

Plangebied Zeeheldenwijk, Urk, gemeente Urk: zettingsonderzoek

RAAP Adviesdocument 1205

Type onderzoek : Bureauonderzoek (zettingsonderzoek)
 Toponiem plangebied : Zeeheldenwijk
 Plaats : Urk
 Gemeente : Urk
 Provincie : Flevoland
 Opdrachtgever : gemeente Urk via The Missing Link
 RAAP-projectcode : MILI

Auteur(s) : dr. [REDACTED]
 met bijdragen door dr. ir. [REDACTED], [REDACTED], ir. [REDACTED]
 (allen Arcadis)

Versie : 29-07-2021

1. Inleiding

De gemeente Urk ontwikkelt het plangebied Zeeheldenwijk voor woningbouw. Ook wordt een bedrijventerrein gerealiseerd. Hiervoor is permanente ophoging van het huidige maaiveld noodzakelijk. De ophogingspakketten zullen hier overwegend tussen 0,5 en 1,0 m dik worden, en incidenteel iets minder dik dan 1,5 m. Om dit werk uit te kunnen voeren moeten ook tijdelijke gronddepots ingericht worden. Daar kan het pakket opgebrachte grond tot 2,0 m dik worden. Ophoging zorgt voor drukverzwaring, met als gevolg dat archeologisch relevante grondlagen (bepaalde klei- en veenniveaus) zetting ondervinden die een negatief effect kan hebben op de daar verwachte archeologische waarden.

Voor het aspect archeologie binnen plangebied Zeeheldenwijk is een behoudsmaatregelenplan opgesteld. Daarin is ook de zettingsproblematiek aangestipt en is een onderzoekstrategie aangegeven, uitgaande van een "bureau-zettingsonderzoek". Binnen de gebieden waar volgens de archeologische verwachtingskaart sprake is van een hoge en een middelhoge archeologische verwachting wordt bepaald waar zettingsonderzoek vermoedelijk het meest effectief (lees: representatief en geschikt voor extrapolatie) zal zijn. Op basis van de boorbeschrijvingen van de geselecteerde boorlocaties dient de natuurlijke zetting in het verleden, veroorzaakt door het gewicht van oude sedimentafzettingen, berekend te worden.

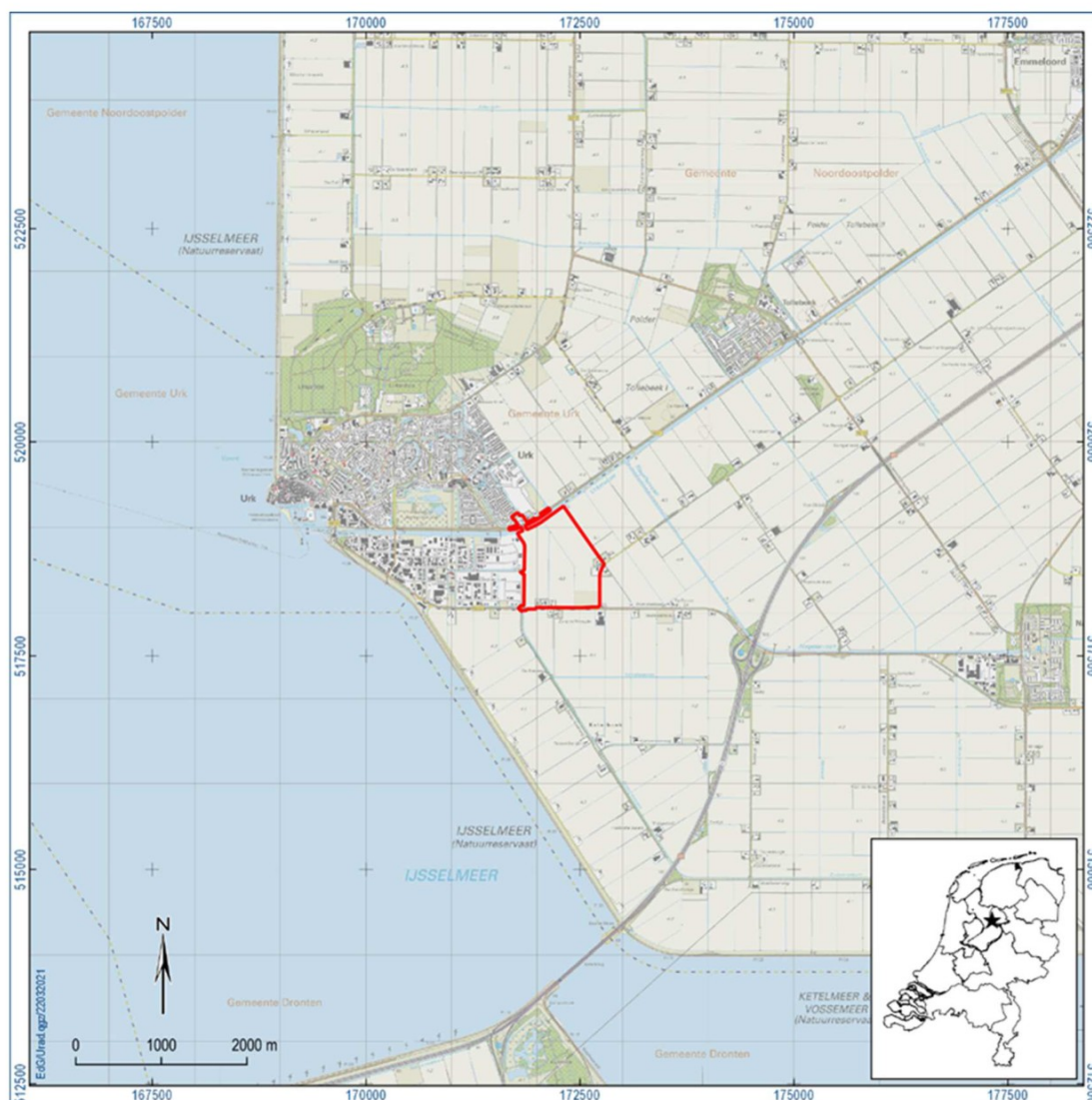
In de geest hiervan zijn in samenspraak met de provincie boorlocaties/boringen geselecteerd. De geselecteerde boringen worden geacht min of meer representatief te zijn voor het gehele onderzoeksgebied: op basis hiervan zou globaal de orde van grootte van de zetting elders, onder de bovengenoemde ophogingen, in te schatten moeten zijn.

Vervolgens zijn in samenspraak de onderzoeksvragen geformuleerd. Deze zijn niet alleen gericht op de zetting in het verleden maar ook op de verwachte toekomstige zetting bij de uiteenlopende grond ophogingen.

Dit rapport bevat de door Arcadis uitgevoerde zettingsberekeningen met de bijbehorende toelichting, en een interpretatie van de bevindingen vanuit archeologisch perspectief.

Onderzoeksdoel

Op basis van dit rapport kan de vergunningverlener een besluit nemen over de vereiste maatregelen.



Figuur 1. De ligging van het plangebied.

2. Onderzoeksopzet

2.1 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen zijn de volgende:

Wat is voor de geselecteerde boringen de zetting in de archeologisch relevante, zettingsgevoelige trajecten (dus de zetting in de "natte" sedimenten/sedentaten: klei en veen) in globaal de eerste meter boven het vaste zand bij ophogingen (ophogingen) met respectievelijk 0,5, 1,0, 1,5 en 2,0 m grond?

Hoe verhoudt deze zetting zich met de al opgetreden zetting als gevolg van de sedimentatie van het afdekkend zandpakket (zandige Almere-afzettingen, ook aangeduid als sloefafzettingen)?

2.2 Selectie boringen

De te beoordelen boringen zijn op representativiteit geselecteerd door dr. [REDACTED] (RAAP; archeologisch inhoudelijk adviseur namens Gemeente Urk) in samenspraak met [REDACTED] (Archol; archeologisch inhoudelijk adviseur namens Provincie Flevoland). Het gaat met name om boringen binnen de gebieden met een hoge archeologische verwachting, dat wil zeggen met rivierduinzand vanaf 8,0 m en hoger, ter plaatse van steile hellingen en ter plaatse van gebruikelijke hellingen, en om een enkele boring daarbuiten, in het gebied met een middelhoge verwachting, het gebied waar resten van watergebonden activiteiten (visserij) verwacht worden. Een beperkende basisvoorwaarde bij de selectie was dat in alle boringen het vaste zand bereikt moet zijn (wat bij veel boringen in het gebied met middelhoge verwachting niet het geval is).

In eerste instantie zijn 12 boringen geselecteerd, verdeeld over drie raaien met drie tot vijf boringen en een losse boring; zie bijlage 1 voor de boorlocaties):

- steile helling westzijde noordoostelijke duin¹: 6184 (5,46 m -NAP) - 6180 (7,95 m -NAP) - 164 (10,78 m -NAP)
- steile helling oostzijde meest noordelijke duin: 6323 (5,30 m -NAP) - 6327 (-7,07 m -NAP) - 6324 (-9,45 m -NAP);
- een gebruikelijke helling noordkant grote noordwestelijke duin: 6041 (5,16 m -NAP) - 6033 (6,75 m -NAP) - 6032 (8,16 m -NAP) - 136 (9,07 m -NAP) - 130 (9,07 m -NAP);
- een geïsoleerd diep punt in het noorden/noordoosten langs de noordoostelijke plangrens: 6339 (9,81 m -NAP).

De boringen waarin het rivierduinzand het hoogst zit (gecursiveerd) vallen voor het zettingsonderzoek af: bij deze boringen is sprake van zandige sloefafzettingen op rivierduinzand en in zand treedt geen zetting op. Omdat het binnen het beschikbare tijdsbestek praktisch onmogelijk was om alle resterende boringen te analyseren, heeft ARCADIS verzocht aan te geven wat de archeologisch relevante trajecten zijn, en wat bij de boringen de prioritering is. Dit is door [REDACTED] gedaan, zie bijlage 2. De prioriteit in aflopende volgorde is: 6032, 6033, 6324, 6327, 6180, 6339, 130, 164, 136. In eerste instantie zijn de eerst genoemde 5 boringen uitgewerkt.

Vervolgens is op basis van de resultaten van die eerste vijf boringen besloten om twee extra boringen te analyseren: boring 6049 (5,47 m -NAP) en boring 6051 (6,13 m -NAP) aan respectievelijk de west-

¹ Naderhand zijn hier nog enkele boringen gezet waaruit blijkt dat hier toch geen steile helling aanwezig is, maar een gebruikelijke helling.

en de oostkant van het grote noordwestelijke duin. Daar is ondanks de relatief hoge ligging van het rivierduin toch nog sprake van afdekkend, intact veen. Deze extra boringen geven dus inzicht in de mate van zetting van de hoogste archeologisch relevante veentrajecten.

2.3 Compleetheid

Meer onderzochte boringen betekent vanzelfsprekend een beter/breder inzicht in de variatiebreedte in zetting bij uiteenlopende laagdikten en laagtypen, en bij uiteenlopende dikten van de sloefafzettingen. Zoals hierboven gemeld is, zijn op basis van de volgende geselecteerde boringen geen berekeningen uitgevoerd:

- Boring 6339: effect ophoging op 40 cm Unio-kleipakket op 30 cm veen op zand op 9,80 m - NAP: dit gemis wordt enigszins ondervangen door boring 6032.
- Boring 130: effect ophoging op 1 m dik Unio-kleipakket op zand op 9,5 m -NAP: dit gemis wordt enigszins ondervangen door boring 6327.
- Boring: 164: effect ophoging boven een maar liefst 6,5 m dik sloefpakket op 25 cm dik Unio-kleipakket op zand op bijna 11 m -NAP; hier is geen goede ondervanging voor, maar aangenomen mag worden dat hier de onderliggende klei al in zeer sterke mate aan zetting onderhevig is geweest, en sterk gecompriëerd is.
- Boring 136: effect op ca 2,5 m dik (verondersteld) veenpakket op zand op 9 m -NAP: wordt enigszins ondervangen door boring 6032.

Bij de in § 2.2 genoemde prioritering is de nadruk gelegd op boringen in het gebied met een hoge verwachting, met het oog op eventuele afvallagen in de natte sedimenten in de eerste 1 m boven het vaste zand. Samen met de twee extra boringen 6049 en 6051 zijn er voldoende voorbeelden voorhanden die een beeld geven van de zetting van de eventueel archeologisch relevante trajecten boven het vaste zand, vanaf 8,16 m -NAP tot 5,47 m -NAP. Hoger dan 5,47 m -NAP is geen zinvol te analyseren intacte veenlaag met nog een redelijke dikte voorhanden. Voor het gebied met een hoge verwachting lijkt er genoeg informatie te zijn om te kunnen generaliseren (zie verder).

De afgevallene boringen zouden juist wat meer houvast kunnen verschaffen voor de zettingsvariatie in het Unio I-kleipakket in het gebied met een middelhoge verwachting, bij de zandtrajecten dieper dan 8,0 m (concreet 9-11 m -NAP). Daarbij moet worden opgemerkt dat in het gebied met een middelhoge verwachting vaak de zanddiepte onbekend is. Meestal betekent dit: (veel) dieper dan 9,5 m -NAP. Te verwachten is dan dat daar de Unio I-kleipakketten dikker zullen zijn, en dat de top ervan dieper ligt naarmate het vaste zand dieper ligt. Hoe dieper de top van de Unio I-klei zit, hoe geringer de zetting is geweest (zie hieronder). Wel onderzocht is de zetting in boring 6324, alwaar het zand op 9,5 m -NAP zit, en de Unio I-klei juist opvallend hoog zit (top op 6,27 m -NAP). Er is bijna geen andere boring waarin de Unio I-klei even hoog of hoger zit. In boring 6324 zal de zetting in de Unio I sterker zijn dan in de dieper gelegen Unio I-klei-pakketten in de niet-onderzochte bovengenoemde boringen. Met andere woorden: met boring 6324 lijkt wel een indruk verkregen te zijn van de te verwachten maximale zetting van de Unio I-klei, te meer omdat het kleipakket in boring 6324 heel dik is (ca 3 m).

Als aanvulling kan boring 6032 (top Unio I op 7,06 m-NAP, dikte 110 cm, zanddiepte 8,16 m -NAP) een indruk van vermoedelijk de minimale zetting van de Unio I-klei voor de terreindelen waar het dekzand relatief hoog zit, tussen 9,0-8,0 m -NAP.

3. Resultaten

3.1 Berekeningen

Zie bijlage 3 voor de door Arcadis berekende zettingswaarden van de geselecteerde boringen.

3.2 Toelichting op de rekenmethode

Bisschop en [REDACTED] toevoegingen tussen vierkante haken: [REDACTED]

Gevraagd is om van de lagen waarin archeologische waarden kunnen voorkomen, zoals opgegeven door de archeologen, te berekenen wat de invloed is van de voorgenomen ophoging t.b.v. de aanleg van de Zeeheldenwijk. Deze ophoging bedraagt 0,5 tot 1,5 m [lees 2,0 m]. Tevens is ingeschat wat de zetting is van de genoemde lagen, vanaf het moment dat deze lagen zijn afgezet. Deze zetting [met name de zetting veroorzaakt door de sedimentatie van de zandige Almere-afzettingen] is ingeschat om te vergelijken wat de archeologische waarden reeds aan zetting hebben ondervonden t.o.v. de zetting die nog te verwachten is als gevolg van de aanleg van de Zeeheldenwijk.

Per laag (zie geel gekleurde vakken) is aangegeven wat de zetting van de bovenkant van de laag is. Wel is elke laag in twee [even dikke] sub-lagen verdeeld, zodat ook de zetting berekend is in het midden van de laag. [De zetting in de basis van de laag is gelijk aan de zetting in de top van de laag eronder]. Onderstaand een beknopte uiteenzetting van de uitgangspunten en aanpak:

Zetting relevante trajecten t.g.v. verschillende ophogingen

- De zettingen zijn bepaald voor 7 archeologische boringen, waarbij de slappe lagen boven het vaste zandpakket elk zijn verdeeld in 2 [even dikke] sub-lagen. De [voor archeologie relevante] lagen zijn geel aangegeven in de excelsheet.
- Deze 7 archeologische boringen zijn elk vergeleken met een maatgevende sondering/boring in de buurt. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen de archeologische benaming en geotechnische benaming van de lagen. De geotechnische parameters zijn gebruikt om de zetting van de bovenkant van de verschillende sub-lagen te berekenen t.g.v. 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m en 2 m ophoging.
- Voor elke archeologische boring is bepaald in welke vak deze zit met bijbehorende totale ophoging. Deze is dan vergeleken met bovenstaande opties van ophogingen. De zetting bij de meest dichtstbijzijnde ophoging is gekozen (en geel gekleurd in de excelsheet) om een zo realistisch mogelijke weergave te geven van de verwachte zettingen. Een overzicht van bovenstaande uitgangspunten is weergegeven in de onderstaande tabel.

Boring	Vak	Maatgevende sondering/boring	Totale ophoging [m]
B 6032	3-1	D81	1,28
B 6033	3-1	D82	1,28
B 6324*	1B.5	D101	-
B 6327*	1B.5	D101	-
B 6180	3-4	D78	0,47

*B 6324 en B 6327 liggen buiten het project gebied en de maatgevende sondering ligt niet in de buurt van deze boringen. De grondopbouw van de archeologische boringen is aangehouden. De totale ophoging is aangenomen op 1,5 m.

NA OVERLEG: WEGLATEN?

3.3 De natuurlijke zetting t.g.v. de zandige Almere-afzettingen en het effect van de nieuwe zetting ten opzichte van de natuurlijke zetting: het zoeken naar een realistische erosiegrens van het veen

en

De zetting die de "natte" sedimenten in het verleden al hebben ondergaan, is veroorzaakt door de zandige onderwaterafzettingen: Almere-afzettingen, ook wel sloef-afzettingen genoemd. Om de zetting tot op heden (de "natuurlijke" zetting) te kunnen berekenen, moet bepaald worden tot hoe hoog het veen nog reikte bij aanvang van de sedimentatie van die Almere-afzettingen.

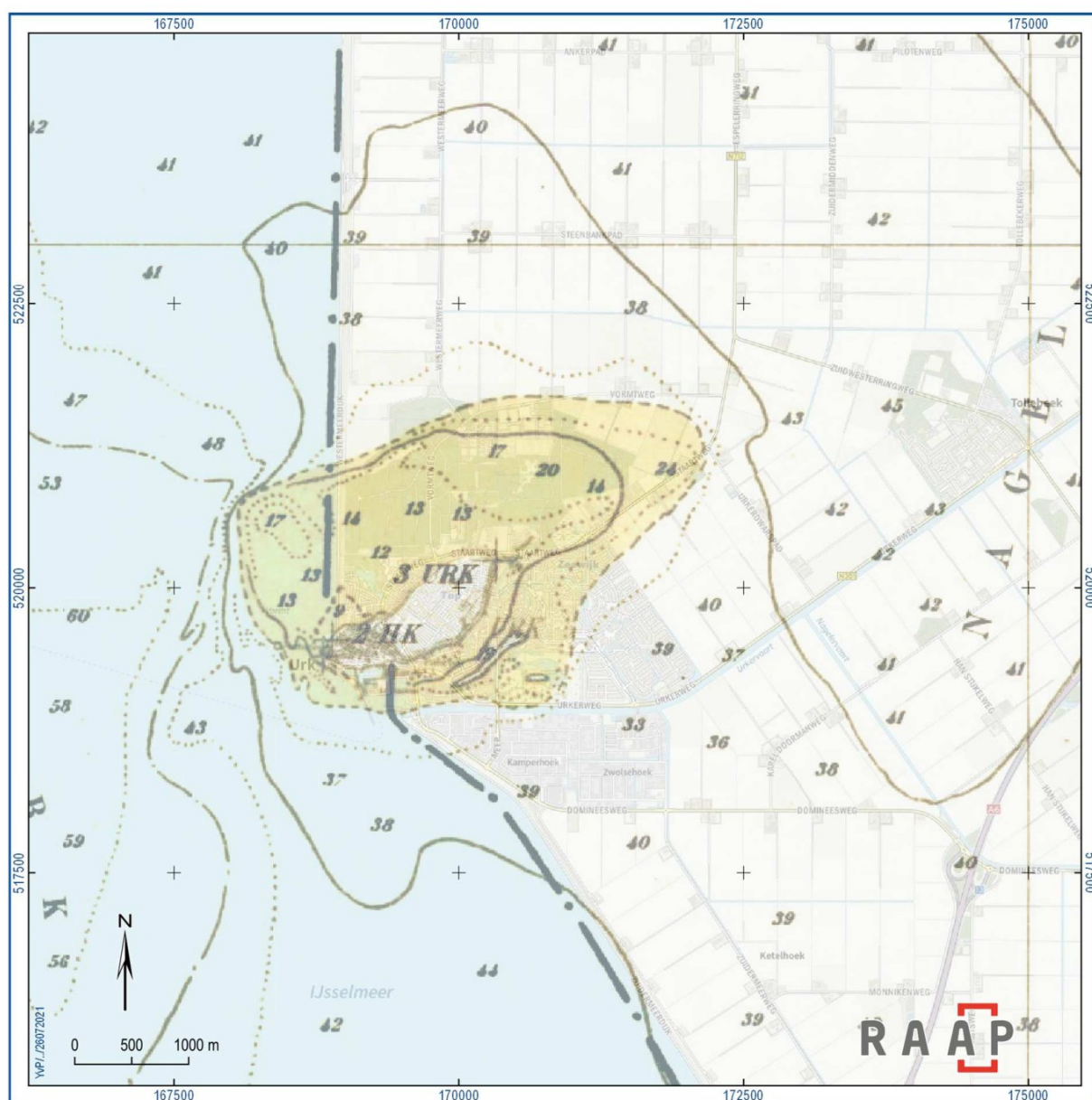
Het intacte veen in het plangebied bestaat uit laagvenen (riet-, rietzegge-, zegge- en bosveen) dat tot in het late neolithicum gevormd kan zijn. Daarna ontstonden hoogveenkussens (herkenbaar als bijvoorbeeld mosveen, dat echter nergens meer in het plangebied aanwezig is), waarna in de loop van de bronstijd, vanaf ca. 1500 v. C het veenlandschap gaandeweg verdronk als gevolg van stagnatie van de waterafvoer. De meeruitbreidingen die hiervan het gevolg waren, gingen gepaard met erosie van het veenlandschap. Vervolgens resedimenteerde het geërodeerde materiaal, overwegend verslagen veen en gyttja, onder rustige omstandigheden, tot ongeveer het jaar 0, waarna de onderwatersedimentatie van de Almere-afzettingen begon, onder turbulentere omstandigheden.

Zoals gezegd dateert het jongste laagveen uit het late neolithicum. Dat veen kan gezien de toenmalige grondwaterstanden tot maximaal ca. 3,0 m -NAP gereikt hebben, misschien enkele decimeters hoger, voordat de top ervan (en het bovenliggende hoogveen) werd weggeslagen en opgeruimd vanaf de bronstijd. Een indicatie voor het maximale erosieniveau leveren enkele boringen in het plangebied waarin de sloefafzettingen direct op de (afgetopte) rivierduinen liggen, op diepten tot ca. 5,1 m -NAP. Dan zou te verwachten zijn dat het omringende veen eveneens incidenteel tot dergelijke diepten aangetast zou kunnen zijn. Overigens is elders de top van de rivierduinen soms nog tot 4,3 m-NAP bewaard gebleven; het kan dus zeker niet zo zijn dat er sprake is geweest van een algemene erosie tot ca. 5,1 m -NAP.

Arcadis heeft aan de hand van twee van de geselecteerde boringen berekend wat een geërodeerde veendiepte van 5,1 m -NAP (= de basis van de sloefafzettingen) betekenen zou voor de mate van zetting sinds het begin van de sloefafzettingen tot heden.

Bij boring B6032 geeft deze aanname een hypothetische natuurlijke zetting van 21 cm en bij boring B6033 een hypothetische natuurlijke zetting van 13 cm. De nieuwe zetting bedraagt voor deze boringen

respectievelijk 6 en 5 cm bij 0,5 m ophoging, en 38 en 25 cm bij 2 m ophoging: een relatieve toename van 30-35 % bij 0,5 m ophoging, en 180-195 % bij 2,0 m ophoging. *Deze uitkomsten zijn niet realistisch:* gelet op de dikte van de slappe, zeer samendrukbare lagen en gelet op de bodemdaling vanaf de inpoldering moet er veel meer zetting opgetreden zijn, minimaal 0,6 m (en daarbij komt dan nog de (onderwater)zetting die vanaf medio het jaar 0 is veroorzaakt door de sloefafzetting). Dat is als volgt aantoonbaar: het huidige maaiveld in het plangebied ligt tussen ca. 4,2 in het zuiden en 4,9 m -mv in het noorden. De topografische kaart van 1951 geeft maaiveldwaarden rond 4,0 m -NAP. Een (onderwater)dieptekaart van 1935, gemaakt door de Dienst der Zuiderzeewerken, geeft een voor het plangebied globaal een diepte van 3,6 m -NAP (zie figuur 2). Dat betekent dat sinds de inpoldering al een natuurlijke zetting van 0,6-1,3 m moet zijn opgetreden; aanzienlijk meer dus dan de berekende hypothetische zettingen van 21 en 13 cm.



Figuur 2. De onderwaterdieptekaart (diepten in dm) uit 1935, geprojecteerd op de huidige topografie.

Met behulp van het programma D-Settlement heeft Arcadis aanvullende berekeningen gemaakt om te achterhalen wat de totale natuurlijke zetting is geweest, vanaf het jaar 0 tot heden. Na een aantal verkennende berekeningen is de erosiegrens van het veen (= basis van de sloefafzetting) aangenomen op 4,0 m -NAP. Dat is een erosiegrens die beschouwd is als *de absolute ondergrens* van wat nog min of meer reëel kan zijn, maar die eerder al enkele decimeters te diep lijkt te zijn; een gemiddelde erosiegrens rond 3,5 m -NAP lijkt aannemelijker.

De gehanteerde uitgangspunten zijn:

- Het volumieke gewicht van de zandige sloefafzetting is aangenomen op 18 kN/m³.
- Er is gerekend met een huidige grondwaterstand op 5,70 m -NAP.
- In D-Settlement is er gerekend met het [REDACTED] model, consolidatie volgens [REDACTED]
- Bij het berekenen van de zetting in D-Settlement is er gekozen om zonder grensspanning te rekenen voor de bovenste veenlaag (bezonden materiaal).
- Ook is de tijdsperiode in D-Settlement aangepast naar de helft van de voorheen gekozen tijdsperiode (2021 jaren). Dit, omdat in werkelijkheid sloefafzetting langzaam is opgebracht en niet in 1 keer.
- Tenslotte zijn er voor de veenlaag stijve parameters gehanteerd.

De op basis hiervan berekende zetting, voor de boringen 6032 en 6033 resp. 111 en 80 cm, is dus als de *minimale zetting*; in werkelijkheid zal de natuurlijke zetting sterker geweest zijn, bijvoorbeeld al omdat de zetting sinds de inpoldering bij een veronderstelde erosiegrens van 4,0 m -NAP minder dan 0,6 m is (voor boringen 6032 en 6033 respectievelijk 42 en 34 cm). Dit betekent dat de relatieve toename van de zetting als gevolg van de nieuwe ophogingen in werkelijkheid minder zal zijn dan de percentages aangeven (bij een nieuwe ophoging met 0,5 m 4 % en bij een nieuwe ophoging met 2,0 m 25% en 22 %).

Bij de extra boringen 6049 en 6051 (waar het rivierduinzand hoger zit en de natuurlijke zetting sterker is geweest) is, uitgaande van een erosiegrens van 4,0 m -NAP, de relatieve toename van de zetting bij een nieuwe ophoging met 0,5 m 2 tot 3 % en bij een ophoging met 2,0 m 14 %; ook deze percentages zijn in werkelijkheid te hoog.

Naast zetting treedt er ook een laterale verplaatsing op in de samendrukbare lagen. Door de aanwezigheid van een relatief stijve bovenlaag (de sloefafzetting) is de verwachting dat de laterale verplaatsing in de slappe lagen beperkt blijft tot een orde van grootte van 0,1-0,15 m vlak naast de ophoging.

4. Interpretatie van de bevindingen

Op basis van de aangeleverde berekeningen kan het volgende worden geconcludeerd:

- Ongeacht de archeologisch vastgestelde minerale variatie van het veen- of kleipakket, gaat het in de geotechnische vertaling telkens om slappe lagen.
- Binnen een boring/verticaal traject/kolom is de zetting door de toekomstige ophoging hoe hoger hoe sterker en hoe dieper hoe minder. In de top van het hoogste archeologisch relevante niveau is de zetting dus steeds het grootst. Naar onder toe neemt deze af. De mate waarin is afhankelijk van de dikte van de lagen. Aan de basis van het diepste archeologisch relevante niveau (direct boven het zand) is niet of nauwelijks sprake van zetting.
- Volgens de opgegeven waarden is de zetting bij een ophoging met 2,0 m dubbel zo groot als bij een ophoging met 1,0 m. De zetting ligt bij een ophoging met 1,5 m ongeveer halweg de zettingen bij een ophoging met 1,0 m en met 2,0 m. De zetting is bij een ophoging met 1,0 m driemaal zo groot als de zetting bij een ophoging met 0,5 m. Kennelijk maakt het hierbij niet uit of het om veen of om klei gaat. Dit zijn belangrijke spelregels bij het generaliseren.
- Archeologisch relevant is bij de rivierduinen globaal de eerste meter boven het zand. Generaliserend kan voor plangebied Zeeheldenwijk gesteld worden dat de nieuwe zettingen van een archeologisch niveau in veen of klei, in de eerste meter boven rivierduinzanddiepten variërend tussen 8,0 en 5,5 m (hoger is praktisch geen veen meer bewaard) bij een ophoging met 1,0 m nieuwe grond maximaal 7 cm zal gaan zetten. Bij een ophoging met 2,0 m nieuwe grond gaat het om maximaal 14 cm.
 Die maximale zetting geldt als de top van de archeologische laag 1 m boven het zand ligt. Als deze zich lager in dat traject van 1 m bevindt, is de zetting ook minder: op ca. 50 cm boven het zand is die nog ongeveer de helft van de hierboven genoemde waarden. Vlak boven het zand is de zetting verwaarloosbaar.
 Zoals hierboven al is aangegeven, gaat het daarbij om een maximale toename ten opzichte van de natuurlijke zetting in de orde van grootte van 2-4 % bij ophogingen met 0,5 m grond, en in de orde van grootte van 14-25 % bij ophogingen met 2,0 m grond, waarbij aangetekend wordt dat de werkelijke percentages van de nieuwe zetting ten opzichte van de reeds ondervonden zetting aanmerkelijk lager zullen zijn.
- Voor de gebieden met middelhoge verwachting is de zetting van het Unio I-kleipakket van belang: in de top, halweg en in de basis (voor zover niet direct op zand gelegen, want dan is de zetting zo goed als afwezig). Generaliserende uitspraken over de range van de zetting in de Unio I-afzettingen zijn op basis van de resultaten niet goed te geven. Het is echter onwaarschijnlijk dat de zetting elders forser zal zijn dan op basis van boring 6324 berekend is, want de Unio I-klei ligt in boring 6324, zoals hierboven al opgemerkt is, opvallend hoog en verschaft daarmee een maximale zettingswaarde. Boring 6324 geeft bij een zanddiepte van ca. 9,5m bij een ophoging met 1,0 m grond, voor de hier relatief hoog gelegen top van het Unio-pakket een zetting van 24 cm, en bij de maximale ophoging met 2,0 m grond een zetting van 0,45 m. Halweg het bijna 3 m dikke kleipakket is sprake van een gehalveerde zetting. Voor de top van het Unio-pakket in het gebied met een middelhoge verwachting moet bij een ophoging met 1,0 m grond al snel rekenen met zettingen in de orde van grootte van enkele decimeters. Bij zanddiepten tussen de 9,0-8,0 m -NAP m en met de top van een ca. 1,0 m dik kleipakket

rond 7,0 m -NAP, zal bij een ophoging van 1,0 m de top van de Unio -I pakket een zetting ondervinden van 15-20 cm, en de basis enkele centimeters zetten (uitgangspunt: boring 6032).

- Aan de randen van een ophoging kunnen verticale bewegingen leiden tot zijwaartse verplaatsingen, en dat zal ook het geval zijn bij ophoging ter plaatse van steilranden in de vaste zandondergrond. Arcadis geeft aan dat de nieuwe laterale verplaatsingen als gevolg van de ophogingen vanwege de aanwezige, relatief stijve sloefafzettingen over het algemeen beperkt zullen zijn, rond 10 cm (expert judgement, er zijn geen berekeningen voor de zijwaartse verplaatsing uitgevoerd omdat deze gering zullen zijn). In het archeologisch slechtste geval, daar waar de Unio-klei hoog ligt en het vaste zand diep (de situatie rond het meest noordelijke rivierduin), gaat het om een zetting in de orde van grootte van 15 cm.
- Voor twee boringen is bekeken wat het effect van de maximale nieuwe zetting op een veronderstelde, nu nog 20 cm dikke samendrukbare archeologische laag (afvallaag) zou zijn die daarom in de top van het archeologisch relevante traject van 1 m boven het rivierduinzand is geplaatst, zie de onderstaande tabel. Die hypothetische archeologische laag wordt bij een nieuwe ophoging met 0,5 m 0,5 tot 1 cm samengedrukt, en bij een nieuwe ophoging met 2,0 m, 3,5- 5 cm samengedrukt.

hoge verw (diepte zand in m NAP)	meetpunt archeologisch traject (1m)	zetting bij ophoging (EO=eindophoging)							
		EO = 0,5 m	EO = 1,0 m	EO = 1,5 m	EO = 2,0 m	EO = 0,5 m	EO = 1,0 m	EO = 1,5 m	EO = 2,0 m
boring 6033 (-6,75)	boven in arch niveau (5,8 m -NAP)	0,03	0,09	0,13	0,17	3,0%	9,0%	13,0%	17,0%
	halfweg arch niveau (6,3 m-NAP)	0,01	0,04	0,07	0,09	1,0%	4,0%	7,0%	9,0%
		compactie afvallaag bij ophoging							
	top afvallaag 20 cm (in top arch niveau)	0,012	0,03	0,036	0,048	6,0%	15,0%	18,0%	24,0%
boring 6032 (-8,16)	boven in arch niveau (7,16m -NAP)	0,02	0,06	0,1	0,12	2,0%	6,0%	10,0%	12,0%
	halfweg arch niveau (7,71 m-NAP)	0,01	0,03	0,04	0,06	1,0%	3,0%	4,0%	6,0%
		compactie afvallaag bij ophoging							
	afvallaag 20 cm (in top arch niveau)	0,006	0,018	0,036	0,036	3,0%	9,0%	18,0%	18,0%
middelhoge verw (diepte zand in m - NAP)									
	meetpunt archeologisch traject (3,2m)								
boring 6324 (-9,45)	bovenin (6,27 m -NAP)	0,08	0,24	0,36	0,45	2,5%	7,5%	11,3%	14,1%
	onderin (9,34 m -NAP; ±10 cm boven zand)	0,005	0,015	0,015	0,025	0,2%	0,5%	0,5%	0,8%

Tabel 1. De zetting veroorzaakt door ophoging op een eventuele samendrukbare archeologische laag (afvallaag), en de zetting die objecten/structuren in het Unio I-kleipakket door ophoging ondervinden. Alle waarden zijn in m, tenzij anders aangegeven.

Voor boring 6322 is aangegeven wat de nieuwe zettingen van het Unio I-kleipakket zullen zijn, in de top en bijna bij de basis. Een eventuele fuik zal hiervan waarschijnlijk weinig schade ondervinden, ervan uitgaande dat deze horizontaal ligt en dat het vlechtwerk minder samendrukbaar is dan de omringende klei (zie hoofdstuk 4). Het effect op een visweer zal groter zijn. De mate ervan is afhankelijk van de diepte waarin deze zich in de klei bevindt: hoe dieper, hoe minder vervorming. Verticale elementen (staanders) worden meer samengedrukt en zullen daardoor vervormen, en als de visweer al scheef is komen te staan (wat meestal het geval is) kan deze verder scheefgedrukt worden, hoe hoger in de klei hoe meer.

5. Veronderstelde impact op de archeologische waarden: archeologisch informatieverlies?

In het gebied met een hoge archeologische verwachting zijn eventueel in het veen en klei uitwiggende, al dan niet zandige vondstlagen, met een breed scala aan artefactcategorieën tot enkele meters buiten het rivierduin te verwachten, en verder afgedankte objecten, zoals onbruikbaar geworden kano's en kleinere (met name houten) objecten.

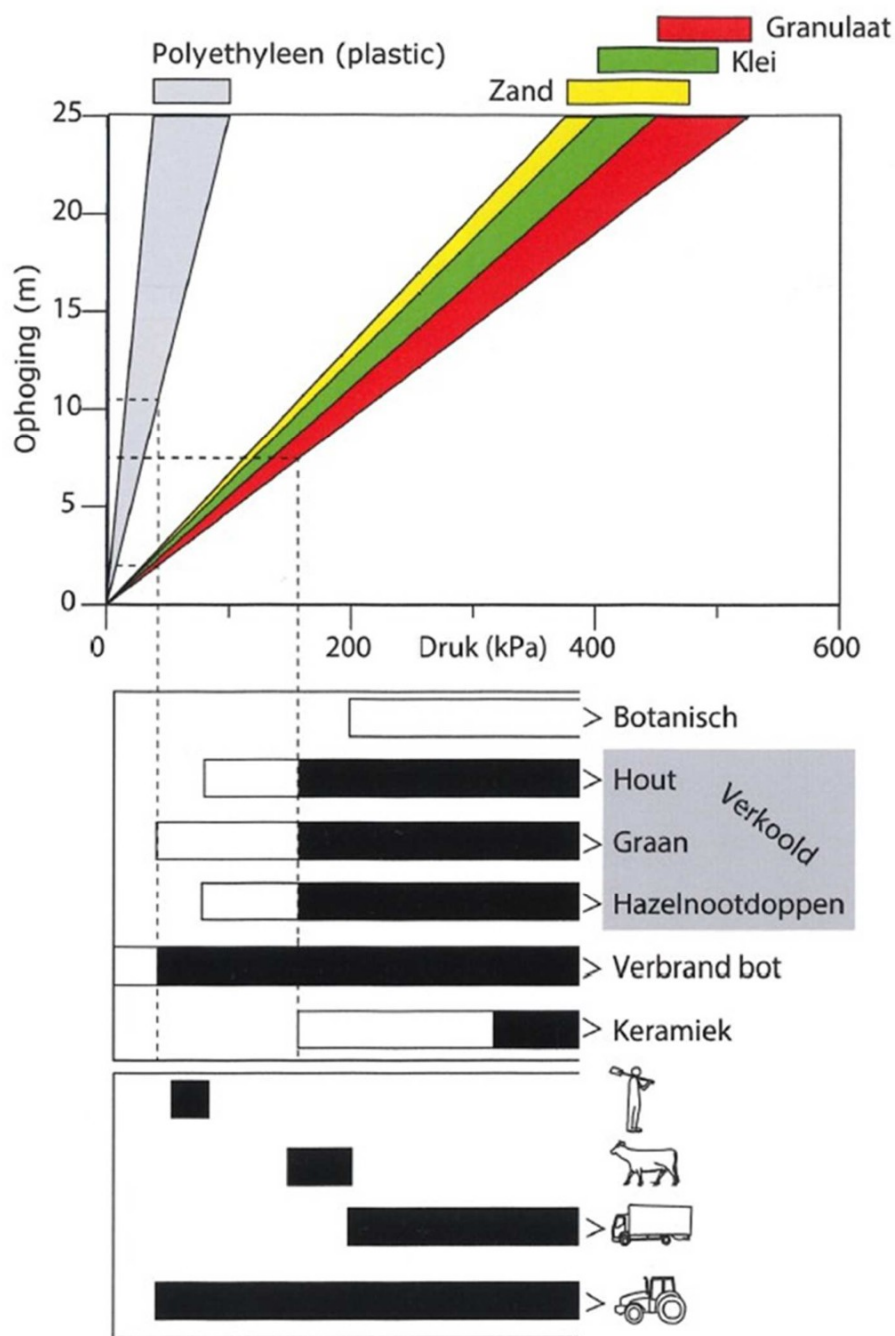
De verwachte archeologische waarden in het gebied met een middelhoge archeologische verwachting zijn objecten/structuren die aan de visvangst te relateren zijn: fuiken en visweren.

Recente literatuur over ophoging en het effect op archeologie leert het volgende:

- Als de opgebrachte grond uit zand bestaat (relatief grofkorrelig, goed doorlatend materiaal) en kleilagen in het ophogingspakket vermeden worden, hoeft men niet te vrezen voor verblauwing, waardoor grondsporen slechter of onleesbaar kunnen worden (■■■■■ & ■■■■■ 2019).
- Een bodem die al eens eerder belast is (in het geval van plangebied Zeeheldenwijk als gevolg van de sloefafzettingen die na de inpoldering en het verlagen van het grondwaterpeil geleid hebben tot zetting) is al samengedrukt, en zet bij een nieuwe ophoging minder, en minder snel (■■■■■ 2020, 74).
- Het effect van forse grond ophoging op individuele artefacten is verwaarloosbaar. Zelfs verbrande vissenwervels (de meest kwetsbare vondstcategorie) lopen pas bij ophogingen vanaf 2,5 m schade op, en voor de meeste vondstcategorieën geldt dat pas bij ophogingen vanaf 7,5 m. De druk als gevolg van het lopen van mens en dier, en van voertuigen (puntdruk) is gelijk aan de druk die veroorzaakt wordt door enkele meters ophoging (■■■■■ & ■■■■■ 2019), zie figuur 3!

Een groot object echter, zoals een kano, kan door zetting en zijdelingse verplaatsing wel beschadigd raken. De ervaring leert dat als gevolg van zetting in het verleden de boorden van kano's vaak al gebroken en wat verplaatst/verdrukt zijn. Die kunnen door nieuwe zetting verder neerwaarts verplaatst worden of afbreken. Als een deel van de kano op zand rust, en een deel niet, of een deel vlak boven het zand zit, en een ander deel nog enkele decimeters hoger in een "nat" sediment ligt, kan bijkomende zetting tot vervorming en uiteindelijk tot breuk leiden. De oorspronkelijke situatie blijft evenwel reconstrueerbaar; van archeologisch informatieverlies is hier alsnog geen sprake. Wel betekent het extra werk bij een eventuele restauratie.

Zoals hierboven al aangegeven is, kan zetting en laterale verplaatsing er bij visweren toe leiden dat de hele constructie wat schuiner komt te staan. Verticaal ingedreven elementen(palen) kunnen (verder) vervormen en uiteindelijk breken (zie figuur 4). Ook in dat geval blijft de oorspronkelijke structuur reconstrueerbaar.



Figuur 3. Relatie tussen ophoging en schade aan archeologisch materiaal. Boven: gekleurde banen: relatie tussen meters ophoging met verschillende grondsorten/materialen. Midden: relatie ophoging en beperkte (witte balk) of ernstige (zwarte balk) schade aan kleine artefacten/ecofacten. Onder: druk van mens, dier en voertuigtype. Bron: [redacted] & [redacted] 2019.



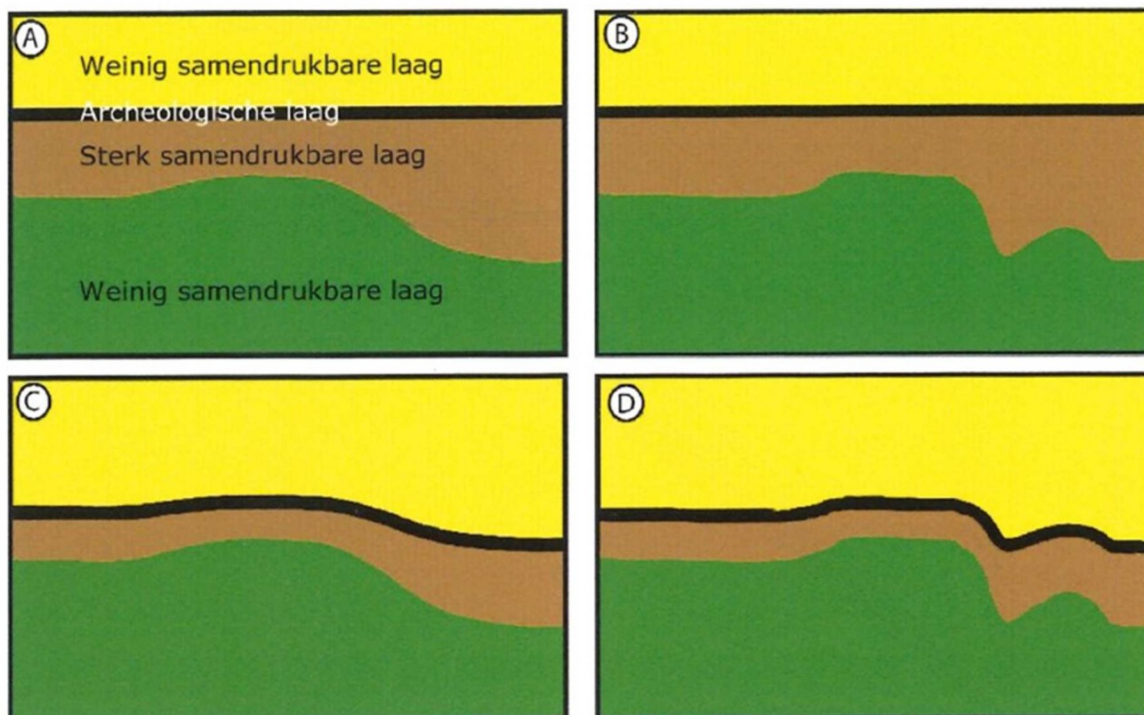
Figuur 4. Vervorming als gevolg van compactie. Bron: [redacted] e.a. 2015, foto 25.

De grootste bedreiging speelt bij de *samendrukbare* archeologische bodemlagen (archeologische nederzettinglagen/afvallagen ingebed in slappe klei of in veen). Die kunnen vervormen als gevolg van ongelijke (differentiële) ophoging, bijvoorbeeld onder en nabij de randen van de ophoging – in het geval van de Zeeheldenwijk vooral ter plaatse van de randen van de zanddepots, of als gevolg van een sterk geaccidenteerde vaste ondergrond.

Van dat laatste is in plangebied Zeeheldenwijk met overwegend betrekkelijk gering verval en flauwe hellingen (zie hieronder) vermoedelijk geen sprake, behalve bij het meest noordelijke rivierduin (AMK-terrein 1693) waar wel sprake is van een steile helling.

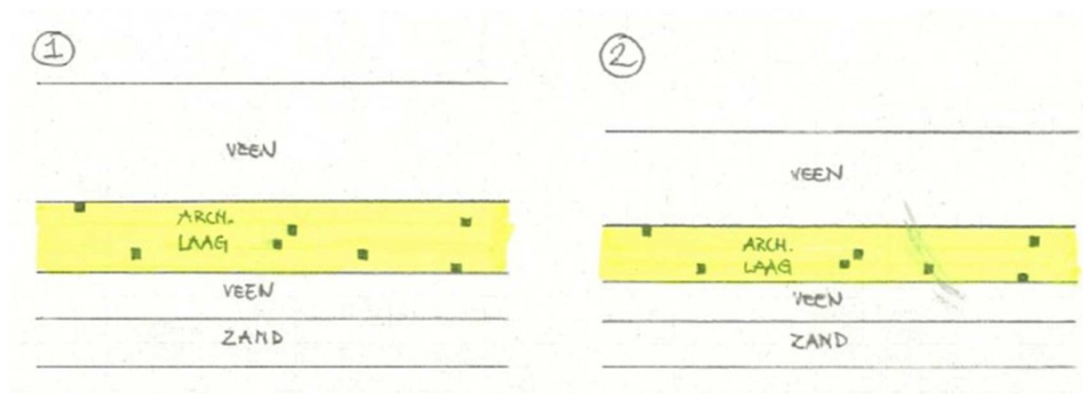
Eventuele grondsporen in zo'n samendrukbare archeologische laag kunnen in het uiterste geval zo vervormd worden, dat zij onherkenbaar worden. Omdat de vondsten in een vervormende laag mee verplaatst worden, blijft de oorspronkelijke vondstcontext over het algemeen wel voorhanden.

Voor de Zeeheldenwijk geldt dat direct rond de rivierduinen, in de gebieden met een hoge verwachting, afvallagen in natte sedimenten, zij het over een beperkte lengte, niet uit te sluiten zijn. In het gebied met een middelhoge verwachting worden dergelijke samendrukbare archeologische lagen echter niet verwacht; in die zone gaat het “alleen” om in klei ingebedde objecten/structuren (fuike en viswieren).



Figuur 5. Schematische weergaven van potentiële effecten van druk en zetting op onderliggende (archeologische) lagen bij ophoging met zand. A en B; beginsituaties; C en D na compressie van de meest zettingsgevoelige laag. Bron: [redacted] e.a. 2011.

Wel is het zo dat de objecten hoger in een slappe lithologische eenheid (al dan niet in een archeologische laag) als gevolg van zetting dichtere komen te liggen op objecten die wat lager in diezelfde eenheid zitten. De zetting is in de top van een laag immers groter dan halverwege, of onder in die laag. De onderlinge afstanden gaan dus bij compactering onevenredig verkleinen, zie figuur 6.



Figuur 6. Schematische weergave van het effect van op een samendrukbare archeologische laag, tussen veenlagen. De vee pakketten en de archeologische laag compacteren, en de onderlinge afstand van de vondsten in de archeologische laag wordt kleiner, vergelijk de uitgangssituatie 1 met situatie 2, na zetting.

Dit proces kan tot een sluipend informatieverlies betreffende de depositievolgorde van afzonderlijke objecten leiden, al zal een hoger gedeponeerd object weliswaar steeds wat dichtere naar een wat lager object kunnen opschuiven, maar deze niet voorbijgaan, althans niet boven een min of meer vlakke, onsamendrukbare ondergrond, of bij de betrekkelijk geringe hellingshoeken in plangebied

Zeeheldenwijk (met aan de flanken van de rivierduinen, haaks op de strekking van de helling, een verval van ca 1 m per 10 m). In de praktijk is dit informatieverlies over het algemeen een academische kwestie, omdat bij archeologische analyses alle objecten uit een herkenbare lithologische laag normaliter toch samengenomen worden; slechts hoogst zelden wordt gepoogd een chronologisch onderscheid te reconstrueren op basis van de relatieve hoogte van een artefact binnen een vondstlaag.

Voor objecten en zandige afvallagen (niet samendrukbaar) direct op het zand geldt sowieso dat het effect van de zetting verwaarloosbaar zal zijn. Voor hoger gelegen afvallagen, al dan niet zandig, boven een slappe laag, en voor “losse” objecten in de klei of het veen die niet aan een archeologische laag gebonden zijn, betekent de zetting niet dat individuele artefacten uit hun oorspronkelijke context geraken, in de zin dat een platliggende peddel in het veen hierdoor niet in een onderliggende kleilaag terecht zal komen, of een fuik in de klei in een veenlaag terecht zal komen. De archeologische context gaat dus niet verloren. Zou dat wel het geval zijn, dan is de logische consequentie dat bij de zetting in het verleden de archeologische informatiewaarde ook al (en in sterkere mate) aangetast zou moeten zijn, omdat dan ook al objecten uit hun oorspronkelijke context geraakt zouden moeten zijn.

Voor grotere structuren (visweren) of objecten (kano's) zijn echter situaties denkbaar waarbij de oorspronkelijke relatie tussen object en grondlaag wel (deels) verstoord zou kunnen raken: “bijvoorbeeld als stevige antropogene resten voorkomen in een slappe laag, zoals [ingedreven] houten palen [...]. Compressie van dat slappe bodemmateriaal kan er dan toe leiden dat dat bodemmateriaal verplaatst ten opzichte van de steviger resten, en zelfs dat deze resten in de daarboven gelegen laag gaan steken” (2020, 74). Desondanks zal een oplettend archeoloog de oorspronkelijke context kunnen achterhalen. Voor fuiken is het bovengenoemde effect niet te verwachten, zij liggen in eerste instantie al horizontaal en door hun open vorm en de open ruimte binnen het vlechtwerk kan na inbedding in slap sediment de grond binnen de fuik onder druk gemakkelijk wijken. Daarom worden fuiken bijna altijd al in platgedrukte vorm aangetroffen. Diameter en constructiewijze zijn alsnog te bepalen.

5. Samenvatting, conclusie en advies

5.1 Samenvatting

Er zijn in eerste instantie 12 boringen geselecteerd, waarvan er drie afvielen omdat zij geen samendrukbare lagen bevatten. Van de resterende negen boringen zijn vijf boringen wel, en vier niet in het onderzoek betrokken. Op basis van de bevindingen is besloten zettingsberekeningen te maken voor nog twee extra boringen.

De door Arcadis aangeleverde berekeningen geven voor de gebieden met een hoge verwachting, de rivierduinen, voldoende inzicht in de range van de te verwachten zetting bij een ophoging met 0,5, 1,0, 1,5 en 2,0 m nieuw op te brengen grond.

Archeologisch relevant is bij de rivierduinen globaal de eerste meter boven het zand. Generaliserend kan voor plangebied Zeeheldenwijk gesteld worden dat de nieuwe zettingen van een archeologisch niveau in veen of klei, in de eerste meter boven rivierduinzanddiepten variërend tussen 8,0 en 5,5 m (hoger is praktisch geen veen meer bewaard) bij een ophoging met 1,0 m nieuwe grond maximaal 7 cm zal gaan zetten. Bij een ophoging met 2,0 m nieuwe grond gaat het om maximaal 14 cm.

Die maximale zetting geldt als de top van de archeologische laag 1 m boven het zand ligt. Als deze zich lager in dat traject van 1 m bevindt, is de zetting ook minder: op ca. 50 cm boven het zand is die nog ongeveer de helft van de hierboven genoemde waarden.

Een hypothetische archeologische laag van 20 cm die zich binnen de eerste meter boven het zand bevindt, wordt bij een nieuwe ophoging met 0,5 m 0,5 tot 1 cm samengedrukt, en bij een nieuwe ophoging met 2,0 m, 3,5- 5 cm samengedrukt.

Generaliserende uitspraken over de range van de zetting in de Unio I-afzettingen zijn niet te geven. Wel is een indruk verkregen van de maximale zetting. Die is bij een nieuwe ophoging met 2,0 m grond kleiner dan 50 cm, en de helft bij een ophoging met 1,0 m grond. Een archeologische structuur zoals een visweer zal hierdoor in geval van een Unio-top rond 7,0 m-NAP, en een zanddiepte tussen de 8-9 m zal bij een ophoging van 1,0 m de top van de Unio -I pakket tussen de 15-20 cm zitten, en bij een dikte van ca 1,5 m, aan de basis enkele centimeters bedragen.

Algemeen geldt dat de zetting door de toekomstige ophoging hoe hoger hoe sterker en hoe dieper hoe minder is. In de top van het hoogste archeologisch relevante niveau is de zetting dus steeds het grootst. Naar onder toe neemt deze af; de mate waarin is afhankelijk van de dikte van de lagen. Aan de basis van het diepste archeologisch relevante niveau (direct boven het zand) is niet of nauwelijks sprake van zetting. Volgens de opgegeven waarden is de zetting bij een ophoging met 2,0 m dubbel zo groot als bij een ophoging met 1,0 m. De zetting ligt bij een ophoging met 1,5 m ongeveer halfweg de zettingen bij een ophoging met 1, 0 en met 2,0 m. De zetting is bij een ophoging met 1,0 m driemaal zo groot als de zetting bij een ophoging met 0,5 m.

Behalve zetting (verticale verplaatsing) treedt ook zijwaartse verplaatsing op. Die is altijd geringer dan de verticale zetting. De inschatting is dat deze geringer zal zijn van 10-15 cm, vanwege het dempende effect van de al aanwezige relatief stijve zandige Almere-afzettingen.

De zetting als gevolg van de nieuwe ophogingen is vergeleken met de natuurlijke zetting die al opgetreden is door de druk van de zandige Almere-afzettingen, uitgaande van een erosiediepte/veendiepte van 4,0 m -NAP. Bij de maximale ophoging met 2,0 m ligt die toename van de zetting ten opzichte van de reeds ondervonden zetting in de orde van grootte van maximaal 14-25 %; bij een ophoging met 1,0 m gaat het om maximaal 7-12 % en bij een ophoging met 0,5 om een maximaal 2-4% (berekend aan de hand van voorbeelden in het gebied met een hoge verwachting). In werkelijkheid zal de toename van de zetting percentueel geringer zijn, omdat de al opgetreden natuurlijke zetting groter zal zijn geweest.

Het effect van de geplande ophogingen is op zelfs de meest kwetsbare kleine vondstcategorie (verbrande viswervels) nihil. Wel kunnen eventueel aanwezige, in natte sedimenten ingebedde archeologische lagen (zoals afvallagen) samengeperst worden (tenzij die archeologische lagen sterk zandig zijn), met als gevolg dat de onderlinge afstand van de vondsten relatief kleiner wordt, een effect dat de vondsten hoger in de laag meer raakt dan vondsten lager in de laag). De archeologische lagen kunnen afhankelijk van hun specifieke setting en de morfologie van de vaste ondergrond in meer of mindere mate vervormen. Het hierbij optredende archeologische informatieverlies zal gering zijn, zeker vergeleken met het reeds opgetreden informatieverlies door eerdere zetting veroorzaakt door de sedimentatie van de zandige sloefafzettingen.

Kleinere objecten blijven in hun oorspronkelijke context bewaard. Dat geldt ook voor objecten als peddels en fuiken; die laatste zijn vanwege hun aard doorgaans al platgedrukt. Specifieke grote objecten (kano's en viswerven) kunnen als gevolg van de nieuwe zetting vervormen en eventueel breken. Zij kunnen, als zo'n object minder samendrukbaar is dan de grond waarin deze ingebed is, zelfs deels omringd raken door een aanvankelijk bovenliggend sediment. De oorspronkelijke context zal echter herkenbaar blijven en archeologisch informatieverlies is niet te verwachten.

5.2 Conclusie

De conclusie is dat de nieuwe zetting als gevolg van de geplande ophogingen binnen het plangebied Zeeheldenwijk al met al niet tot wezenlijk archeologisch informatieverlies leiden zal, en dat het optredende informatieverlies, voor zover daar als sprake van is, gering zal zijn ten opzichte van het reeds verloren gegane verlies aan archeologische informatie door de natuurlijke zetting. Dit gezegd zijnde, zullen waarschijnlijk de effecten van eventuele ophoging nabij het meest noordelijke rivierduin (AMK-terrein1693) wel groter dan elders in het plangebied zijn, vanwege de aanwezigheid aldaar van steile rivierduinhellingen.

5.3 Advies

Geadviseerd wordt de tijdelijke gronddepots (met een maximale hoogte van 2,0 m t.o.v. het huidige maaiveld) zoveel mogelijk in het gebied met een lage of middelhoge archeologische verwachting aan te brengen.

Permanente ophogingen van 0,5-1,0 m zullen overal nodig zijn, wat een toename van de zetting ten opzichte van de al opgetreden natuurlijke zetting impliceert van ca. 3-10 % (althans in het gebied met een hoge verwachting; voor het gebied erbuiten zijn geen berekeningen voorhanden). Aangezien het te verwachten verlies aan archeologische informatie zeer beperkt is, worden dergelijke ophogingen vanuit archeologisch oogpunt als acceptabel gezien.

Ten opzichte van de al opgetreden nieuwe zetting gaat het om een toename van de zetting met Geadviseerd wordt ter plaatste van het rivierduin (AMK-terrein 1693) in het uiterste noorden van het plangebied, inclusief de directe omgeving, de ophoging te beperken tot 0,5 m (wat een zetting van minder dan 10 cm impliceert).

De op te brengen grond, ook ter plaatse van de tijdelijke depots, dient langzaam en gelijkmatig opgebracht te worden. Versnellen van de eindzetting, bijvoorbeeld middels verticale drainage, wordt sterk afgeraden. De grondwaterstand moet op het huidige peil blijven.

Insluiting van kleilagen in de ophogingspakketten moet vermeden worden om verblauwing tegen te gaan.

Literatuur

Kruining & [REDACTED], 2015. Het broekbos doorbroken. De laat-neolithische veenweg in het beekdal van de Slokkert, gemeente Noordenveld. Een archeologische opgraving. RAAP-rapport 2950, Weesp.

[REDACTED], D.J., J. [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED], [REDACTED] & [REDACTED], 2011. De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen, Amersfoort (webpublicatie Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed).

[REDACTED], D.J. & [REDACTED] 2019. Archeologie onder druk. Is behoud in situ mogelijk onder ophogingen? Archeologie in Nederland 3 (1), 2-9.

[REDACTED], N., 2020. Beschermd maar kwetsbaar. Fysieke bedreigingen van archeologische rijksmonumenten en maatregelen om ze te behouden. Nederlandse Archeologische Rapporten 67, Amersfoort.

Overzicht van figuren, tabellen, bijlagen en appendices

Figuren

Figuur 1. De ligging van het plangebied.	3
Figuur 2. De onderwaterdiepte kaart (diepten in dm) uit 1935, geprojecteerd op de huidige topografie.	8
Figuur 3. Relatie tussen ophoging en schade aan archeologisch materiaal. Boven: gekleurde banen: relatie tussen meters ophoging met verschillende grondsorten/materialen. Midden: relatie ophoging en beperkte (witte balk) of ernstige (zwarte balk) schade aan kleine artefacten/ecofacten. Onder: druk van mens, dier en voertuigtype. Bron: [REDACTED] & [REDACTED] 2019.	13
Figuur 4. Vervorming als gevolg van compactie. Bron: [REDACTED] e.a. 2015, foto 25.	14
Figuur 5. Schematische weergaven van potentiële effecten van druk en zetting op onderliggende (archeologische) lagen bij ophoging met zand. A en B; beginsituaties; C en D na compressie van de meest zettingsgevoelige laag. Bron: [REDACTED] e.a. 2011.	15
Figuur 6. Schematische weergave van het effect van op een samendrukbare archeologische laag, tussen veenlagen. De vee pakketten en de archeologische laag compacteren, en de onderlinge afstand van de vondsten in de archeologische laag wordt kleiner, vergelijk de uitgangssituatie 1 met situatie 2, na zetting.	15

Tabellen

Tabel 1. De zetting veroorzaakt door ophoging op een eventuele samendrukbare archeologische laag (afvallaag), en de zetting die objecten/structuren in het Unio I-kleipakket door ophoging ondervinden. Alle waarden zijn in m, tenzij anders aangegeven.	11
---	----

Bijlagen

Bijlage 1: boorpuntenkaart
Bijlage 2: geselecteerde boringen: boorbeschrijvingen met interpretatie
Bijlage 3: zettingsberekeningen (Arcadis)

Appendices

geen

BIJLAGEN

