de verschillen soms groot zijn. Het

zou eigenlijk niet mogelijk kunnen zijn dat de redoxgrens dieper ligt dan de GLG, aangezien de GLG een diepte van extreem lage grondwaterstanden is en de redoxgrens wel in juli is bepaald, maar niet in een extreem droge periode. Toch ligt bij de punten 1, 3, 5 en 6 de in het veld gevonden redoxgrens dieper dan de GLG. In de Castricumerpolder zijn deze vreemde waarden niet gevonden; bij alle punten is de redoxgrens gelijk of hoger dan de GLG. Wel wijkt bij punt 101 de redoxgrens sterk af van de GLG, dit kan alleen verklaard worden als de bodem bij dit punt een hogere grondwaterstand heeft in vergelijking met de andere punten. Een verklaring voor de verschillen tussen de GLG en de redoxgrens zou kunnen zijn dat met de redoxprikstok alleen maar een momentopname wordt gemaakt welke in werkelijkheid niet veel voor kan komen.

Puntnummer	Hoogte maaiveld (cm NAP)	Redoxgrens (cm MV) redoxpot:<81 mV	GLG (cm MV)
1	-160 (-164)	-90	-75
2	-84 (-87)	-120	-130
3	-89 (-102)	-150	-125
4	-158 (-154)	-70	-90
5	-176 (-170)	-60	-50
6	-156	-90	-80
7	-142	-100	-100
101	-95	-60	-95
102	-31	-90	-105
103	-67	-100	-100
104	6 (15,5)	-120	-125
105	-87	-60	-60

Tabel 9: Redoxgrens en GLG voor de boringen die voor dit onderzoek zijn uitgevoerd. De hoogte van het maaiveld is de waarde die uit het AHN is gehaald en tussen haakjes staat de waarde die in het veld gemeten is.



Figuur 14: GLG uitgezet tegen de redoxgrens

Metingen uitgevoerd door PaleoTerra

Doordat PaleoTerra op meerdere tijdstippen door het jaar de redoxpotential heeft gemeten, kan er gekeken worden hoe deze over de tijd verandert.

In de Castricumerpolder is de redoxpotential op twee data (29 maart en 11 mei) gemeten over een profiel. Uit de resultaten (zie bijlage 8) blijkt dat bij de eerste meting de redoxpotentialen tamelijk hoog waren over het hele profiel (zowel boven als onder de grondwaterspiegel). Bij de tweede meting waren de redoxpotentialen boven de grondwaterstand een stuk lager. Bij de punten I en K heeft de redoxpotential op 11 mei tot ongeveer 15 cm boven de grondwaterspiegel nog een hoge waarde, dit zou verklaard kunnen worden door capillaire opstijging. Een mogelijke verklaring voor het verschil tussen de meting van 29 maart en 11 mei zou kunnen zijn dat het na de wintermaanden, waarbij het grondwater hoog staat, een tijd duurt voordat de redoxpotential weer gezakt is, hoewel de grondwaterstand wel al laag is. Waarschijnlijk duurt een daling van de redoxpotential langer dan het zakken van het grondwater, of bevatten de poriën nog veel water, wat een lage redoxpotential tot gevolg heeft. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat het geregend heeft, waardoor de redoxpotential tijdelijk verlaagd is. Het is vreemd dat op 11 mei de redoxpotential aan het oppervlak bij alle punten 6 of hoger is, terwijl de grondwaterstand bij de punten K, L en M minstens 25 cm onder het maaiveld ligt.

In de Uitgeesterbroekpolder is vooral ter hoogte van het archeologisch niveau op meerdere tijdstippen door het jaar heen gemeten. Bij punt A is te zien dat de redoxklasse ongeveer de helft van het jaar 7 of lager is. Bij punt B komt nooit een redoxklasse van 7 of hoger voor. Ook bij de punten D en E is nooit een redoxklasse hoger dan 5 gemeten (met uitzondering van de eerste meting bij punt E waar een redoxklasse van 6 werd gemeten), zelfs niet in de korte periode dat de grondwaterstand hoog was. Hogere waarden zijn gemeten bij punt F, waar tijdens de eerste meting zelfs redoxklasse 9 werd gemeten. De grondwaterstand was ten tijde van deze metingen ook erg hoog. Maar tijdens dezelfde periode van het jaar erna wordt deze hoge redoxklasse niet meer bereikt. Over het hele jaar door blijft de redoxpotential tamelijk hoog, één keer wordt er klasse 4 gemeten maar de rest van de metingen ligt niet onder klasse 5.

6.3.9 ***Zuurgraad en kalkgehalte***

Er wordt vanuit gegaan dat als de bodem kalk bevat, de pH neutraal of basisch is. Alleen bij de punten die op een bepaalde diepte geen kalk bevatten is, op die diepte, de pH gemeten.

Dieper dan 20 cm bevatten alle boringen, met uitzondering van boring 6, kalk. Alleen aan het oppervlak bevatten sommige boringen geen kalk. Boring 6 is een uitzondering hierop met nauwelijks kalk in het oxidatieniveau.

Van de punten 2, 6 (Uitgeesterbroekpolder), 101 en 102 (Castricumerpolder) is de zuurgraad gemeten. De resultaten zijn weergegeven in tabel 10.

Puntnummer	Diepte (cm)	pH (0,01 M CaCl ₂)
2	5	5
	15	5,7
6	10	7,9
	30	7,3
	40	6,8
	50	6,7
	60	7,8
101	5	6,8
	10	6,9
	20	7,1
102	5	6,5
	10	6,8
	20	6,4

Tabel 10: Diepte van pH meting en pH voor een paar voor dit onderzoek uitgevoerde boringen

Uit tabel 10 valt op dat, met uitzondering van punt 2, de pH's op de verschillende punten en verschillende dieptes ongeveer neutraal zijn. Bij de punten 2 en 101 neemt de pH toe met de diepte. Waarschijnlijk is het oppervlak van het land zuur door de invloed van zure regen en vegetatie. De sterkste verzuring treedt op boven in de bodem. Naarmate het zuur dieper in de bodem dringt wordt het geneutraliseerd door de aanwezige kalk waardoor de verzuring met de diepte geleidelijk afneemt. In de meeste gevallen is de bodem hoogstens tot 20 cm onder het oppervlak zuur, hieronder bevat de bodem kalk. Aangezien kalk in staat is zuur te bufferen zal dieper dan 20 cm beneden het maaiveld de pH de komende jaren niet sterk veranderen. Bij punt 6 is de pH op de dieptes 40 en 50 cm, welke in het oxidatieniveau en net eronder liggen, lager dan op de andere dieptes. Op deze dieptes zat er ook nauwelijks kalk in de bodem. Op 60 cm diepte is de pH weer ongeveer gelijk aan die van 10 cm diepte. Bij punt 102 is eerst een kleine toename en daarna weer een kleine afname in pH te zien. Deze lichte afname op 20 cm zou verklaard kunnen worden doordat het monster niet helemaal homogeen was en de pH niet precies bepaald kan worden.

7 Conclusies over kwaliteit, betrouwbaarheid en variabiliteit van de gebruikte hydrogeologische gegevens

7.1 Bestaande gegevens

Uit het onderzoek van RAAP en uit eigen metingen bleek dat niet alle polderpeilen, zoals door het waterschap zijn aangeleverd, juist waren; in het zuiden van de Uitgeesterbroekpolder zat er ongeveer een meter verschil tussen het zomerpeil van het waterschap en het werkelijk gevonden peil. Uit de kaart van het waterschap bleek dat een door de waterstaatskaart als één gekarteerde eenheid verder in deelgebieden opgedeeld kon worden. Het zou dus kunnen voorkomen dat waardes die van de waterstaatskaart gehaald zijn niet voor het hele gebied gelden, waardoor het onzeker is of er wel met de werkelijke waardes is gewerkt. Tevens kloppen de waardes van het waterschap niet altijd, waardoor het ook onduidelijk is of de waardes uit het verleden wel kloppen.

Er zijn maar weinig peilbuizen gelegen in de twee onderzoeksgebieden. In de Uitgeesterbroekpolder liggen vier peilbuizen. In de Castricumerpolder zijn er vijf peilbuizen binnen het onderzoeksgebied. Van de vier peilbuizen die in de Uitgeesterbroekpolder liggen is er één die vanaf 1983 tot 2003 regelmatig is gemeten (buis 0171), maar bij deze buis zit het filter erg diep waardoor alleen de stijghoogte wordt gemeten. Bij de andere drie buizen (0195, 0346 en 0347) is er over minder dan tien jaar gemeten en zijn de metingen al in 1987 gestopt. In het onderzoeksgebied in de Uitgeesterbroekpolder is er dus geen goede informatie beschikbaar over de grondwaterstand in het heden.

Van de vijf peilbuizen die in de Castricumerpolder zijn gelegen, zijn er twee (1012 en 1013) onregelmatig gemeten. Bij de overige drie peilbuizen (1020, 0143 en 0788) is er vrij regelmatig gemeten. Peilbuis 1020 is gemeten van voorjaar 1986 tot voorjaar 2001, vooral aan het einde van de meetperiode missen er veel metingen in één jaar. De peilbuizen 0143 en 0788 zijn beide nog in gebruik en zijn dus tot heden gemeten. Bij peilbuis 0143 zijn er op zes verschillende dieptes filters geplaatst en bij buis 0788 op drie verschillende dieptes. In de Castricumerpolder zijn dus drie peilbuizen die goede informatie kunnen geven over de grondwaterstand van heden en verleden.

TNO heeft een groot aantal boringen uitgevoerd in de twee onderzoeksgebieden. Een deel van de boringen is niet door TNO uitgevoerd maar is een matig diepe boring uitgevoerd door derden met een counter-flushboring of een pulsborings. Dit zijn boringen die niet erg precies zijn. Vaak wordt er om de 50 cm gekeken wat de lithologie is, wat niet voldoende is voor dit onderzoek. Daarom zijn deze boringen in de gemaakte doorsneden weggelaten. In de boorbeschrijvingen van TNO is de lithologie bij elke laag vermeld, het kalkgehalte is soms genoteerd, maar de hydromorfe kenmerken zijn niet vermeld. Voor dit onderzoek zijn de hydromorfe kenmerken van groot belang, maar deze kunnen dus niet uit de boorbestanden van TNO gehaald worden.

7.2 Eigen metingen

In het veld is de plaats van de boring vastgesteld met een GPS. De GPS heeft echter als nadeel dat deze de plaats maar op ongeveer 6 meter nauwkeurig kan bepalen. Dit zou uit kunnen maken voor de plaats van het punt in het AHN beeld, welke met pixels van 5

bij 5 meter werkt. Bij het bepalen van de hoogte van het maaiveld aan de hand van het AHN, zou het dus kunnen gebeuren dat deze niet helemaal juist is.

De redoxpotentiaal is in het veld bepaald met een redoxprikstok. De redoxprikstok is in zijn ontwikkeling echter nog in de testfase. Het is dus niet zeker of met dit apparaat de juiste waardes voor de redoxpotentiaal verkregen worden.

Op vier plaatsen is de GLG naast bestaande peilbuizen uit de hydromorfe kenmerken van de bodembeschrijving gehaald. Hiermee was het mogelijk om de GHG en GLG die uit de hydromorfe kenmerken worden gehaald te vergelijken met de GHG en GLG die uit grondwaterstandgegevens zijn berekend. Uit deze vergelijking bleek dat de GHG van beide methodes goed overeenkomt. De GLG die uit berekeningen wordt gehaald en de GLG die in het veld wordt waargenomen wijkt meer van elkaar af. Er zal dus rekening gehouden moeten worden met een afwijking die tussen de verschillende manieren van bepalen kan zitten. Uit recent onderzoek blijkt dat de GLG die is bepaald op basis van hydromorfe kenmerken bijna direct reageert op een grondwaterstandverlaging. Omgedraaid kan het jaren duren voor een nieuw evenwicht is ingesteld.

8 Conserverend vermogen van de bodem voor het behoud van het archeologisch erfgoed

8.1 Meetlocaties bij bekende archeologische sites

DINO-gegevens

Twee van de peilbuizen van TNO-B&O, 0171 en 0788, liggen in de buurt van een gebied waarvan de diepte van het archeologisch erfgoed bekend is. Echter, bij beide punten ligt het filter zo diep dat er niets gezegd kan worden over de grondwaterstand maar alleen over de stijghoogte.

Punten van PaleoTerra

Bij de punten A tot en met M is de diepte van het archeologisch niveau bepaald door het ROB. Bij de punten A, B, D, I, L en M is er in de boorprofielen ook aangegeven op welke diepte de bodem reducerend wordt. Bij punt K is in de boorbeschrijving van het ROB geen cultuur- of akkerlaag aangegeven. Wel is van drie andere punten die hier in de buurt liggen de diepte van de cultuur- en akkerlaag genoteerd. Van deze dieptes is de ondiepste als minimum genomen en de diepste als maximum voor de diepte van de archeologische laag van punt K.

In de Castricumerpolder ligt bij alle punten het archeologisch niveau tamelijk dicht onder het oppervlak (zie tabel 11). Voor alle punten in deze polder geldt dat de archeologische resten van maart tot en met september geheel boven het grondwater staan. Vanaf eind oktober staat het onderste deel van het erfgoed in het grondwater, en blijft ongeveer 4 maanden in het grondwater staan. De bovenste laag van het erfgoed staat hoogstens een paar dagen per jaar in het grondwater. Bij de Castricumerpolder is de redoxpotentiaal maar op twee tijdstippen in het jaar bepaald. Ondanks de vaak lage grondwaterstanden komen er op 29 maart over de gehele diepte van de verschillende profielen hoge redoxklassen voor, en is de redoxpotentiaal ter hoogte van het archeologisch erfgoed min of meer reducerend. Twee maanden later echter is de redoxklasse over het gehele profiel weer laag, wat waarschijnlijk de hele zomer zo blijft totdat de bodem weer een hoge grondwaterstand bereikt in oktober of november.

In de Uitgeesterbroekpolder zit het archeologisch niveau bij punt A ongeveer 3 maanden per jaar in het grondwater. Wel is te zien dat de redoxklasse op de diepte van het archeologisch erfgoed ongeveer de helft van het jaar 7 of lager is. Bij punt B heeft het archeologisch niveau over de meetperiode niet in het grondwater gelegen, als er vanuit wordt gegaan dat de grondwaterstand tussen de metingen door niet veel heeft geschommeld. Ook komt er ter hoogte van het archeologisch niveau nooit een redoxklasse van 7 of hoger voor. Bij de overige punten (D, E en F) liggen de archeologische resten in de wintermaanden soms in en soms boven het grondwater. Bij de punten D en E is in de archeologische laag nooit een redoxklasse hoger dan 5 gemeten. Bij punt F zijn hogere waarden gemeten; tijdens de eerste meting werd zelfs redoxklasse 9 in het archeologisch niveau gemeten. Over het hele jaar door blijft de redoxpotentiaal op dit punt tamelijk hoog, één keer wordt er klasse 4 gemeten maar de

rest van de metingen ligt niet onder klasse 5. Dit wijst erop dat er op dit punt tamelijk goede condities heersen voor het behoud van het archeologisch erfgoed.

Eigen metingen

Als naar tabel 11 wordt gekeken valt op dat de redoxgrens, welke gemeten is in het veld, bij alle punten lager is dan de diepte van het archeologisch niveau. Ook de GLG ligt in alle gevallen dieper dan het archeologisch niveau. De GHG ligt bij alle punten hoger dan de diepte waarop de archeologische resten voorkomen. Dit zou kunnen betekenen dat de archeologische resten op alle punten in de droge maanden van het jaar boven het grondwater staan en dus in een oxiderend milieu voorkomen. In de natte maanden staat het grondwater boven het archeologisch erfgoed. Bij de punten die de ondiepste GLG en redoxgrens hebben (de punten 5 en 105), zullen de archeologische resten het langst in het grondwater staan. Als gekeken wordt naar de gemeten redoxklasse ten tijde van de eigen metingen (begin juli 2004) is te zien dat de redoxklasse ter hoogte van het archeologisch niveau bij alle punten een waarde van 3 heeft, en bij twee punten zelfs 2. In de zomer komen er bij alle gemeten punten reducerende omstandigheden voor ter hoogte van het archeologisch erfgoed.

Puntnummer	Archeologisch niveau (cm -MV)	Oxidatiegrens (cm MV)	GLG (cm MV)	Redoxklasse thv arch. niv.
1	50-55	-90	-75	3
2	40-45	-120	-130	2
3	75-85	-150	-125	3
4	25-30	-70	-90	3
5	30-40	-60	-50	3
6	35-40	-90	-80	3
7	25-30	-100	-100	2
101	25-45	-60	-95	3
102	35-50	-90	-105	3
103		-100	-100	3
104	60-70	-120	-125	3
105	25-50	-60	-60	3
A	58-68		-125	
B	15-44		-130	
D	38-52		-68	
E	35-47			
F	28-48			
I	12-67		-81	
K	10-89			
L	32-60		-126	
M	16-39		-131	

Tabel 11: Gegevens over het archeologisch niveau. De schuin gedrukte waardes zijn onzekere waardes.

Het archeologisch niveau begint bij bijna alle meetpunten dieper dan 20 cm onder het maaiveld. Hierdoor zal de zuurgraad geen nadelige gevolgen hebben voor de conservering van het erfgoed, aangezien de bodem vanaf 20 cm veel kalk bevat die in staat is de pH te bufferen zodat deze niet sterk verandert. De pH heeft alleen negatieve effecten op de archeologie als hij verandert, sterk zuur of sterk basisch is. De zuurgraad

zal in dit gebied dus geen negatieve effecten hebben op de conservering van het archeologisch erfgoed.

8.2 Het maken van voorspellingen over de conserveringstoestand van de bodem

Uit het onderzoek kwam naar voren dat het bodemmilieu voor de conservering van de archeologische resten wisselend van kwaliteit is. Op sommige plaatsen heeft het bodemmilieu redelijk goede condities om de resten te conserveren, maar op de meeste plaatsen is de kwaliteit van het bodemmilieu slecht waardoor de organische resten bedreigd worden. Op geen enkel van de onderzochte plaatsen staat het grondwater gedurende het gehele jaar boven het archeologische niveau. Op de meeste plaatsen staan de archeologische resten gedurende een paar maanden per jaar in het grondwater. Deze cycli van verdroging en vernatting zijn zeer ongunstig voor het behoud van het archeologisch erfgoed.

In de Castricumerpolder, die voor het grootste deel uit zand bestaat is de afwisseling van droog en nat ongunstig doordat de grond in de zomer sterk uitdroogt. In de Uitgeesterbroekpolder, een klei – veen gebied, is dit iets minder van belang omdat klei en veen minder sterk uitdrogen dan zand. Nog een voordeel van het klei – veen landschap is dat de capillaire opstijging hoog zal zijn, en dat het slecht doorlaatbaar is voor zuurstof. Een zandbodem heeft wel als voordeel dat de doorlaatbaarheid hoger is, waardoor er meer kwel optreedt en er infiltratie vanuit de sloten plaats vindt. Ondanks dit verschil is de conserveringstoestand bij beide gebieden slecht.

Aangezien de grondwaterstand over de afgelopen decennia niet significant is veranderd, kan ervan uitgegaan worden dat de condities voor het behoud van het erfgoed al decennia lang slecht zijn. Het is dus belangrijk te weten in welke conditie het erfgoed zich nu bevindt om te kunnen beslissen of het nemen van maatregelen nuttig is. Als het erfgoed zich namelijk nu al in slechte staat bevindt, kan het beter opgegraven worden. Het nemen van maatregelen, zoals het verhogen van het polderpeil, zal de staat van het materiaal niet meer doen verbeteren.

Voor het behoud van de archeologische resten is het beter altijd onder of boven het grondwater te liggen dan cycli van verdroging en vernatting te ondergaan. Op plaatsen waar de GLG ongeveer op dezelfde diepte of iets hoger ligt dan het archeologische niveau en de resten dus voor het grootste deel van het jaar in het grondwater staan, heersen gunstige condities voor het behoud van dit erfgoed. Als de GLG niet veel lager ligt dan het archeologisch niveau zou het zinvol kunnen zijn om de grondwaterstand een fractie te verhogen. Als de GLG meer dan 10 cm verschilt met de diepte waarop de archeologische resten zich bevinden, zou het grondwater wel enkele decimeters verhoogd kunnen worden maar dit zal waarschijnlijk op tegenstand stuiten. In sommige gebieden ligt het archeologisch erfgoed erg ondiep (ongeveer 20 cm), in deze gebieden is het waarschijnlijk niet mogelijk om de archeologische resten permanent onder water te laten staan. Een maatregel die genomen zou kunnen worden in gebieden waarbij de grondwaterstand het grootste deel van het jaar lager staat dan het archeologisch niveau, zou een verlaging van de grondwaterstand kunnen zijn. Op deze manier staan de archeologische resten het gehele jaar door boven het grondwater. Een moeilijkheid ontstaat als de archeologische resten over een grote diepte verspreid zitten; het bovenste deel van de resten ligt bijna nooit in het grondwater terwijl het onderste gedeelte een groot deel van het jaar in het grondwater staat.

8.3 Het extrapoleren van puntmetingen naar een ruimtelijk beeld

Het maken van voorspellingen over de conserveringstoestand van de bodem voor een groter gebied is lastig doordat de bodemcondities op korte afstand en in de tijd sterk kunnen verschillen. De grondwaterstand is een belangrijke parameter die de redoxpotentiaal beïnvloedt. Aan de hand van het polderpeil is er een schatting te maken van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Hiermee zou een schatting gemaakt kunnen worden van de reductie of oxidatie toestand van de bodem. Eigenlijk komt het er dus op neer dat de gebieden met een hoog polderpeil en een laag maaiveld de ondiepste GLG hebben. In deze gebieden zit het archeologisch erfgoed waarschijnlijk de langste periode per jaar in het grondwater. Wel is het belangrijk dat de diepte van het archeologisch erfgoed bekend is want ook deze verschilt al binnen de onderzoeksgebieden.

Aan de hand van de locatie specifieke relatie tussen het polderpeil en de GLG (zie paragraaf 5.7.3), afhankelijk van de afstand tot de sloot, is de GLG over de twee onderzoeksgebieden geëxtrapoleerd (zie bijlage 10). In deze kaarten is aan de sloten en meren het polderpeil gegeven. Uit de relatie tussen de afstand tot de sloot en de GLG (zie paragraaf 5.7.3) bleek dat na 5 meter de GLG ongeveer constant was. De eerste 5 meter van de sloot loopt de GLG min of meer geleidelijk af van het polderpeil tot de dieper gelegen GLG. In de kaart zijn buffers rondom de sloten en meren gemaakt waarbij op de kaart in de sloten het zomerpeil wordt weergegeven en 5 meter van de sloot de GLG. Hiertussen gaat de weergegeven GLG in stapjes van één meter naar de GLG (zie figuur 15). Doordat de legenda-eenheden echter per 10 cm zijn, is niet elke meter met een ander polderpeil te zien in dit figuur.



Figuur 15: Kaart met voorspelde GLG's ingezoomd

Om voor andere gebieden een voorspelling te maken van de GLG is voor die gebieden ook de relatie tussen het polderpeil en de GLG nodig. Waarschijnlijk moet er per gebied een nieuwe relatie berekend worden tussen de GLG en het polderpeil omdat deze kan verschillen door bijvoorbeeld verschillen in grondsoorten. Door de berekende GLG te vergelijken met het AHN kan bekeken worden hoe ver het grondwater in zijn laagste stand onder het maaiveld ligt. Hiermee kunnen conclusies getrokken worden wat betreft de ligging van het archeologisch niveau ten opzichte van het grondwater en kan een voorspelling gedaan worden over de toestand van dit erfgoed.

Het polderpeil kan uit kaarten van het waterschap gehaald worden en de grondwatertrappen staan genoteerd op de bodemkaart. Er zijn echter een aantal beperkingen aan deze gegevens. Uit dit onderzoek bleek dat niet alle polderpeilen die op de kaart van het waterschap stonden in werkelijkheid dat polderpeil hadden. De aanwezige kaart van het waterschap zal eerst gecontroleerd moeten worden. De grondwatertrappen van de bodemkaart kloppen ook niet meer in alle gevallen omdat deze kaart verouderd is (maaiveldaling, polderpeilverandering). Bovendien wordt op de bodemkaart de GLG als een interval gegeven en bestaat dus niet uit één waarde. Een andere manier om aan de GLG te komen is deze te berekenen uit grondwaterstandgegevens van de bestaande peilbuizen die in een gebied aanwezig zijn.

8.4 Aanbeveling voor generieke aanpak

Op basis van de kennis die opgedaan is in dit onderzoek kunnen de volgende aanbevelingen gedaan worden met betrekking tot toekomstig onderzoek worden naar de archeologische degradatie processen in de Oer-IJ regio.

- Het freatisch grondwatervlak en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in het bijzonder, zijn op gedetailleerd schaalniveau niet te bepalen op basis van de beschikbare grondwatermeetpunten. De grondwatertrappenkaart levert ruimtelijk meer detail maar is sterk gedateerd. Door polderpeilaanpassingen en maaiveldaling zal deze informatie in veel gevallen niet voldoen. Het verdient daarom aanbeveling om het freatisch vlak opnieuw te karteren (zie tabel 12). Dit zou het best plaats kunnen vinden met een voor dit doel ingericht meetnet, in combinatie met een grondwatermodel. Omdat deze methode vaak erg kostbaar is, wordt als alternatief de volgende pragmatische methode (voor poldergebieden) voorgesteld: (1) karteer de hoogte van het maaiveld (bijvoorbeeld m.b.v. het AHN-bestand), (2) inventariseer de polderpeilen, (3) bepaal de slootpeilgrondwaterstand relatie met behulp van enkele boringen waarbij gebruik wordt gemaakt van hydromorfe kenmerken en (4) controleer de betrouwbaarheid van hydromorfe kenmerken door naast bestaande grondwatermeetpunten een boring uit te voeren.
- Analyseer de geschikte peilbuizen die in het gebied liggen. Geschikte peilbuizen hebben een filter dat ondieper dan 3 meter onder maaiveld zit en waarvan er regelmatig grondwaterstanden worden gemeten. Naast iedere geschikte peilbuis zou, ter ijking, een boring gezet moeten worden om de hydromorfe kenmerken van het bodemprofiel te kunnen vergelijken met uit de grondwaterstanden berekende GHG en GLG.
- Om de bodemcondities voor het behoud van het archeologisch erfgoed duidelijk in beeld te krijgen zullen vervolgens per peilvak boringen gezet moeten worden. Bij deze boringen wordt een bodembeschrijving gemaakt met de hydromorfe kenmerken en het kalkgehalte per bodemlaag genoteerd. Door de zuurgraad te

koppelen aan de geologische eenheid zou er voor een groot gebied een schatting gemaakt kunnen worden van de zuurgraad op verschillende dieptes. De redoxpotentiaal kan bij ieder boorpunt bepaald worden met een redoxprikstok. Door de redoxpotentiaal uit te zetten tegen de grondwaterstand kan er een relatie tussen beide parameters berekend worden. Belangrijk is ook de relatie tussen het slootpeil en de GLG te bepalen en de invloed van de afstand van de sloot op de GLG. Aan de hand van de relatie tussen het slootpeil en de GLG zou voor het gehele gebied de GLG geschat kunnen worden.

- Bepaal aan de hand van de diepteligging van het archeologisch erfgoed en de bodemcondities de gewenste, optimale GLG voor de conservering. Dit waterdoel zou bij het waterbeheer moeten worden afgewogen naast de waterdoelen voor natuur, landbouw en stedelijk gebied.

Tabel 12: De meest gebruikte methoden om in het freatisch grondwatervlak in kaart te brengen. Per methode worden voor- en nadelen aangegeven.

<i>methode</i>	<i>kosten</i>	<i>Betrouw- baarheid</i>	<i>opmerkingen</i>
1. karteren met behulp nieuw te installeren freatisch grondwatermeetnet <ul style="list-style-type: none"> • Tientallen meetpunten, • Minimaal jaar meten, • Eventueel gebruik maken van tijdreeksmodellen 	+++	+	Kostbaar, info pas laat beschikbaar. Deel meetnet kan later wel worden gebruikt voor beheer erfgoed. Geschatte betrouwbaarheid GLG ca 25 cm.
2. GLG-kartering met behulp hydromorfe kenmerken. <ul style="list-style-type: none"> • Tientallen meetpunten, • Resultaat direct beschikbaar 	+	++	Niet goed toepasbaar in gebieden met stijgende grondwaterstand. Geeft momentopname. Geschatte betrouwbaarheid ca 30 cm.
3. gebruik bodemkaart (grondwatertrappen)	---	--	Opname 1960-1980, 1:50.000. Levert 'historisch' beeld.
4. actualisatie Gt-kaart <ul style="list-style-type: none"> • Met behulp oorspronkelijke Gt-klasse grenzen en bestaande DINO 	o	o	Pragmatische verbetering grondwatertrappenkaart. Resultaat is afhankelijk beschikbaarheid bestaande meetpunten.
5. gebruik grondwaterklassenkaart COLN	---	---	Opname 1950-1955, 1:250.000. Te oud en te grofschalig.
6. grondwatermodel met: <ul style="list-style-type: none"> • Met gerichte opname (peilbuizen), 	+++	+++	Kostbaar, betrouwbaarheid berekende GLG is ca +/- 35 cm. Voordeel is dat met een model het effect kan worden bepaald van

<ul style="list-style-type: none"> Gridcelgrootte 25x25 			ingrepen die de conserveringstoestand kunnen verbeteren of verslechteren.
7. Gd-kartering (tijdreeksmodel met exogene variabelen)	++	++	Kostbaar, betrouwbaarheid berekende GLG is ca +/- 42 cm. Lvert momentopname
8. deterministisch-pragmatische methode (zie dit rapport)	o	+	Snel, betaalbaar, maar momentopname. Geschatte betrouwbaarheid (poldergebieden) ca 25 cm. In zandgebieden minder betrouwbaar.

9 Discussie: Grondwater – oppervlaktewater relatie in poldergebieden

9.1 Inleiding

In de polders van het studiegebied in het Oer-IJ estuarium is tijdens het onderzoek met slechts enkele boringen en gegevens uit bestaande peilbuizen de grondwaterstand geschat. Dit is mogelijk omdat veel kennis bestaat over de factoren die deze grondwaterstand in poldergebieden bepaald. In deze bijlage wordt kort ingegaan op de factoren die een grondwaterstand in poldergebieden bepalen, mede aan de hand van metingen in andere poldergebieden.

Welke factoren bepalen de grondwaterstand in poldergebieden?

In het landelijk gebied en bij waterschappen wordt al eeuwenlang waterbeheer vorm gegeven met behulp van het begrip “drooglegging”. Drooglegging is de (verticale) afstand tussen de hoogte van het maaiveld en het oppervlaktewaterpeil. In overleg met de terreineigenaren en terreinbeheerders wordt een peilbesluit genomen om een optimale drooglegging te bereiken. Dit peilbesluit voor een optimale drooglegging is grotendeels gebaseerd op praktijkervaring en wordt om de zoveel jaren bijgesteld. Hiervoor wordt en werd bijna nooit de grondwaterstand onderzocht. In de praktijk dachten veel oppervlaktewaterbeheerders en de gebruikers van de grond dat drooglegging overeenkwam met de grondwaterstand t.o.v. maaiveld, ofwel dat de het oppervlaktewaterpeil gelijk was aan de grondwaterstand. In werkelijkheid blijkt dit echter veel genuanceerder te liggen. De grondwaterstand kan namelijk sterk verschillen van het oppervlaktewaterpeil. In de winter is vaak sprake van een opbolling, in de zomer van een holle waterspiegel. De grondwaterstand in het poldergebied wordt bepaald door de volgende factoren:

1. de grondwateraanvulling; neerslag minus verdamping. Met name verschillen in gewasverdamping kunnen verschillen in grondwaterstanden veroorzaken.
2. eventuele kwel; kwel kan worden beschouwd als een extra bron van grondwateraanvulling. In veel polders komt de hoeveelheid kwel overeen met de hoeveelheid neerslag.
3. de slootpeilen: slootpeilen hebben een heel grote invloed op het grondwaterpeil. In de praktijk geldt dit met name voor het winter/voorjaar peil en minder voor het zomerpeil. Het oppervlaktewaterpeil stuurt namelijk de grondwaterdrainage vanuit het perceel. Als het peil laag is is de drainage hoog. Verhogen van het zomerpeil zorgt er echter niet voor dat oppervlaktewater ‘terugstroomt’ en het grondwaterpeil verhoogt (met uitzondering van zeer goed doorlatende zanden of veen).
4. de aanwezigheid en aard van drainage (buizen, greppels); met behulp van drainage kan de grondwaterstand naar wens worden gestuurd,
5. de slootafstand; bij vergroting van de slootafstand stijgt in het algemeen de grondwaterstand. In gebieden met wegzijging gebeurt echter het tegenovergestelde.
6. de doorlatend van de bodem; hoe slechter de doorlatendheid hoe hoger de grondwaterstand.
7. de in- en uittredeweerstand van de slootbodem en oever; door inspoeling of uitspoeling van organisch materiaal en slibvorming kan de stroming naar of vanuit sloten worden bemoeilijkt met gevolgen voor de grondwaterstand.

Er kunnen 3 grondwater-oppervlaktewatersituaties worden onderscheiden:

1. bolle grondwaterspiegel in zowel winter als zomer; deze situatie komt in het algemeen alleen voor in kwelgebieden.
2. bolle grondwaterspiegel in de winter, holle grondwaterspiegel in de zomer; de holle waterspiegel wordt voornamelijk veroorzaakt door verdamping maar vaak versterkt doordat in de zomer de slootpeilen worden verhoogd.
3. holle grondwaterspiegel in zowel zomer als winter; de vindt vaak plaats in relatief hooggelegen veenweidegebieden waar permanent wegzijging naar diepere lagen plaatsvindt. Bijvoorbeeld de oeverland langs rivieren en een gebied als Broek in Waterland.

9.2 Ervaringen uit veldonderzoek in het West-Nederlandse poldergebied

Om meer kennis te krijgen over deze grondwater-oppervlaktewater relatie heeft TNO momenteel 2 projecten lopen:

1. onderzoek naar de waarde en betrouwbaarheid van hydromorfe kenmerken om de grondwaterstand mee te bepalen of te karteren,
2. onderzoek in permanent gemonitoorde proeflocaties; (1) de oeverlanden van De Meije en (2) het Ilperveld en eerder onderzoek in De Schermer en polder De Noordplas (ten noorden van Zoetermeer),
3. grondwatergradientonderzoek tijdens éénmalige veldonderzoeken waarbij de grondwaterstand tussen sloten onder allerlei hydrologische omstandigheden wordt onderzocht.

In de meeste situaties, inclusief de diep gelegen droogmakerij De Schermerpolder, bleek in de zomer sprake van een holle waterspiegel. Alleen in enkele polders aan de westzijde van de Utrechtse Heuvelrug, waar sprake is van aanzienlijke kwel, was sprake van een bolle zomerspiegel. Figuur 16 toont een deel van het oeverland van de Meije. Het oppervlaktewaterpeil is het gehele jaar constant en ligt vlak onder maaiveld (35-45 cm). In dit gebied zakt de zomergrondwaterstand in het centrum van deze smalle percelen tot 110 cm onder maaiveld (figuur 17). In de winter ligt de grondwaterstand hier net onder het oppervlaktewaterpeil.



Figuur 16: De oeverlanden van De Meije.



Figuur 17: Voorbeeld van een holle zomergrondwaterspiegel in De Meije

Tijdens een éénmalige bemonstering in 13 polders (zie tabel 13) waarbij de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) werd bepaald op basis van hydromorfe kenmerken en de actuele grondwaterstand werd in een open boorgat werd gemeten bleken 12 polders een holle grondwaterstand te bezitten. Deze grondwaterstand lag 20-100 cm onder het oppervlaktewaterpeil. In figuur 18 worden enkele voorbeelden getoond.

Tabel 13: Hydromorfe kenmerken en de actuele grondwaterstand tijdens een éénmalige bemonstering in 13 polders in Zuid- Holland.

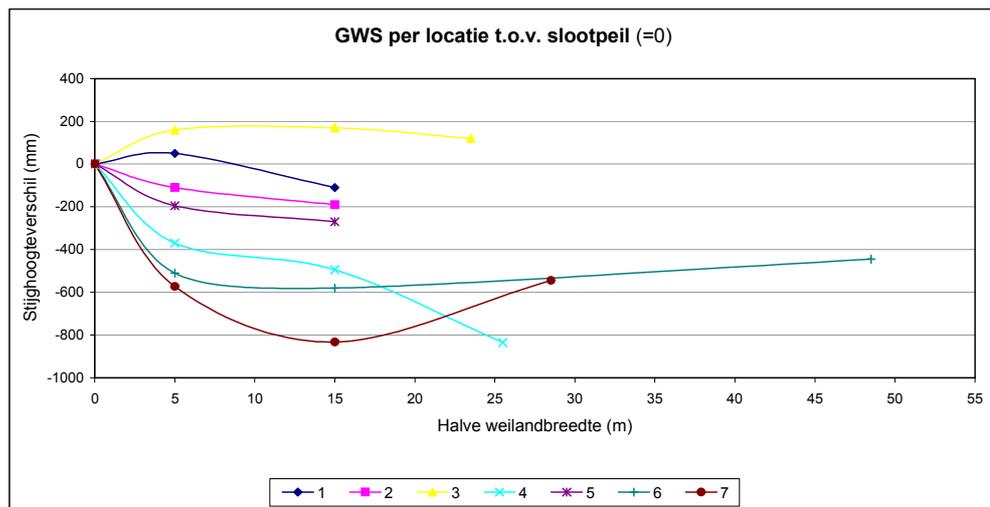
Locatie nr.	Locatie omschrijving	Amersfoortse Coördinaten	Datum meting	Hoogtegetal (m NAP)
1.	Westbroek	138,2 - 462,0	25-08-03	0.9
2.	Molenpolder	135,1 - 462,9	26-08-03	-0.6
3.	Bethune polder	132,8 - 463,9	26-08-03	-3.3
4.	Bosdijk	125,2 - 466,8	25-08-03	-1.8
5.	Weltevreden	115,1 - 466,6	26-08-03	-5.4
6.	Hoogmade	100,1 - 464,7	27-08-03	-1.9
7.	Venne Polder	97,2 - 466,8	27-08-03	-1.8
8.	Polder Steekt	105,9 - 457,7	27-08-03	-1.6
9.	Waddinxveen	106,5 - 450,9	27-08-03	-5.0
10.	Waarder	115,5 - 452,3	27-08-03	-1.7
11.	Polder Zegveld	118,6 - 457,5	27-08-03	-1.7
12.	Meijepolder	112,3 - 458,3	27-08-03	-2.1
13.	Noordeinderpolder	109,9 - 459,9	27-08-03	-3.6

Uit het onderzoek naar de gebruiksmogelijkheden van hydromorfe kenmerken bleken deze voor de bepaling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand goed te voldoen. Hierbij bleek dat grondwaterstandverlaging snel (jaren) de hydromorfe kenmerken aan de nieuwe situatie doet aanpassen. Omgedraaid duurt dat veel langer (decennia).

9.3 Conclusie

Voor studie naar de conserveringstoestand speelt de laagste grondwaterstand een belangrijke rol. Deze laagste grondwaterstand treedt op in de zomer. De zomergrondwaterstand kan decimeters onder het oppervlaktewaterpeil liggen. Zomergrondwaterstand van meer dan 80-100 cm onder maaiveld zijn geen

uitzondering. Uit veel onderzoek is gebleken dat het grondwatervlak gestuurd wordt door het oppervlaktewaterpeil. In het algemeen ligt in polderpercelen de grondwaterstand, met uitzondering van een smalle(5-15 meter) zone langs de waterlopen, zeer vlak. Met deze kennis, waarbij natuurlijk ook de lokale polderstructuur in beschouwing wordt genomen (in percelen de grenzen aan een diepe polder zal de grondwaterstand anders verlopen!), kan met behulp van een gering aantal boringen zeer snel de grondwaterstand worden gekarteerd. Deze snelle en kosteneffectieve methode is in deze studie toegepast.



Figuur 18: Grondwaterstand per locatie (tabel 13) ten opzichte van slootpeil / slootafstand.

Literatuurlijst

- Brandt, R.W.**, W. Groenman-van Waateringe & S.E. van der Leeuw (eds.), 1987. Assendelver Polder Papers 1. Cingula 10, Universiteit van Amsterdam, p 1-352.
- De Mulder, E.F.J.**, M.C. Geluk, I. Ritsema, W.E. Westerhoff, & T.E. Wong, 2003. De ondergrond van Nederland, Nederlands Instituut voor Toegepaste geowetenschappen TNO, Utrecht, 379 pp.
- De Roo, H.C.**, 1953. De bodemgesteldheid van Noord-Kennemerland. De bodemkartering van Nederland, deel XIV, Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen, no. 59.3, 202 pp.
- Güray, A.R.**, 1952. De bodemgesteldheid van de IJ-polders. Dissertatie Wageningen, Boor en Spade 5, p. 1-28.
- Heeringen, R.M.**, Theunissen, E.M., 2002. Desiccation of the Archeological Landscape at Voorne-Putten. Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Nedelandse Archeologische Rapporten 25, Amersfoort.
- Heeringen, R.M.** van, Smit, A., Theunissen, E.M., 2003. Archeologie in de toekomst: Nulmeting van de fysieke kwaliteit van het archeologisch monument in de Broekpolder, gemeenten Heemskerk en Beverwijk. Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Rapportage Archeologische Monumentenzorg 107, Amersfoort.
- Heeringen, R.M.** van, Mauro, G.V., Smit, A., 2004. A Pilot Study on the Monitoring of the Physical Quality of Three Archeological Sites at the UNESCO World Heritage Site at Schokland, Province of Flevoland, the Netherlands. Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Nedelandse Archeologische Rapporten 26, Amersfoort.
- Kars, H.**, Smit, A., 2003. Handleiding Fysiek Behoud Archeologisch Erfgoed, Degradatiemechanismen in sporen en materialen. Monitoring van de conditie van het Bodemarchief. Institute for Geo- and Bioarcheology, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Lageman, R.**, Homan, M., 1979. Inventarisatierapport bij de grondwaterkaart van Nederland. Dienst grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Steur, G.G.L.**, Heijink, W., 1991. Algemene begrippen en indelingen bij de bodemkaart van Nederland. Van der Wiel en Smit B.V., Arnhem.
- Therkorn, L.**, E.A. Besselsen & J.F.S. Oversteegen, 1997. Assendelver Polders Revisited: excavations 1997. Faculty for Environmental Sciences, Universiteit van Amsterdam, p 1-59.
- Therkorn, L.**, 2000. Project Wetland West:Broekpolder. Voortgangverslag van het tweede opgravingsseizoen (1e halfjaar) april – november 2000. Amsterdams Archeologisch Centrum, Universiteit van Amsterdam, p 1-9.
- Tietema, A.**, 1999. Inleiding bodemkunde. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Vos, P.C.**, 1983. De relatie tussen de geologische ontwikkeling en de bewoningsgeschiedenis in de Assendelver Polders vanaf 1000 voor Chr. In: R.W. Brandt et al.(eds.), De Zaanstreek archeologisch bekeken. Zaanstad, p. 6-32.

Vos, P.C., 1998. De geologie van de Uitgeester- en Assendelver Polders. Notitie IPP 85-376, Universiteit van Amsterdam. Verschenen in: P.C. Vos, 1998. 10 profiel reconstructies door de Zaanstreek tussen Groenedijk en Twiske (1000 v. Chr. – heden) t.b.v. de tentoonstelling ‘ De Dubbele Bodem’ van het Z aans Museum. Aanvullende geologische informatie. TNO-rapport, NITG 98-136-B, Zwolle.

Vos, P.C., 2001. Toegepaste geowetenschappen in de archeologische procescyclus. InFormatie: 8, TNO-B&O, Utrecht.

Vos, P.C. & C. Soonius, 2004. Hoofdstuk 4. Oude landschappen. In: S. Lange, e.a., 2004: Het Oer-IJ etuarium, Archeologische KennisInventarisatie (AKI), Amsterdams Archeologisch Centrum, 124 pp.

Westerhoff, W.E., Mulder, E.F.J. de, Gans, W. de, 1987. Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1 : 50000. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Kaarten:

Bodemkaart van Nederland (1:50000), 19 west, 1994. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Bodemkaart van de Roo (1:25000), Noord-Kennemerland, 1953. Stichting voor bodemkartering, Wageningen.

Geologische kaart van Nederland (1:50000), 19 west, 1984. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Hoogtekaart van Nederland (1:10000), 19C zuid, 1970. Departement van Defensie Topografische Dienst, Delft.

Hoogtekaart van Nederland (1:10000), 19D zuid, 1980. Departement van Defensie Topografische Dienst, Delft.

Topografische kaart 19C en 19D (1:25000): 1895, 1950, 2002. Topografische Dienst, Emmen.

Waterstaatskaart (1:50000), 19 Alkmaar-West: 1885, 1951, 1970, 1982, Topografische Dienst, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

BIJLAGES

Bij het TNO-rapport: Archeologische degradatie processen, een geo-archeologische studie in twee pilot-gebieden gelegen in het Oer-IJ estuarium (NH)

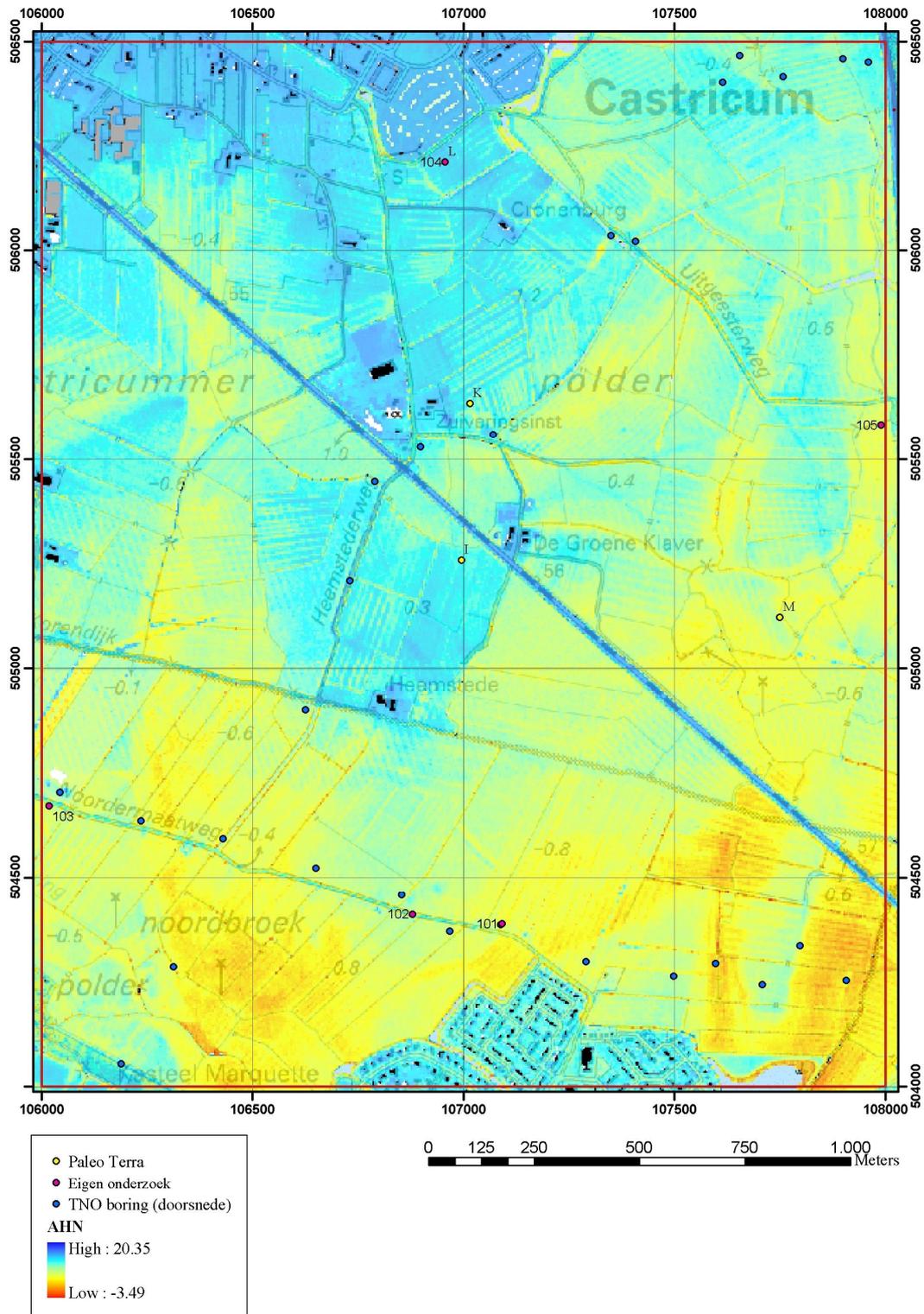
Inhoudsopgave

BIJLAGE 1A: TOPOGRAFISCHE KAART CASTRICUMMERPOLDER.....	3
BIJLAGE 1B: TOPOGRAFISCHE KAART UITGEESTERBROEKPOLDER.....	4
BIJLAGE 2A: AHN VAN DE CASTRICUMMERPOLDER	5
BIJLAGE 2B: AHN VAN DE UITGEESTERBROEKPOLDER	6
BIJLAGE 3A: KAART DE ROO VAN DE CASTRICUMMERPOLDER	7
BIJLAGE 3B: KREKENKAART VAN DE UITGEESTERBROEKPOLDER	8
BIJLAGE 4A: LOCATIEKAART PROFIELDOORSNEDEN UITGEESTERBROEKPOLDER	9
BIJLAGE 4B: PROFIELDOORSNEDE UITGEESTERBROEKPOLDER WEST-OOST	10
BIJLAGE 4C: PROFIELDOORSNEDE UITGEESTERBROEKPOLDER ZUID-NOORD.....	11
BIJLAGE 4D: LOCATIEKAART PROFIELDOORSNEDE CASTRICUMMERPOLDER.....	12
BIJLAGE 4E: DOORSNEDE CASTRICUMMERPOLDER WEST-OOST	13
BIJLAGE 5: PROFIELBESCHRIJVINGEN.....	14
UITGEESTERBROEKPOLDER	14
CASTRICUMMERPOLDER.....	19
BIJLAGE 6A: POLDERPEIL VAN DE CASTRICUMMERPOLDER	22
BIJLAGE 6B: POLDERPEIL VAN DE UITGEESTERBROEKPOLDER	23
BIJLAGE 7: GRONDWATERSTANDEN VAN DE PEILBUIZEN VAN TNO-NITG	24
BIJLAGE 8: GRONDWATERSTANDEN EN REDOXPOTENTIALEN VAN PALEO TERRA.....	27
BIJLAGE 9: GRONDWATERSTANDEN TNO-NITG MET IN HET VELD GEMETEN GHG'S EN GLG'S.....	32
BIJLAGE 10A: VOORSPELLING VAN DE GLG IN DE CASTRICUMMERPOLDER	33
BIJLAGE 10B: VOORSPELLING VAN DE GLC IN DE UITGEESTERBROEKPOLDER	34
BIJLAGE 11: HOOGTE-VERSCHIL TUSSEN DE TOP VAN HET PREHISTORISCHE NIVEAU EN DE GLG (IN M)	35

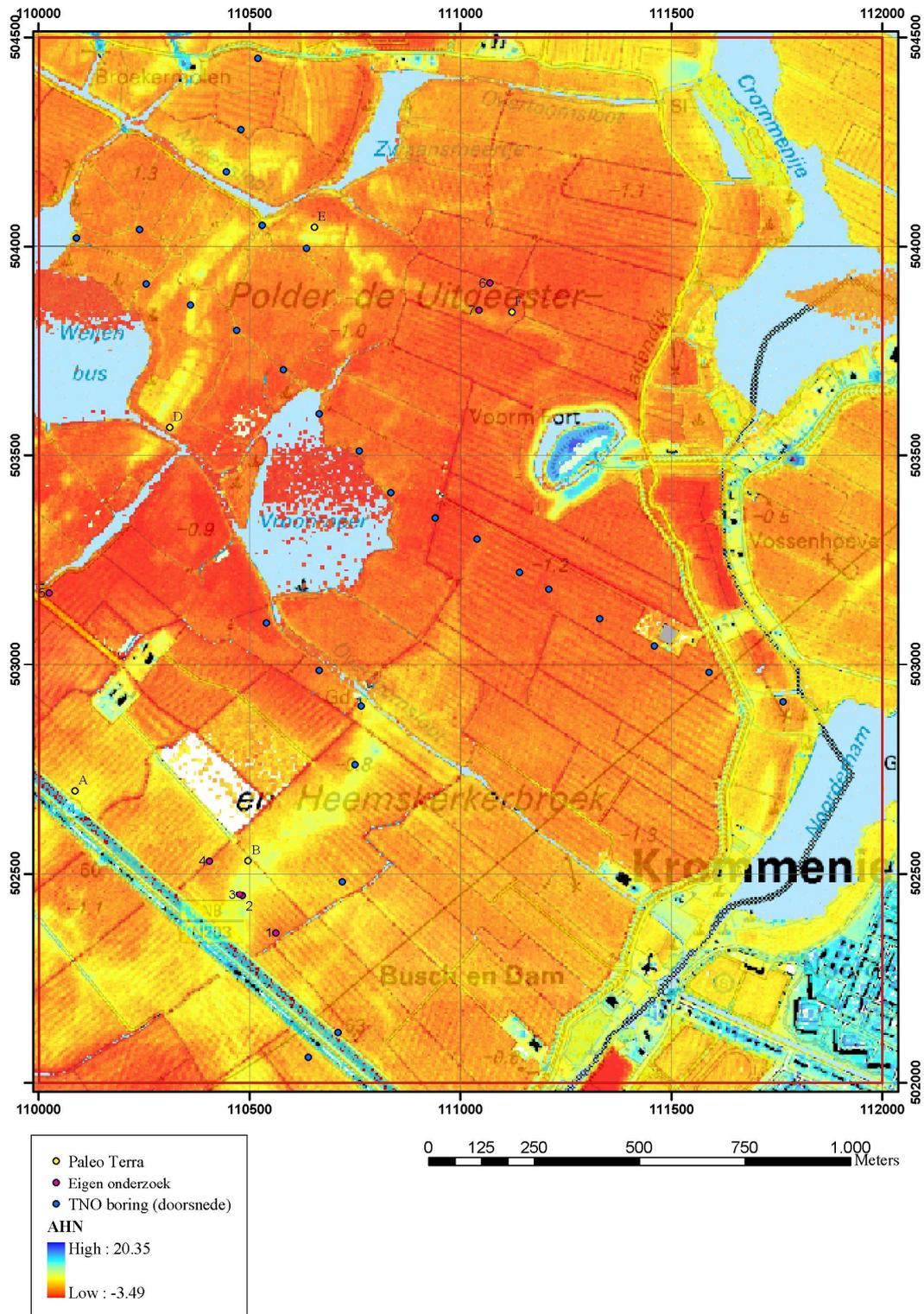
BIJLAGE 1B: Topografische kaart Uitgeesterbroekpolder



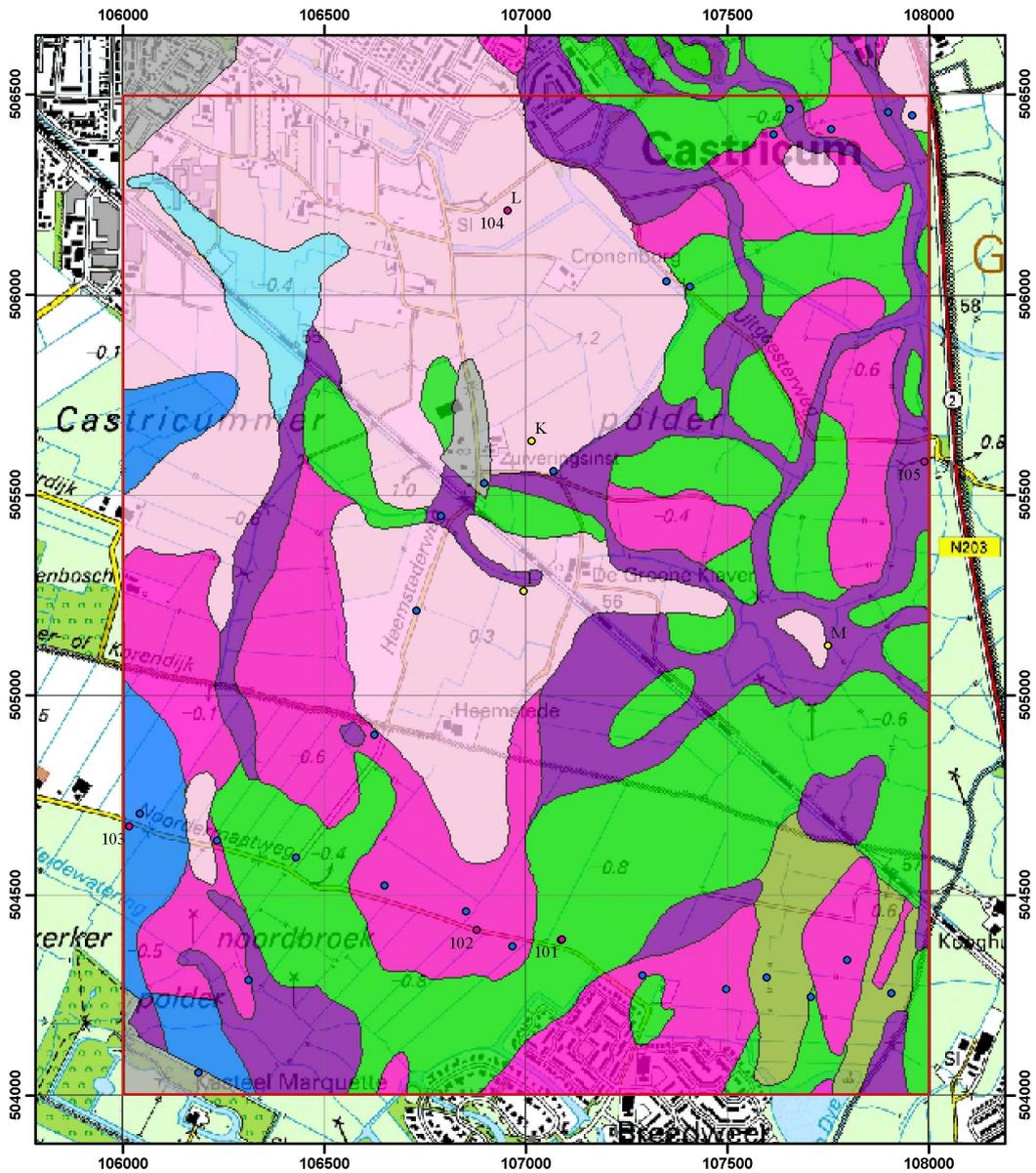
BIJLAGE 2A: AHN van de Castricumerpolder



BIJLAGE 2B: AHN van de Uitgeesterbroekpolder



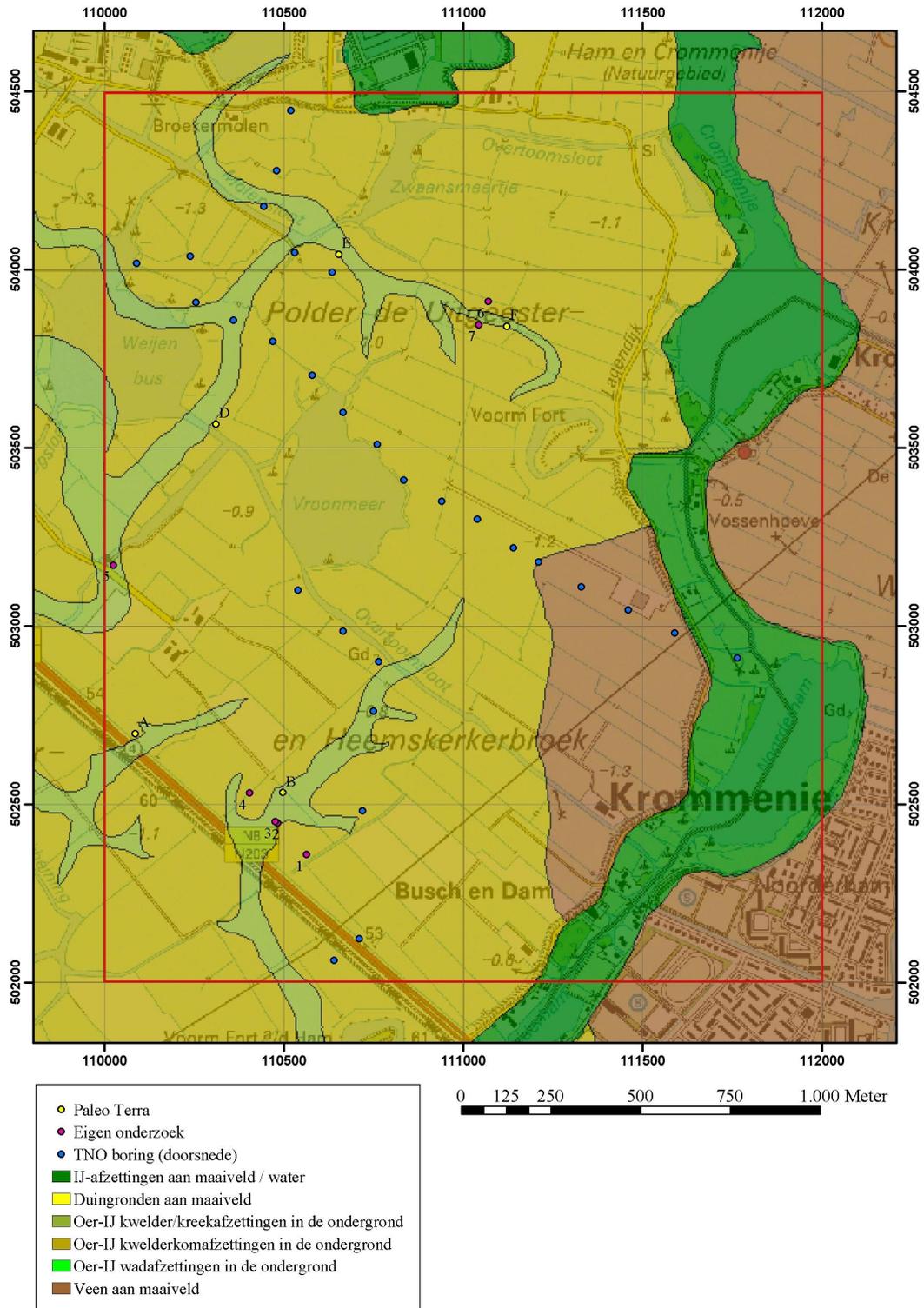
Bijlage 3A: Kaart de Roo van de Castricumerpolder



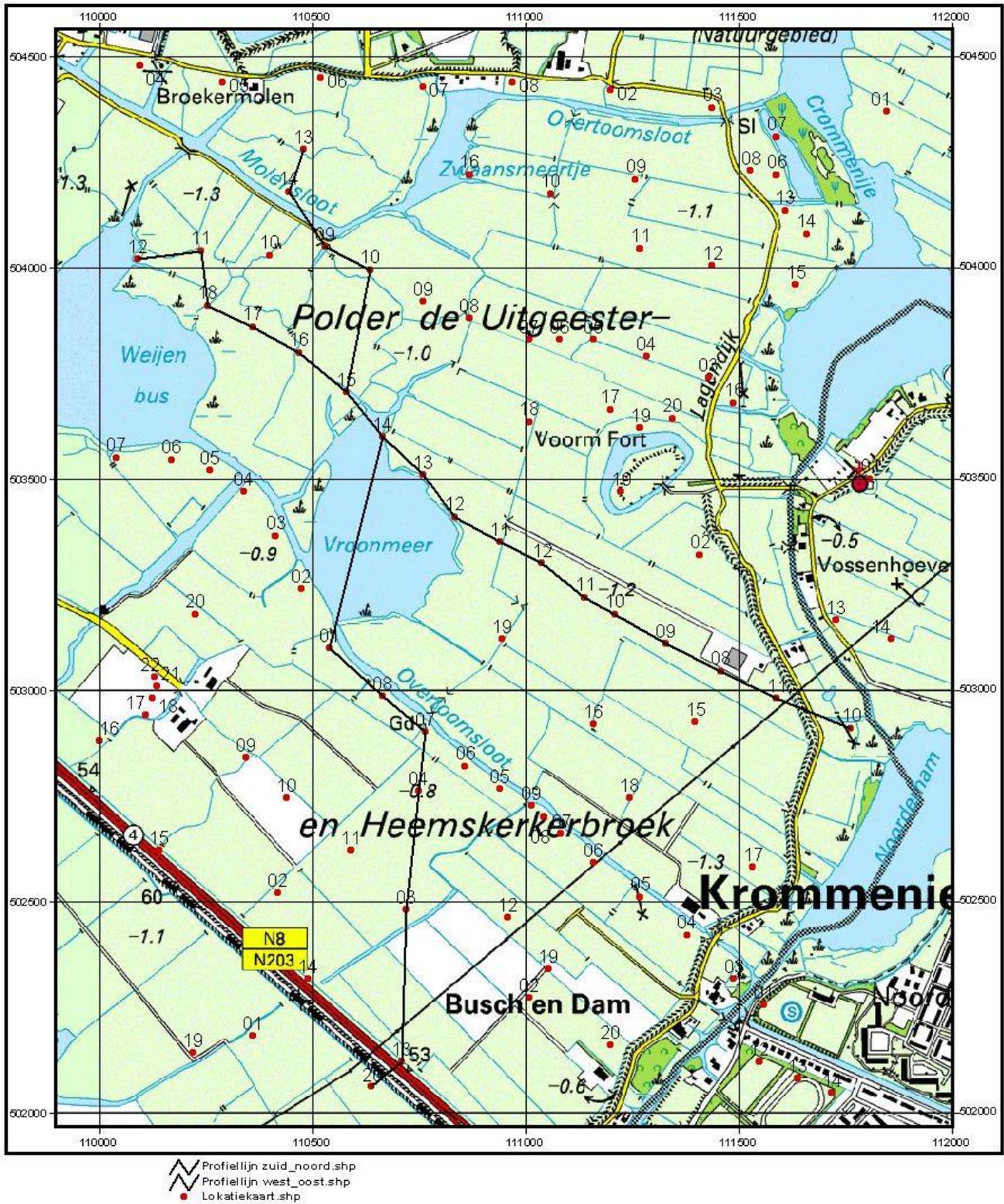
- Paleo Terra
- Eigen onderzoek
- TNO boring (doorsnede)
- Stedelijke Bebouwing
- stroomgeulgronden
- stroomgeulgronden, oppervlakkig vermengd met pikklei
- stroomwalgronden
- stroomwalgronden, oppervlakkig vermengd met pikklei
- delgronden
- pikkleigronden op veen op zeezand of lichte zavel
- pikkleigronden op zeezand of lichte zavel



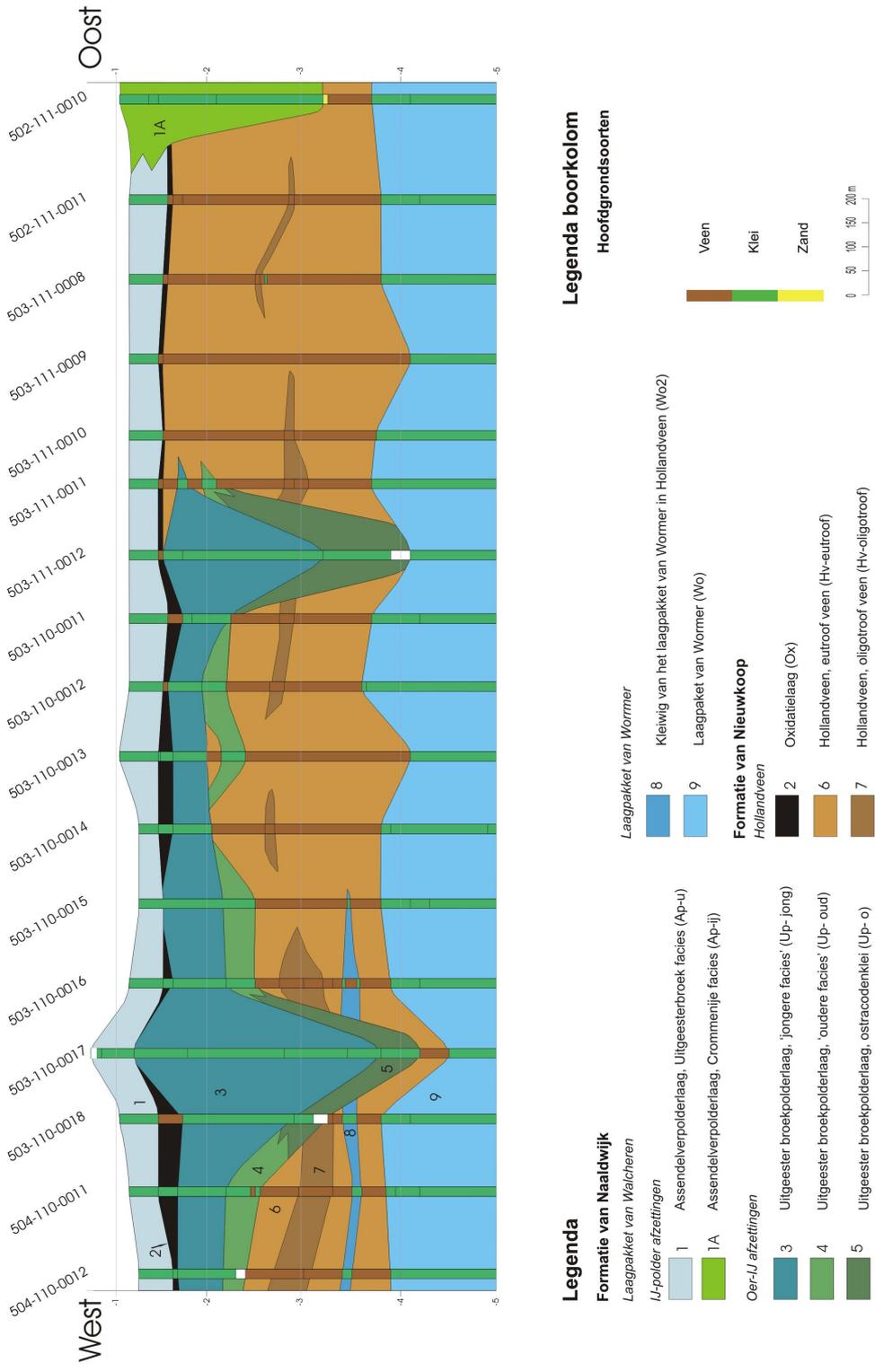
BIJLAGE 3B: Kreekenkaart van de Uitgeesterbroekpolder (naar Vos, 1985, niet gepubliceerd)



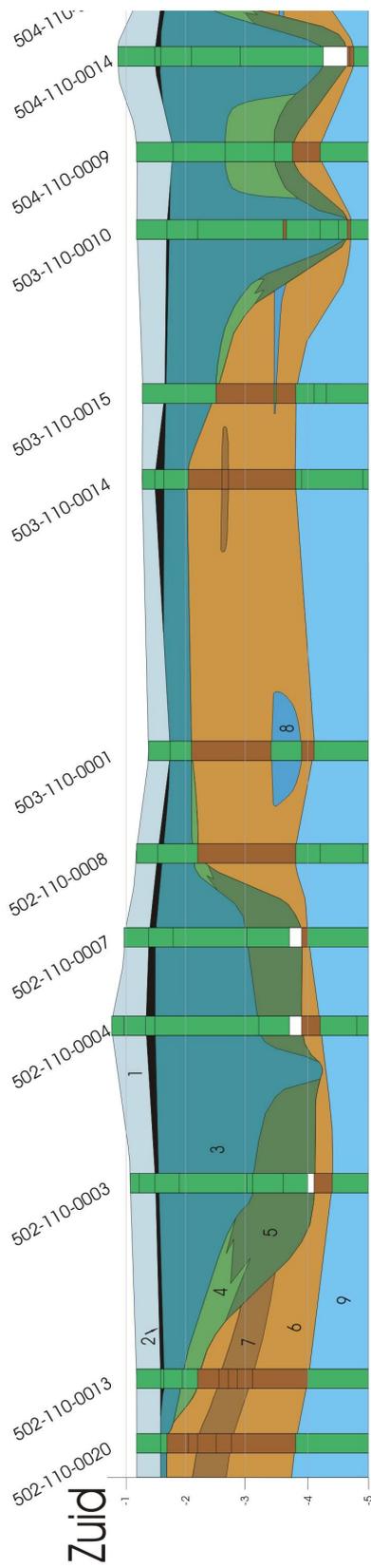
BIJLAGE 4A: Locatiekaart profieldoorsneden Uitgeesterbroekpolder



BIJLAGE 4B: Profieldoorsnede Uitgeesterbroekpolder West-Oost



BIJLAGE 4C: Profieldoorsnede Uitgeesterbroekpolder Zuid-Noord



Legenda

Formatie van Naaldwijk

Laagpakket van Walcheren

IJ-polder afzettingen

- 1 Assendelpolderlaag, Uitgeesterbroek facies (Ap-u)
- 3 Uitgeester broekpolderlaag, 'jongere facies' (Up- jong)
- 4 Uitgeester broekpolderlaag, 'oudere facies' (Up- oud)
- 5 Uitgeester broekpolderlaag, ostracodenklei (Up- o)

Laagpakket van Wormer

- 8 Kleiwig van het laagpakket van Wormer in Hollandveen (Wo2)
- 9 Laagpakket van Wormer (Wo)

Formatie van Nieuwkoop

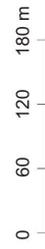
Hollandveen

- 2 Oxidatielaag (Ox)
- 6 Hollandveen, eutroof veen (Hv-eutroof)
- 7 Hollandveen, oligotroof veen (Hv-oligotroof)

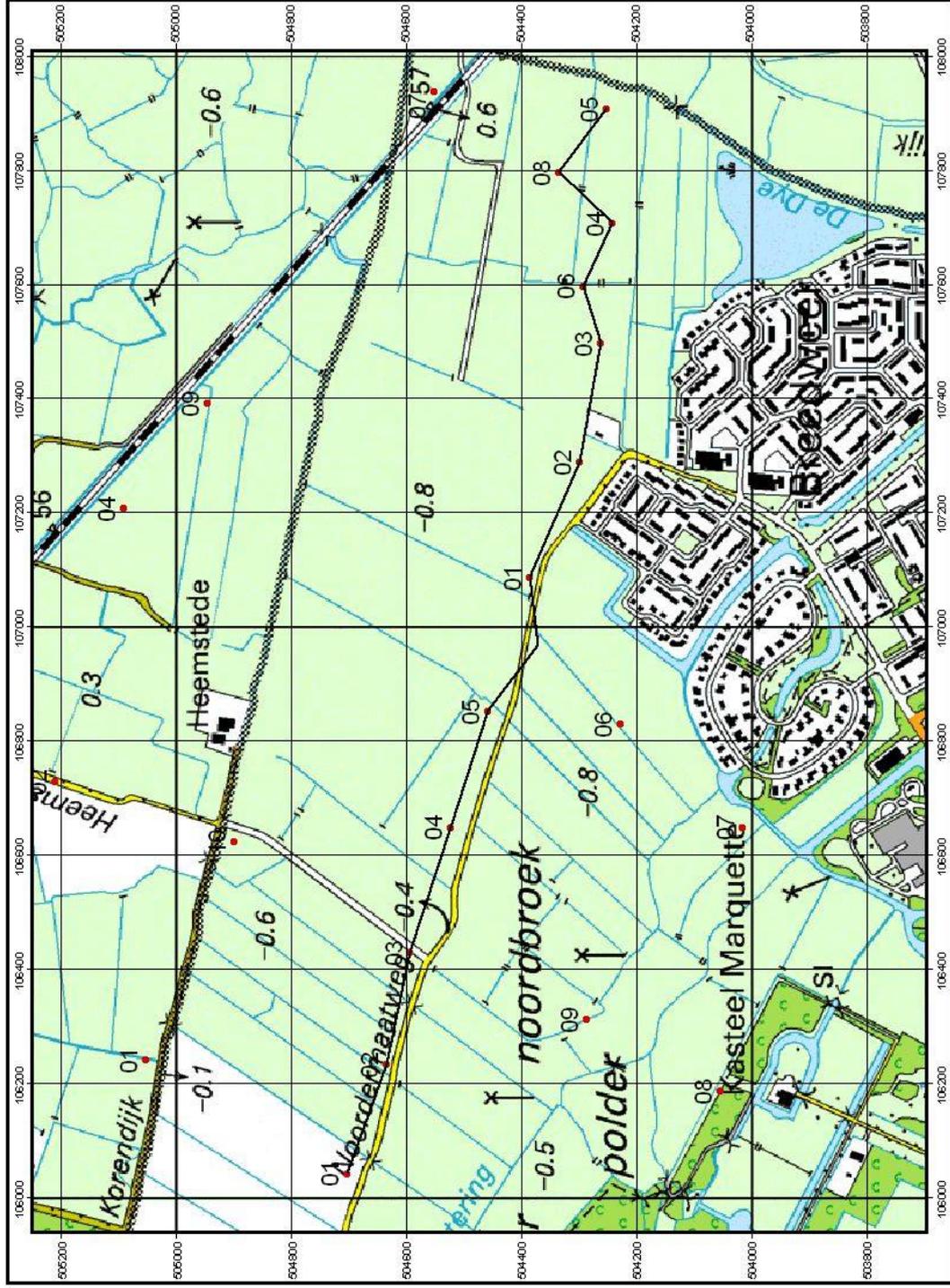
Legenda boorkolom

Hoofdgrondsoorten

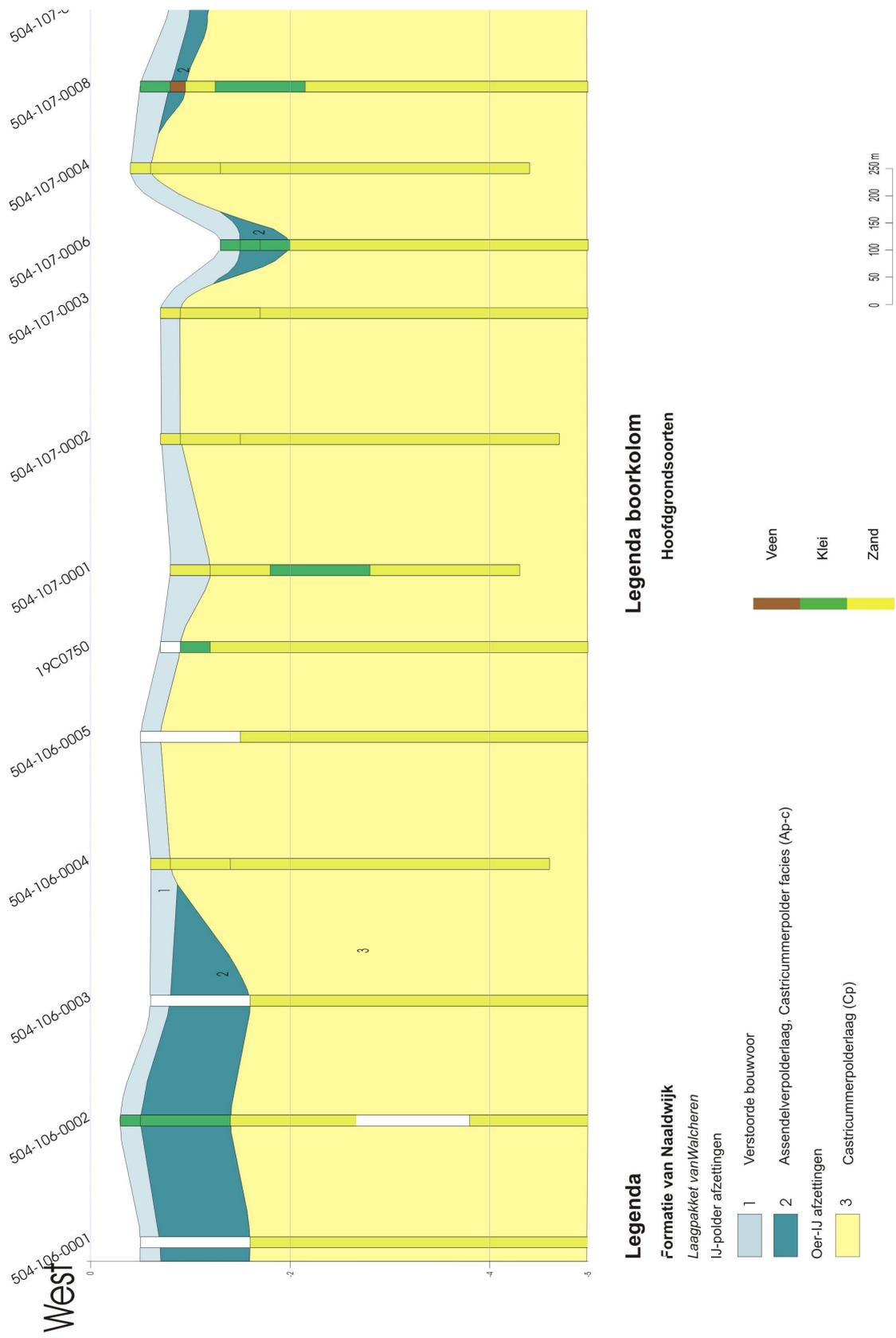
- Veen
- Klei
- Zand



BIJLAGE 4D: Locatiekaart profieldoorsnede Castricumerpolder



BIJLAGE 4E: Doorsnede Castricumerpolder West-Oost



BIJLAGE 5: Profielbeschrijvingen

Uitgeesterbroekpolder

Punt 1 (RD 110563/502357 ± 6 meter)

Hoogte maaiveld: -164 cm NAP

Diepte	Beschrijving
0-50	Humeuze klei, donker bruin, nauwelijks zand, roest 2, kalk 2
50-55	Oxidatieniveau, klei, donker bruin-zwart, nauwelijks zand, roest 2, kalk 2
55-75	Humeuze klei, donker bruin-grijs, roest 2, kalk 3
75-93	Klei, grijs, weinig zand, kalk 3
93-115	Afwisselend lagen van klei met veel zand en klei met weinig zand
115-190	Klei, grijs, zeer zandig, kalk 3, naar onder toe kleilaagjes
190-200	Klei, grijs, nauwelijks zand, kalk 3, naar onder toe steeds humeuzer
200-220	Ostracode klei, kalk 3
220-235	Geoxideerd veen
235-240	Niet geoxideerd veen

Einde boring: -240 cm MV

Afstand tot sloot: 14 meter

Grondwaterstand: -70 cm MV Gat open: 13.30 u Gemeten: 17.00 u

GHG: 0 cm MV

GLG: -75 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	541	3
23	561	2
30	561	2
50	511	3
60	461	3
70	381	4
80	211	4
90	161	6
100	81	6
110	-64	8
120	-99	8
130	-139	8

Punt 2 (RD 110483/502446 ± 6 meter), op eerste kreekrug

Hoogte maaiveld: -87 cm NAP

Diepte	Beschrijving
0-30	Bouwvoor, klei, bruin, stug, korrelig, vanaf 5 cm roest 1, 0-10 kalk 1, 10-30 kalk 2
30-55	Klei, bruin, spoor zand, roest 1, kalk 2
55-70	Klei, grijs-bruin, iets meer zand, roest 2, kalk 2
70-105	Klei met veel zand, roest 2, kalk 3
105-120	Afwisselend zand en klei, roest 2, kalk 3
120-130	Zand/klei, rommelig, soms laagjes, roest 1, kalk 3

>130	Zand met soms een kleilens, grijs, lutum 6-8%, kalk 3, naar onder toe steeds zandiger
------	---

Einde boring: -350 cm MV

Grondwaterstand: -141 cm MV Gat open: 11.30 u Gemeten: 17.00 u

GHG: -5 cm MV
GLG: -130 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	511	3
20	511	3
40	581	2
60	586	2
70	576	2
80	511	3
90	491	3
100	466	3
110	416	4
120	191	6
130	66	7
140	56	7
160	21	7

Punt 3 (RD 110476/502449 ± 6 meter)

Hoogte maaiveld: -102 cm NAP

Diepte	Beschrijving
0-30	Klei, donker bruin, iets zandig, humeus, brokkelig, roest 2, kalk 2
30-60	Klei, donker bruin, zandiger, humeus, brokkelig, roest 2, kalk 3
60-75	Klei, donker bruin, iets zandig, humeus, brokkelig, 60-70 roest 2, 70-75 roest 3, kalk 3
75-85	Oxidatieniveau, klei, donker bruin met zwarte vlekken, iets zandig, humeus, brokkelig, roest 2, kalk 2
85-95	Klei, iets zandig, roest 2, kalk 3, met een tussenlaag met zwarte vlekken met kalk 2
95-125	Klei, donker bruin, weinig zand, humeus, roest 3, 95-120 kalk 2, 120-125 kalk 3, weer zwarte vlekken
125-150	Klei, grijs-bruin, weinig zand, minder humeus, kalk 3
150-±300	Klei, grijs tot donker grijs, nog minder zand, soms een enkel zandlaagje, kalk 3, licht doorworteld, naar onder toe humeuzer (restgeul)
300-340	Zand met kleilaagjes, grijs, riet doorworteld, kalk 3
340-345	Veen met rietwortels

Einde boring: -345 cm MV

Grondwaterstand: -120 cm MV Gat open: 14.00 uur Gemeten: 17.00 uur

GHG: 0 cm MV
GLG: - 125 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
15	461	3
30	491	3

40	491	3
50	471	3
60	461	3
70	471	3
80	476	3
90	491	3
100	476	3
110	441	3
121	311	5
130	251	5
140	221	5
150	181	6
160	131	6
170	61	7
190	-49	8

Punt 4 (RD 110405/502530 ± 5 meter)

Hoogte maaiveld: -154 cm NAP

Diepte	Beschrijving
0-18	Bouwvoor, roest 1, kalk 1
18-35	Zand, grijs, lutum 6-8%, roest 2, kalk 3
35-55	Klei, bruin-grijs, zeer zandig, roest 2, kalk 3
55-90	Klei met zandlagen, donker grijs, kalk 3
90-145	Klei, donker grijs, heel weinig zand, enkele rietwortels, kalk 3
145-205	Klei met een enkel zandlaagje, donker grijs, enkele rietwortels, kalk 3
205-220	Dezelfde klei maar wordt naar onderen toe steeds humeuzer (ostracode?), bruin-grijs, kalk 2
220-245	Rietveen, donker bruin, geoxideerd, kalk 1

Einde boring: -245 cm MV

Afstand tot sloot: 2.70 meter

Grondwaterstand: niet meetbaar

GHG: -5 cm MV

GLG: -90 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	501	3
20	476	3
30	471	3
40	471	3
50	451	3
60	271	5
70	91	6
80	-109	8
91	-99	8
100	-119	8
110	-129	8
130	-149	8
150	-159	8

170	-159	8
190	-159	8

Punt 5 (RD 110025/503171 ± 6 meter)

Hoogte maaiveld: -170 cm NAP

Diepte	Beschrijving
0-30	Klei, bruin, wat zandig, roest 2, kalk 2
30-40	Oxidatieniveau, klei, donker bruin, weinig zand, roest 2, kalk 2
40-50	Klei, grijs, weinig zand, roest 3, kalk 3
50-95	Klei, donker grijs, heel weinig zand, rietwortels, kalk 3
95-110	Hele humeuze klei, zwart, kalk 2
110-150	Rietveen
150	Klei met riet, grijs-blauw, geen zand, slap, kalk 2

Einde boring: 175 cm

Afstand tot sloot: 5 meter

GHG: 0 cm MV

GLG: -50 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
8	466	3
21	511	3
30	531	3
40	456	3
50	201	5
60	-49	8
70	-104	8
80	-119	8
90	-119	8
100	-119	8
110	-119	8
120	-119	8
130	-119	8

Punt 6 (RD 111070/503912 ± 5 meter)

Hoogte maaiveld: -156 cm NAP

Diepte	Beschrijving
0-35	Humeuze klei, donker bruin, weinig zand, 0-20 cm roest 1, 20-35 cm roest 2, kalk 3
35-40	Oxidatieniveau, klei, bruin met veel zwarte vlekken, humeus, nauwelijks zand, kalk 1-2
40-60	Klei, donkerbruin met zwarte vlekken, vrijwel geen zand, roest 2, kalk 2
60-70	Klei, grijs, vrijwel geen zand, roest 2, kalk 3
70-80	Klei, grijs, vrijwel geen zand, roest 1, kalk 3
80-	Klei, grijs, vrijwel geen zand, kalk 3, met een enkele rietwortel

Einde boring: 250 cm

Afstand tot sloot: 8.5 meter

GHG: -5 cm MV
 GLG: -80 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	461	3
20	551	3
30	561	2
40	541	3
50	521	3
60	516	3
72	366	4
80	246	5
90	161	6
100	101	6
110	-199	9

Punt 7 (RD 111044/503847 ± 6 meter)

Hoogte maaiveld: -142 cm NAP

Diepte	Beschrijving
0-25	Bouwvoor, klei, donkerbruin, iets zandig, humeus, 0-10 cm roest 1, 10-25 roest 2, kalk 2
25-30	Oxidatieniveau, klei, zwart, iets zandig, roest 1, kalk 1
30-45	Klei, donkerbruin met zwarte vlekken, iets zandig, roest 2, 30-40 cm kalk 1, 40-45 cm kalk 2
45-60	Klei, grijs, zandig, roest 3, kalk 3, schelpresten, bij 60 cm fosfaat?
60-80	Klei, grijs, minder zandig, geen roest, kalk 3
80-100	Klei, grijs, iets zandig, roest 2, kalk 3
100-	Klei met af en toe een zandlaagje, grijs, kalk 3, riet doorworteld, laatste 10 cm humeuzer

Einde boring: 250 cm

Afstand tot sloot: 30.5 meter

GHG: 0 cm MV
 GLG: 100 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	606	2
23	611	2
30	611	2
40	591	2
50	551	3
60	581	2
70	511	3
80	351	4
92	336	4
100	-24	7
110	-84	8

Castricumerpolder

Punt 101 (RD 107091/504388 ± 5 meter)

Hoogte maaiveld (AHN): -95 cm NAP

Pikklegrond op zeezand of lichte zavel

Diepte (cm)	Beschrijving
0-25	Bouwvoor (donker) bruin, soms sterk humeuze klei, 15-20% lutum, kalk 1
25-45	Zand, onregelmatig gevlekt met humeuze klei, roest 1, zand en klei kalk 3, lichtgrijs, donkerbruin, verrommeld
45-80	Zand, licht grijs, zeer kleiig, 6-8% lutum, schelpgruis, roest, kalkhoudend
80-	Zand, kleilaagjes 1-2, zeer fijn zand (100-200µm), kalk 3, >95 cm grijs (getijde afzetting)

Einde boring: 150 cm

GHG: -5 cm MV

GLG: -95 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	481	3
20	511	3
30	526	3
40	531	3
50	296	5
60	91	6
70	76	7
80	71	7
90	66	7
100	31	7
110	31	7

Punt 102 (RD 106879/504411 ± 5m)

Hoogte maaiveld (AHN): -31 cm NAP

Stroomwalgrond, oppervlakkig vermengd met pikklei

Diepte (cm)	Beschrijving
0-35	Bouwvoor, humeus zand, 5-10% lutum, helemaal doorworteld, vanaf 10 cm roest 1, 0-20 kalk 1, 20-35 kalk 2
35-50	Klei, donker bruin met zwarte vlekken, zeer zandig, roest 2, kalk 2
50-55	Zeer rommelige overgang met zand en klei naar de volgende laag, kalk 2
55-100	Zand, grijs, 5% lutum, schelpgruis, roest 2, kalk 3
100-105	Afwisselend enkele klei en zandlaagjes
>105	Zand, blauw-grijs, 5% lutum, rietwortels

Einde boring: 115 cm

Afstand tot sloot: 6 meter van sloot bij weg, 6.70 meter van andere sloot

GHG: -10 cm MV

GLG: -105 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	431	4
20	471	3
30	491	3
40	491	3
50	491	3
60	481	3
70	471	3
80	331	4
90	141	6
100	91	6
110	41	7
119	41	7
131	21	7

Punt 103 (RD 106017/504671 ± 6m)

Hoogte maaiveld (AHN): -67 cm NAP

Stroomgeulgrond, oppervlakkig vermengd met pikklei

Diepte (cm)	Beschrijving
0-63	Klei met veel zand, donker bruin, humeus, vanaf 30 cm roest 1, omgewerkt tot 63 cm, voor bollenteelt?
63-85	Klei met weinig zand, grijs, roest 2, kalk 3
85-100	Zand, grijs, 6-8% lutum, roest 2, kalk 3, schelpresten
>100	Klei, blauw-grijs, zeer zandig, 10-15% lutum, kalk 3, schelpresten

Einde boring: 130 cm

Afstand tot sloot: 6 meter

GHG: -30 cm MV

GLG: -100 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	531	3
20	521	3
30	506	3
40	536	3
50	506	3
60	516	3
70	506	3
80	456	3
90	261	5
100	131	6
110	86	6
120	51	7

Punt 104 (RD 106956/506121)

Hoogte maaiveld: +15.5 cm NAP

Stroomwalgrond

0-20	Bouwvoor, humeus zand, bruin-grijs, kalk 1, zand 120µm
20-65	Fijn zand, bruin-grijs, vanaf 45 cm meer slibhoudend, kalk 2 (waarschijnlijk eolisch afgezet)
65-90	Zand, geel-grijs, roest 1, kalk 3, wat schelpgruis, fijn zand: 145µm
90-	Zand, licht grijs, enkel kleilaagje, 145µm, schelpen (enkelkleppig), vanaf 150 cm minder schelpgruis (getijde afzetting, wash over)

Einde boring: 200 cm

GHG: -20 cm MV

GLG: -125 cm MV

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	646	2
20	571	2
50	531	3
60	521	3
70	516	3
80	491	3
91	491	3
100	451	3
110	201	5
120	91	6
130	51	7
140	51	7
150	41	7
166	-19	7

Punt 105 (RD 107990/505583)

Hoogte maaiveld (AHN): -87 cm NAP

Delgrond

0-10	Bouwvoor, humeuze klei, donker bruin, zandig, vanaf 5 cm roest 1, kalk 3
10-35	Zand, grijs, 5% lutum, roest 2, kalk 3, schelpresten
35-50	Geoxideerd veen, bruin met zwarte vlekjes, kalk 3, geen herkenbare plantenresten
50-80	Klei, donkergrijs met veel zwarte vlekken, stug, gelaagd, kalk 3, naar onder toe steeds zandiger
80-	Zand, grijs, 5% lutum, kalk 3

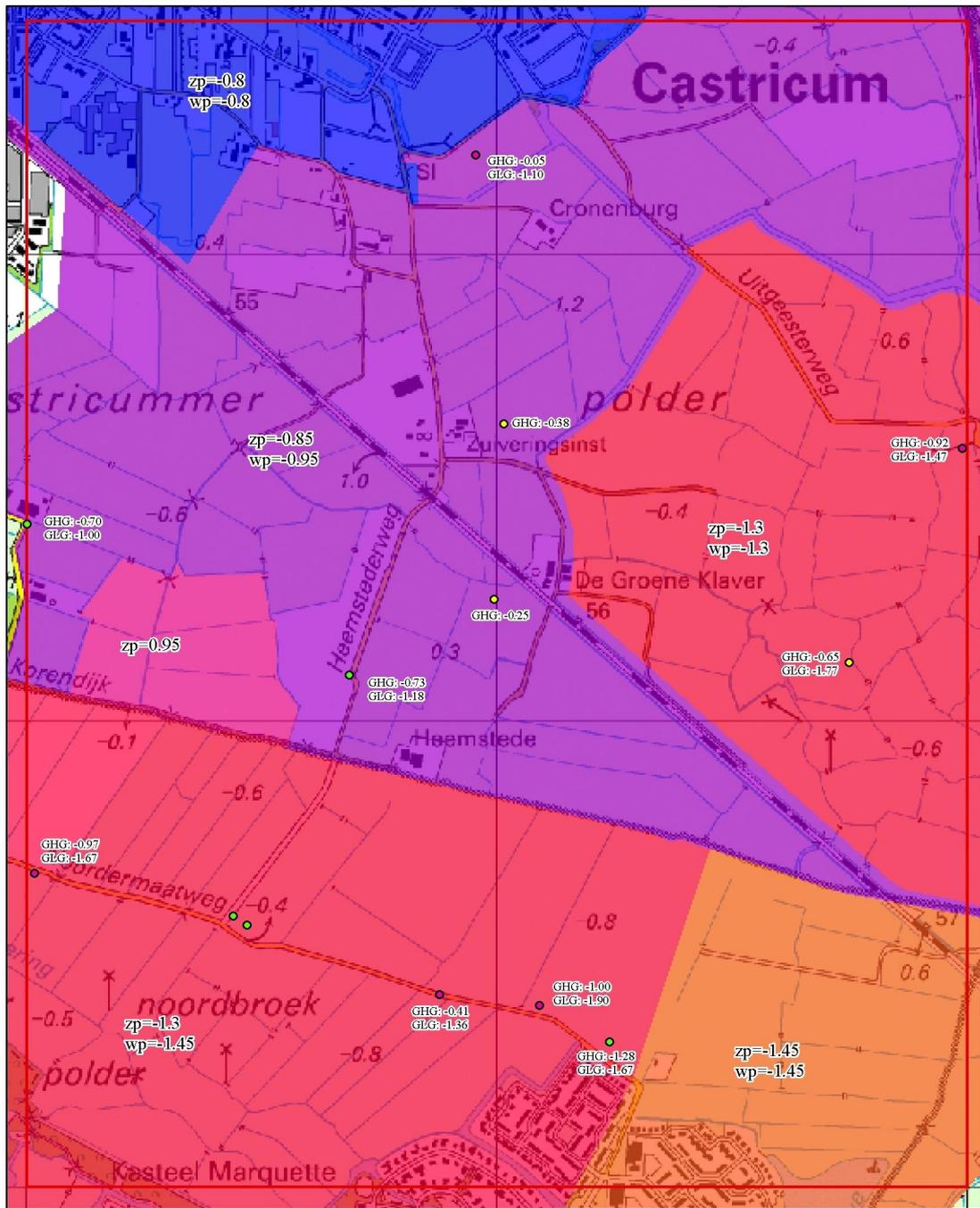
Einde boring: -180 cm NAP

GHG: -5 cm MV

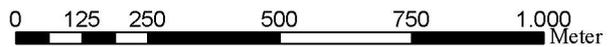
GLG: niet te zien

DIEPTE (CM)	REDOXPOTENTIAAL (MV)	REDOX KLASSE
10	461	3
20	431	4
30	451	3
40	471	3
50	461	3
60	-109	8
70	-84	8
80	-109	8

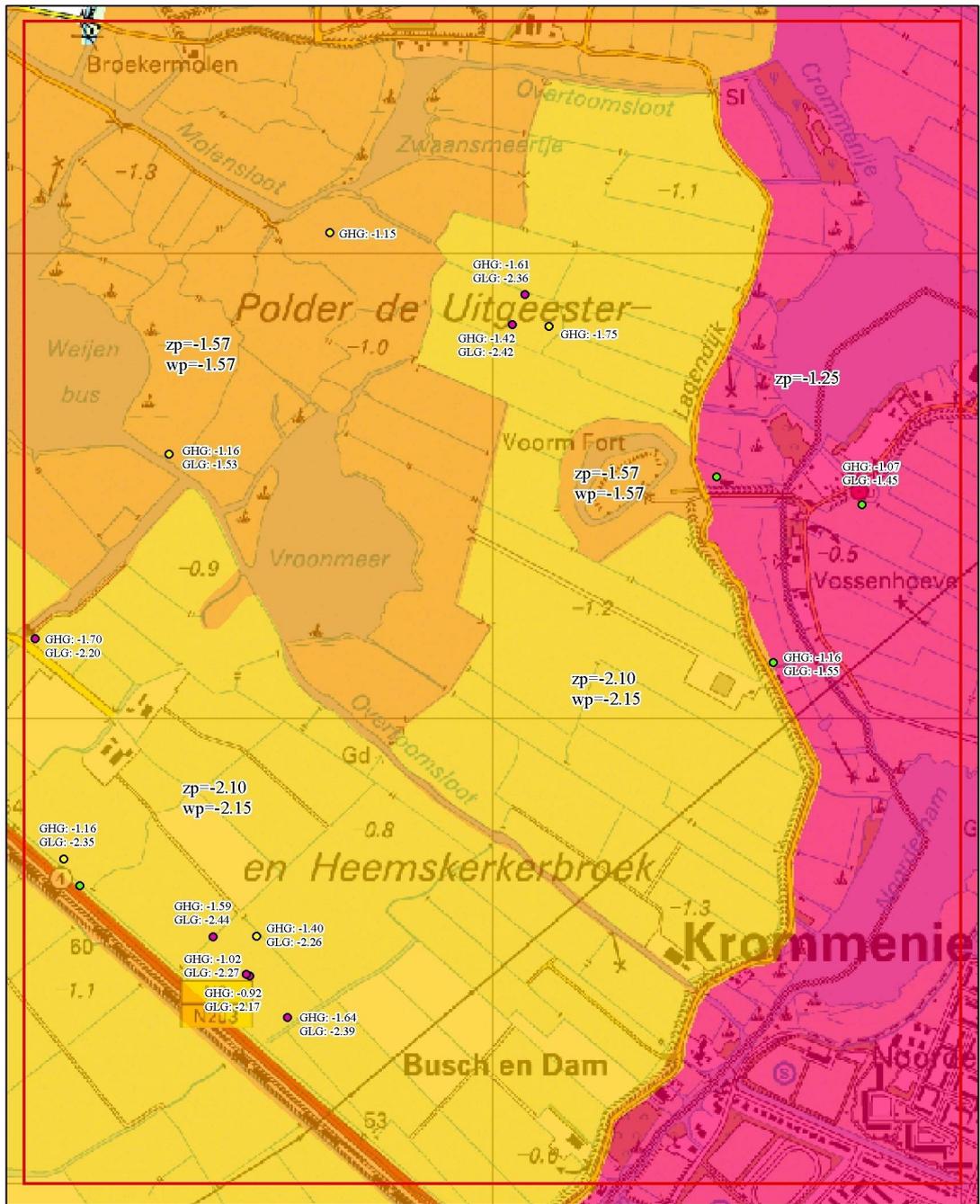
BIJLAGE 6A: Polderpeil van de Castricumerpolder



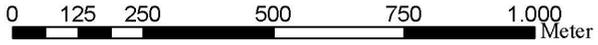
Legenda	
●	Grondwater
●	Eigen metingen
●	Paleoterra



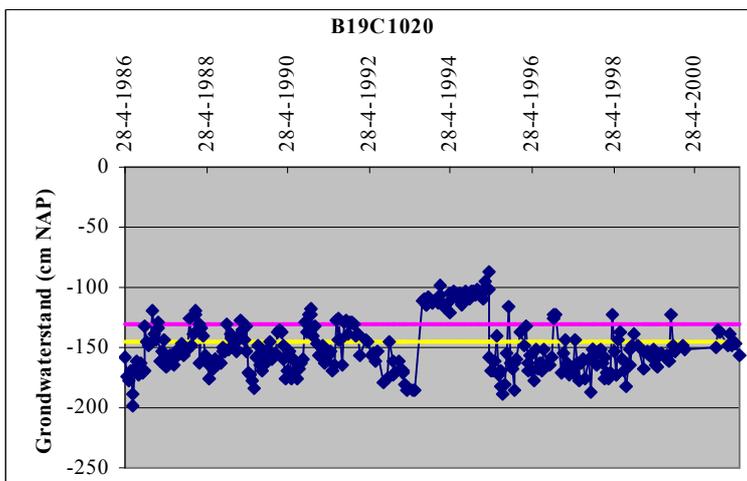
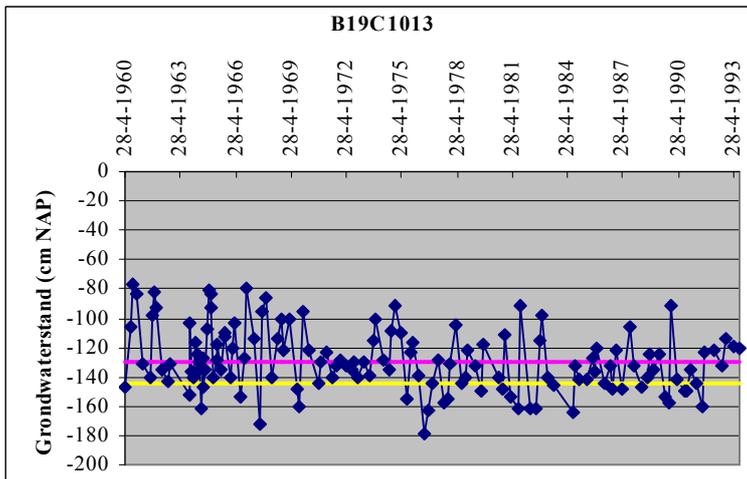
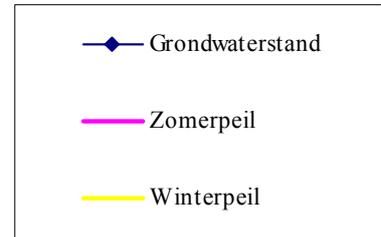
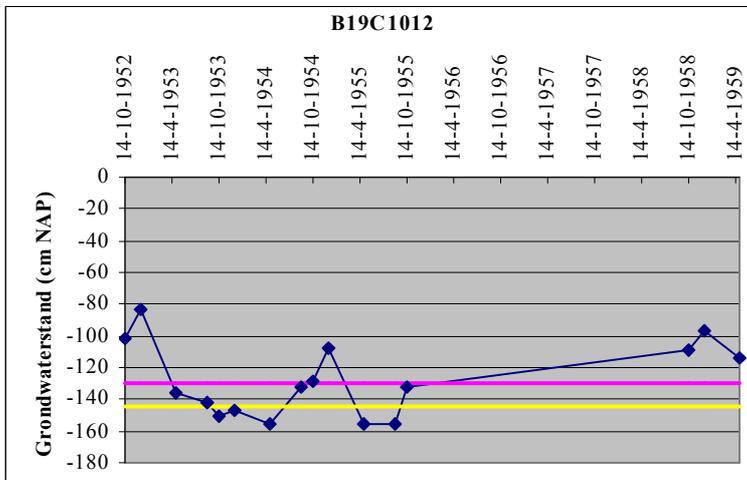
BIJLAGE 6B: Polderpeil van de Uitgeesterbroekpolder

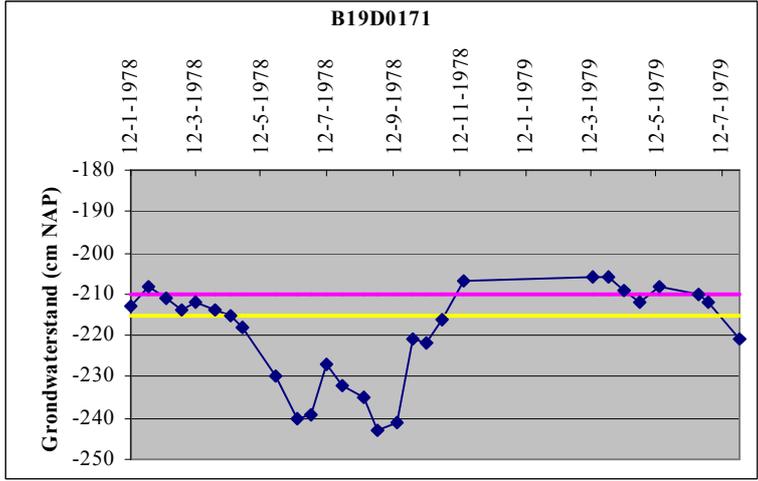
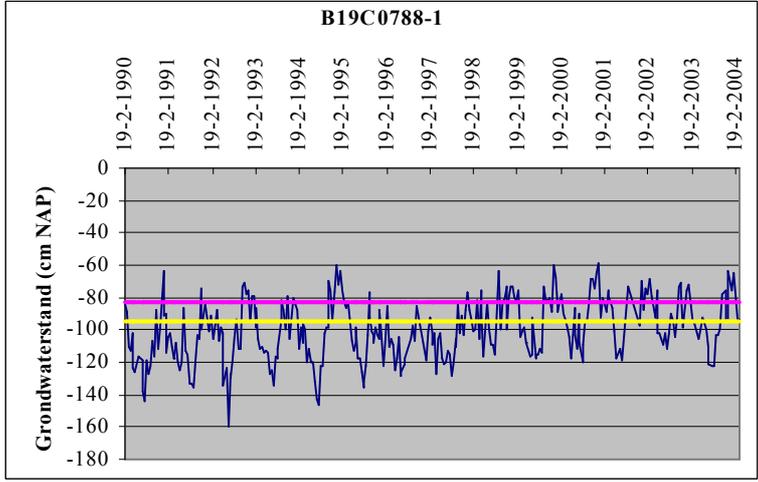
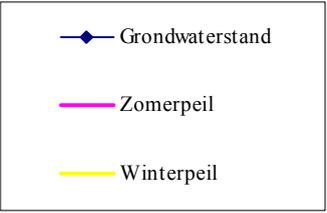
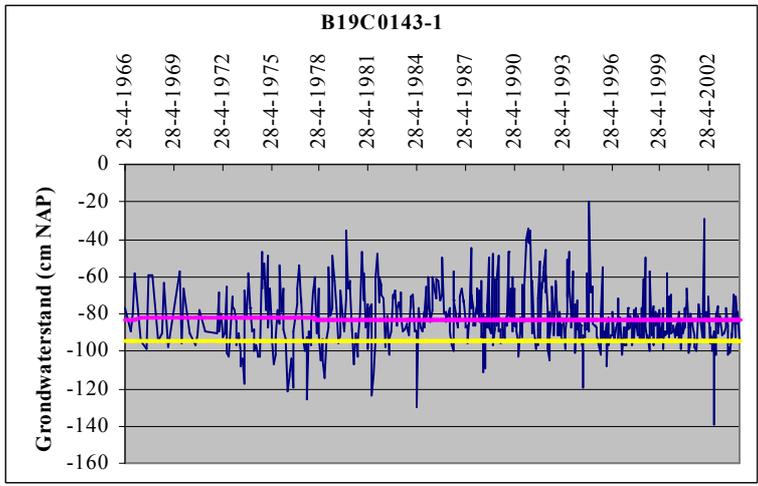


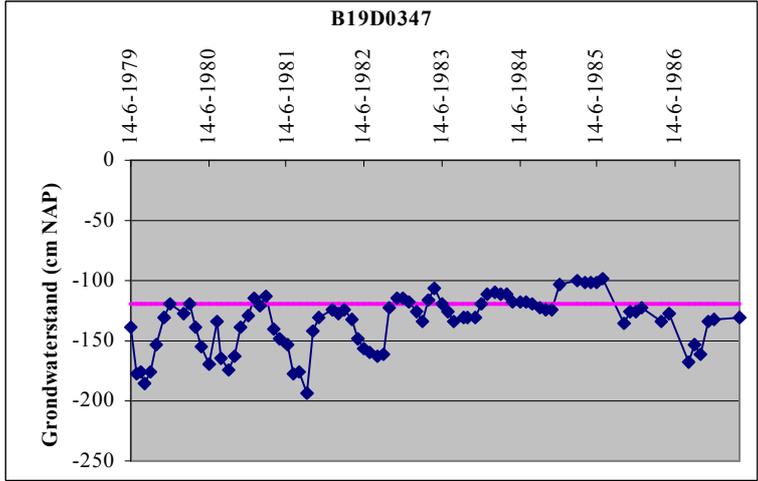
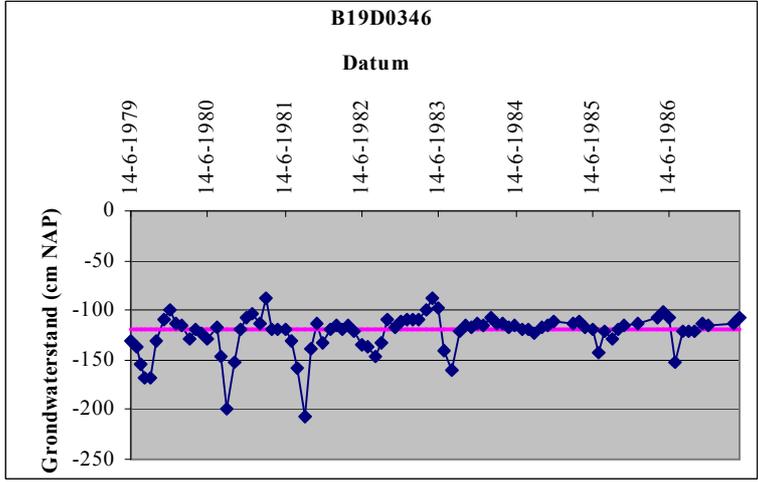
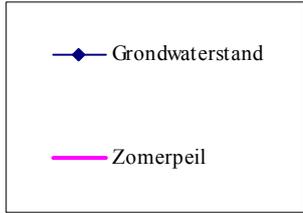
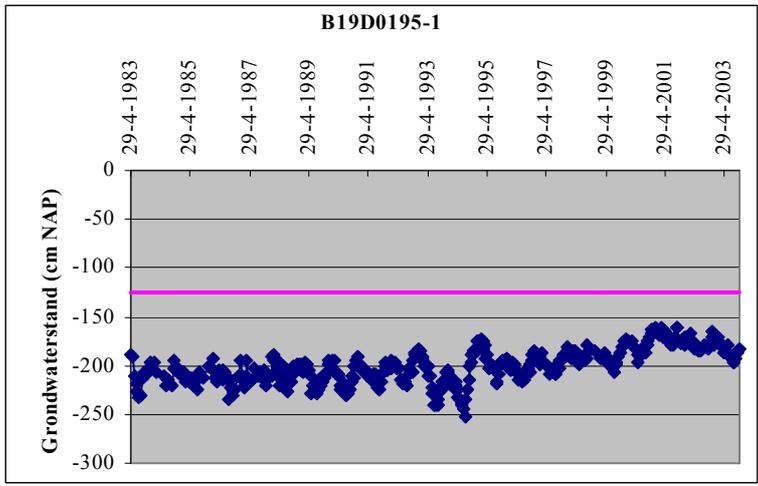
Legenda	
●	Grondwater
●	Eigen metingen
●	Paleoterra



BIJLAGE 7: Grondwaterstanden van de peilbuizen van TNO-NITG

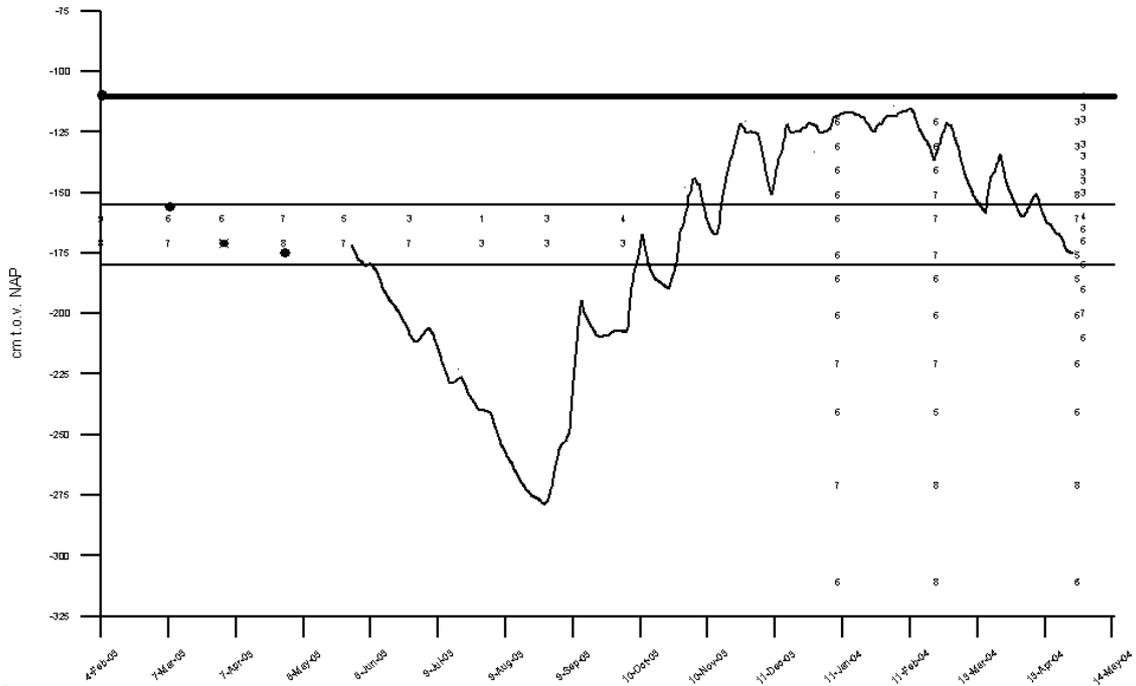




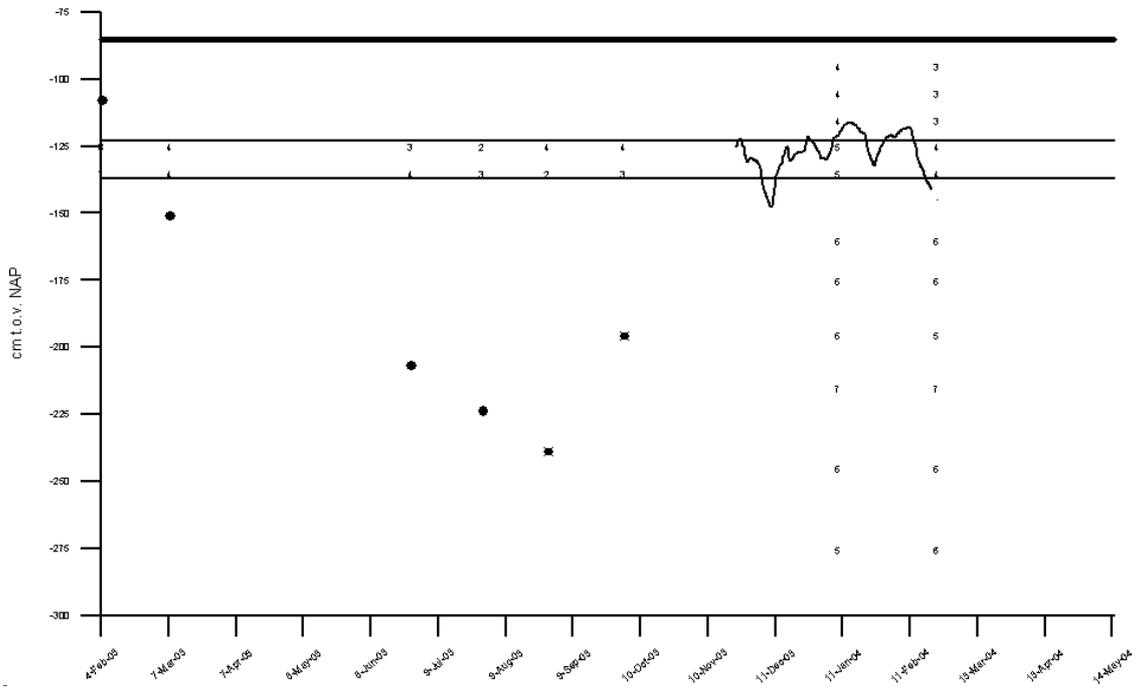


BIJLAGE 8: Grondwaterstanden en redoxpotentialen van Paleo Terra

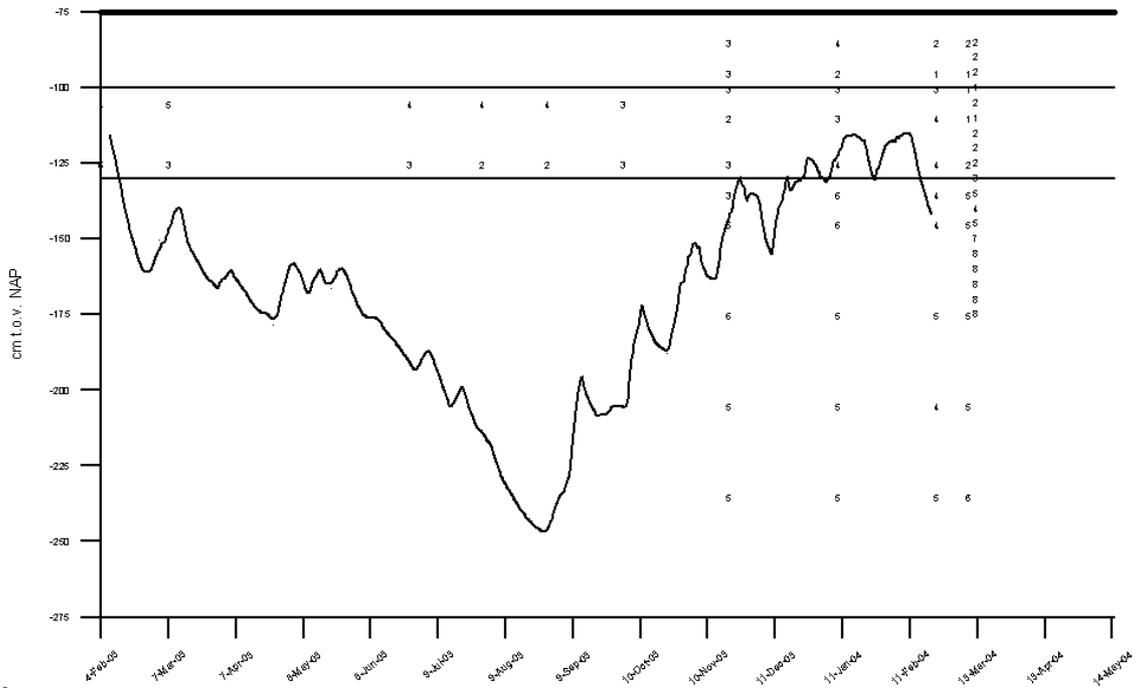
Punt A¹



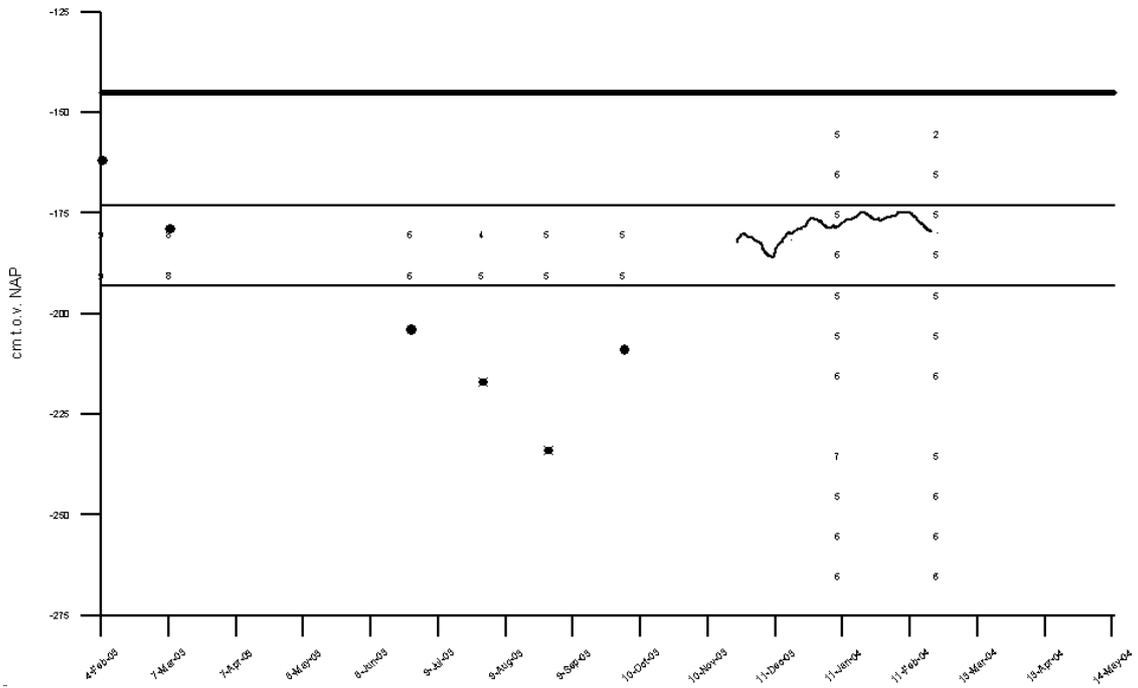
Punt D



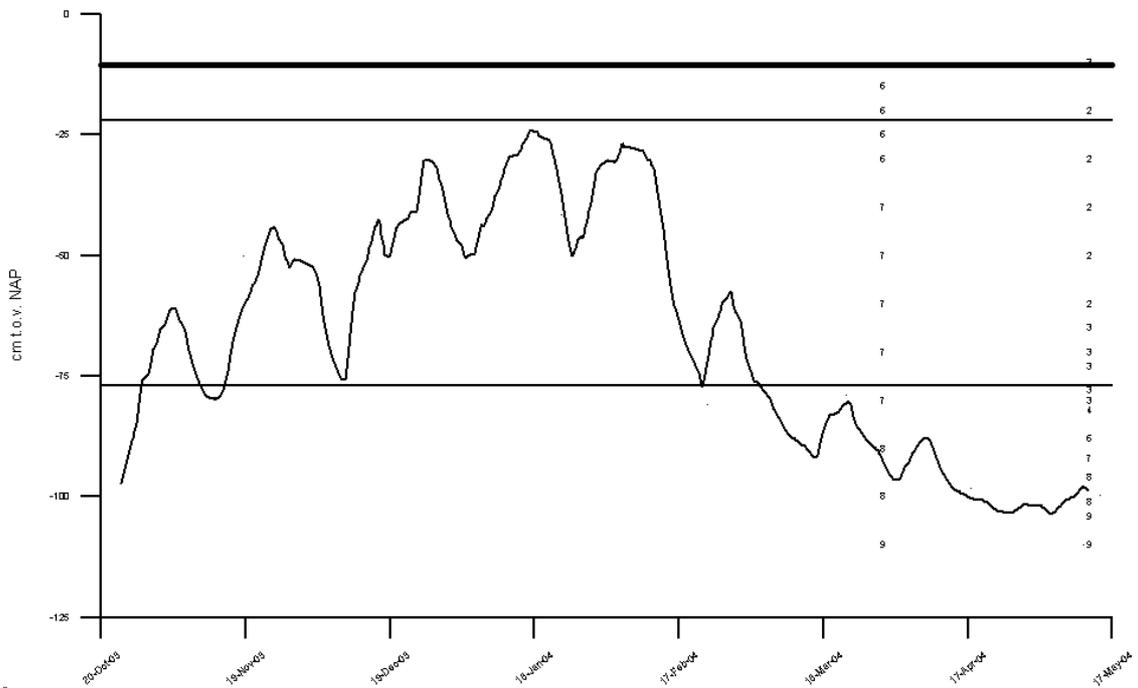
Punt E



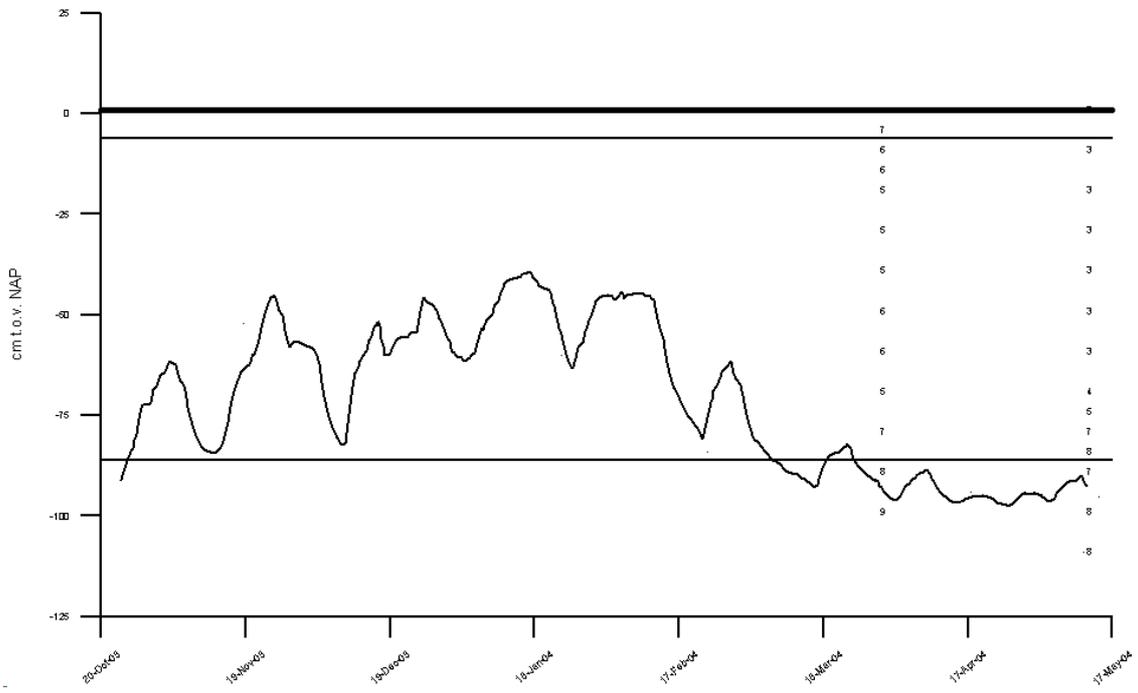
Punt F



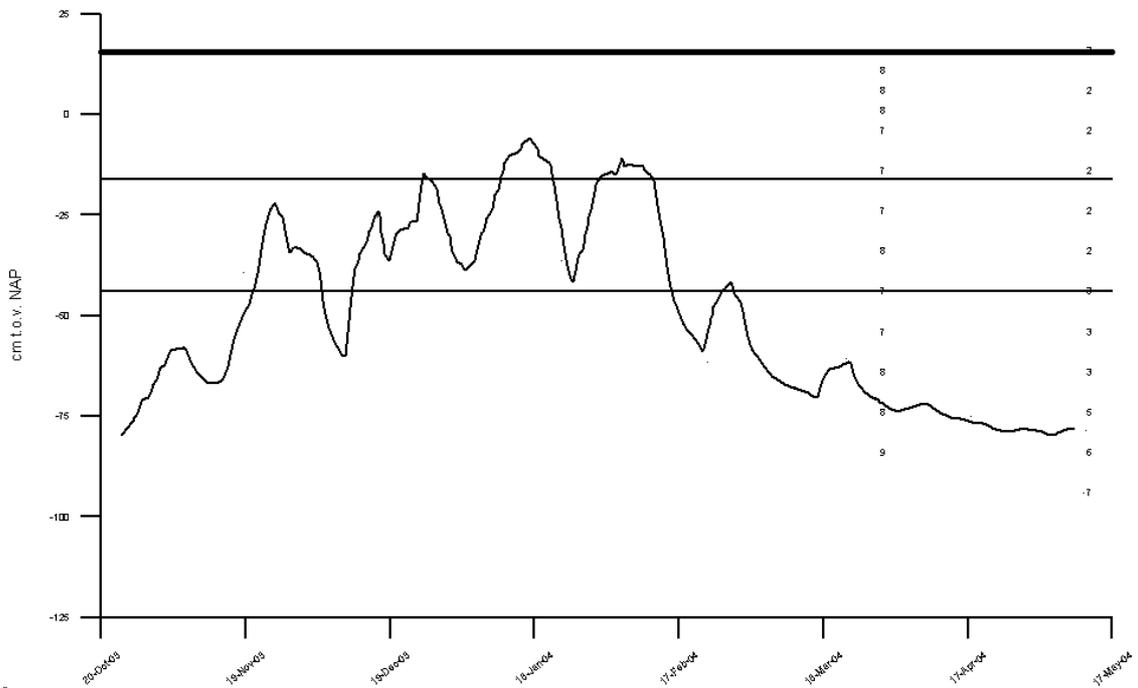
Punt I



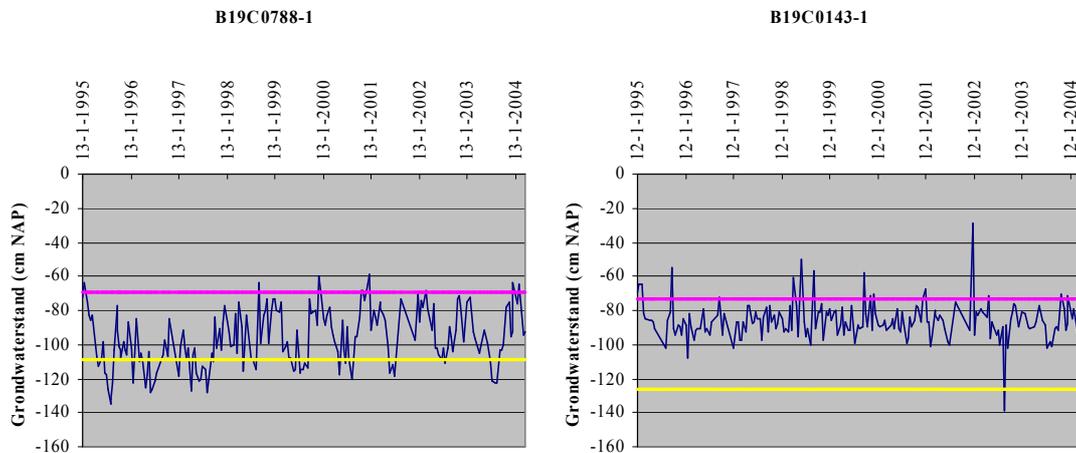
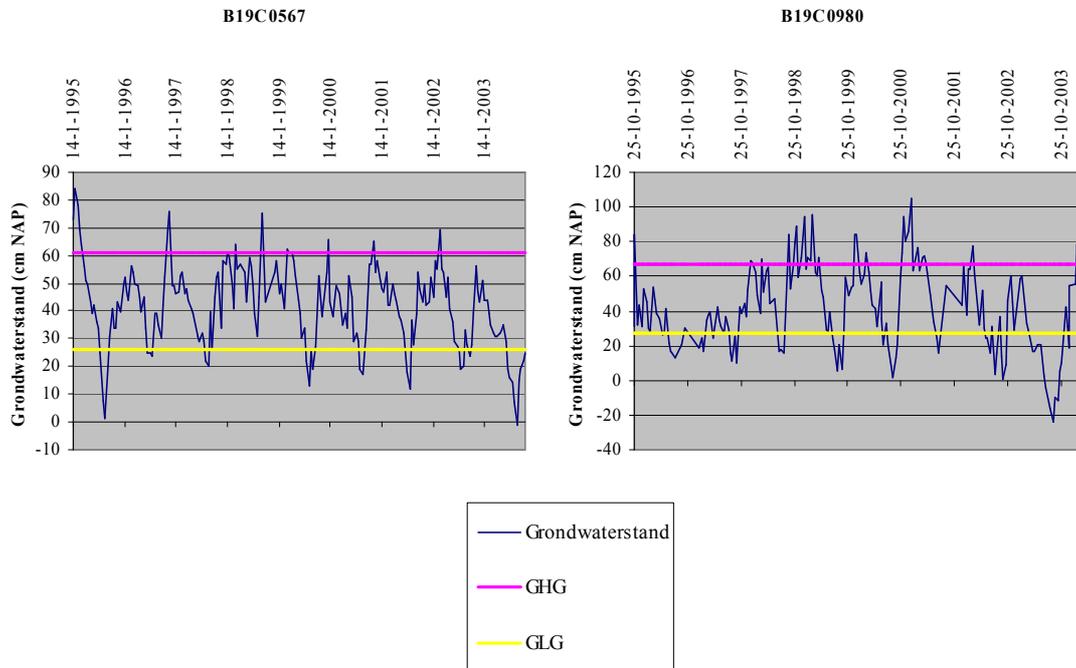
Punt K



Punt L



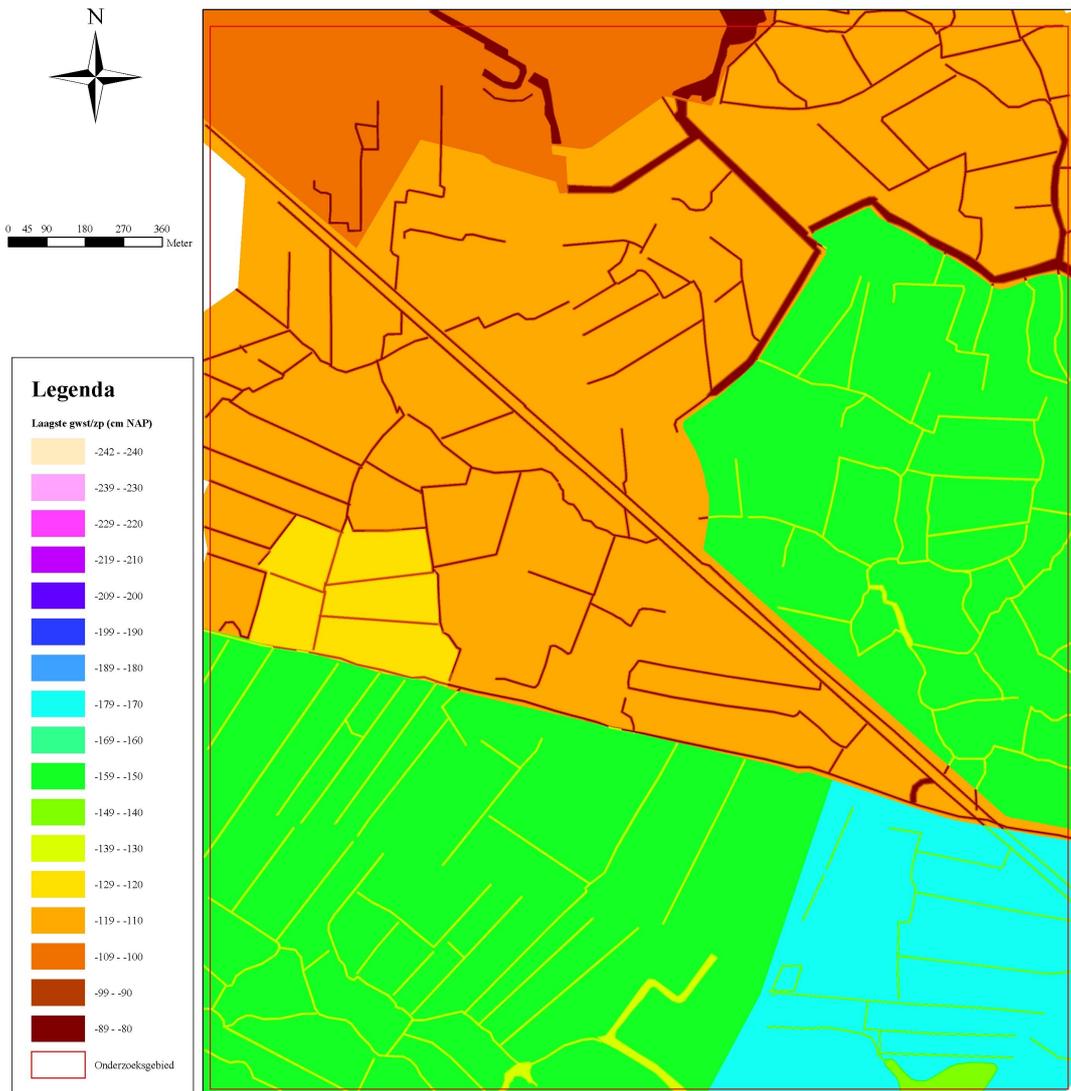
BIJLAGE 9: Grondwaterstanden TNO-NITG met in het veld gemeten GHG's en GLG's



Opmerking bij de plaats van de peilbuizen en boringen: Buis 0567 ligt op een begraafplaats, er zijn hier meerdere peilbuizen gelegen. Er is geboord bij een peilbuis die in een kleine laagte ligt. Peilbuis 0980 ligt dicht bij het station van Castricum. Het punt zelf is een putje in de stoep, en er is op een afstand van ongeveer 20 meter van deze peilbuis geboord. Buis 0788 ligt bij een betonnen paaltje en een put met een vierkante deksel. De peilbuis ligt in een smalle strook tussen de weg en een sloot. Er is dicht bij de sloot geboord dan de peilbuis. Buis 0143 is gelegen bij een bocht in de weg en ligt tussen de weg en de sloot. Het is een grote put met een code eindigend op 143. Er is op een paar meter afstand van de put geboord, verder van de sloot af dan de peilbuis.

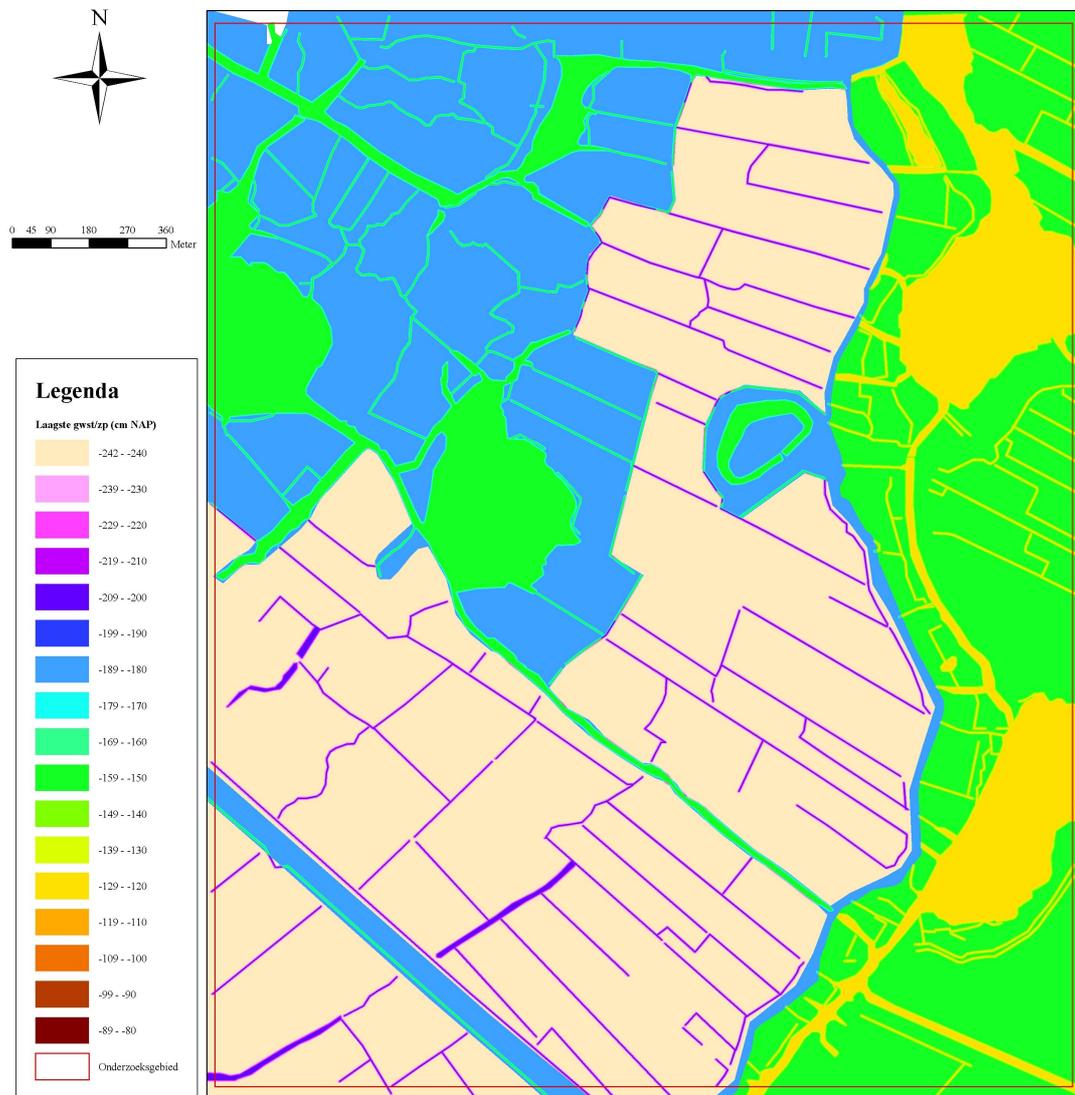
BIJLAGE 10A: Voorspelling van de GLG in de Castricumerpolder

Voorspelling van de GLG in de Castricumerpolder

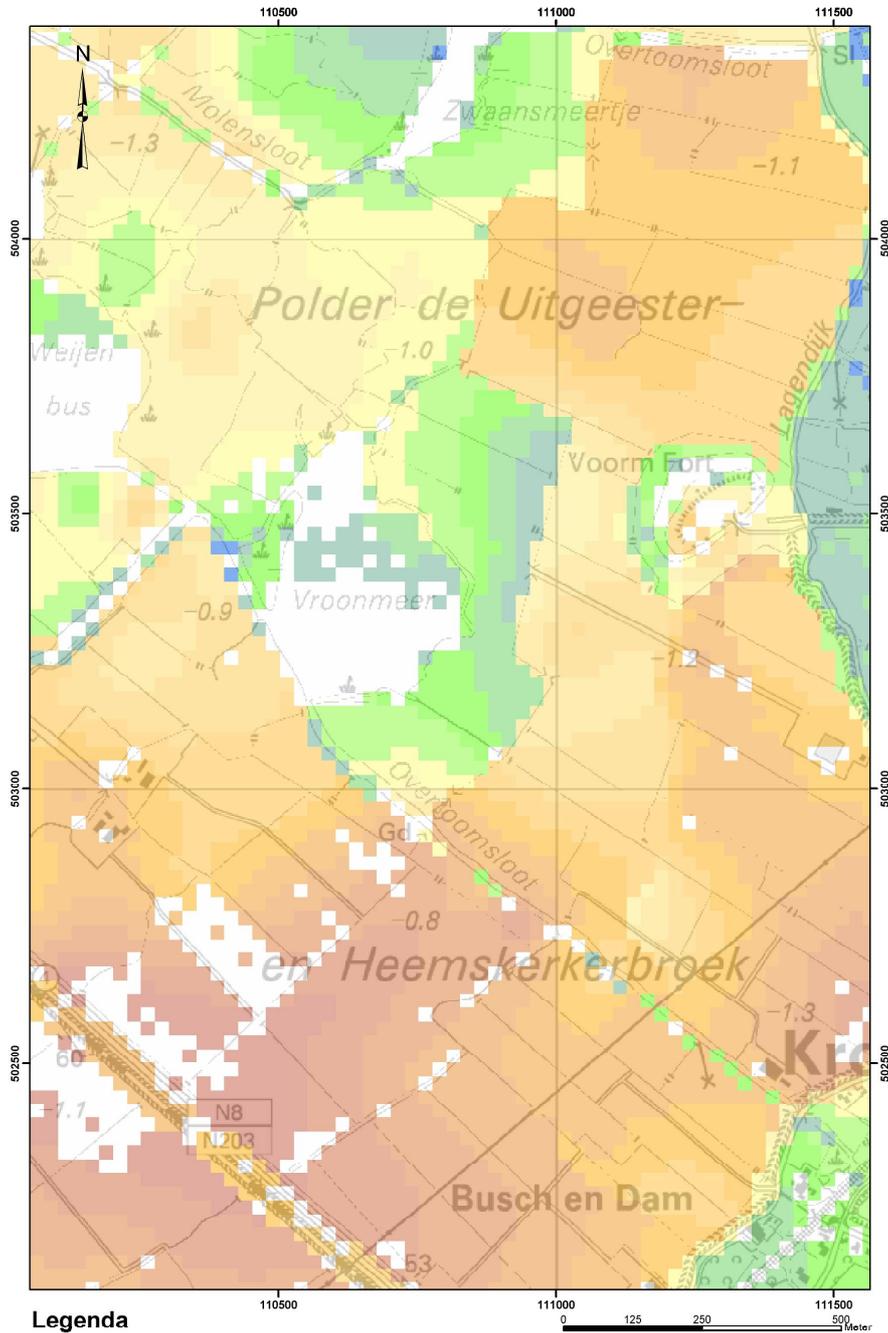


BIJLAGE 10B: Voorspelling van de GLG in de Uitgeesterbroekpolder

Voorspelling van de GLG in de Uitgeesterbroekpolder



BIJLAGE 11: Hoogte -verschil tussen de top van het prehistorische niveau en de GLG (in m)



Legenda

Verskil in hoogte (m) tussen GLG en top prehistorisch niveau

Top prehistorisch niveau onder GLG

- 0.61 - 0.7
- 0.51 - 0.6
- 0.41 - 0.5
- 0.31 - 0.4
- 0.21 - 0.3
- 0.11 - 0.2
- 0.01 - 0.1

Top prehistorisch niveau boven GLG

- 0.09 - 0
- 0.19 - -0.1
- 0.29 - -0.2
- 0.39 - -0.3
- 0.49 - -0.4
- 0.59 - -0.5
- 0.69 - -0.6
- 0.79 - -0.7
- 0.89 - -0.8
- 0.99 - -0.9
- 1.12 - -1.1
- NoData