

**Geoarcheologische bureaustudie ten
behoefte van het Yangtzehavenproject
(1e onderzoeksfase in het verkennend
inventariserend veldonderzoek)**

Peter Vos
Meindert van den Berg
Denise Maljers
Sieb de Vries

Titel

Geoarcheologische bureaustudie ten behoeve van het Yangtzehavenproject
(1e onderzoeksfase in het verkennend inventariserend veldonderzoek)

Opdrachtgever

Havenbedrijf Rotterdam NV

Kenmerk


0906-0193

Pagina's

26

Trefwoorden

- Maasvlakte 2 - Yangtzehaven
- archeologisch vooronderzoek
- vroeg holocene afzettingen
- geogenese

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
5	2009-07-29	P. Vos				M. van der Meulen	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Onderzoekresultaten	3
3 Archeologisch verwachtingsmodel	9
4 Aanbevelingen	14
5 Referenties	20
Bijlage(n)	
A Modelberekening	21
B Lengtedoorsneden door het model	22

Figuurbijlage

binnenzijde achterkaft map

1 Inleiding

Opdracht

Voor de aanleg van een toegang tot de 2^e Maasvlakte zal de Yangtzehaven worden aangelegd door de gemeente Rotterdam. In het kader van de op te stellen milieueffectrapportage (M.E.R.) en het bestemmingsplan voor dit grote infrastructurele project is aan Deltares, afdeling Bodem en Grondwatersystemen gevraagd (tot 1 januari 2008 onderdeel van TNO BenO) een geo-archeologisch vooronderzoek uit te voeren naar de archeologische verwachting van de ondergrond die door het werk verstoord zal gaan worden. Het vooronderzoek reconstrueert begraven landschappen op basis van geologische gegevens, dit is een geogenetische benadering.

Van de ondergrond van het Yangtzehavegebied zal een geologisch lagenmodel worden gemaakt. Per laag wordt op basis van het afzettingmilieu (paleolandschap) de archeologische verwachting vastgesteld. Op basis van dit verwachtingsmodel zullen de archeologische waarden in het archeologisch vervolgonderzoek worden opgespoord.

De opdrachtgever van het project is het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam. Het bevoegd gezag over het archeologisch vooronderzoek Yangtzehaven is de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE).

Uitvoering

Het onderzoek werd geleid door drs. P.C. Vos, geoloog en projectleider bij TNO BenO. De interpretatie en modellering van relevante niveaus uitgevoerd door dr. ir. M.W. van den Berg en drs. D. Maljers (Bijlage A en B) de heren Vos en Van den Berg hebben het eindrapport samengesteld.

Voor de aanleg is een circa 3 kilometer lange en circa 400 m brede doorsteek voorzien tussen de 8^e Petroleumhaven en de Europahaven. Deze doorsteek zal worden uitgebaggerd. Het toekomstig haventerrein Yangtzehaven bestaat momenteel nog voor een deel uit land (opgespoten terrein met een maaiveldhoogte van ca. +5 m NAP) en een gedeelte water (haven met een bodemdiepte van -17 m NAP). Uiteindelijk zal in het kader van het werk het hele gebied van het haventerrein uitgebaggerd worden tot een maximale diepte van -21 m NAP. De verstoringsdiepte door het baggerwerk is maximaal -22 m tot -23 m NAP.

De eerste fase in het onderzoek (dit rapport) is het opstellen van een concept-archeologisch verwachtingsmodel op basis van bestaande geologische- en paleolandschappelijke data en kennis. De belangrijkste geologische dataset betreft

Specifieke onderzoeksvragen: de focus van dit onderzoek

Uit de eerdere werkzaamheden in het Maasvlaktegebied is gebleken dat archeologisch materiaal - daterende uit Laat Paleolithicum / Mesolithicum - in de dieper liggende Pleistocene en Holocene lagen kan voorkomen (zie o.a. Verhart, 1998; Hessing e.a., 2005). Deze lagen liggen op een diepte tussen de -17 m en -25 m NAP.

In de bestaande geologische literatuur – zie ook geoarcheologisch rapport over de Papegaaibek / Kop van Beer van Vos & De Vries (2007) – zijn de laageenheden waar archeologisch materiaal te verwachten is (van onder naar boven): de Laag van Wijchen, Laat Pleistoceen / Vroeg Holoceen eolisch zand, het Basisveen en de Laag van Velsen.

Het is echter de vraag of deze klassieke indeling van de Laat Glaciale / Vroeg Holocene afzettingen wel opgang doet voor het onderzoeksgebied. Het is goed mogelijk dat de Laat Glaciale en Vroeg Holocene afzettingen in een rivierdeltamilieu van de Rijn en Maas zijn

afgezet. De zoete rivierdelta-afzettingen worden gerekend tot Formatie van Echteld. Daarmee vervalt de indeling van Laag van Wijchen, Basisveen en Laag van Velsen. Voor deze geoarcheologisch studie is de stratigrafische problematiek niet zo zeer relevant. Het afzettingsmilieu van deze lagen is echter wel relevant, omdat die het menselijk handelen in het gebied beïnvloed heeft. Of een afzetting gevormd is in een meer- / lagunairmilieu of dat het om kom- / oeverwalafzettingen gaat, zijn zaken waar antwoord op moet worden gegeven.

De eerste fase van het vooronderzoek richt zich op de faciesverschillen (verschillen in afzettingsmilieu) zoals die uit de boorbeschrijvingen en vooral uit de sondeercharacteristieken naar voren komt. De geotechnische puntgegevens zijn voor het overgrote deel verzameld door Gemeentewerken Rotterdam. Op basis van deze faciesverschillen, die uit de geologische interpretatie van de puntgegevens naar voren komt, wordt een eerste – voorlopige - paleo-milieu-reconstructie gemaakt van de ontstaansgeschiedenis van de ondergrond tussen 17 en 25 m -NAP. Deze reconstructie wordt tijdens de tweede fase van het onderzoek geverifieerd met behulp van aanvullende steekboringen (sedimentologische studie) en paleo-oecologisch onderzoek (o.a. diatomeeën- en pollenonderzoek). Op basis van de geverifieerde landschapsinterpretatie wordt het definitieve geoarcheologische verwachtingsmodel opgesteld waarop het archeologisch veldonderzoek zal worden uitgevoerd (onderzoeksfase 3).

2 Onderzoekresultaten

De activiteiten die tijdens de eerste fase van het archeologisch vooronderzoek Yangtzehaven zijn uitgevoerd, bestaan uit:

- 1) de inventarisatie bestaande geologische puntgegevens,
- 2) opstellen ruimtelijk (2,5D) lagenmodel
- 3) bespreking van de modelvlakken die via iteratieslagen tussen bovengenoemde stappen 1 en 2 zijn gesynthetiseerd.

1) Inventarisatie bestaande geologische puntgegevens

In het onderzoeksgebied staan 133 sonderingen van de Gemeentewerken Rotterdam ter beschikking, waarvan 8 sonderingen gekoppeld zijn aan boringen (Fig. 1). Daarnaast kon er gebruik gemaakt worden van enkele boringen uit de database DINO van TNO.

De rangschikking van de sonderingen en de vorm van het gebied gaven aanleiding tot het groeperen in vijf parallelle raaien in de lengterichting van de toekomstige haven (van zuid naar noord gelabeld raai 1 t/m 5 in figuur 1 en tabel 1) en zes dwarsraaien. In het merendeel van de raaien is de afstand tussen de sonderingen ca. 140 m, in de vijfde, korte lengteraai, bedraagt deze ca. 30 m.

Het merendeel van de sonderingen reikt tot in de (Pleistocene) zandondergrond en doorboort daarmee de relevante niveaus.

Zowel de conusweerstand als een wrijvinggetal van de sonderingen kon worden gebruikt voor de vertaalslag van geofysische parameters naar sondeerfacies. Dit laatste zijn karakteristieke combinaties van conusweerstand en wrijvingsgetallen die toegeschreven worden aan lithologische eenheden.

Deze lithologische eenheden worden vervolgens gegroepeerd tot een geologisch model. De opbouw van het geologisch model van de ondergrond volgde een aantal iteratie stappen tussen clustering van sondeerfacies en de daaruit volgende modelvlakken. De correlatie tussen de onderscheiden sondeereenheden wordt daardoor geoptimaliseerd tot een stapeling van meest waarschijnlijke paleo-afzettingmilieus. Deze worden besproken onder punt 3.

2) Opstellen ruimtelijk (2,5D) lagenmodel

De eenheden die zijn onderscheiden in stap 1 zijn vervolgens gegroepeerd in een geologisch model waarbinnen vier modelvlakken worden onderscheiden (Fig 2):

- 1) erosiebasis van de jonge getijdenafzettingen.
- 2) top organisch rijke afzettingen (de 'modder')
- 3) top rivierafzettingen (rivierdelta-afzettingen).
- 4) top zandafzettingen (de oudere fluviatiele sedimenten van de Formatie van Kreftenheye en de jongere voortzetting daarvan cf. vlak 3).

De beschrijving van de rekenwijze om tot een model te komen wordt besproken in Bijlage A.

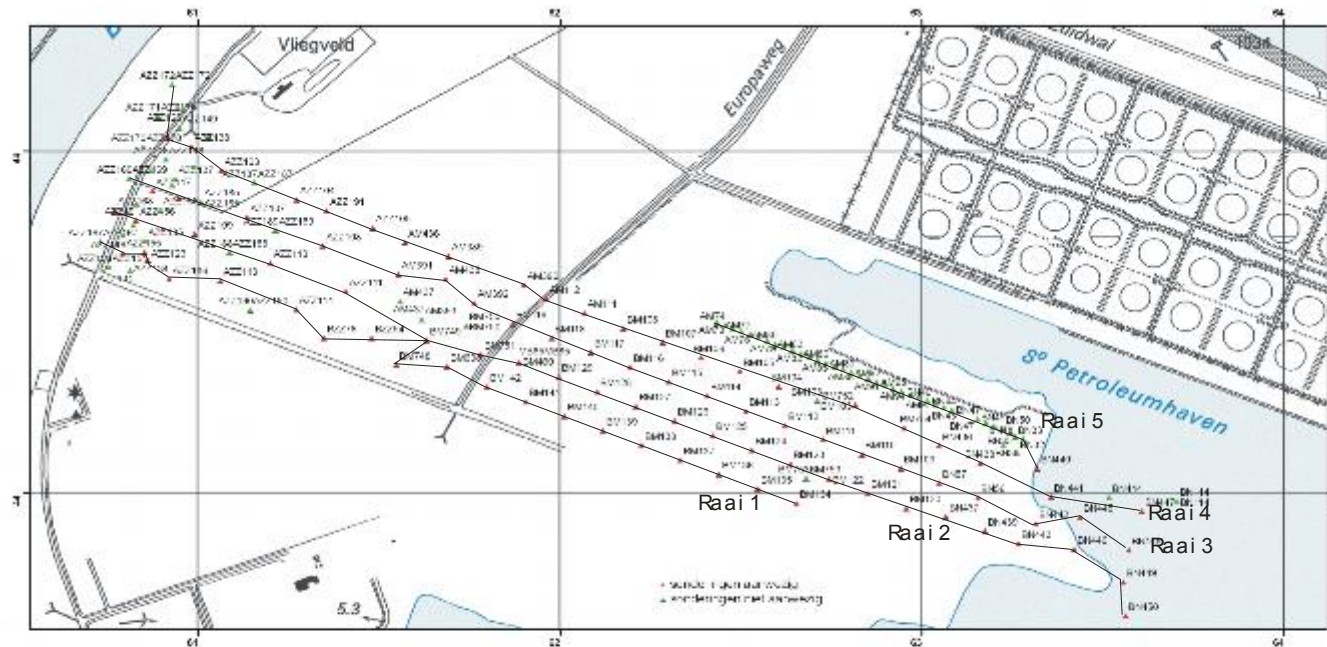


Fig 1: Concept kaart van het Yangtzehavengebied met daarop de locaties van de in dit onderzoek gebruikte boringen en sonderingen.

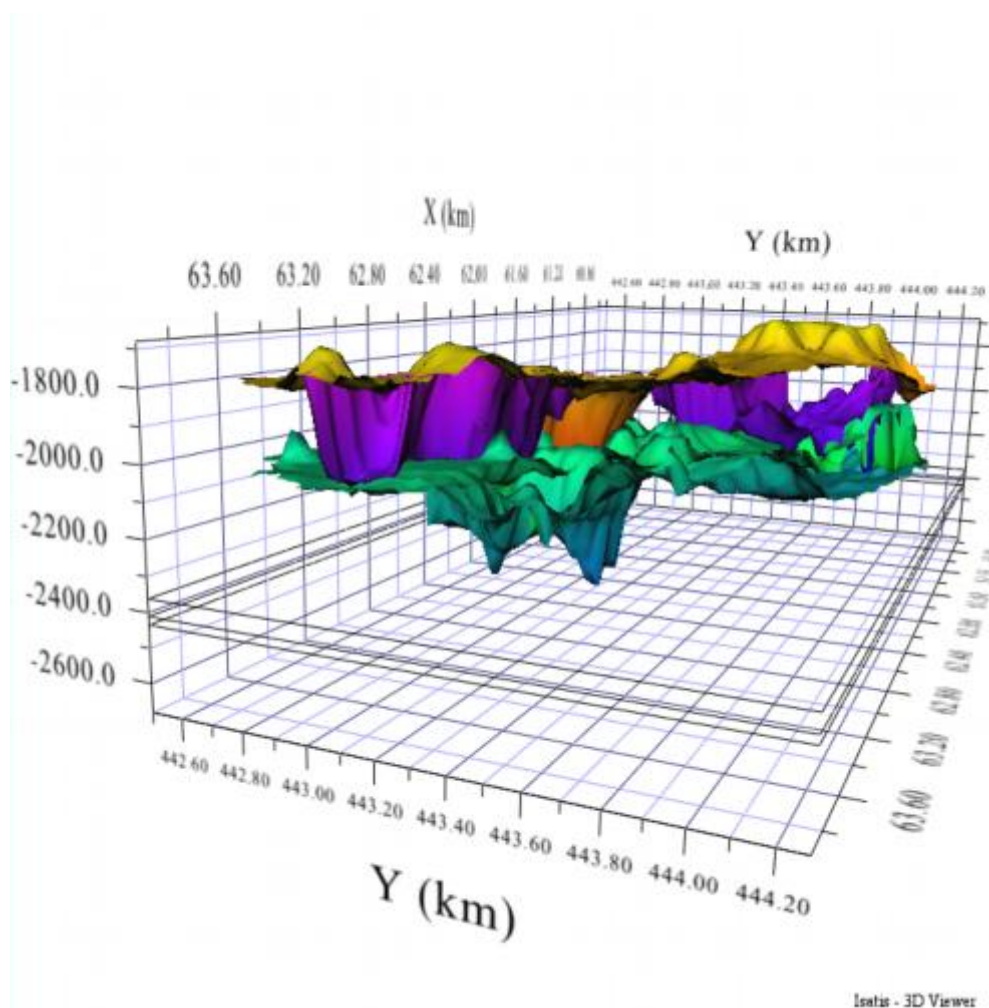


Fig. 2: 3-D presentatie van de vier modelvlakken. Op de Z-as de NAP diepte in cm. Op de X en Y-as de RD coördinaten in km. De vlakken worden hieronder besproken. De figuur is gedraaid t.o.v. figuur 1.

3) Bespreking van de modelvlakken

Voorbeelden van de hierna te bespreken sondeerpatronen zijn gegeven in Bijlage B.

Het erosievlak (basis jonge getijde afzettingen)

Het model beperkt zich tot de afzettingen die voorkomen beneden de ca. -18 m NAP. Op dit niveau bevindt zich de overgang van relatief hoge conusweerstand naar eenheden met zeer lage conusweerstand en hoge wrijvingsgetallen. Het abrupte karakter van deze overgang suggereert een erosief contact. De bovenliggende eenheid is geïnterpreteerd als afzettingen van mariene getijdengeulen. Het ondervlak (het erosievlak) van deze samengestelde eenheid vormt het bovenvlak van het model met de archeologisch relevante lagen (het bovenste gele vlak van de vier modelvlakken, Fig. 2).

De kleiige afzettingen.

Het erosievlak rust op twee enigermate vergelijkbare sondeerfacies die een lage conusweerstand combineren met een hoog wrijvingsgetal. Het verschil tussen beide facies is de heterogeniteit van het conussignaal: een hoogfrequent gepiekt signaal tegenover een zeer glad verlopend beeld. Bij deze laatste is het wrijvingsgetal meestal hoger en vertoont een

trend waarbij de waarden, die voor het wrijvingsgetal worden bereikt, met die van een overeenkomen.

De 'gepiekte' facies ligt boven dan wel naast de 'gladde' facies.

De bovenkant van de 'gladde' facies vormt het tweede (paarse) modelvlak in figuur 2.

De 'gepiekte' facies komt dus voor tussen het gele, en het paarse modelvlak.

Op basis van het voorkomen van schelpresten, die worden beschreven in de boorbeschrijvingen en het gepiekte karakter, wordt deze eenheid als een fijn gelaagde getijdenafzetting geïnterpreteerd. Hierbij moet worden aangetekend dat het voorkomen van schelpresten altijd een onzeker criterium is doordat bij bepaalde boorsystemen schelpfragmenten afkomstig van bovenliggende afzettingen kunnen blijven circuleren.

De 'gladde' facies wordt geïnterpreteerd als een organisch rijke klei ('modder') die wordt afgewisseld met veenlagen. Deze afzettingen worden als een onderdeel van rivierdeltaafzettingen geïnterpreteerd. Er kunnen twee niveaus met veenlagen voorkomen: het zogenaamde "18 m" en een "20/21 m" niveau. De diepte van beide lagen varieert echter en is dus slechts indicatief.

De onderlinge relatie tussen de 'gepiekte' en de 'gladde' facies is niet duidelijk. De relatie kan een laterale overgang dan wel een erosief contact zijn. Dit is van belang voor de interpretatie van het paleo-milieu. In het eerste geval kan samenhang duiden op een positie in het paleolandschap die aan de zoute kant van een zoet-zout gradient. In het tweede geval vormt de organische 'modder' een zoetwaterafzetting.

De zandige ondergrond

De kleiige afzettingen gaan op verschillende diepten over in niveaus met een conusweerstand-wrijvingsgetal combinatie die op zand duidt.

Wij onderscheiden twee modelvlakken binnen de zandige ondergrond:

- top zand. De oudere rivierafzettingen die geheel uit zand bestaan, en
- top rivier afzettingen. Een complexe eenheid die meerdere sondeerfacies omvat waaronder zandige afzettingen die worden geïnterpreteerd als eenheden die naast een rivieroever zijn afgezet (hoogwater of "overbank" afzettingen).

Binnen deze twee complexe model eenheden worden meerdere sondeerfacies en belangrijke grensvlakken samengevoegd. De belangrijkste grensvlakken zijn in tabel 1 aangeduid als 'pauzevlak' (p1-p3). De term verwijst naar een belangrijke overgang in milieuomstandigheden. Deze vlakken zijn niet apart in figuur 2 aangegeven omdat de vlakken te dicht op elkaar voorkomen.

Het modelvlak 'top zand' vormt het oudste niveau voor de geo-archeologische verwachtingen. Alle sondeerfacies hierbinnen worden gekenmerkt door een hoge conusweerstand die als een massief blok kan voorkomen (Profiel midden Bijlage B) dan wel met een naar boven toe aflopende trend (een z.g. fining-upward trend, Profiel zuid Bijlage B), dan wel dunne siltlagen die kunnen voorkomen in de zand-gedomineerde eenheid. In een beperkt aantal gevallen wijzen zeer diepe sonderingen op een stapeling van aflopende trends (BM 124, Profiel zuid, Bijlage B). De boorbeschrijvingen duiden op grindarme zandafzettingen. Dieper komen grindhoudende afzettingen voor.

Het modelvlak 'top zand' vertoont een tweedeling in haar vorm: in tweederde van het gebied ligt deze eenheid hoog ten opzichte van het overige noordwestelijke deel (Fig. 3). De fining-upward eenheden komen m.n. voor in het, door een hoge ligging gedomineerde, deel.

Binnen het 'hoge' deel laat het reliëf nog een slingerend laag deel zien. Deze vorm duidt op een restgeul. In BM121 komt tussen -21.20 m en -25.30 m NAP een complexe associatie voor die als restgeulvulling is geïnterpreteerd.

De randzones langs de veronderstelde restgeul worden in dit concept als oeverwallen gezien en deze verschillende landschapelementen samen (oeverwal + restgeul) is in figuur 3 als stroomrug bestempeld.

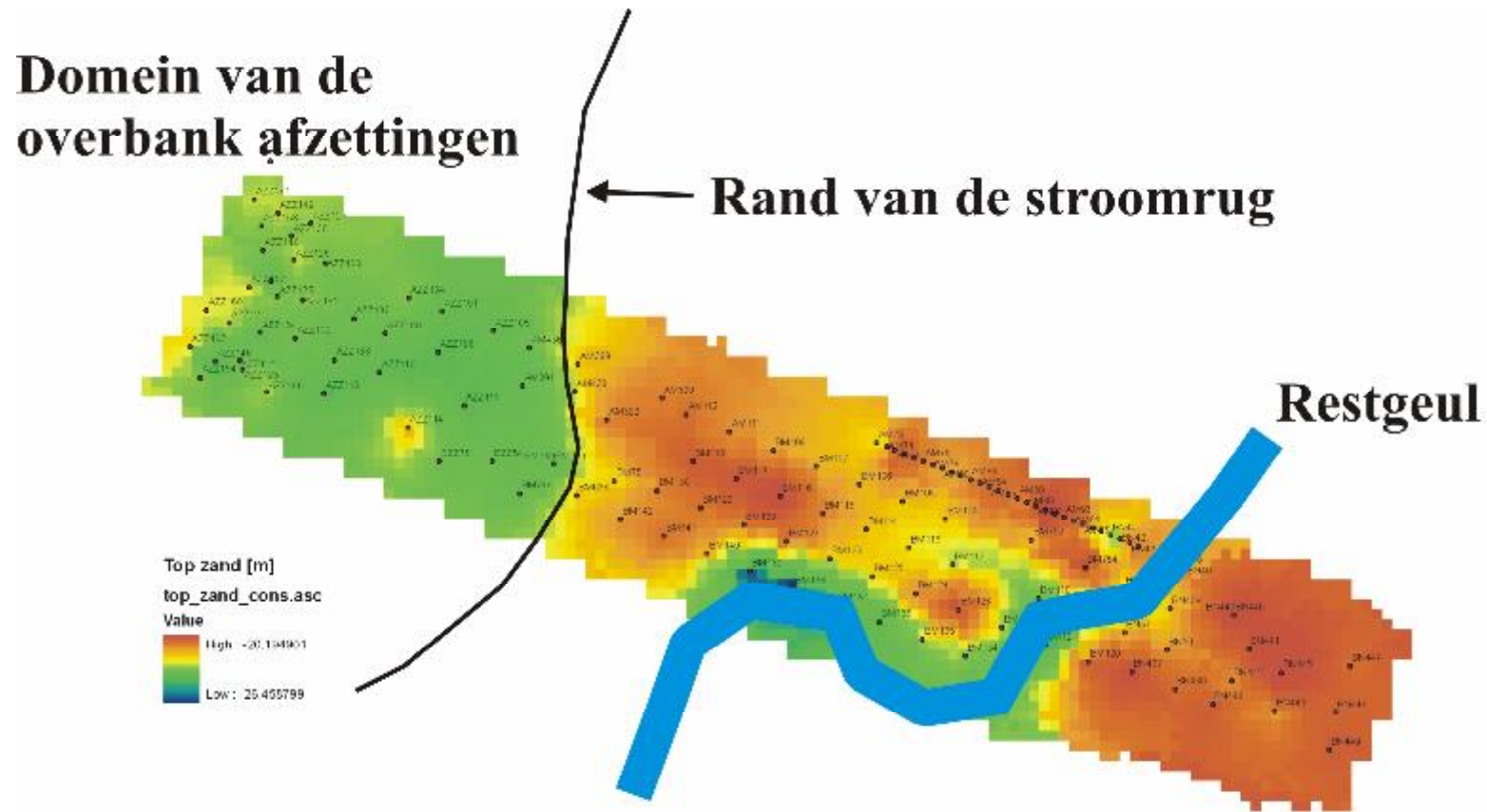


Fig. 3: De afzettingen onder het modelvlak 'top rivier': de overbank- en overige rivierafzettingen waaronder oeverwallen (de hoge delen) en een restgeul.

Boven het lage deel van het vlak 'top zand' en onder de organisch rijke afzettingen komen sondeerfacies voor die een afwisseling vormen van fijn zand en klei-, leem- en veenlagen (Profiel zuid, Bijlage B). Dit complex komt voor in het deelgebied waar de 'top zand' laag ligt (Bijlage B: Profielen midden en zuid).

De zandeenheden bestaan uit 1-2 m dikke, schijnbaar homogene zandpakketten, aangeduid in profiel midden (Bijlage B) als 'Overbank zand' en geïnterpreteerd als een crevasse afzetting (een waaiervormig zandlichaam dat ontstaat vanuit een rivier in het naastgelegen (droge of natte) komgebied). Er zijn twee duidelijke niveaus en plaatselijk mogelijk een derde niveau aanwijsbaar. Deze eenheden worden gescheiden door klei en veenlagen. De bovenkant van een overbankzand vormt een pauzevlak. De kleilagen tussen de overbankzanden lijken zeer sterk op de organisch rijke 'modders'. In een enkel geval is de opdeling alleen op basis van het verloop van de conusweerstand aan te wijzen. Een alternatieve interpretatie van deze zandeenheden kan een rivierduinzand zijn. Op basis van de beschikbare boorbeschrijvingen, die de genoemde zandeenheden beschrijven (als slibhoudend zand) lijkt een interpretatie als windafzetting van deze sondeerfacies niet waarschijnlijk hoewel conusverloop sterk doet denken aan dergelijke afzettingen.

Duidelijk is dat de afzetting van dit complex een pulserend karakter kende (2-3 pulsen). De scheidende lithologie (veen en "modder") benadrukt de onderbreking, het pauzevlak, in de afzetting van de zandpulsen (crevasse afzetting).

De zandeenheden lijken zich te draperen over de 'top zand'. Een extreem geval doet zich voor bij sondering AZZ 114. Deze levert in het model een 'vulkaan' op. De opbouw van de bovenliggende 'jonge getijdenafzettingen' staat niet toe om deze vulkaan toe te schrijven aan een fout in het maaiveld.

3 Archeologisch verwachtingsmodel

De archeologische verwachting is gebaseerd op twee pijlers:

- 1) Diepteligging van de laageenheden
- 2) Paleolandschap zoals dit uit de assemblage van de sondeerkenmerken naar voren komt.

Ad 1. Diepteligging

De gemodelleerde vlakken bevinden zich tussen -16 m NAP en – 24 m NAP.

Om een indruk te geven over de periode waarin deze afzettingen zijn gevormd, zijn in figuur 4 enkele gegevens m.b.t. de ontwikkeling van de zeespiegel/grondwaterspiegel weergegeven. Het niveau van de zeespiegel is relevant omdat de landschapsontwikkeling in dit gebied vooral bepaald is door het stijgen van de zeespiegel.

Door verschillen in bodembeweging van verschillende segmenten van de Nederlandse kust bestaan er meerdere zeespiegelcurven. Voor dit gebied zijn de gegevens uit de buurt van Rotterdam (Barendrecht en Blijdorp) het meest relevant. Op basis van deze gegevens is het verloop van de zeespiegelontwikkeling vanaf -16 m NAP bekend. Deze gegevens laten zien dat het -16 m niveau al rond 10.000 jaar geleden lokaal vernatte en dat daardoor veenvorming ging optreden.

Nabij het onderzoeksgebied van de Yangtzehaven – in het gebied van de Papegaaibekhaven - zijn recent ¹⁴C dateringen van een veenlaag op ca. -21 m NAP beschikbaar gekomen. De diepteligging van deze laatste moet worden gecorrigeerd voor latere daling (maximale compactie ca. 0.5 – 1 m). Een correctie voor bodemdaling moet worden gedaan voor een veendatering op een diepte van -23 m NAP uit Noord Holland.

Ondanks genoemde onzekerheden laten deze gegevens zien dat de paleolandschappen in het relevante dieptebereik zich ontwikkelden op de overgang van de laatste ijstijd (Weichselien) naar het Holoceen (m.n. Preboreaal en Boreaal). Dateringen van de lagen tussen de -21 m en -18 m NAP zullen waarschijnlijk een ouderdom hebben die overeenkomt met het Boreaal / eerste helft Atlanticum. Zie het grijze vlak figuur 4.

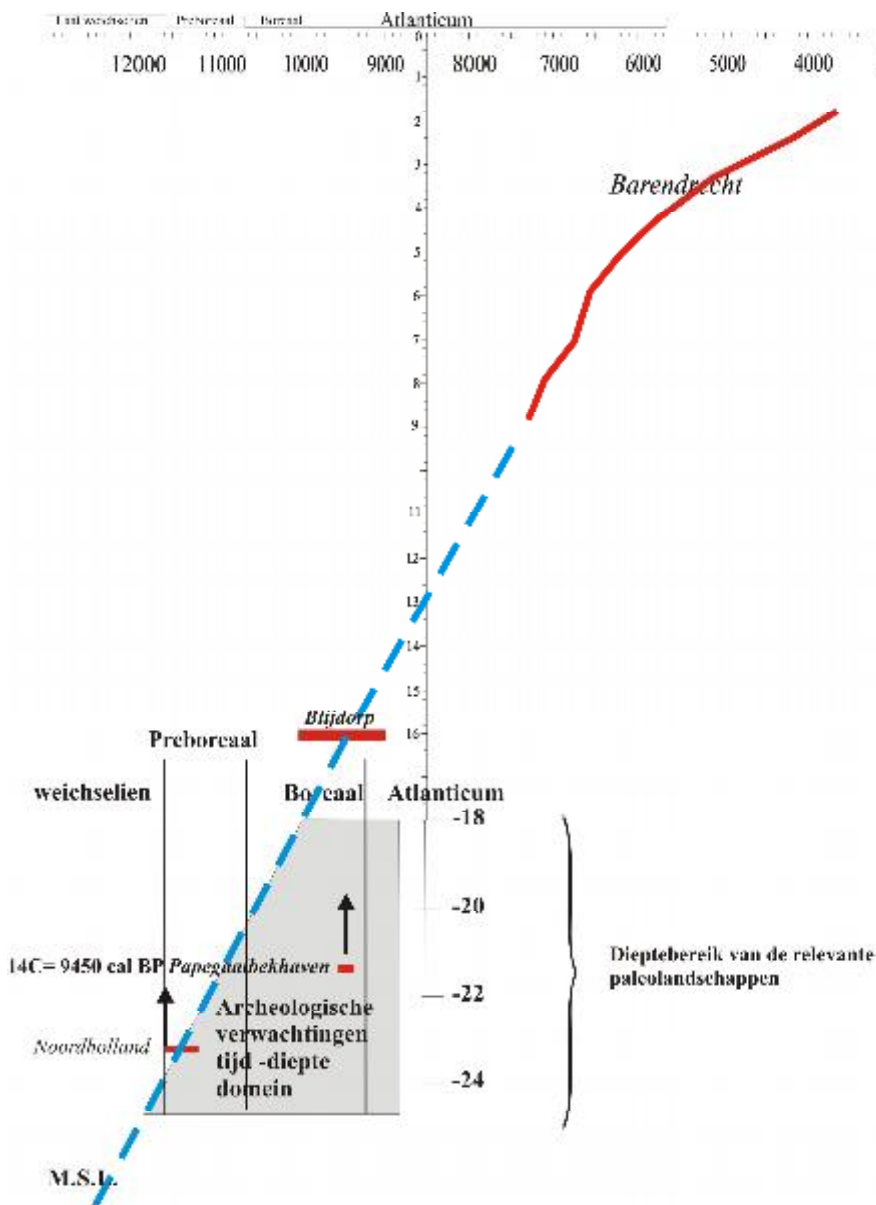


Fig. 4: Model waarop de tijd-diepterelatie van de archeologische verwachtingen is gebaseerd. De rode lijn is het traject waarover een zeespiegelcurve bekend is bij Barendrecht. Deze beschouwen wij betrouwbaar voor het studiegebied. De blauwe gestippelde lijn is een benadering van de zeespiegelstijging is voor het oudere deel van de zeespiegelstijging.

Ad 2. Paleolandschappen

De voorlopige interpretatie van de eenheid 'top zand' is een afzetting in een rivierarm (Fig. 3 en 5). De daaromheen en naast liggende eenheden zijn een afwisseling van veen en klei waarin zich zandlagen bevinden ('overbank zand' genoemd). Het zand is verondersteld afkomstig te zijn vanuit de rivierarm (en vormt een plaat/waaiervormige eenheid: een crevasse). Het doorgaande karakter van de klei- en veenlagen tussen de zandlagen geeft aan dat het hier niet om oeverwalafzettingen gaat.

Dit complex van eenheden laat zich vertalen naar een wereld met veel golf-gedomineerde, microgetijde tot 'stilstaand' zoetwater (veen en klei; samengevat als 'modder' eenheid; fig. 5).

De pauzevlakken tussen de zandlagen geven aan dat er periodiek zandwaaiers werden afgezet in het zoetwaterlichaam. Een zoetwaterdelta vormt hiervoor het referentiebeeld (Fig. 5). De mate waarin de klei is gerijpt zal kunnen aangeven in hoeverre de sedimentatie door de delta de zeespiegelstijging kon bijhouden. Een ongerijpte klei duidt op het bestaan van permanente meren in de delta ("interdistributary bay environment"), sterk gerijpte klei daarentegen geeft aan dat er op uitgebreide schaal (droogvallende) gorzen (zoetwatergetijde "kwelders") aanwezig waren. Dit verschil heeft consequenties voor de bewoonbaarheid van het gebied, immers op gerijpte gronden kan worden gelopen, ongerijpte grond staat permanent onderwater.

De aanwezigheid van fijn (met zand en siltlaagjes) gelaagde klei – naast en boven de organische klei- (of "modder") afzetting - wijst erop dat de rivierdelta overspoeld raakte door getijdenafzettingen.

De positie van het onderzoeksgebied verschuift, relatief gezien in de tijd, van een riviergebied naar de getijdenzone (Fig. 5).

De eerste paleobotanische onderzoeksresultaten uit het Papegaaibekgebied (diatomeeën- en pollen), de aanwezigheid van mineralen als vivianiet (zoetwater indicator) en jarosiet (brakwater indicator) duiden erop dat er een graduele zoet-zoutmigratie plaatsvond in de tijd. De grote biologische variabiliteit van de verdrinkende rivierdelta zal een grote aantrekkingskracht hebben gehad op de mens om daar te leven. Voor bewoning zijn de reliëfgradiënten van de zandige rivierafzettingen van groot belang geweest ('droge gebieden'). In figuur 7 zijn deze hogere zandgronden omcirkeld met een rode lijn en omschreven als 'aandachtgebieden' voor nader onderzoek. Na verificatie (onderzoeksfase 2) kunnen deze aandachtsgebieden vertaald worden naar gebieden met een hoge archeologische verwachting.

Onder invloed van de zeespiegelstijging zijn na verloop van tijd ook de droge gebieden vernat en uiteindelijk verdronk het hele landschap waardoor het het gebied in een getijdengebied veranderde (vorming fijn gelaagde klei-eenheid / jonge getijde zanden).

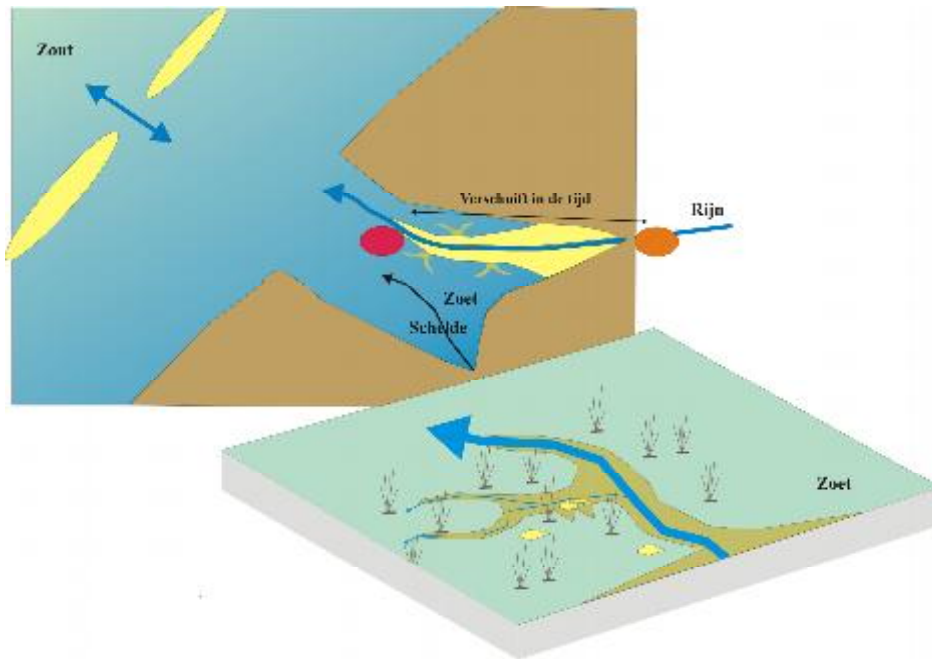


Fig. 5: Sedimentfacies model waarop het potentieel landschapgebruik (archeologische verwachting) kan worden gebaseerd.

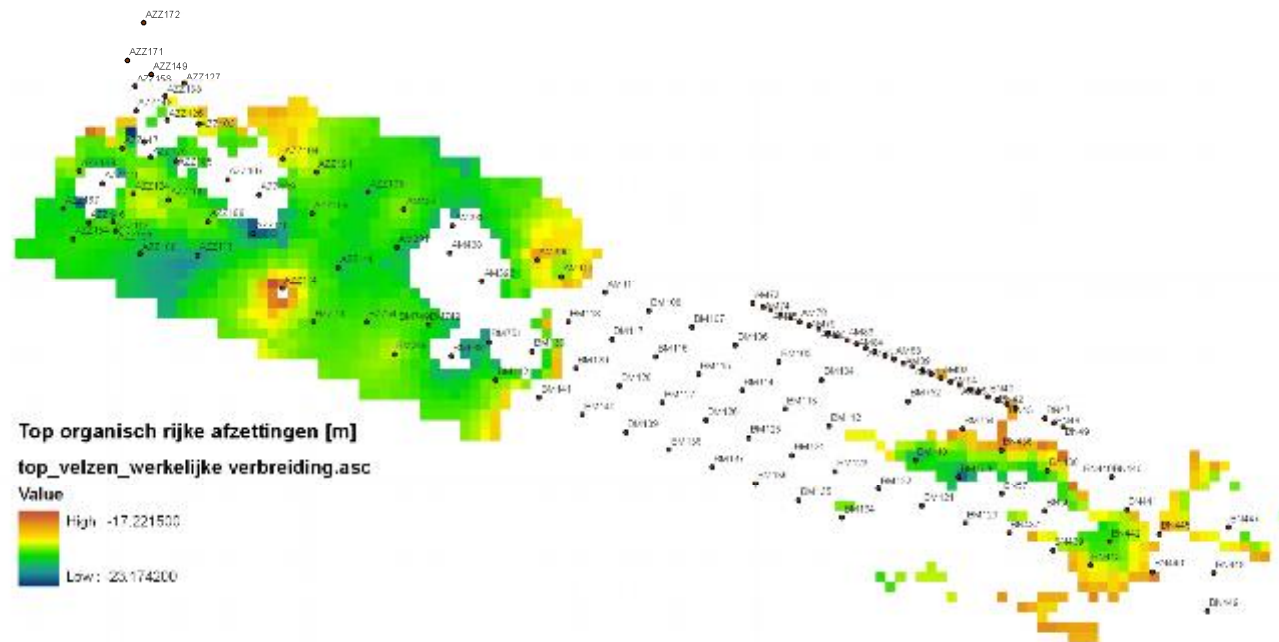


Fig. 6: Verbreiding en diepteligging van de organisch rijke klei. Deze eenheid wordt in dit rapport ook omschreven als 'modder'; en in de bestaande stratigrafische indeling beschreven als de Laag van Velsen.

4 Aanbevelingen

De betrouwbaarheid van het archeologische verwachtingsmodel hangt direct samen met de betrouwbaarheid van het geologische lagenmodel en de sedimentfacies / paleomilieu-reconstructie. Het (concept) lagenmodel en de sedimentfacies zijn in dit rapport voor het overgrote deel gebaseerd zijn op interpretaties van de beschikbare sondeergrafieken. Controle (bijstelling) van het geologisch model en sedimentfacies heeft gevolgen voor het hier gepresenteerde paleogeografische landschapsbeeld en daarmee ook voor de archeologische verwachting (o.a. aandachtsgebieden in figuur 7).

Verificatie van het in dit rapport opgestelde concept geologisch en genetisch model is daarom van cruciaal belang voor de betrouwbaarheid van het uiteindelijke verwachtingsmodel (onderzoekfase 2) waarop het archeologische veldonderzoek zal worden gebaseerd (onderzoekfase 3).

Voor de verificatie van het concept-model (onderzoekfase 2) worden drie onderzoeksstappen geadviseerd:

- 1) "Gebiedsdekkend" seismisch onderzoek uitgevoerd vanaf een schip.
- 2) Een check uitvoeren op de sondeerfacies door middel van het zetten van hoogkwalitatieve steekboringen.
- 3) Paleo-milieuonderzoek bestaande uit ouderdomsbepalingen (datering van de lagen) en paleobotanisch onderzoek aan monsters die genomen worden uit de steekkernen.
- 4) OSL datering van de zanden om de samenhang van de zanden te controleren.

Ad 1. Omdat een groot deel van de grond inmiddels is afgegraven voor de toekomstige Yangtzehaven kan de verificatie van het ruimtelijk lagenmodel geschieden door seismisch onderzoek. Door de seismische reflecties te correleren met de boor- en sondeerdata kunnen de seismische eenheden vertaald worden naar geologische laageenheden. Daarmee kan het lagenmodel quasi gebiedsdekkend (een dicht net van continue lijnopnamen) in beeld worden gebracht en kan een 2,5D-model van de ondergrond verkregen worden. Dit beeld is betrouwbaarder dan bij het gebruik van boringen en sonderingen alleen, omdat van puntinformatie naar lijninformatie wordt overgestapt. Daarmee wordt ook inzicht verkregen in de aanwezige gradiënten. Voor de 3^e onderzoeksfase is een betrouwbaar ruimtelijk beeld van de ondergrond van het grootste belang omdat dan gericht op (vlakke en hellende) laagniveaus gezocht ('gebaggerd') kan worden naar archeologisch materiaal.

Ad 2. De verificatie van de afzettingmilieus uit het sondeeronderzoek moet geschieden door middel van het uitvoeren van een hoog kwalitatief onderzoek met behulp van steekboringen. Steekboringen met een 'liner' (PVC monsterbuis) zijn hiervoor de geëigende boormethode. Deze kunnen vanaf het land gestoken worden maar ook vanaf een schip in de onderwaterbodem.

Aanbevolen wordt om met 15 hoogkwalitatieve steekboringen de sondeerinterpretaties te controleren. Op basis van de ruimtelijke variabiliteit van de afzettingfacies, die uit het sondeerbeeld naar voren is gekomen, is in tabel 1 een overzicht gegeven van de voorgestelde locaties waarop gestoken boringen het model kunnen verifiëren. Tussen de onderscheiden vlakken komen meerdere typen afzettingen voor (sedimentfacies) die in hun samenhang het paleomilieu beschrijven. Daarom worden er meerdere kolommen

onderscheiden in tabel 1. De tabel is zo gerangschikt dat een overzicht wordt gegeven welke typen afzettingen in de geplande steekboring voorkomen.

De gestoken kernen zullen lithologisch beschreven worden en daarbij zal speciaal gelet worden op de voorkomende sedimentologische en bodemkundige kenmerken die van belang zijn voor de paleomilieubepaling. In met name de hooggelegen zandige delen van de rivierafzettingen – onder de organisch rijke klei - kunnen bodems voorkomen die uit de sondeergrafieken niet naar voren komen. De betekenis van bodems voor het paleomilieu is groot omdat het voorkomen ervan duidt op langere tijd van droogligging en dus op potentiële verblijfplaatsen voor mensen.

De hoogkwalitatieve steekboringen worden gebruikt om monsters te nemen voor het paleomilieuonderzoek (ouderdomsbepalingen en paleobotanie; zie ad. 3). Ook worden de kernen onderzocht op het voorkomen van archeologische artefacten.

Het meest kwetsbaar en bedreigd zijn de hoogste delen van de top zandeenheid ('archeologische aandachtsgebieden' in figuur. 6) en de locatie 'vulkaan' (AZZ 114). De laatste is mogelijk een 'artefact' die toe te schrijven is aan een foute meting (dit moet gecontroleerd worden in het booronderzoek).

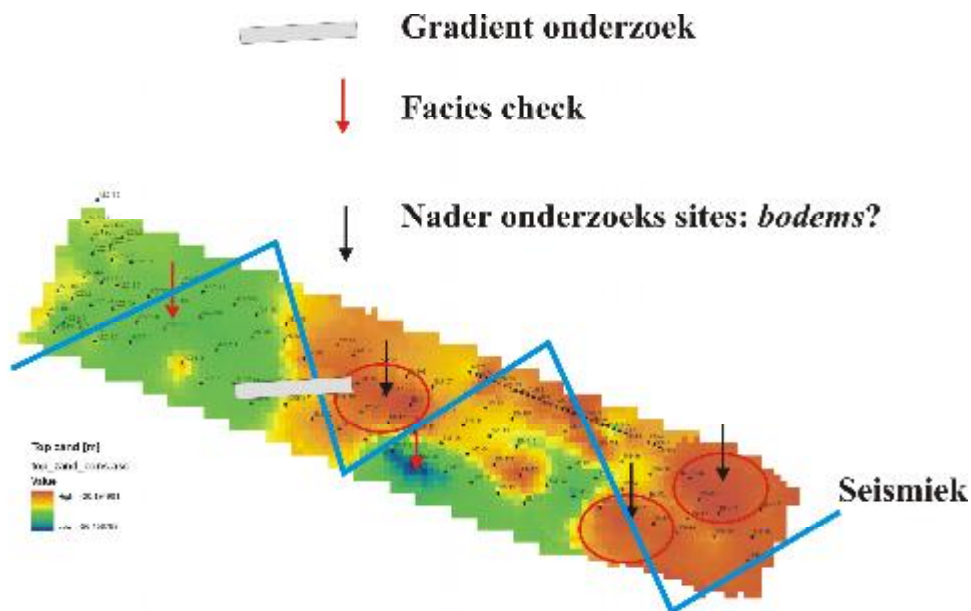


Fig.7: Cartoon van de drie controlestappen die nodig zijn ter verificatie van het model. 1) Seismische opnamen (in lengteraaen). 2) Diverse lokaties een check uitvoeren op de sondeerfacies door middel van hoog kwalitatieve steekboringen (zie ook tabel 1). 3) Gestoken kernen uitgebreid lithologisch, sedimentologisch en bodemkundig onderzoeken, dit in samenhang met uit te voeren laboratoriumonderzoek (ouderdomsbepalingen en paleobotanie). De hoog gelegen zandige gronden - de 'archeologische aandachtsgebieden (rood omcirkeld)' – en de reliefgradiënt naar de geul toe hebben hierbij speciale aandacht.

Tabel 1: Locaties van 14 sonderingen die met behulp van hoog kwalitatieve steekboringen nader onderzocht moeten worden. In de tabel worden de volgende sedimentfacies/ niveaus onderscheiden:

- Pleistoceen zand (P.zand).
- Organisch rijke klei 1 en 2: twee niveaus binnen de organisch 'modders'.
- Pauzevlakken 1-3 = verschillende niveaus binnen de overbankafzettingen (p vlak).
- Crevasse 1-3.
- Wormer Laagpakket afzettingen =fijn gelaagde klei.
- Veenlagen op 18m en 20/21 m.
- Restgeulafzettingen.
- Oeverwal afzetting.

lokatie	eenheden	omschrijving	P.zand	Org. rijke klei 1	p-vlak 1	crevasse 1	p-vlak 2	crev 2	wormer 1	20m veen	oeverwal	Org. rijke klei 1	rivierrestgeul	crev 3	18 m veen	p-vlak 3	Raai
bm 748	kzv eenheid		X	(x)	X	(x)	xx	x	(x)	–	–	–	–	(x)	–	x	1
bzz 76	kzv eenheid	ref voor vulkaan	X	(x)	X	(x)	X	x	X	x	–	–	–	–	–	–	1
azz 114	kzv eenheid	vulkaan	X	?	X	X	(x)	x	–	?	–	–	–	–	–	–	1
bm141	kzv eenheid	pv 1 en 2 als bodem?	X	(X)	?	X	?	x	(x)	–	–	–	–	–	–	–	1
bm 127	rivier		X	X	–	–	–	–	–	xx x	x	x	–	–	–	–	2
bm 104	rivier	lage oever	–	Xx	–	–	–	–	–	(21m) xx	(_)	x	–	–	–	–	4
bn 439	rivier	oeverwal oeverwal	X	X	–	–	–	–	–	(19m) xx	x	x	–	–	–	–	2
bn 123	rivier	grof	X	X	–	–	–	–	–	x	x	x	–	–	–	–	2
bn441	rivier	oeverwal	X	X	–	–	–	–	X	xx	x	–	–	–	–	–	4
bn436	rivier	restgeul	–	x?	–	–	–	–	X	x	–	–	x	–	–	–	4
bn449	rivier	oeverwal fu! hoge	X	–	–	–	–	–	–	–	x	x	–	–	x?	–	2
BN 437	rivier	oeverwal diepe ER of	X	–	–	–	–	–	–	–	xx	–	–	–	–	–	2
bm121	rivier	?	X	x / ?	–	–	–	–	–	–	–	–	xx / ?	–	–	–	2
azz 158	kzv eenheid	diepe modder	X	Xx	?	–	–	–	X	–	–	–	–	–	–	–	4

Ad 3. Aan de boorkernen moet aanvullend laboratoriumonderzoek verricht worden om de ouderdom en het paleomilieu (inclusief vegetatiereconstructie) van de laageenheden en sedimentfacies te onderzoeken.

Voor de ouderdomsbepaling wordt aanbevolen zandmonsters te nemen voor OSL dateringen (monsters mogen niet aan daglicht worden blootgesteld) en de organisch rijke afzettingen te dateren met behulp van de ¹⁴C-methode.

Aan de hand van diatomeeënonderzoek kan de mariene invloed in de deltaïsche afzettingen worden afgeleid, en kan vastgesteld worden welke afzettingen onderwater werden gevormd (meer / lagune) of dat zij periodiek droogvielen. Met pollenonderzoek kan de locale en regionale vegetatie in de delta onderzocht worden en kan tevens de geologische tijdsperiodes, waarin de afzettingen gevormd zijn (Laat Glaciaal, Preboreaal, Boreaal en Atlanticum), worden afgeleid.

Wij bevelen aan om dit pollen- en diatomeeënonderzoek in stappen te verrichten. De eerste stap is een scan, een zeer beperkt onderzoek aan veel monsters om vervolgens te kunnen bepalen welke boringen (beperkt aantal) in een tweede stap belangrijk zijn voor een uitgebreid onderzoek: 'de krenten uit de pap'.

De eerste resultaten van het pollen- en diatomeeënonderzoek in het gebied van de Papegaaibek laten zien dat deze methoden goede resultaten bieden voor de te onderzoeken afzettingen in het studiegebied.

Indien er bodems zijn ontwikkeld is ook aan te bevelen om micromorfologisch onderzoek uit te voeren naar de bodemontwikkeling omdat dit inzicht kan geven over de duur van de droogvallingsperiode.

De archeologisch relevante laageenheden die bedreigd worden door de aanleg van de haven liggen op een diepte tussen de 18 en 24 m – NAP. De bodem van de Yangtzehaven zal in de toekomst op 21 m – NAP komen te liggen. Het valt echter te verwachten dat in de verdere toekomst de verstoringsdiepte lager komt te liggen omdat de haven op diepte gehouden zal moeten worden. Bij die baggerwerkzaamheden blijft de kans reëel dat het ondervlak onregelmatig wordt uitgebaggerd. Daarom bevelen wij aan een bufferzone van 2 m aan te nemen beneden de geplande havendiepte. Deze bufferzone van 21 – 23 m -NAP zal verkend moeten worden via aanvullend archeologisch vooronderzoek (onderzoeksfasen 2 en 3).

Het wordt aanbevolen om de laageenheden tussen de 18 en 23 m –NAP vanaf het water op een schip seismisch te onderzoeken en daarna te bemonsteren (steekboringen). Voorwaarde voor dit onderzoek is dat de haven uitgebaggerd is tot een niveau van ca. 17 m –NAP. Momenteel is dit voor een deel van het havengebied al het geval. Het seismisch onderzoek heeft een diepte bereik van 5 tot 10 m –NAP in de grondlagen. De ontwikkeling van een recente bodemsliblaag verslechterd het 'zicht' van de metingen maar is geen onoverkomelijke beperking (mondelinge mededeling dr. Cees Laban). Indien de waterdiepte 15 m of minder is, is dit bovenliggende sedimentdek wel een onoverkomelijk obstakel voor het meten vanaf het schip omdat dan de relevante lagen niet bereikt worden met het seismisch onderzoek. Datzelfde geldt ook voor de steekboringen genomen met de hydraulische boorinstallatie vanaf een schip. Dit steekapparaat kan tot maximaal 6 m onder de waterbodem boren. Indien de haven is uitgebaggerd tot een diepte van 17 m –NAP, dan kan met dit apparaat gemonsterd worden tot maximaal -23 m NAP. De diameter van de steekkern (liner) van het boorapparaat is 70 of 100 mm. Aanbevolen wordt de 70 mm liner te gebruiken omdat de opbrengst op grotere diepte meer gegarandeerd is.

Voordeel van het werken van een schip is dat er snellere en betere resultaten geboekt kunnen worden, wat de kosten voor het veldwerk van onderzoeksfase 2 sterk drukt. Indien het niet mogelijk is het de hele haven uit te baggeren tot -17 m NAP voor de uitvoering van

het archeologisch vervolgonderzoek fase 2, dan zullen andere (steekboor)technieken gebruikt moeten worden die zijn kostbaarder en hebben een slechtere opbrengst.

Ad 4. De steekkernen maken het mogelijk om OSL-monsters te nemen uit de basale zandige eenheden (eenheid rivier en zanden uit de zand/klei/veen eenheid). Hiermee kan de laterale samenhang en/of potentiële versnijding worden geëvalueerd. In het geval van versnijding zullen er grote ouderdomsverschillen bestaan tussen de hoger (ouder) gelegen zanden en de lager (jonger) gelegen zanden.

Popularisering

De uitkomsten van het archeologisch onderzoek (onderzoeksfase 1 t/m 3) lenen zich goed voor 'popularisering' van het onderwerp. Dit kan dienen om het brede publiek een indruk te geven over de landschapsontwikkeling die de ondergrond van de Maasvlakte heeft doorgemaakt en wat dit betekend heeft voor de mens die in de steentijd in de delta geleefd heeft.

Geo-archeologisch onderzoek, dat op grote diepte moet plaats vinden, is bijzonder. Daardoor worden methoden en technieken gebruikt (bijvoorbeeld de koppeling tussen geotechnisch en geoarcheologisch vooronderzoek) die niet gangbaar zijn in de dagelijkse praktijk van de archeologische prospectie in Nederland. Het bezoekerscentrum van de Yangtzehaven is de geëigende plaats voor een demonstratie van het archeologisch onderzoek dat in het kader van de aanleg van de haven wordt uitgevoerd.

5 Referenties

Hessing, W.A.M, C. Sueur, P.C. Vos & S. Webster, 2005. Maasvlakte 2 : Archeologisch vooronderzoek fase 1. Bureauonderzoek, risico-analyse en aanbevelingen voor vervolgstappen. Vestigia rapportnummer V165, 46 pp.

Verhart, L.B.M., 1988. Mesolithic barbed points and other implements from Europoort, The Netherlands, in OMROL 68/1988, p. 145-194.

Vos, P.C. & S. De Vries, 2007. Geologisch vooronderzoek Papegaaibekhaven en Kop van Beer. TNO-rapport 2007-U-R1164/B, 15 pp. en 12 bijlagen.

A Modelberekening

De volgende vlakken zijn op basis van de interpretatie van de sonderingen geïnterpoleerd:

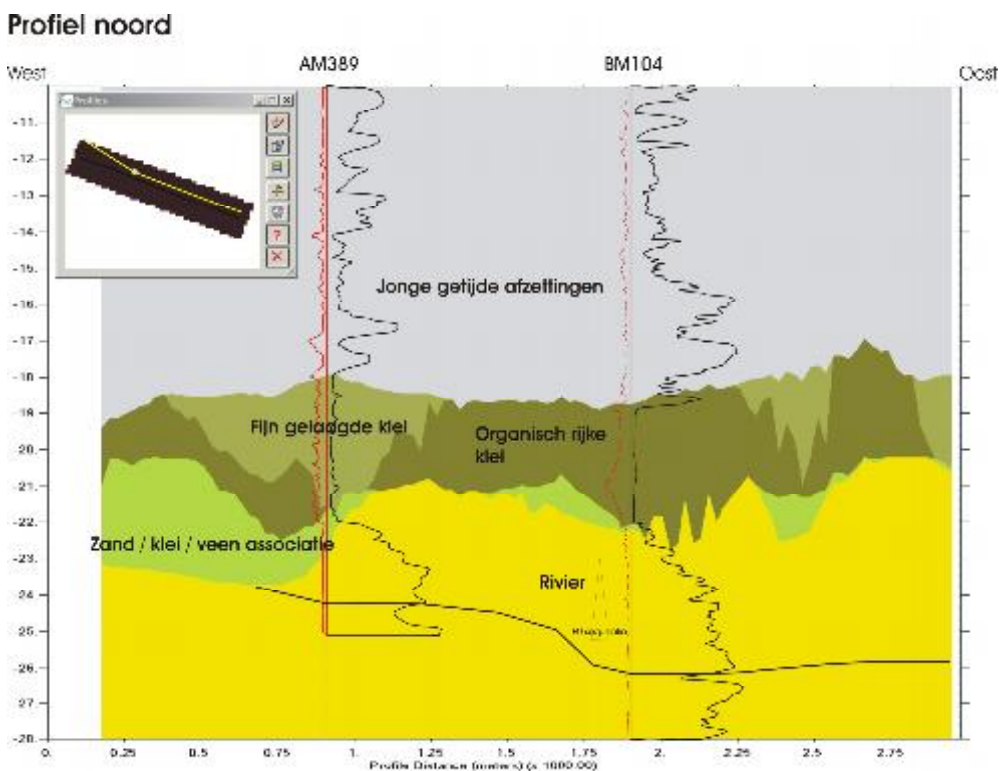
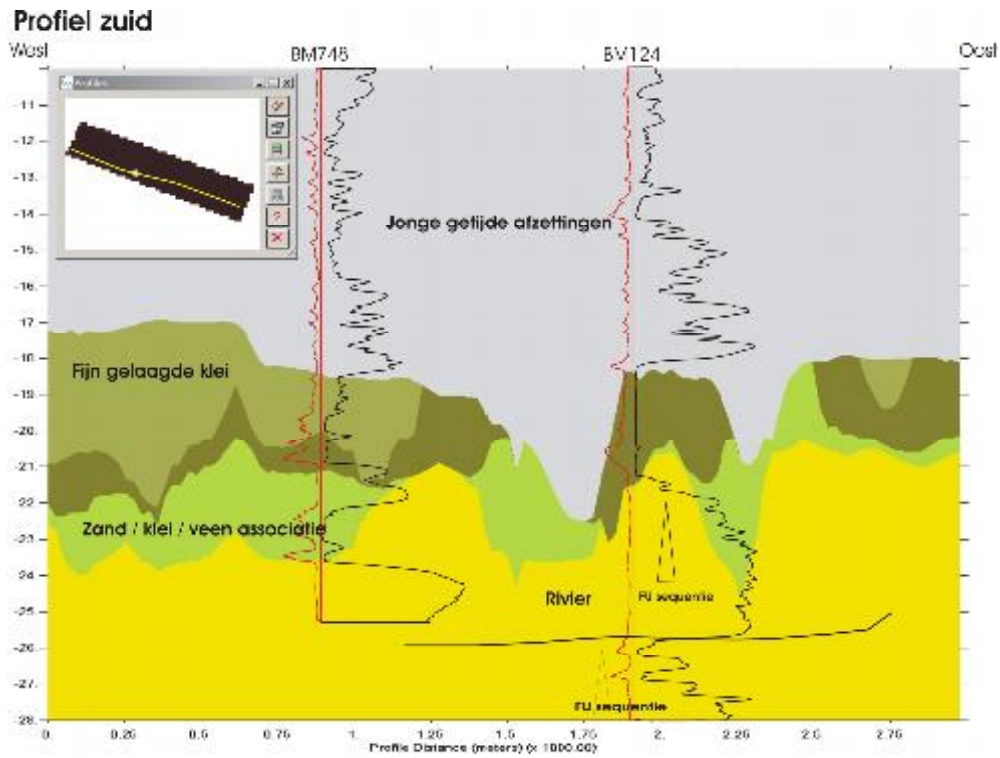
1. Erosiebasis. Dit is de basis van de jonge getijdenafzettingen.
2. Top organisch rijke afzettingen. De ruimte tussen dit niveau en de erosiebasis omvat de fijngelaagde klei.
3. Top rivier. Dit vormt het ondervlak van de organisch rijke afzettingen.
4. Top zand. Dit omvat de stroomgordel en het naastgelegen Pleistocene zand.

De gekozen interpolatietechniek is kriging. In deze interpolatie wordt rekening gehouden met de ruimtelijke correlatie tussen datapunten. Met name in vlakken die gestuurd worden door geologische processen, vertonen datapunten een correlatie. Dat wil zeggen langs geologische structuren (bv in een geul) lijken de datapunten statistisch meer op elkaar dan punten die loodrecht op deze structuur staan. De correlatie kan gemodelleerd worden met een zogenaamd variogram. De datapunten, samen met het variogram en een neighbourhood (~zoekcirkel) vormen de inputdata voor de interpolatie.

Voor elk vlak zijn een variogram en een zoekcirkel bepaald.

De interpolatie levert vier 2D vlakken op, echter doordat de vlakken onafhankelijk van elkaar geïnterpoleerd worden, kunnen deze vlakken elkaar nog kruisen. Dit is geologisch/stratigrafisch gezien echter onmogelijk. Daarom moet het model (de vier vlakken) nog consistent gemaakt worden, met andere woorden de vlakken worden dusdanig aangepast dat het een geologisch consistent model wordt. Daarbij zijn de top zand (het onderste vlak) en de erosiebasis (het bovenste vlak) leidend. Door het consistent maken wordt duidelijk welke vlakken (en dus welke eenheden) waar aanwezig of afwezig zijn. Het geologisch consistente model is vervolgens per vlak geëxporteerd naar ArcGIS formaat.

B Lengtedoorsneden door het model



Profiel midden

