



Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
*Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap*

De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen

D.J. Huisman, J. Bouwmeester, G. de Lange, Th. van der Linden,
G. Mauro, D. Ngan - Tillard, M. Groenendijk, T. de Ridder,
C. van Rooijen, I. Roorda, D. Schmutzhart, R. Stoevelaar



De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen

D.J. Huisman	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
J. Bouwmeester	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
G. de Lange	Deltares
Th. van der Linden	Deltares
G. Mauro	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
D. Ngan – Tillard	Technische Universiteit Delft; Civiele techniek en aardwetenschappen
M. Groenendijk	Gemeente Gouda; Convent van Gemeentelijke Archeologen
T. de Ridder	Gemeente Vlaardingen; Convent van Gemeentelijke Archeologen
C. van Rooijen	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
I. Roorda	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
D. Schmutzhart	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
R. Stoevelaar	Deltares

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave

Samenvatting

Dankwoord

- 1 Inleiding
 - 1.1 Doel van deze publicatie
 - 1.2 Voor wie is deze publicatie bedoeld?
 - 1.3 De ontmoeting van verschillende velden
 - 1.4 Opzet van deze publicatie
- 2 Het archeologisch bodemarchief
 - 2.1 Terminologie en huidige praktijk
 - 2.2 Kenmerken en waarden van archeologische vindplaatsen
 - 2.3 Waarden en aantasting van archeologische vindplaatsen
 - 2.4 Te nemen beslissingen
- 3 De invloed van bouwactiviteiten op de bodem
 - 3.1 Inleiding
 - 3.2 Fysische effecten van een bouwwerk
 - 3.2.1 De oorzaak van belasting en deformatie
 - 3.2.2 Ondiepe afdracht belasting
 - 3.2.3 Diepe afdracht belasting: paalfunderingen
 - 3.3 Effecten van het bouwproces
 - 3.3.1 Ontgravingen en verstoringen
 - 3.3.2 Het plaatsen van grondkeringen
 - 3.3.3 Effecten op grondwatersystemen
 - 3.3.4 Ingrepen bij het plaatsen van grondlichamen
- 4 De effecten op een archeologische vindplaats
 - 4.1 Verstoringen door vergraving
 - 4.2 Verstoringen door funderingspalen
 - 4.3 Verstoringen door andere werkzaamheden
 - 4.4 Compressie en vervorming van bodemlagen
 - 4.4.1 Inleiding
 - 4.4.2 Vervorming door drukverschijnselen in archeologische lagen
 - 4.4.3 Vervorming door drukverschijnselen onder archeologische lagen
 - 4.4.4 Aantasting van materialen
 - 4.5 Veranderingen in vochttoestand
 - 4.5.1 Inleiding
 - 4.5.2 Invloed op artefacten en andere archeologische materialen
 - 4.5.3 Invloed op bodemkleur
- 5 Consequenties van bouwen voor de waarde van een archeologische vindplaats
 - 5.1 Inleiding
 - 5.2 Informatieverlies bij directe bodemverstoringen
 - 5.3 Informatieverlies als gevolg van drukverschijnselen
 - 5.4 Informatieverlies bij veranderingen in het bodemmilieu
 - 5.5 Overige effecten van bouwen

- 6 Informatie voor afwegingen: zekerheden, onzekerheden en voorspellingen
 - 6.1 Inleiding
 - 6.2 Archeologische informatie
 - 6.3 Gegevens voor het beoordelen van schade door bodemverstoringen
 - 6.3.1 Verstoring door vergraving
 - 6.3.2 Verstoring door funderingspalen en andere ondergrondse constructies
 - 6.4 Gegevens voor het beoordelen van schade door zetting
 - 6.4.1 Een eerste indicatie
 - 6.4.2 De geotechnische vragen
 - 6.4.3 Het bepalen van de bodemopbouw
 - 6.4.4 Het bepalen van de geotechnische eigenschappen
 - 6.4.5 Rekenmodellen
 - 6.5 Gegevens voor het beoordelen van schade door veranderingen in het bodemmilieu
 - 6.6 Gegevens voor het beoordelen van schade door overige effecten
 - 6.7 Omgaan met onzekerheden

Literatuurlijst

Bijlage 1
Zettingskaarten van Nederland

Samenvatting

Archeologische resten dienen bij voorkeur in de bodem bewaard te blijven (behoud *in situ*). In die gevallen waar een vindplaats wordt bebouwd dient te worden besloten of de gevolgen voor de vindplaats acceptabel zijn. Om die beslissing gefundeerd te kunnen nemen, is kennis nodig van de invloed van bouw- en inrichtingswerkzaamheden op een archeologische vindplaats. Echter, veel factoren en processen kunnen hierbij een rol spelen en een overzicht ontbreekt. Deze notitie is bedoeld om informatie beschikbaar te stellen aan degenen die plannen maken of beslissingen nemen over bouwplannen op archeologische vindplaatsen. We proberen een overzicht te geven van de mogelijke gevolgen van bouw- en inrichtingswerkzaamheden op het archeologisch bodemarchief, de factoren die van belang zijn voor het maken van een gefundeerde afweging, het vaststellen van parameters en de onzekerheden die er bestaan. Het is niet de bedoeling om in deze notitie een kader te geven hoeveel verstoring toegestaan kan worden. De bedoeling is om informatie over de invloed van bouwen op een archeologische vindplaats te geven, en zo te helpen tot een afgewogen beslissing te komen.

Archeologische vindplaatsen bestaan uit een complex van verschillende soorten objecten en sporen met variabele eigenschappen en gedrag. De verschillende materialen en sporen staan niet op zichzelf. De *combinatie* van archeologische resten en sporen, hun onderlinge relaties en ruimtelijke verhoudingen vormen het totaal van een vindplaats.

De belangrijkste gevolgen van het overbouwen van terreinen zijn te karakteriseren als:

- verstoring door vergraving of door het plaatsen van palen;
- samendrukking en vervorming als gevolg van ophogingen, bouwwerken op staal of voertuigen;
- veranderingen in het bodemmilieu waardoor archeologische resten worden aangetast;
- veranderingen in de vindplaats waardoor onderzoek in de toekomst wordt bemoeilijkt;
- verstoring van de zichtbare kwaliteit van een vindplaats.

In hoeverre deze gevolgen acceptabel zijn, moet worden afgewogen vanuit het archeologisch perspectief: wat zijn de gevolgen voor de vindplaats? Vanwege de grote verschillen tussen vindplaatsen in ouderdom, complextype, aanwezige materialen, gaafheid, conserveringsconditie, enzovoorts zal deze afweging voor iedere vindplaats apart moeten worden gemaakt. De in dit stuk gepresenteerde gegevens over de invloed van bouwen op het archeologisch bodemarchief kunnen helpen bij deze afweging.

Dankwoord

Deze publicatie was niet gemakkelijk om te schrijven. Een koppeling te leggen tussen twee vakgebieden die zo ver uit elkaar liggen als archeologie en civiele techniek vraagt van alle betrokkenen een extra inspanning. Veel mensen hebben het direct of indirect mogelijk gemaakt dat deze publicatie in zijn huidige vorm heeft kunnen ontstaan, waarvoor dank. Ik wil speciaal Peter Schut en Jelke Dijkstra bedanken. Peter voor het verzamelen van gegevens over de praktijk van het modelleren van zetting in archeologische context, en Jelke voor het leveren van veel waardevolle fundamentele geotechnische informatie.

1 Inleiding

1.1 Doel van deze publicatie

Het Verdrag van Valletta – ook wel het Verdrag van Malta genoemd – heeft vastgelegd dat archeologische resten bij voorkeur in de bodem bewaard dienen te blijven (behoud *in situ*). Wanneer het niet mogelijk is archeologisch waardevolle terreinen te vrijwaren van schadelijke ingrepen en als vervolgens niet is te voorkomen dat de waarde van een vindplaats wordt aangetast door bouw- of inrichtingswerkzaamheden (of andere ingrepen), is opgraven noodzakelijk. Daarom is het van belang vast te stellen in hoeverre een vindplaats wordt aangetast wanneer er ingrepen op gepland worden. Is deze verwachte aantasting ernstig, dan dienen de plannen te worden aangepast. Hierom is het belangrijk archeologische waarden zo vroeg mogelijk mee te wegen in planprocessen. Is het niet mogelijk de plannen aan te passen, dan worden de plannen afgekeurd, of wordt besloten de archeologische resten op te gegraven (behoud *ex situ*).

Om deze afweging gefundeerd te kunnen maken is kennis nodig van de invloed van bouw- en inrichtingswerkzaamheden op de fysieke kwaliteit van een archeologische vindplaats. Pas als duidelijk is wat voor effect een ingreep zal hebben op een vindplaats is het mogelijk om te beoordelen in hoeverre deze effecten acceptabel zijn. Dat bepaalt uiteindelijk mede het al dan niet toelaten van werkzaamheden, en de keus tussen behoud *in situ* en *ex situ* en de eventueel benodigde aanpassingen van voorgenomen werkzaamheden. Momenteel is dit vaak een probleem. Veel factoren en processen kunnen een rol spelen bij de invloed van bouwwerkzaamheden op de fysieke kwaliteit van het archeologisch bodemarchief. Een overzicht ontbreekt echter en bij veel processen is onduidelijk wat er precies gebeurt, al dan niet op (middel)lange termijn.

1.2 Voor wie is deze publicatie bedoeld?

Dit stuk is in de eerste plaats bedoeld voor degenen die beslissingen nemen over bouw- en inrichtingsplannen op (potentiële) archeologische vindplaatsen. Er zijn in dit kader twee belangrijke beslissingen te nemen. In de eerste plaats het bestemmen van ruimte: waar en wat mag worden gebouwd? Dit is het moment dat vooronderzoek wordt gedaan (haalbaarheid, effecten, ruimtelijke kwaliteit, enzovoorts). Uiteindelijk krijgt dit zijn beslag in het bestemmingsplan. Daarin staan ook de voorschriften waaraan de bouw moet voldoen. In de tweede plaats gaat het om beslissingen over bouw- of omgevingsvergunningen en monumentenvergunningen (bijvoorbeeld bij archeologische rijksmonumenten).

In dit stuk willen we in de eerste plaats informatie geven aan degenen die deze beslissingen nemen als daarbij sprake is van archeologische vindplaatsen. Daarbij denken we bijvoorbeeld aan gemeentelijke overheden, daar werkzame ambtenaren (waaronder gemeentelijke of regioarcheologen) en adviesbureaus. We proberen een overzicht te geven van de mogelijke gevolgen van bouw- en inrichtingswerkzaamheden voor het archeologisch bodemarchief. De overkoepelende vraag die we proberen te beantwoorden is: welke aantasting van het bodemarchief kan plaatsvinden bij het bouwproces en wat zijn de effecten daarvan op de archeologische vindplaats? Praktisch uitgewerkt: aan welke eisen moet het bouwproces voldoen om een archeologische vindplaats in voldoende mate te kunnen behouden (behoud *in situ*, dus zonder de vindplaats op te graven) zodat kwalitatief hoogwaardig onderzoek in de toekomst mogelijk blijft. Met andere woorden: wanneer is archeologiesparend bouwen haalbaar? Hierbij moet ook nagegaan worden welke gegevens nodig zijn om die vraag te kunnen beantwoorden en hoe die kunnen worden verkregen.

We hopen dat de hier gepresenteerde informatie ook relevant is voor plannenmakers (stedenbouwkundigen, planologen, architecten, vastgoedontwikkelaars) en bouwers/uitvoerders (geotechnici, civieltechnici, aanemers) en daar ook zijn weg zal vinden.

We hebben ons hier beperkt tot bouwactiviteiten. Andere activiteiten die invloed kunnen hebben op de waarde van een archeologische vindplaats – waaronder agrarische activiteiten, bodemverontreiniging en bodemsanering – blijven buiten beschouwing.

1.3 De ontmoeting van verschillende velden

Door het invoeren van de Wet op de archeologische monumentenzorg komt archeologie plotseling veel meer in aanraking met vakgebieden waar het eerder vrijwel niet mee te maken had. Nu behoud *in situ* dé benadering is geworden voor omgang met het cultureel erfgoed, is archeologie steeds vaker een *issue* bij bijvoorbeeld constructie- en funderingstechniek, bouwkunde, waterhuishouding, hydrologie, bodemkunde en geotechniek. Vooral op het gebied van de geotechniek blijkt dat de twee vakgebieden niet makkelijk samengaan. Specialismen als bouwkunde, waterhuishouding en constructie- en funderingstechniek moeten soms rekening houden met aanvullende randvoorwaarden om archeologische vindplaatsen te beschermen. Archeologische monumentenzorg kan hier zorgen voor kaders, zonder dat het vakgebied een nieuwe ontwikkeling hoeft door te maken. Hydrologen en bodemkundigen krijgen soms vragen over het bodemmilieu. Op basis daarvan kunnen de agressiviteit van de bodem en de mogelijkheden voor *in situ* behoud worden bepaald. Hierbij wordt dan gebruik gemaakt van gegevens of meettechnieken die al bestonden in het vakgebied. Bij de geotechniek blijkt echter dat er grote verschillen zijn met de archeologie, hoewel beide vakgebieden zich met de bodem bezighouden.

Archeologen bestuderen de bodem en daarin aanwezige resten om meer te weten te komen over het verleden. Met de opkomst van de Archeologische Monumentenzorg (AMZ) is de interesse toegenomen in de degradatie van en de mogelijkheden voor het behoud van archeologische resten in de bodem. Geotechnici bestuderen de bodem om te onderzoeken op welke wijze bouwwerken kunnen worden gerealiseerd. Hoewel bij universiteiten en onderzoeksinstituten onderzoek wordt gedaan naar wat er exact op detailniveau in de bodem gebeurt bij bouwwerkzaamheden, is hiervoor in de praktijk van bouwprojecten weinig belangstelling. De behoefte vanuit de bouwwereld is in de eerste plaats gericht op betrouwbare voorspellingen betreffende de draagkracht, zetting aan het maaiveld en het gedrag van constructies om de veiligheid ervan te kunnen garanderen.

Als het gaat om de samenhang tussen bouwen en het archeologisch bodemarchief komen de twee vakgebieden bij elkaar met vragen over wat er *precies* gebeurt in de archeologisch relevante lagen onder bouwwerken. De vragen zijn onder andere: wat is de invloed van heipalen op het bodemarchief, wat zijn de exacte gevolgen van zetting, in hoeverre verandert het bodemmilieu als gevolg van overbouwen? Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn nauwkeurigere gegevens en wellicht nieuwe modellen nodig. Zolang die ontbreken, zullen we de problemen moeten benaderen met de standaard geotechnische gegevens en modellen in combinatie met standaardkennis van het archeologisch bodemarchief. In deze publicatie proberen we aan te geven hoe die kennis, gegevens en modellen samen gebruikt kunnen worden voor het maken van afwegingen inzake het overbouwen van archeologische vindplaatsen.

1.4 Opzet van deze publicatie

De opzet van deze notitie is als volgt. In hoofdstuk 2 schetsen we kort een beeld van de kenmerken, eigenschappen en waarden van het archeologisch bodemarchief. We geven aan

bij welk soort afwegingen kennis nodig is van de invloed van bouwwerkzaamheden op de kwaliteit van het bodemarchief. In hoofdstuk 3 geven we een overzicht van de invloed die bouwwerkzaamheden kunnen hebben op de bodem en het archeologisch bodemarchief daarin. In hoofdstuk 4 geven we een beeld van de huidige stand van kennis van de effecten van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen, en laten we zien hoe gegevens of voorspellingen hierover kunnen worden gedaan. Hoofdstuk 5 schetst wat de gevolgen zijn van deze effecten voor de waarden van archeologische vindplaatsen. Hoofdstuk 6 besluit met een discussie over de onzekerheden die altijd verbonden zijn aan een afweging, en hoe daarmee kan worden omgegaan.

In deze notitie wordt niet aangegeven wat wel en niet acceptabel is. De reden is dat richtlijnen en vaste percentages geen recht doen aan de variatie in eigenschappen en complexiteit van archeologische vindplaatsen, de ondergrond ter plaatse en de uitvoeringspraktijk van bouwprojecten. Daarbij komt dat percentages een cumulatief effect hebben: een acceptabele verstoring die een aantal malen optreedt, leidt uiteindelijk toch tot onacceptabele schade. De uiteindelijke afweging zal in alle gevallen gebaseerd moeten zijn op een confrontatie van de *effecten* van overbouwen op de *waarden* van een archeologische vindplaats. Deze publicatie biedt handvatten om die effecten in kaart te krijgen.

2 Het archeologisch bodemarchief

2.1 Terminologie en huidige praktijk

In de Monumentenwet 1988 worden archeologische monumenten omschreven als terreinen die van algemeen belang zijn wegens daar aanwezige vervaardigde zaken die vanwege hun schoonheid, hun betekenis voor de wetenschap of hun cultuurhistorische waarde van algemeen belang zijn (Artikel 1). Archeologische vindplaatsen kunnen op grond van de Monumentenwet beschermd worden, maar ook via monumentenverordeningen of bestemmingsplannen. In het laatste geval wordt gesproken van planologische bescherming op grond van de Wet ruimtelijke ordening.

In de praktijk betekent bescherming van archeologische monumenten dat ingrepen zoals sloop, bouw en grondwerk op schadelijkheid worden beoordeeld en al dan niet worden toegestaan – zonodig onder voorwaarden. Ingrepen op archeologische rijksmonumenten kunnen pas plaatsvinden nadat de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (namens de minister) een monumentenvergunning heeft verleend. De overige archeologische monumenten worden veelal via het bestemmingsplan beschermd. Het algemeen belang van een monument wordt door archeologen gemotiveerd aan de hand van genormeerde criteria waarmee de schoonheid, betekenis voor de wetenschap en cultuurhistorische waarde worden gewaardeerd. De belevingswaarde, fysieke kwaliteit en inhoudelijke kwaliteit van een archeologische vindplaats bepalen of er sprake is van een behoudenswaardige archeologische vindplaats (KNA 3.2).

In 1992 tekenden de lidstaten van de Raad van Europa het verdrag inzake de bescherming van het archeologisch erfgoed dat bekend is komen te staan als het Verdrag van Malta of van Valletta.

Belangrijk uitgangspunt van het verdrag is dat archeologische resten bij voorkeur in de bodem blijven. Het bodemarchief dient bij grote bodemverstorende ingrepen zo veel mogelijk te worden ontzien en de bodemverstoorder wordt verantwoordelijk gesteld voor de kosten van archeologisch onderzoek. Sinds 2007 is dit verdrag in de Nederlandse wetgeving verankerd. Met de inwerkingtreding van de Wet op de archeologische monumentenzorg (Wamz) zijn gemeenten verplicht rekening te houden met het archeologisch erfgoed. Het belangrijkste instrument voor de gemeente om bekende archeologische en te verwachten archeologische waarden te beschermen, vormt het bestemmingsplan. De gemeente kan gronden waarin waardevolle archeologische resten liggen of verwacht worden een bestemming geven die het bodemarchief intact laat en zo weinig mogelijk bodemverstoringen tot gevolg heeft. Daarnaast kunnen in het bestemmingsplan regels (voorschriften) verbonden worden aan bodemverstorende werkzaamheden.

In verstedelijkte gebieden met een grote ruimtelijke druk - en met name binnen de bebouwde kommen van steden en dorpen - is het echter meestal niet mogelijk om het bodemarchief een archeologievriendelijke bestemming te geven. De bouw van woningen, kantoren en andere stedelijke voorzieningen op locaties waar archeologische resten liggen is onvermijdelijk.

In verband met de voorkeur om archeologische resten *in situ*, dat wil zeggen in de bodem, te behouden, maar zeker ook vanwege de hoge kosten die veelal gemoeid zijn met opgravingen, wordt de vraag gesteld of en onder welke omstandigheden en voorwaarden het toch mogelijk is om op archeologische vindplaatsen te bouwen zonder deze op te graven, dus *in situ* te behouden.

Bouwwerkzaamheden op een archeologische vindplaats komen de kwaliteit van die vindplaats niet ten goede. Veelal loopt het bodemarchief - in meer of mindere mate -

onherstelbare fysieke schade op. Niet alleen door allerlei grondwerkzaamheden maar ook indirect door veranderingen in het bodemmilieu. Om die reden dekt de term 'archeologievriendelijk bouwen', die eerder werd gebruikt om aan te geven dat bij een bouwproject rekening werd gehouden met het archeologisch bodemarchief, de lading feitelijk niet. Beter is het te spreken van 'archeologiesparend bouwen' terwijl het best bereikbare 'archeologieneutraal' is.

2.2 Kenmerken en waarden van archeologische vindplaatsen

Archeologische vindplaatsen bestaan uit een complex van verschillende soorten objecten en sporen met variabele eigenschappen en gedrag. De belangrijkste categorieën zijn:

- grondsporen (antropogeen en natuurlijk);
- anorganische artefacten (keramiek, metaal, glas, steen);
- organische artefacten (hout, leer, textiel);
- organische resten die informatie kunnen opleveren over onder andere ecologie en landgebruik in het verleden (dierenbotten, pollen, macroresten, diatomeeën, resten van kevers en mijten);
- menselijke resten (vooral botmateriaal).

De verschillende materialen en sporen staan echter niet op zichzelf: het zijn de *combinatie* van archeologische resten en sporen, hun onderlinge relaties en ruimtelijke verhoudingen die het totaal van een vindplaats vormen. Artefacten en sporen op zichzelf kunnen waardevol zijn, maar het is het *ensemble* van verschillende soorten materialen en sporen in hun landschappelijke en stratigrafische context die een archeologische vindplaats vormen.

Hoe groot de vindplaats is en welke soorten materialen en sporen er kunnen voorkomen is afhankelijk van een aantal factoren. Ten eerste is er het type vindplaats. Nederzettingsterreinen bevatten bijvoorbeeld andere resten en sporen dan grafvelden. Jachtkampjes zijn kleiner en bevatten andere resten dan industriële productieplaatsen. Ten tweede is er de ouderdom. Bepaalde materialen komen pas voor na een bepaalde datum. Zo vinden we in de regel geen metaal in de steentijd en geen ijzer in de bronstijd. Ten derde is er de bodemopbouw. Op sommige locaties is sinds de laatste ijstijd geen sedimentatie opgetreden en is het bodemoppervlak nog bijna gelijk gebleven, waardoor sporen en resten uit alle perioden door elkaar heen kunnen voorkomen (palimpsesten) en dicht bij of aan het oppervlak liggen. Op andere locaties – met name laag-Nederland en het rivierengebied – is nog geregeld sediment afgezet, waardoor vindplaatsen uit verschillende perioden boven elkaar kunnen voorkomen. Ten slotte is er het bodemmilieu. Elke categorie archeologische resten en sporen is op de een of andere wijze gevoelig voor aantasting. Het bodemmilieu bepaalt welke resten worden aangetast of juist bewaard blijven. De meeste organische materialen blijven bijvoorbeeld niet bewaard in droge bodems (zie voor een overzicht Huisman 2009). Bepaalde vondstcategorieën zijn daarom beperkt tot bepaalde gebieden, diepten en bodemomstandigheden.

2.3 Waarden en aantasting van archeologische vindplaatsen

Archeologische vindplaatsen kunnen verschillende soorten waarden hebben. In het Verdrag van Valletta worden te beschermen archeologische resten beschermd 'as a source of the European collective memory and as an instrument for historical and scientific study'. De Monumentenwet 1988 noemt schoonheid, betekenis voor de wetenschap en cultuurhistorische waarde. De waardering van een archeologische vindplaats gebeurt op basis van een KNA-vastgestelde waarderingssystematiek (zie KNA 3.2, Bijlage IV, te vinden op www.sikb.nl). De waardebepaling is gebaseerd op de volgende criteria:

- belevingswaarde met parameters: herinneringswaarde en schoonheid (zichtbaarheid);
- fysieke kwaliteit met parameters: gaafheid en conservering;
- inhoudelijke kwaliteit met parameters: zeldzaamheid, informatiewaarde en ensemblewaarde.

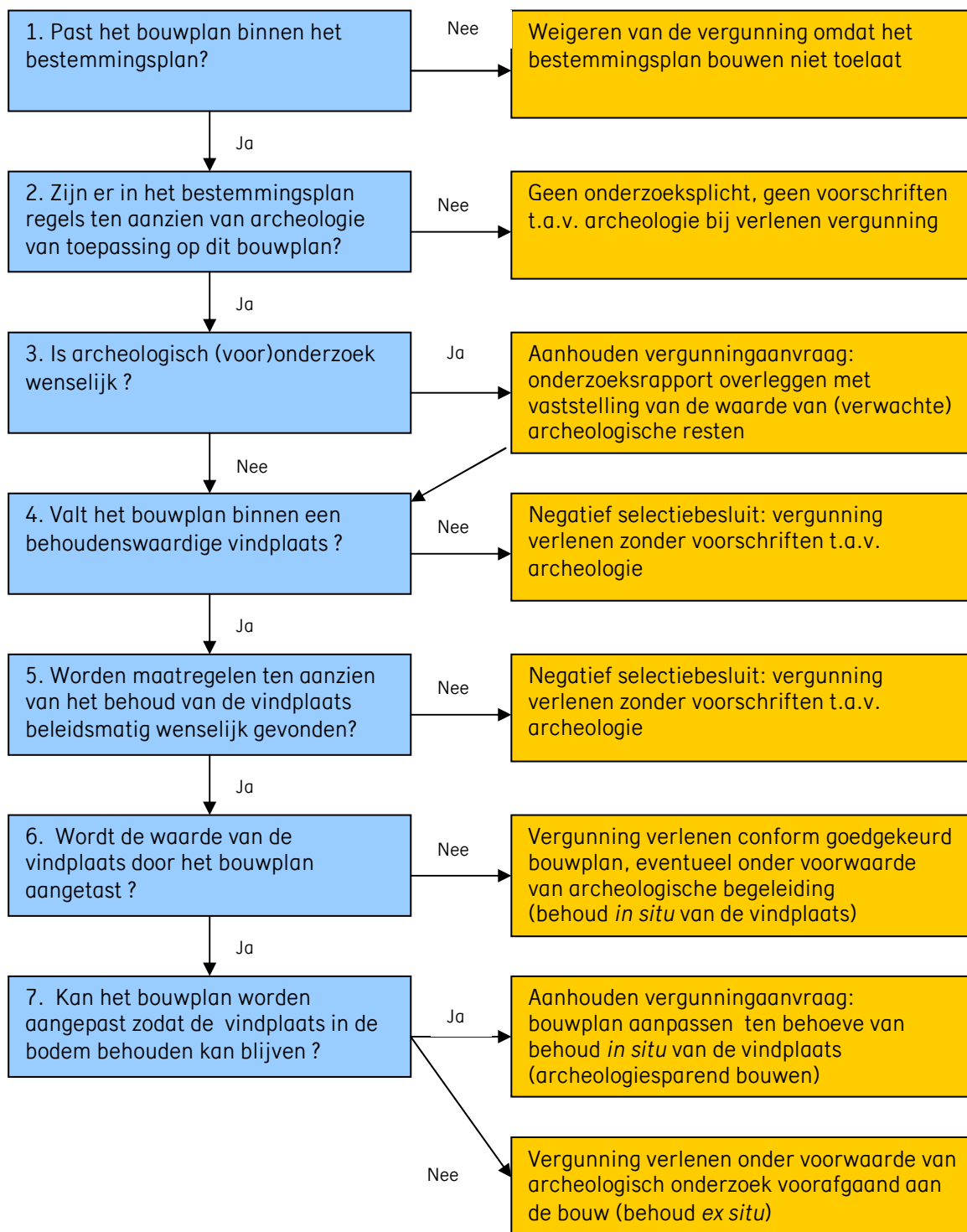
Als we de aantasting van archeologische vindplaatsen willen beoordelen, dienen de effecten op al deze waarden te worden meegewogen.

Zoals eerder aangegeven bestaat een archeologische vindplaats uit een terrein met daarin verschillende soorten materialen en sporen in hun onderlinge context. Vanwege de samenhang betekent aantasting of verlies van één materiaalsoort ook aantasting van de vindplaats en dus verlies van archeologische informatie. Daarmee vermindert de wetenschappelijke waarde. Archeologische waarden worden dus voor een groot deel bepaald door de informatiewaarde van een vindplaats. Echter ook aspecten als beleving en schoonheid kunnen deel uitmaken van archeologische waarden. Het begrip schoonheid wordt ook in de Monumentenwet 1988 genoemd en kan mede onderliggende reden zijn om vindplaatsen aan te wijzen als rijksmonument.

Inmiddels is een grote hoeveelheid literatuur beschikbaar over de agressiviteit van het bodemmilieu en de effecten van veranderingen hiervan op het archeologisch bodemarchief, zie bijvoorbeeld Huisman (2009). Daarbij wordt op materiaalniveau aangehouden dat omzettings- en aantastingprocessen alleen als degradatie worden aangemerkt als daarbij archeologische informatie verloren gaat, vanwege verlies aan wetenschappelijke waarde. Ook in de volgende hoofdstukken ligt de focus sterk op gevolgen van overbouwen op de archeologische informatie. Dat betekent echter niet dat schoonheid en belevingswaarde minder relevant zijn. In deze notitie staat de vraag centraal in hoeverre archeologische waarden worden aangetast bij het overbouwen van archeologische vindplaatsen - een belangrijke factor bij het beoordelen van bouwplannen.

2.4 Te nemen beslissingen

Besluitvorming over het bebouwen van archeologische vindplaatsen vormt een schakel in een groter proces van planvorming. In figuur 1 wordt een beeld gegeven van de verschillende beslismomenten, de afwegingen en de besluiten die de bevoegde overheid (veelal de gemeente) vervolgens neemt over het al dan niet bebouwen van archeologische vindplaatsen. Besluitvorming is daarbij gebaseerd op wet- en regelgeving en vastgesteld beleid. De zorg voor en omgang met het archeologisch erfgoed is vastgelegd in het archeologiebeleid. Om tot een zorgvuldige afweging te komen is niet alleen beleidsmatige kennis nodig, maar ook kennis van het bodemarchief en de effecten van het bouwen op een archeologische vindplaats.



Figuur 1 Afwegingen (blauw) en besluiten (geel) die de bevoegde overheid neemt met betrekking tot bouwplannen en archeologie.

3 De invloed van bouwactiviteiten op de bodem

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt de invloed van bouwwerken en het plaatsen van bouwwerken op de bodem. Onder bouwwerk worden zowel gebouwen verstaan als kunstwerken (viaducten, bruggen enzovoorts) en ophogingen (dijken, weglichamen enzovoorts). Hier worden puur de fysieke effecten op de bodem behandeld. De invloed op archeologische vindplaatsen en de archeologische informatiewaarde is onderwerp van de volgende twee hoofdstukken. In dit hoofdstuk wordt een tweedeling aangehouden. Het eerste deel behandelt het fysieke effect dat een bouwwerk op de ondergrond heeft en de effecten van het plaatsen van het bouwwerk. Het tweede deel behandelt fysieke effecten van andere activiteiten die samenhangen met bouwwerkzaamheden. Hoofdstuk 4 behandelt de effecten van deze bodemverstoringen op het archeologisch bodemarchief.

Het is goed te beseffen dat er in de praktijk belangrijke verschillen zijn tussen grootschalige bouwprocessen enerzijds en het bouwen van een afzonderlijk gebouw anderzijds. Het bouwen van een afzonderlijk gebouw maakt deel uit van een dergelijk bouwproces, maar kan daarnaast ook geïsoleerd voorkomen (bijvoorbeeld als particulier initiatief). Bij grootschalige bouwprocessen (zoals de bouw van nieuwe woon- of kantoorwijken) komen veel meer werkzaamheden in beeld:

- bouwrijp maken plangebied: eventueel het ophogen van het maaiveld, draineren, verlagen waterpeilen;
- bouw van bouwwerken: woningen (hoog-/laagbouw), kantoor- en bedrijfsgebouwen enzovoorts); de bebouwingsintensiteit en -dichtheid van gebouwen kan enorm variëren;
- aanleggen van ondergrondse infrastructuur (nutsvoorzieningen: leidingen, kabels, riolering);
- aanleggen van bovengrondse infrastructuur (wegen, fietspaden, parkeerplaatsen, viaducten);
- aanleggen van kunstwerken (duikers, bruggen, gemalen, dijken enzovoorts);
- inrichten van de openbare ruimte (groenvoorzieningen, vijvers, sloten enzovoorts).

3.2 Fysische effecten van een bouwwerk

3.2.1 De oorzaak van belasting en deformatie

Het gewicht van een bouwwerk leidt tot belasting van de bodem op en onder het maaiveld. Ook tijdens de bouwwerkzaamheden kan belasting optreden als gevolg van het gebruik van zware machines, tijdelijke ophogingen enzovoorts. De belasting bestaat in bijna alle gevallen uit een kracht die wordt afgedragen aan de ondergrond. De grootte van deze krachten wordt hoofdzakelijk bepaald door het eigen gewicht van het bouwwerk en de daarop werkende belastingen (wind, verkeer enzovoorts). Het oppervlak waaraan deze kracht wordt overgedragen bepaalt vervolgens de totale verticale druk; hoe groter het oppervlak, des te kleiner de druk. De druk, veroorzaakt door de belastingen op en onder het maaiveld, leidt tot veranderingen van de spanningstoestand in de ondergrond. Deze veranderingen op hun beurt leiden tot deformaties in de ondergrond. Dit is onder meer merkbaar door zakkings van bovengelige lagen (inclusief het maaiveld).

Hieronder belichten we allereerst de verschillende bouwactiviteiten en de bijbehorende te verwachten spanningsprofielen. Vervolgens wordt het effect van deze belastingsverhoging in de ondergrond toegelicht. Het beschrijven van grondgedrag is zeer complex. Er wordt nog steeds uitgebreid onderzoek gedaan naar het voorspellen van sterkte (wanneer bezwijkt het

bodemmateriaal), stijfheid (hoeveel vervormt het bodemmateriaal bij een toename van de druk) en de interactie met andere elementen in de ondergrond (bijvoorbeeld funderingen of archeologische resten).

3.2.2 Ondiepe afdracht belasting

Bij sommige typen bouwwerken wordt de belasting direct aan het oppervlak of vlak daaronder opgevangen. Dit geldt met name voor funderingen op staal en voor ophogingen. Materieel (graafmachines, hijskranen en dergelijke) leidt tijdens bouwwerkzaamheden ook tot belasting aan het oppervlak.

Een *fundering op staal* is een ondiepe fundering (deze benaming betekent dus *niet* dat de fundering uit staal bestaat). Dit kan een strokenfundering zijn (een ondiepe fundering waarbij het gebouw of kunstwerk op een relatief groot contactoppervlak wordt gefundeerd, bijvoorbeeld op een poer of een vloer). Maar soms wordt een gebouw alleen door de muren gedragen zonder verdere fundering. Dergelijke funderingen staan dan op een dragende laag aan het maaiveld, in de regel een zeer stijve sterke klei of een zandlaag. Bij deze funderingen concentreren de effecten van de belasting zich op de bodem direct onder de fundering. Op grotere diepte spreidt de spanning zich uit, waardoor de belaste zone breder wordt en de extra spanning vermindert. Deze spreiding kan worden geschat met de zogeheten Boussinesq-oplossing; in de praktijk wordt wel aangehouden dat de belasting zich onder een hoek van circa 45° spreidt, maar dat is niet heel correct. Omdat een ondiepe fundering in de regel wordt toegepast in bodems met enige draagkracht, zal als het goed is geen grote zakking optreden. Echter, ook al bezwijkt de ondergrond in de bovenlaag niet door de aangebrachte fundering, dan kan afhankelijk van de grootte van de belasting en de laagdikte een zwakkere dieperliggende grondlaag alsnog verstoord worden.

Ophogingen leiden net als gebouwen op staalfundering tot een belasting van de ondergrond. Nu komt de belasting echter voort uit het eigen gewicht van het nieuwe grondlichaam (weglichaam, dijk enzovoorts) of een ophoging (bouwrijp maken). De totale belasting is doorgaans minder dan bij een fundering vanwege het lagere gewicht en doordat deze over een groter oppervlak wordt gespreid, maar de belasting kan nog steeds flink oplopen. Aan de rand van de ophoging komen drukgradiënten (spreiding van de verticale spanningen) voor. Dat wil zeggen dat daar de druk over een bepaalde (relatief korte) afstand van binnen naar buiten sterk afneemt. Dit levert zettingsverschijnselen op zoals verschilzetting en horizontale verplaatsingen. Bij grootschalige ophogingen bij bouwprojecten is dit slechts een randeffect, maar bij smalle ophogingen – zoals wegcunetten en dijken – maakt de 'gradiëntzone' een substantieel deel uit van het totale beïnvloede gebied. Ophogingen op slappe grond veroorzaken samendrukking (comprimering) van de onderliggende lagen (zie beneden). Om dit proces te versnellen – wat tijdswinst oplevert in het bouwproces – wordt veelal gebruik gemaakt van verticale drainage. Dit zijn verticaal geplaatste drains die machinaal worden weggedrukt. De drains voegen sterk doorlatende stroompaden toe aan de niet doorlatende grond. De afstand tussen de drains is onder andere afhankelijk van de doorlatendheid van de slappe lagen en de gewenste opleverdatum (meer drains op een kortere afstand versnellen het proces). Om het zettingsproces te versnellen wordt ook vaak een tijdelijke overhoogte (een extra laag zand) aangebracht.

Materieel op de bouwplaats, zoals graafmachines, kranen en vrachtwagens, veroorzaken belasting van tijdelijke aard. De belasting door de wielen van dergelijk materieel moet niet worden onderschat; deze kan vele malen hoger zijn – vanwege de kleine contactoppervlakken – dan een ophoging van bijvoorbeeld enkele meters zand. Een belangrijk verschil is echter dat deze belasting tijdelijk is. Op grotere diepte zullen de

effecten daarom klein zijn. Ondiep, in de eerste circa 50 centimeter, kan ernstige verstoring ontstaan door bandensporen.

3.2.3 Diepe afdracht belasting: paalfunderingen

Paalfunderingen worden gebruikt om de fundering van gebouwen of kunstwerken te dragen wanneer de bovenste bodemlagen niet draagkrachtig genoeg zijn. Vroeger waren heipalen standaard van hout; tegenwoordig zijn verschillende soorten palen in gebruik.

Geprefabriceerde palen komen gebruiksklaar uit de fabriek en kunnen gemaakt zijn van massief beton of staal (bijvoorbeeld open buizen). Ook worden voor kleine projecten nog steeds houten palen gebruikt; dit wordt zelfs gepromoot als CO₂- neutraal alternatief. Bij andere technieken worden palen gevormd door beton te storten in een eerder gevormde holte, of (bij zogenoemde groutpalen) door *in situ* grond onder hoge druk te versnijden en te mengen met een betonmengsel.

Palen kunnen op verschillende manieren worden geïnstalleerd, namelijk grondverdringend en grondvervangend (ook wel grondverwijderend genoemd). Grondverdringende geprefabriceerde palen worden ingeheid of weggedrukt. De paal verdringt de grond tijdens het inbrengen. Dat betekent dat de grond rondom de paal moet bezwijken om de paal te installeren. De grootte van de invloedszone verschilt per paaltype (geometrie en materiaal) en per grondtype (zie hierna). Ook speelt de initiële grondsituatie een rol. Zand dat dicht gepakt is, gedraagt zich anders dan los gepakt zand; hetzelfde geldt voor grond onder en boven de grondwaterspiegel. Bij grondverwijderende palen wordt een ruimte in de bodem gemaakt en gelijktijdig gesteund door een zware (klei)vloeistof, die vervolgens wordt gevuld met beton. Ook kan hierbij een metalen *casing* gebruikt (zogenoeten vibropalen) die wordt ingeheid of ingetrild. De casing wordt vervolgens uitgetrokken, terwijl tegelijkertijd beton wordt gestort in de gevormde ruimte. Soms blijft de casing staan en vormt na het storten van beton de buitenkant van de paal. Bij boorpalen wordt een gat geboord met een speciaal gevormde avegaar (soort spiraalboor). Tijdens het uittrekken daarvan wordt beton ingepompt.

Na het installeren levert de paal draagkracht aan de punt en aan de paalschacht ('kleef'). In West-Nederland bijvoorbeeld worden de meeste funderingspalen van gebouwen door de (zachte) holocene klei- en veenlagen heen geheid. Ze steunen uiteindelijk met de punt in het onderliggende pleistocene (meer draagkrachtige) zand. Voor lichtere constructies (bijvoorbeeld tuinmuren en kassen) worden palen soms alleen 'op kleef' geheid. Ze komen dan niet in een zandige of anderszins draagkrachtiger bodem te staan; de weerstand die de paalschacht ondervindt van de omringende bodem levert dan voldoende draagkracht voor de constructie. Tijdens het gebruik van een paal is er geen additionele verstoring meer te verwachten, behalve als een waterondoorlatende laag wordt lekgeprik (bij grondverdringende palen is dat minder een gevaar). Als dat wel gebeurt zouden lokale veranderingen in hydrologie kunnen optreden (zie verder 3.3.3).

3.3 Effecten van het bouwproces

3.3.1 Ontgravingen en verstoringen

Bouwactiviteiten gaan in de regel gepaard met graafactiviteiten. Het gaat hierbij niet alleen om bouwputten en sleuven voor kabels en leidingen, maar bijvoorbeeld ook om ondergrondse voorzieningen als kelders, parkeergarages, vuilopslag en gegraven tunnels. Steeds vaker worden leidingen, tunnels enzovoorts ondergronds aangebracht, bijvoorbeeld door HDD (*horizontal directional drilling*). Dit wordt vooral toegepast onder wegen en

waterwegen. Deze technieken hebben invloed op het bodemarchief zonder dat er zichtbare graafactiviteiten plaatsvinden aan het oppervlak.

3.3.2 Het plaatsen van grondkeringen

Om tijdens het ontgraven het instorten van wanden te voorkomen – en als er geen plaats is voor open taluds – wordt de grond gekeerd door een constructie. Veelgebruikte oplossingen zijn stalen damwanden en diepwanden. Damwanden worden ingetrild of ingeheid, soms in combinatie met groutankers. Dat zijn stalen strengen met een groutlichaam dat horizontaal of onder een hoek wordt weggezet. Diepwanden worden gemaakt door een met bentoniet gestabiliseerde sleuf te graven en vervolgens een wapeningsnet en beton aan te brengen.

3.3.3 Effecten op grondwatersystemen

Tijdens de bouw is het vaak nodig de grondwaterstand tijdelijk te verlagen voor een droge bouwput. Hiervoor wordt dan bronbemaling ingezet. Het effect van bronbemaling gaat verder dan de bouwput, en kan ook een sterke invloed op het grondwaterpeil in de omgeving hebben (tot op honderden meters afstand), aangezien de verandering in de waterstand niet bij de rand van de bouwput ophoudt. Sommige ingrepen kunnen na de bouw leiden tot blijvende veranderingen in de hydrologische situatie. Bijvoorbeeld door directe verstoring van een scheidende laag tussen twee watervoerende pakketten, of doordat stroombanen in een watervoerend pakket worden verstoord of geblokkeerd door bouwwerken of bodemverdichtingen. Maar bijvoorbeeld ook doordat een (dunne) scheidende laag bij het plaatsen van funderingspalen wordt 'lekgeprikt'. Ook deze effecten kunnen ver buiten het gebied waar gebouwd is optreden.

3.3.4 Ingrepen bij het plaatsen van grondlichamen

Bij het plaatsen van grondlichamen worden soms aanvullende ingrepen uitgevoerd, die een eigen invloed hebben op de ondergrond. Vaak wordt bij de aanleg van een grondlichaam op slappe grond verticale drainage aangebracht. Dit zorgt ervoor dat onderliggende lagen sneller kunnen worden samengedrukt (doordat het water wordt afgevoerd). Dit vermindert de kans op bezwijken en verkort de wachttijd tussen aanleg en gebruik van een grondlichaam. Verticale drainage bestaat meestal uit plastic strips die in een dicht rasterpatroon in de grond worden gedrukt, en niet meer worden verwijderd. Om meer draagkracht te geven worden soms *sand piles* (zandpalen) aangebracht; boorgaten die gevuld worden met zand. Deze voeren een deel van de belasting van een grondlichaam af naar diepere lagen. In sommige gevallen worden hiervoor zelfs 'echte' heipalen gebruikt. Ten slotte wordt soms geotextiel (dik plastic) aangebracht aan de onderkant van grondlichamen om een meer gelijkmatige drukverdeling op de ondergrond te krijgen. Als het gebruikte geotextiel niet waterdoorlatend is, ontstaat ook een hydrologische barrière.

4 De effecten op het archeologische bodemarchief

4.1 Verstoringen door vergraving

Vergraving leidt tot fysieke verstoring van een vindplaats, waarbij sporen en stratigrafie worden vernietigd en artefacten verplaatst of beschadigd. Feitelijk is het doen van gravend archeologisch onderzoek net zo versturend als graafwerk ten behoeve van bouwwerkzaamheden. Het verschil is echter dat de graafactiviteiten bij archeologische opgravingen zodanig worden uitgevoerd dat de vindplaats optimaal kan worden bestudeerd terwijl sporen worden ingetekend, vondsten worden verzameld en geregistreerd en de resultaten worden gerapporteerd: behoud *ex situ*.

Bij het ondergronds plaatsen van kabels, leidingen enzovoorts kan lokaal veel schade worden aangericht. Ongezien vindt verstoring plaats van de doorsneden lagen, waarbij onduidelijk is hoe groot het verstoorte volume is. Bovendien kunnen scheidende lagen worden verstoord, waardoor (watervoerende) lagen die eerste gescheiden waren met elkaar in verbinding komen, met onbekende, onvoorspelbare effecten op het bodemvochtregime.

4.2 Verstoringen door funderingspalen

Bij het plaatsen van een funderingspaal wordt in ieder geval in het volume van de paal de bodem verstoord (doordat het sediment wordt vervangen door de paal zelf). Daarnaast kan er rondom de paal een verstoord volume ontstaan waarin het sediment uit verband is getrokken. De vorm en het volume van bodemverstoring van de bodem – en dus potentiële vernietiging van het archeologisch bodemarchief – hangen af van twee factoren: de wijze waarop de paal is geplaatst en de bodemsamenstelling. Bij grondvervangende palen is het vernietigde volume *in theorie* even groot als het volume van de paal en is verstoring van de bodem in de directe omgeving verwaarloosbaar. In de praktijk klopt dit echter niet: de grond rondom een boorgat kan door verschillende oorzaken verstoord raken. Bij geboorde palen kan dit onder meer komen door druk van de avegaar en bij het boren losgemaakt bodemmateriaal uit de omringende bodem, of door het verminderen van druk in de omringende bodem als gevolg van het boorproces. In extreme gevallen kan door zandtransport tijdens indraaien een verstoorte zone ontstaan met een doorsnede van circa 3 meter. Bij palen zonder *casing* kan de druk (belasting) op de omringende bodem veranderen, waardoor deze gaat bewegen naar de paal toe. Ook kan bij dit type palen het geïnjekteerde beton weglekken in slappe lagen; er is slechte controle over waar het beton in de ondergrond blijft.

Enkele tests uit Engeland geven aan dat het storten van beton in een onafgesloten volume – zoals bij een gestorte paal waarbij casing of boor wordt uitgetrokken – waarschijnlijk geen chemische invloed heeft op de directe omgeving (Williams et al. 2008a). Wel kan grotere fysieke verstoring ontstaan als er technische problemen ontstaan, en een verkeerd geplaatste of mislukte paal moet worden uitgetrokken of uitgegraven (Groenendijk 2009).

Bij grondverdringende palen wordt bodemmateriaal weggedrukt op de locatie waar de paal komt te staan. Bodemmateriaal in de omgeving van de paal kan worden samengedrukt en mee naar beneden worden getrokken. Hoe groot deze zone is, is echter niet erg duidelijk. Daarnaast kan de grond worden omgewoeld door het optreden van schuifvlakken als gevolg van het verdringingsproces. Bij gebrek aan beter wordt soms als vuistregel aangehouden dat ingeheide palen een volume verstoren met een diameter van drie keer de diameter van de paal; aan weerszijde van de paal één paaldikte. Williams et al. (2009b) vindt op basis van laboratoriumonderzoek op verkleinde schaal ook deze waarde. Het is hier echter de vraag of opschalen vanuit de testopstelling naar het veld feitelijk wel mogelijk is. De palen zijn

weliswaar geschaald, maar de korrels waaruit het sediment is opgebouwd niet. Bij onderzoek op een aantal locaties waar de effecten van vierkante betonnen ingeheide palen in het veld micromorfologisch werden onderzocht, bleek dat in sommige klei- en veenlagen de verstoorde zone minder was dan een centimeter. In zandlagen echter werden vervormingen aangetroffen in de bodemlagen die verder reikten dan de eerder genoemde ingeschatte driemaal de paaldiameter (Huisman et al. 2009; Huisman et al. *in prep*). Een catalogus van heipalen in de bodem van de binnenstad van Gouda geeft aan dat daar in de meeste gevallen slechts zeer beperkte verstoringen buiten het paalvolume zichtbaar zijn (Groenendijk 2009). Oud muurwerk bleek hierbij ook doorheid te zijn, met relatief weinig verstoring. Vergelijkbare waarnemingen zijn ook gedaan in Engeland (Williams et al. 2007). Echter, als een heipaal zou stuiten op grote stukken goed geconserveerd hout – dat taaier is en minder snel zal fragmenteren dan metselwerk – zal het hele stuk hout kunnen gaan bewegen in de bodem. De schade door het verplaatsen van het hout zal dan veel groter zijn dan verstoringen in een homogene bodem.

Bij het toepassen van heipalen in een archeologische vindplaats wordt soms het gevaar genoemd van het introduceren van micro-organismen (schimmels en bacteriën) in de diepere bodemlagen die vervolgens archeologische materialen als hout of leer kunnen aantasten. Dit gevaar kan echter worden verwaarloosd; we weten nu dat microbiologische aantasting wordt gestuurd door het bodemmilieu. Met andere woorden: als het bodemmilieu geschikt is, zullen de micro-organismen daar sowieso komen en gaan aantasten (zie ook Huisman 2009).

De enkele gepubliceerde waarnemingen geven zo veel onverwachte uitkomsten dat we moeten concluderen dat er nog te weinig bekend is over de versturende effecten van het plaatsen van funderingspalen om een goede inschatting te kunnen maken van de exacte effecten van verschillende paaltypen onder verschillende omstandigheden. Wel is duidelijk dat de meeste verstoring ontstaat als palen door zandlagen heen worden geheid, terwijl verstoring in veen of slecht gerijpte klei niet veel groter zal zijn dan het verdrongen paalvolume, zeker als het om ondiepe lagen gaat, zoals bij de meeste archeologische vindplaatsen.

4.3 Verstoringen door andere werkzaamheden

Er zijn verschillende andere werkzaamheden die tot verstoring van vindplaatsen kunnen leiden, maar niet onder vergravingen of funderingspalen vallen. Dat geldt bijvoorbeeld voor het plaatsen van *zandpalen* die als doel hebben de verticale drainage te bevorderen. Als deze worden geplaatst gaat in ieder geval het volume van de zandpaal verloren (dat wordt opgeboord). In hoeverre er aanvullende schade optreedt door het boren zelf (druk van een avegaar?), of door vervormingen door het indringen van zand in slappe lagen, is nooit onderzocht. Ook bij het *ondergronds aanbrengen* van geboorde leidingen is weliswaar duidelijk dat het geboorde volume verstoord zal raken, maar in hoeverre omringend sediment ook wordt verstoord is onbekend. Er wordt bij dit soort boringen bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een boorvloeistof met een verhoogde druk om het boorgat open te houden. Indien de druk te hoog oploopt ontstaan scheuren in de wand van het boorgat, die tot aan het maaiveld (of de waterbodem) kunnen doorlopen.

Het plaatsen van *damwanden* heeft waarschijnlijk vergelijkbare effecten als het plaatsen van heipalen: verstoring door vervorming en vermenging van bodemlagen. Omdat het volume van een wanddeel kleiner is ten opzicht van het oppervlak, is het waarschijnlijk dat er minder materiaal naar beneden wordt gedrukt, en dat het effect van het neertrekken van lagen groter is. Dit is echter theoretisch: er is geen onderzoek gepubliceerd naar het effect van het plaatsen van damwanden op archeologische vindplaatsen.

Datzelfde geldt voor het plaatsen van *drainagestrips* bij het aanleggen van grondlichamen. Hierbij wordt waarschijnlijk weinig materiaal naar beneden gedrukt, maar is er wel effect op de directe omgeving – ook chemisch. Het is onduidelijk in hoeverre de aanwezigheid van deze strips leidt tot lokale verschillen in compressie, of in hoeverre er vervormingen optreden als ze in een archeologische vindplaats worden geplaatst. Ook hierover is geen literatuur bekend.

Figuur 2A – D Voorbeelden van heipalen geplaatst in archeologische vindplaatsen.



2A: Heipalen die net zijn geplaatst in een terplichaam in Groot-Wetsinge Uit Huisman et al. (2009a, geaccepteerd).



2 B: Heipalen van een gesloopt gebouw in het profiel van een opgravingsput in Voorburg. De paal gaat achtereenvolgens door een kleipakket uit de romeinse haven, een laag zand en een laag neolithisch veen. In de top van het veen zijn afdrukken van koeiepoten te zien. De effecten van het plaatsen van de paal zijn evident in het zand, maar niet in het klei en het veen (Huisman et al. geaccepteerd).



2C: Houten paal die door een muur heen is geheid, aangetroffen bij opgravingen op de Koningshof in Gouda. Uit Groenendijk (2009), foto gemeente Gouda.



D: Cluster van houten heipalen aangetroffen bij opgravingen op de Koningshof in Gouda. Het bodemarchief tussen de palen moet als verloren worden beschouwd. Uit Groenendijk (2009), foto gemeente Gouda.

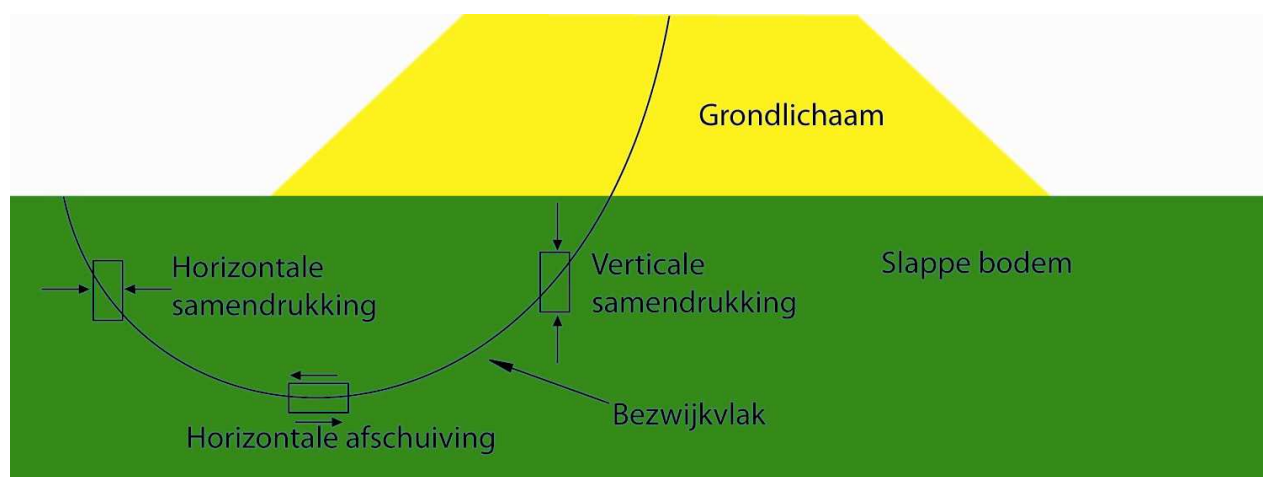
4.4 *Compressie en vervorming van bodemlagen*

4.4.1 *Inleiding*

Het plaatsen van een belasting op bodemlagen kan twee effecten hebben. In de eerste plaats kan de bodemstructuur *bezwijken*, waarbij de bodem zich tijdelijk als een (dikke) vloeistof gaat gedragen, bodemdeeltjes gaan bewegen en allerlei vervormingen en verplaatsingen kunnen plaatsvinden. Dit is een proces dat bijvoorbeeld noodzakelijk is bij het inheien van grondverdringende palen. Het kan echter ook optreden als gevolg van grote belastingen (bijvoorbeeld grondlichamen). In de tweede plaats is er de *consolidatie* van bodemlagen. Bij consolidatie wordt de bodem onder invloed van de belasting samengedrukt. De bodem verliest volume (compressie), wat betekent dat de vast deeltjes dichter op elkaar worden gepakt, en het porievolume afneemt. Omdat dit gepaard gaat met het uistromen van water kan dit proces in slecht doorlatende gronden (klei en veen) een lange tijd duren. De compressie leidt tot irreversibele vervormingen in de grondlaag die zich manifesteren als zettingen aan het maaiveld. Zand heeft in de regel een relatief stevig korrelskelet en comprimeert daardoor relatief weinig. Ongerijpte klei en veen hebben geen stevig korrelskelet maar wel een hoog watergehalte en kunnen daardoor sterk comprimeren.

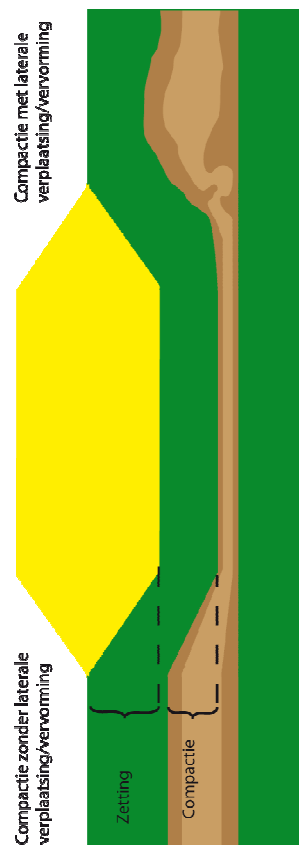
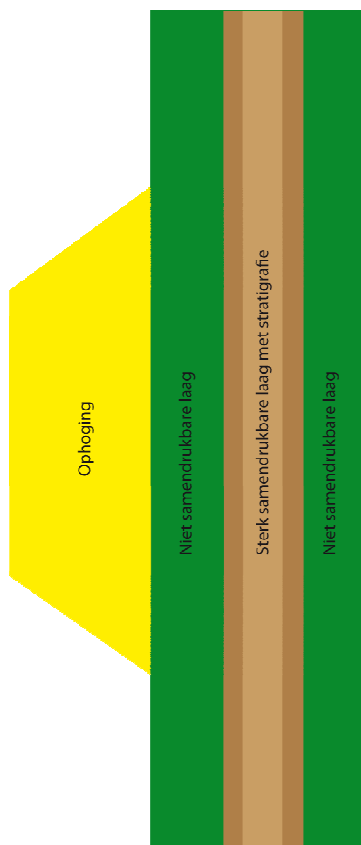
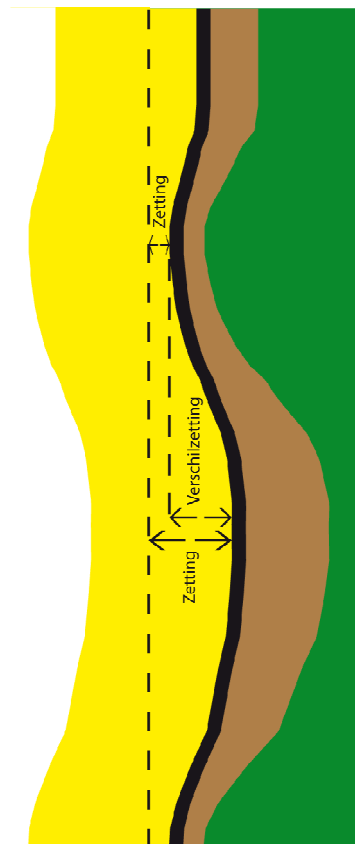
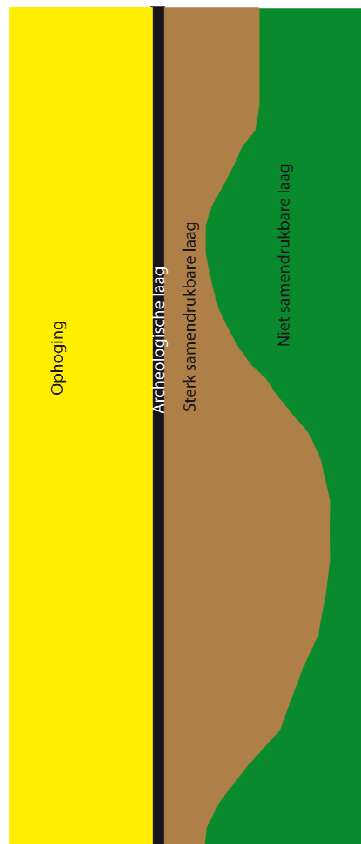
Overigens kan eenzelfde mechanisme van compressie en zetting ook optreden door een afname van de waterspanningen in de grondlaag zelf. Dat laatste wordt voornamelijk veroorzaakt door een tijdelijke verlaging van de grondwaterstand tijdens bouwwerkzaamheden of een permanente verandering van grondwaterstroming, bijvoorbeeld door de aanleg van ondergrondse constructies (parkeergarage, tunnel).

Figuur 3a illustreert hoe belasting aan het oppervlak (in dit voorbeeld door een grondlichaam) verschillende effecten heeft op verschillende locaties, en hoe de effecten zich uitstrekken tot buiten de locatie van de belasting. Direct onder het grondlichaam vindt met name verticale compressie plaats. Aan de voet van het lichaam kan horizontale verplaatsing plaatsvinden (zowel relatief als absoluut). Buiten het lichaam kan horizontale compressie optreden. Deze kan zo substantieel zijn, dat in het verleden schade is opgetreden aan kabels en aan funderingen.



Figuur 3a Effecten van belasting aan het oppervlak door een grondlichaam op onderliggende slappe sedimentlagen. De effecten van belasting verschillen van locatie tot locatie, en zijn ook relevant buiten de ophoging zelf.

Deze drukeffecten kunnen verschillende netto-effecten hebben op de ondergrond. Deze zijn geïllustreerd in figuur 3 aan de hand van twee soorten ophogingen met zand en worden behandeld in de volgende paragrafen.



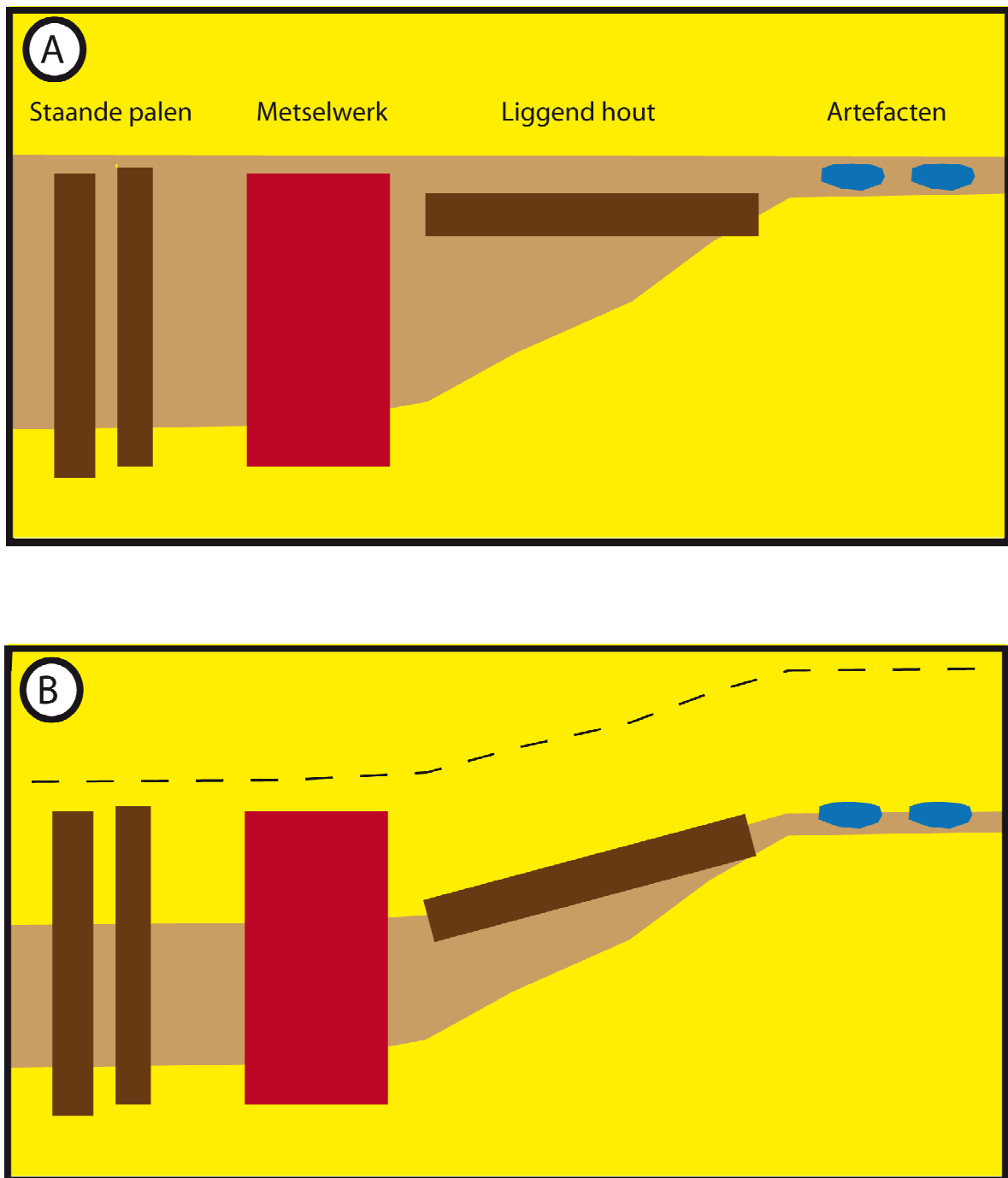
Figuur 3b Schematische weergave van potentiële effecten van druk en zetting op onderliggende (archeologische) lagen. Geïllustreerd op basis van een smalle en een brede ophoging met zand. De verticale schaal is sterk overdreven.

4.4.2 Vervorming door drukverschijnselen in archeologische lagen

Als gevolg van druk kunnen bodemlagen – inclusief lagen die deel uitmaken van een archeologische vindplaats – vervormen. Er zijn nog geen waarnemingen beschikbaar van de exacte invloed van dit soort processen op archeologische vindplaatsen. Bij gebrek aan goede waarnemingen kunnen we op theoretische gronden echter wel een aantal aannames doen.

Lagen die homogeen zijn van samenstelling en dikte zullen bij een grote, homogene terreinophoging min of meer homogeen worden samengedrukt. Alleen aan de randen ontstaan mogelijk vervormingen door ongelijke druk en (daardoor) ongelijke samendrukking of door horizontale verplaatsingen (zie hierna). Echter, archeologische lagen zijn vaak juist heterogeen. Als gevolg van variaties in lithologie (bijvoorbeeld kleigehalte) of door de aanwezigheid van grote artefacten of stevige bouwresten kan de samendrukking meer heterogeen van karakter zijn. Zo kan reliëf ontstaan op locaties waar dat oorspronkelijk helemaal niet voorkwam.

In specifieke gevallen kan de relatie tussen artefact en omringende bodem verstoord raken. Bijvoorbeeld als stevige antropogene resten (bijvoorbeeld goed geconserveerde houten palen en stenen muurresten) voorkomen in een slappe laag. Compressie van dat slappe bodemmateriaal kan er dan toe leiden dat bodemmateriaal verplaatst ten opzichte van de steviger resten, en zelfs dat deze resten in de daarboven gelegen laag gaan steken.



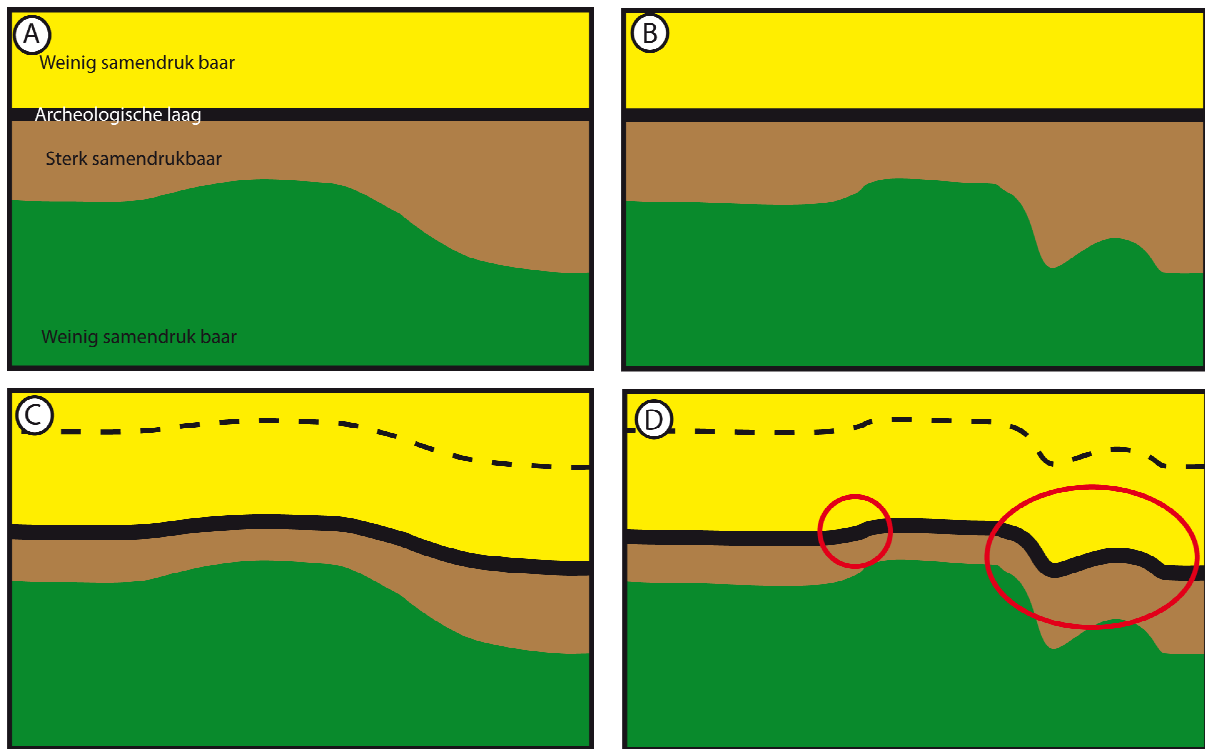
Figuur 4 Schematische weergave van verstoring van artefact- bodemrelatie door compressie van een bodemlaag met sterk overdreven verticale schaal. A: beginsituatie, B: na 50% compressie van de zettingsgevoelige laag. Funderingen en artefacten komen in de eindsituatie gedeeltelijk voor in een laag waar ze oorspronkelijk niet in thuis hoorden. Daarnaast heeft het liggende hout een andere oriëntatie gekregen.

In de randzone van een ophoging ontstaat een drukgradiënt. Dit kan leiden tot horizontale (laterale) verplaatsingen van het bodemmateriaal. Door de heterogeniteit in de

drukverdeling kunnen bij dergelijke horizontale verplaatsingen archeologische lagen worden vervormd, verplaatst en wellicht zelfs onderbroken raken. Smalle, langgerekte ophogingen als dijklichamen, wegcunetten en spoordijken bestaan bijna helemaal uit randzones, dus bij zulke aardwerken is dit fenomeen waarschijnlijk zeer relevant. In extreme gevallen – bij het bezwijken van de grond – zouden dermate grote verstoringen ontstaan dat de laagstructuur volledig wordt verstoord.

4.4.3 Vervorming door drukverschijnselen onder archeologische lagen

Zelfs als een archeologische vindplaats deel uitmaakt van een min of meer homogeen pakket kan toch vervorming optreden als onderliggende pakketten heterogeen zijn. Het onderliggende pakket kan dan bij ophoging verschillende maten van compressie vertonen, waardoor bovenliggende lagen vervormen (zie figuur 3). De mate van vervorming die optreedt is dan vooral afhankelijk van de verdeling van de zettingsgevoeligheid van de onderliggende lagen. Vooral als de mate van zetting van de onderliggende lagen abrupte overgangen vertoont, zal de invloed op de bovenliggende lagen sterk zijn (zie figuur 5).



Figuur 5 Schematische weergave met sterk overdreven verticale schaal van de invloed van variabiliteit in verschildzetting op de vervorming van overliggende lagen bij ophoging. In deze figuur wordt verschildzetting alleen veroorzaakt door variatie in de laagdikte van de zettingwgevoelige laag. Verschillen in laageigenschappen (bijvoorbeeld zand- of kleigehalten) kunnen in de praktijk ook een rol spelen. A: beginsituatie met laag reliëf, B: beginsituatie met hoog reliëf. De hoogteverschillen zijn gelijk, maar in B zijn de overgangen abrupter. C, D: als A en B, nadat de zettingsgevoelige laag 50% is gecompriëerd. In beide gevallen wordt de archeologische laag door verschildzetting vervormd. De vervormingen zijn in C echter geleidelijk, terwijl in D scherpe overgangen ontstaan (rode ovalen). Hier zal de vervorming van het archeologisch niveau heel sterk zijn.

4.4.4 Aantasting van materialen

Als in een laag die onderhevig is aan compressie grotere artefacten of andere materialen voorkomen die zacht zijn – zoals stukken hout die zacht zijn geworden door bacteriële aantasting – kunnen die met de laag mee vervormen. Hardere artefacten (zoals aardewerk en glas) kunnen breken. Mogelijk zouden ook corrosielagen op metalen voorwerpen kunnen afbreken, waardoor corrosie versnelt. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat – onder invloed van de druk van ophogingen – houtskool kan fragmenteren en niet-verkoolde organische resten worden afgebroken. Dit is gebaseerd op een studie van een beperkt aantal waarnemingen (van Kappel 2004). Meer onderzoek is gewenst om vast te stellen hoe algemeen dit fenomeen is en onder welke omstandigheden het optreedt.

4.5 Veranderingen in vochttoestand

4.5.1 Inleiding

Tijdens en na het bouwproces zijn er verschillende manieren waarop de dynamiek van grondwater en bodemvocht kan worden beïnvloed. Grondwaterstanden en bodemvocht kunnen sowieso sterk variëren door natuurlijke oorzaken. Beïnvloeding van of een ingreep in deze dynamiek kan op allerlei manieren uitwerken, afhankelijk van de samenstelling van de bodem en eigenschappen van het hydrologisch systeem. Als er veranderingen optreden heeft dat meestal direct invloed op de zuurstofbalans en, vandaar, de redoxtoestand in de bodem. Dit kan op twee heel verschillende manieren van invloed zijn op archeologische vindplaatsen. In de eerste plaats aantasting van archeologisch materiaal door verdroging en oxidatie. In de tweede plaats onzichtbaar worden van grondsporen door reductie van ijzer ('verblauwing').

4.5.2 Invloed op artefacten en andere archeologisch materialen

Als bouwprojecten worden uitgevoerd in gebieden met hoge grondwaterstanden is het vaak nodig in te grijpen in de waterdynamiek: Tijdelijke onttrekkingen, drainage of (bron)bemaling zorgen ervoor dat de bouwplaats droog genoeg wordt en voldoende draagkracht krijgt voor de bouwwerkzaamheden. Deze kunnen kortdurend zijn; dan wordt, als het bouwproject is afgelopen, de oude situatie weer ingesteld. Soms worden grond- en oppervlaktewaterniveaus als onderdeel van planontwikkeling permanent aangepast. Met name door het reguleren van slootpeilen, het graven van bekkens en het aanbrengen van drainage. Een verlaging van de grondwaterstand leidt er in veel gevallen toe dat de bovenste zone in de bodem die nog waterverzadigd was gaat uitdrogen. In die delen van de bodem dringt dan lucht (met zuurstof) de bodem in. Ook kunnen organische resten – tegelijk met de bodem – uitdrogen.

Organische artefacten zoals hout, leer, textiel en botanische resten blijven in waterverzadigde lagen in de regel goed bewaard. Als een verandering in het grondwatersysteem leidt tot uitdroging van deze materialen en tot de indringing van zuurstof, kunnen ze snel worden aangetast door schimmels. Deze leiden tot een snelle volledige afbraak van het materiaal. Botmateriaal ondergaat hetzelfde lot als de bodem kalkloos is, maar blijft in principe goed als de bodem kalkhoudend is. Fluctuaties in vochtgehalten leiden tot aantasting van de meeste materialen doordat herhaald uitdrogen en weer vochtig worden uitmondt in scheurvorming en vervorming. Metalen uit zuurstofloze zones die plotseling in een zuurstofrijk milieu terecht komen zullen ook gaan oxideren (roesten). Ook hier veroorzaken fluctuerende vochtgehalten een sterkere afbraak. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze processen: zie Huisman et al. (2009).

In bodems waar van nature pyriet voorkomt hebben verdroging en de indringing van zuurstof potentieel nog ingrijpender effecten: pyriet reageert met zuurstof. Hierbij ontstaat naast een aantal mineralen zwavelzuur. Verdrogende, pyriethoudende bodems verzuren daardoor sterk. Als dergelijke bodems kalkrijk zijn verzuren ze niet, maar vormt zich gips. De vorming van gips kan echter ook schade veroorzaken aan archeologische resten; zie bijvoorbeeld Huisman et al. (2008).

Uitdrogen van waterverzadigde bodems maakt ze geschikt voor planten en dieren. Een gevolg van ontwatering kan dan ook zijn dat platenwortels en gravende bodemdieren dieper doordringen in de archeologische lagen. Hun activiteit leidt er op langere termijn toe dat de bodem wordt gehomogeniseerd ('gebioturbeerd') waarbij sporen verdwijnen en artefacten worden verplaatst.

4.5.3 *Invloed op bodemkleur*

In Nederland bevatten vrijwel alle bodemlagen ijzer in de vorm van ijzeroxiden of -hydroxiden. In de aanwezigheid van zuurstof hebben ze afhankelijk van de precieze mineraalvorm rode, rood- bruine of geel-bruine kleuren. Het ijzer is dan geoxideerd, en is als Fe^{3+} in de verbindingen aanwezig, bijvoorbeeld FeOOH en Fe_2O_3 . Is geen zuurstof aanwezig, dan kunnen deze verbindingen worden omgezet naar verbindingen die een blauwe kleur hebben, en die bovendien gemakkelijk oplosbaar zijn. Het ijzer is dan gereduceerd en als Fe^{2+} aanwezig, bijvoorbeeld als $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Dit gebeurt doordat bacteriën het ijzer gebruiken als vervanging voor zuurstof in hun stofwisseling. De grens van zuurstofindringing in de bodem (de redoxgrens) is hierdoor in boringen en profielen in veel gevallen goed herkenbaar (zie Huisman 2009).

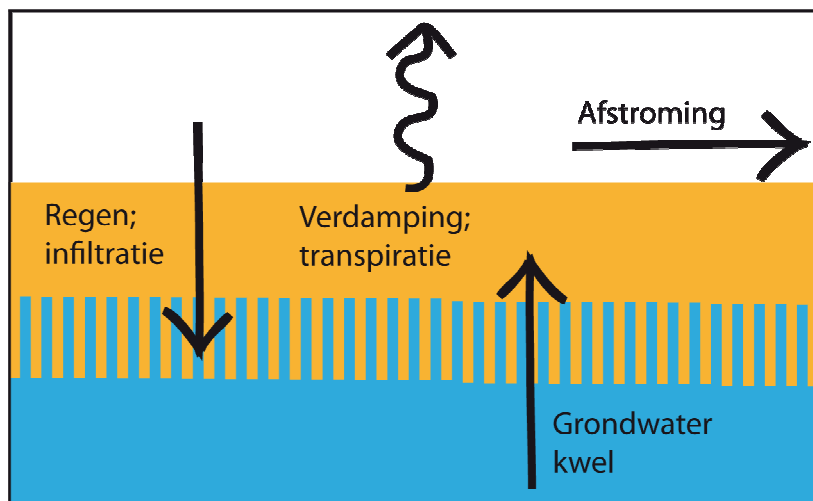
Bouwactiviteiten kunnen leiden tot veranderingen in het vochtregime in de bodem waardoor de verdeling van redoxkleuren verandert. In een onbebouwde bodem wordt het bodemvocht gereguleerd door infiltratie van neerslag en kwel, en door waterafvoer door verdamping en afstroming. Doordat neerslag in de regel zuurstofrijk is en kwelwater vaak zuurstofarm, ontstaat de vrij algemene zonering met oxidatiekleuren ondiep en reductiekleuren daaronder (zie figuur 6A). Door het plaatsen van een bouwwerk verandert een aantal van deze factoren. Een ondoorlatende afdekking (zoals een gebouw of een weg) blokkeert de infiltratie van neerslag. In de omgeving blijft wel neerslag infiltreren. Als compensatie (wet van de communicerende vaten) welt dieper grondwater op onder de constructie of er is horizontale toestroming. Zo ontstaat een kwelvenster (Maas 2001). Omdat het diepere grondwater in de regel zuurstofarm is schuift hier de redoxgrens omhoog (zie figuur 6B). Tegelijkertijd resulteert de afdekking in het afnemen van de verdamping door vegetatie. Dat betekent dat met name direct onder de afdekking het bodemwater stagneert. Ook hier kan daardoor een gereduceerde (blauwe) zone ontstaan (zie figuur 6C). Deze blauwe zones, zoals weergegeven in figuur 6B en 6C, staan onder archeologen bekend als 'verblauwing'.

Een ophoging met een zandlichaam kan een tegengesteld effect hebben. Het kan ertoe leiden dat minder water oppervlakkig afstroomt en minder verdamping optreedt, waardoor de bijdrage van zuurstofhoudend water uit neerslag groeit. Hierdoor kan onder de ophoging de redoxgrens juist naar beneden schuiven (figuur 6D). Dat geldt echter zolang de ophoging goed doorlatend is en water snel neerwaarts door de bodem kan worden getransporteerd. Als er bijvoorbeeld zware kleilagen in de ophoging aanwezig zijn zal de ophoging eerder functioneren als afdekking.

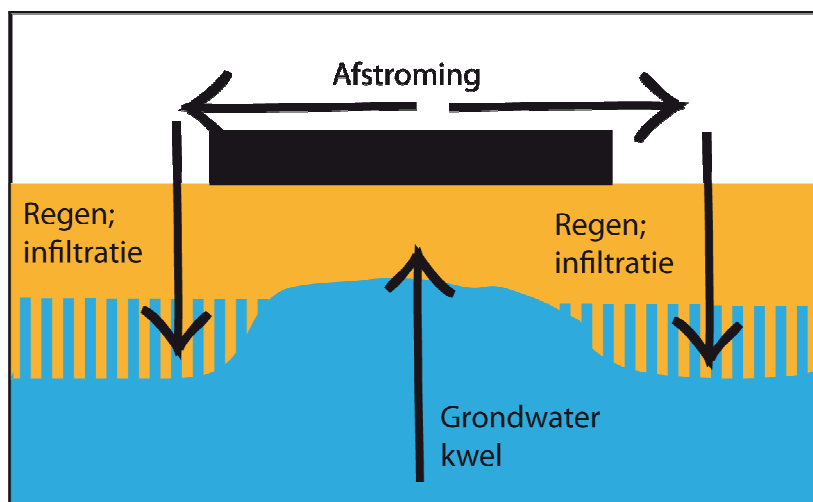
Het hiervoor gepresenteerde model is vrij theoretisch en behoeft nog toetsing. In veel gevallen (bijvoorbeeld bij het aanleggen van een verharding op een zandlichaam) zal

overigens een combinatie optreden van de processen die hiervoor zijn beschreven. Omdat veel van de effecten tegengesteld zijn is het eindresultaat lastig te voorspellen.

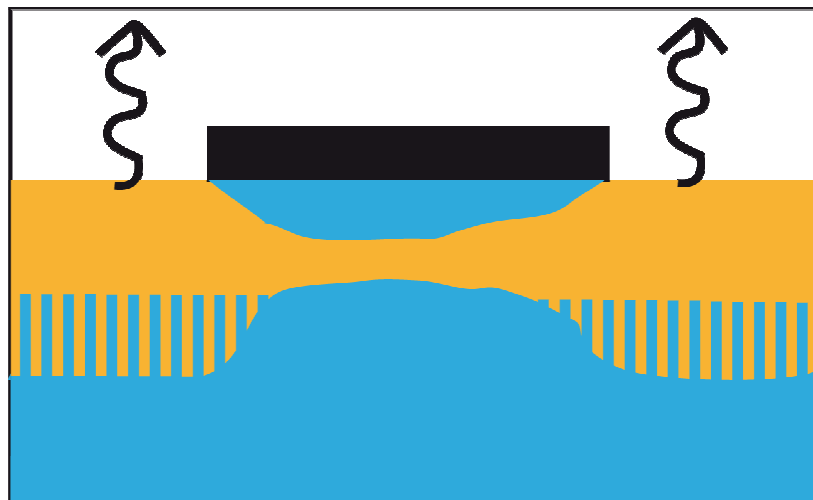
6A



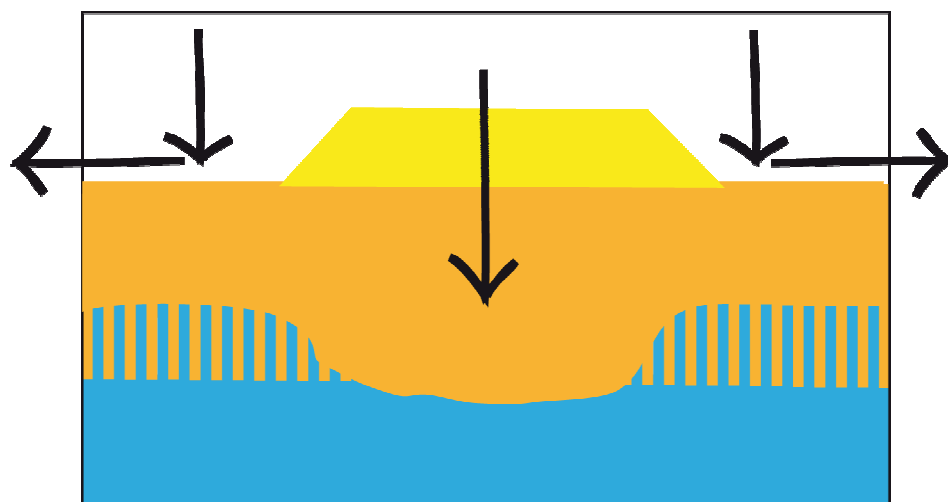
6B



6C



6D



Figuur 6 Model van het ontstaan van verblauwing bij bebouwen van terreinen. Het betreft hier een theoretisch model dat nog zal moeten worden getest. A: bodemvochtdynamiek in een bodem voordat die wordt bebouwd, B: afdekking resulteert in het ontstaan van een 'kwelvenster' door vermindering van de infiltratie, C: afdekking resulteert ook in vernatting door vermindering van de verdamping, D: ophoging met goed doorlaatbaar weinig reactief materiaal (grof zand of grind) kan ook leiden tot een toename van zuurstof in het bodemprofiel.

Mocht een afdekking of ophoging na enige tijd weer worden verwijderd, dan zal de toestand waarschijnlijk geleidelijk terugkeren naar de oorspronkelijke situatie. De snelheid waarmee dat gebeurt is echter niet te voorspellen. Ervaringen in het veld geven aan dat de blauwe kleur soms binnen enkele uren na het openleggen van een opgravingsput verdwijnt, en dat sporen dan (beter) zichtbaar worden. In andere gevallen is de blauwe kleur na een of enkele dagen nog onveranderd.

5 Consequenties van bouwen voor de waarde van een archeologische vindplaats

5.1 Inleiding

Het voorgaande hoofdstuk gaf een beeld van de effecten van het bebouwen op een archeologische vindplaats. Dit zegt echter nog weinig over de betekenis daarvan voor de archeologie. In dit hoofdstuk wordt daarom besproken wat de consequenties zijn van deze effecten van bebouwen op de waarden van een archeologische vindplaats. De hoofdvraag is daarbij of het bebouwen schadelijk is of niet.

5.2 Informatieverlies bij directe bodemverstoringen

Bij de meest directe aantasting van een archeologische vindplaats – fysieke verstoring – staat de feitelijke schade niet ter discussie. Binnen het verstoorte volume gaan grondsporen en stratigrafie verloren samen met de daarmee geassocieerde artefacten en andere resten. Als artefacten bewaard blijven verliezen ze wel hun context en relaties onderling en met de grondsporen.

Als sprake is van verstoringen als onderdeel van een bouwplan is een belangrijke vraag of na de verstoring nog steeds dezelfde informatie uit de vindplaats gehaald kan worden, en zo niet, in hoeverre het verlies acceptabel is. Het verlies aan informatie zal sterk verschillen van vindplaats tot vindplaats en dat maakt het inschatten van de mate van verlies zeer lastig. Een benadering is om uit te gaan van de grootte van de 'informatie-eenheden' van een vindplaats. Een informatie-eenheid is een object, een spoor of een groep van objecten en/of sporen die in zichzelf archeologische informatie oplevert. Afhankelijk van het type complex zullen informatie-eenheden van verschillende grootte van belang zijn. Voorbeelden van informatie-eenheden zijn:

- een haardkuil;
- een huisplattegrond, bestaande uit palen, greppels en vondstmateriaal daarin;
- een erf, bestaande uit verschillende gebouwplattegronden, greppels enzovoorts;
- een jachtkamp bestaande uit verkoold materiaal en vuursteen;
- een grafkuil met inhoud;
- een greppel, gracht of patroon van kavelsloten.

Sommige vindplaatsen zullen alleen kleine informatie-eenheden bevatten; een jachtkamp of een grafkuil is niet meer dan een of een paar meter in doorsnede. Een huisplattegrond is vaak langer dan 10 meter, en een greppel of verkavelingspatroon kan tientallen tot zelfs honderden meters beslaan. Daarbij is een greppel smal, en zal een heel verkavelingspatroon (ook als het geheel uit smalle greppels bestaat) juist breed zijn. Voor het beoordelen van de voorspelde schade door een geplande verstoring kunnen we de grootte van verwachte informatie-eenheden als criteria gebruiken, waarbij het verlies aan informatie zo klein mogelijk dient te zijn. Twee voorbeelden.

Een middeleeuwse nederzetting bestaat uit huisplattegronden met een verwachte grootte van circa 10 x 15 meter (de eigenlijke paalsporen en greppels zijn natuurlijk veel kleiner). Een verstoring van 1 x 1 meter kan ertoe leiden dat een of twee paalgaten verloren gaan, maar waarschijnlijk kan een huisplattegrond met zodanige schade in de toekomst nog steeds worden onderzocht, en dus is het verwachte informatieverlies klein.

Een vroegmiddeleeuws grafveld bestaat uit grafkuilen van circa 2,50 x 0,75 meter. Binnen de grafkuilen worden menselijke resten en grafgiften verwacht. Bij een verstoring van 1x1 meter is de kans reëel dat een grafkuil wordt geraakt, waarbij een groot deel van het spoor, de menselijke resten, de grafgiften en hun onderlinge samenhang verloren gaan. Op het niveau van de begraving is er dus een reële kans op vernietiging van vrijwel alle archeologische informatie. Hoe groot dat effect is op de informatiewaarde van de totale vindplaats zal mede afhankelijk zijn van het aantal daar verwachte graven. In ieder geval is de kans op informatieverlies duidelijk groter dan in het vorige voorbeeld.

De kans om archeologische sporen te raken met bouwwerkzaamheden is overigens gerelateerd aan de kans om sporen te vinden met archeologisch booronderzoek. Zie hiervoor bijvoorbeeld Tol et al. (2004, 2006).

5.3 Informatieverlies als gevolg van drukverschijnselen

Vervorming van de bodem kan diverse effecten hebben die van invloed zijn op de archeologische informatie of op de leesbaarheid van het bodemarchief. In algemene zin geldt dat sterkere vervormingen leiden tot grotere problemen. Laterale verplaatsing, vervloeijing of liquefactie – waarbij de oorspronkelijke sedimentsamenhang verloren gaat – heeft potentieel de grootste effecten. Informatieverlies kan verschillende vormen aannemen.

- De grondsporen en lagen worden zodanig verstoord dat de leesbaarheid van vlakken en de interpreteerbaarheid van grondsporen wordt beïnvloed. Dit kan bijvoorbeeld het volgende betekenen.
 - o De ruimtelijke schaal van de vervormingen ligt in dezelfde ordegrootte als de relevante lagen en/of sporen. Is de vervorming veel grootschaliger, dan is die in het veld herkenbaar en kan daarvoor worden gecorrigeerd. Dunne min of meer horizontale eenheden zoals vloeren en afvallagen zijn het meest gevoelig voor vervormingen. Grote, diepe eenheden zoals grachten, greppels en grote kuilen kunnen enige verstoring ondergaan zonder dat de interpreteerbaarheid van het spoor worden aangetast. Een belangrijk criterium is in hoeverre dit soort lagen nog in een horizontaal vlak kunnen worden opgegraven.
 - o De continuïteit van lagen raakt verstoord, bijvoorbeeld door af- of overschuivingen.
 - o De microstructuur wordt zodanig verstoord dat microscopisch onderzoek (micromorfologie) van lagen of sporen niet meer mogelijk is.
- Horizontale verplaatsing, vervloeijing of liquefactie verstoort op een oncontroleerbare manier de laagopbouw, verstoort sporen en stratigrafie of verandert de verdeling van artefacten en andere resten binnen een laag.
- De relatie tussen artefacten en de omringende bodem wordt verstoord, bijvoorbeeld doordat ze (gedeeltelijk) in over- of onderliggende lagen worden geduwd waar ze feitelijk geen verband mee hadden. Dit kan bijvoorbeeld optreden als goed geconserveerde houten palen zijn ingebed in een veenlaag die sterk wordt gecompriëerd: de punten kunnen dan in bovenliggende lagen terecht komen (zie figuur 4).

De verschillende vormen van potentiële schade aan archeologisch materiaal hebben zeer verschillende consequenties voor de informatie-inhoud. Breuken in aardewerk zijn in veel gevallen geen groot probleem. Bij een opgraving worden ze dan toch nog in verband gevonden. Alleen als objecten zouden desintegreren onder gronddruk zou wel informatieverlies ontstaan. Vormveranderingen die zouden kunnen optreden in grote organische objecten (hout, bot) en lage temperatuurgebakken keramiek zijn herkenbaar. Het desintegreren van botanisch (al dan niet verkoold) materiaal onder gronddruk, zoals

omschreven door Van Kappel (2004), heeft echter een duidelijk negatief effect op de informatiewaarde van een vindplaats omdat bepaalde vondstcategorieën verdwijnen.

5.4 Informatieverlies bij veranderingen in het bodemmilieu

Verlaging van de grondwaterstanden en verdroging van lagen die tot dan toe waterverzadigd waren hebben een desastreus effect op het archeologisch bodemarchief. De belangrijkste effecten zijn:

- aantasting en vernietiging van organische resten (hout, textiel, leer, botanisch materiaal, enzovoorts);
- aantasting van bot (in kalkloze bodems), of schade aan bot door fluctuaties in vochtgehalten;
- corrosie of versterkte corrosie van metalen (ijzer, koper, lood, tin, zink enzovoorts);
- bioturbatie (plantenwortels, bodemfauna) waardoor sporen, stratigrafie en onderlinge relaties tussen vondsten worden verstoord;
- aantasting van in de bodem aanwezige organische stof, waardoor sommige grondsporen minder zichtbaar worden.

Ieder van deze punten vertegenwoordigt een duidelijk, intensief en substantieel verlies aan archeologische informatie op een vindplaats. De combinatie van deze effecten leidt voor veel vindplaatsen uit natte context op termijn tot verlies van een zeer groot deel van de wetenschappelijke waarde. Van veel van de bekende degradatieprocessen is goed bekend *wat* er gebeurt, maar niet of nauwelijks *hoe snel*. Toch is dit van groot belang als beslist moet worden over het al dan niet toestaan van tijdelijke verlagingen in de grondwaterstand, bijvoorbeeld als gevolg van onttrekkingen tijdens bouwwerkzaamheden. Tot er meer informatie beschikbaar is, kunnen beslissingen over tijdelijke ingrepen in de hydrologie het best met de hoogste terughoudendheid worden genomen, namelijk ervan uitgaand dat alle aantastingsprocessen snel verlopen.

Als afdekking van een bodem resulteert in verblauwing is het nettoresultaat dat (een deel van) de grondsporen niet meer zichtbaar zijn. Alleen de sporen met veel kleurende bestanddelen (zoals gebakken leem en houtskoolpoeder) of een afwijkende lithologie ten opzichte van de omgeving (zoals de organisch vulling van een waterput) blijven wellicht nog zichtbaar. Grafkuilen, wandgreppels en kleine paalgaten verdwijnen echter waarschijnlijk het eerst. Mocht een dergelijke vindplaats later alsnog worden opgegraven, bestaat de kans dat veel sporen worden gemist en structuren niet worden herkend. Een substantieel deel van de archeologische informatie kan dan niet meer worden ontsloten.

5.5 Overige effecten van bouwen

Naast de genoemde gevolgen van het bebouwen van archeologische vindplaatsen zijn er ook andere gevolgen voor de waarden van een vindplaats. Deze aspecten kunnen zodanig zijn dat bebouwing niet wordt toegestaan, hoewel de feitelijke fysieke invloed op een vindplaats beperkt blijft. Het gaat om de volgende aspecten.

1. Ontoegankelijkheid tijdens levensduur bouwwerk

Terwijl een bouwwerk bestaat en in gebruik is, is het archeologisch bodemarchief dat er onder ligt niet toegankelijk voor onderzoek. Dit is kan om twee redenen onwenselijk zijn.

In de eerste plaats zijn waardevolle archeologische vindplaatsen beschermd – via Monumentenwet, verordening of bestemmingsplan – *juist* om toekomstig onderzoek van de

vindplaats mogelijk te maken. Het ontoegankelijk maken van een vindplaats staat hier haaks op. Dit aspect moet meewegen bij het besluit om vindplaatsen te bebouwen en daarmee onderzoeksmogelijkheden te beperken. Onderzoek zal namelijk pas weer mogelijk zijn als het bouwwerk ergens in de toekomst wordt gesloopt.

In de tweede plaats geldt dat een noodopgraving niet meer mogelijk is als een vindplaats onder een bouwwerk aangetast wordt, bijvoorbeeld door verdroging. Dergelijke situaties zijn niet allemaal goed voorspelbaar. Archeologische vindplaatsen die goed *in situ* bewaard lijken onder een bouwwerk, kunnen bijvoorbeeld onverhoopt worden aangetast als de omgeving ontwaterd wordt. Omdat de vindplaats dan onbereikbaar is vanwege de bebouwing is er geen mogelijkheid meer voor behoud *ex situ*. Consequentie hiervan is dat behoud *in situ* van vindplaatsen onder bouwwerken vraagt om een solide karakterisering vooraf van het bodemmilieu en een voorspelling van eventuele veranderingen tijdens de levensduur van het bouwwerk.

2. Toegankelijkheid na levensduur bouwwerk

Als een gebouw gesloopt wordt, kan het nog steeds een negatieve invloed hebben op de mogelijkheden voor archeologisch onderzoek. Bijvoorbeeld de aanwezigheid van funderingspalen kan hinderlijk werken voor graafmachines, en het aanleggen van een vlak onmogelijk maken. Dit vormt effectief een grote belemmering voor archeologisch onderzoek. Ook palenclusters – verspreide groepen waarin de palen dicht bij elkaar staan – hebben dit effect. De bodem tussen de palen van zo'n cluster is feitelijk niet meer beschikbaar voor archeologisch onderzoek (zie bijvoorbeeld Groenendijk 2009). Mogelijk kunnen sommige typen heipalen zonder veel effecten op de omringende archeologie worden uitgetrokken; dat zou de aanleg van een vlak eenvoudiger maken. Er zijn echter tests nodig om vast te stellen welke palen hiervoor al dan niet geschikt zijn. Een wijde plaatsing van palen – desnoods door gebruik van zwaardere palen of grondbalken – zal een eventuele toekomstige opgraving in ieder geval minder hinderen. Eenzelfde overweging geldt voor kabels, leidingen en riolen. Een grote dichtheid hiervan kan opgraven sterk hinderen. Om toekomstig onderzoek mogelijk te houden moeten die ook zo veel mogelijk worden gebundeld.

3. Versnippering van eigendom

Bij grootschalige ontwikkelingen – bijvoorbeeld het aanleggen van nieuwbouwwijken – treden effecten op die niet fysiek van aard zijn, maar toch de potentie voor onderzoek in de toekomst verminderen. Dat geldt met name voor de versnippering van een aaneengesloten areaal in kleine kavels met verschillende eigenaren. Dit aspect speelt vooral bij grootschalige bouwprojecten met een grote intensiteit en dichtheid van bouwwerken. Deze versnippering van eigendom leidt ertoe dat het terrein niet meer in zijn geheel beschikbaar zal komen voor archeologisch onderzoek. Alle volgende potentiële verstoringen zullen plaatsvinden op één perceel, of in langgerekte banden (rioolaanleg, wegfunderingen enzovoorts). Ook als bij dergelijke verstoringen archeologisch onderzoek plaatsvindt, zal dat in kleine oppervlakten zijn. De opbouw van de vindplaats en de samenhang tussen archeologie en landschap zijn zo feitelijk niet meer te onderzoeken. Dit geldt zelfs als nieuwbouwhuizen in eerste instantie onder één eigenaar komen – bijvoorbeeld een woningbouwvereniging. De mogelijkheid blijft dan namelijk altijd bestaan dat in de toekomst besloten wordt de huizen toch individueel te verkopen. Bijkomend probleem in woonwijken is dat tijdens de bewoning groot gevaar bestaat voor ongeregistreerde verstoringen (bijvoorbeeld sleuven voor kabels en rioleringen; aanbouwen, schuren, zandbakken, vijvers, schuttingen, pergola's) waarbij archeologisch onderzoek achterwege blijft. Hierop kan ook nauwelijks worden gehandhaafd.

4. Belevingswaarde

De voorgaande teksten betroffen verschillende aspecten van de invloed van effecten van het bebouwen van terreinen op de inhoudelijke (dus wetenschappelijke en cultuurhistorische) waarde. Archeologische vindplaatsen kunnen ook een belevingswaarde hebben, zoals aangegeven in de Monumentenwet 1988. Hieronder valt zowel de zichtbaarheid als de herinneringswaarde. Zichtbaarheid is vaak verbonden aan de verschijningsvorm – dus als nog zichtbare resten aanwezig zijn aan het oppervlakte – maar ook het (cultuur)landschap waarin een vindplaats ligt en waarvan het deel uitmaakt kan een rol spelen. Bebouwing kan aanzienlijke effecten hebben op de zichtbaarheid, schoonheid en herinneringswaarde van een vindplaats. Deze factor mag daarom niet worden vergeten.

6 Informatie voor afwegingen: zekerheden, onzekerheden en voorspellingen

6.1 Inleiding

In de voorgaande drie hoofdstukken is een overzicht gegeven van de (bekende en verwachte) effecten van het bebouwen van archeologische terreinen, en de invloed daarvan op de waarde van een vindplaats. Dit hoofdstuk biedt criteria voor het beoordelen van schade aan archeologische vindplaatsen als gevolg van bouwwerkzaamheden. Op basis van deze criteria en in combinatie met afwegingen uit de wet- en regelgeving zal moeten worden beslist over voorgestelde bouwplannen.

In dit hoofdstuk gaan we ervan uit dat van de archeologische vindplaats voldoende gegevens beschikbaar zijn. Daarom richten we ons vooral op de technische aspecten. Omdat iedere situatie uniek is door een combinatie van archeologische inhoud, geologische setting, hydrologie, geotechnische laageigenschappen en geplande bouw is het niet mogelijk een gedetailleerd 'kookboek' te geven. De volgende tekst dan ook vooral bedoeld om te helpen de juiste vragen te stellen en de meest geschikte onderzoekstechnieken en modellen te selecteren en in te zetten.

We geven dus geen richtlijnen over wat al dan niet acceptabel is of zou moeten zijn. We willen vooral zorgen dat dergelijke beslissingen worden genomen op basis van de juiste informatie.

6.2 Archeologische informatie

Aan de archeologische kant is vanzelfsprekend informatie nodig over complextype, ouderdom en aard van de archeologische resten. Dat betekent in de meeste gevallen dat vooronderzoek gedaan moet zijn, die voldoende informatie opgeleverd moet hebben. Van de archeoloog wordt wel verwacht om op basis van het vooronderzoek te komen tot een verwachting die niet alleen de archeologische waarde van een vindplaats aangeeft, maar ook gegevens levert die gebruikt kunnen worden om effecten van bebouwing te kunnen evalueren. Dat kan betekenen dat een stevige interpretatieslag nodig is. Belangrijke factoren kunnen zijn:

- aanwezigheid van sporen;
- verwachte dimensies en dichtheden van sporen en andere informatie-eenheden;
- in hoeverre sprake is van palimpsestachtige vindplaatsen (vooral als een opeenvolging van complextypen en eigenschappen op één archeologisch vlak voorkomen);
- aanwezigheid van stratigrafie;
- verwachte materiaalcategorieën;
- aanwezigheid van muurwerk, grote stukken stevig hout of andere groter materiaal;
- aanwezigheid van vloeren, loopvlakken of andere dunne betekenisvolle lagen op de vindplaats;
- aanwezigheid van lagen waarin relevante variaties op microschaal voorkomen;
- grondwaterstand;
- kleur van bodemmateriaal en eventuele sporen.

Hierbij moet wel in het oog gehouden worden in hoeverre deze factoren zijn af te leiden uit de beschikbare archeologische informatie. Daarbij spelen het aantal én de kwaliteit van de archeologische waarnemingen een rol.

6.3 Gegevens voor het beoordelen van schade door bodemverstoringen

6.3.1 Verstoring door vergraving

Smalle sleuven, kleine vergravingen en heipalen verstoren het bodemarchief waar ze doorheen gaan, maar geven bovendien niet of nauwelijks ruimte voor het doen van archeologisch onderzoek. In de eerste fase van planning kunnen al aanpassingen plaatsvinden – bijvoorbeeld het uitsparen van vindplaatsen door verschuiven van de groenbestemming – zonder dat er al veel gedetailleerde tekeningen beschikbaar zijn. Als de plannen uiteindelijk toch het bebouwen van vindplaatsen omvatten, is het belangrijk de verstoringen meer in detail te bestuderen.

Bij het beoordelen van de schade door kleinschalige verstoringen zijn twee factoren van belang. Enerzijds de grootte en de ruimtelijke verdeling van de verstoring en anderzijds de eigenschappen van het archeologisch bodemarchief ter plaatse (zie hiervoor). De grootte en ruimtelijke verdeling van de verstoring zullen, waar het gaat om vergravingen, blijken uit (concept)bestek- en bouwtekeningen. Een confrontatie van die tekeningen met de archeologische verwachting vormt de meest logische basis om een beslissing te nemen.

Afwegingscriteria kunnen zijn:

- (1) het totale verstoorte oppervlak in procenten van de totale oppervlakte van de vindplaats: hoe groter de verstoring, des te groter het informatieverlies en des te beperkter de mogelijkheden om in de toekomst de vindplaats alsnog te onderzoeken;
- (2) de verdeling van de verstoring: als de verstoring zich concentreert in één hoek van een terrein (bijvoorbeeld doordat daar een kelder wordt aangelegd) gaat dat deel van de vindplaats verloren. Dat zou dan kunnen worden opgegraven. Als de verstoring echter fijner verdeeld is, is feitelijk de gehele vindplaats (geperforeerd) nog aanwezig. Dan bepalen de grootte en de vorm van de informatiedragers in relatie tot de grootte en de vorm van de verstoring in hoeverre er informatieverlies optreedt.

Aspecten die een rol spelen bij archeologiesparend ontgraven zijn:

- breedte van de ontgraving;
- diepte van de ontgraving;
- locatie (hergebruik oude tracés);
- sleufloze technieken (m.b.v. boring) onder de archeologische lagen door;
- bundeling van nieuwe tracés.

6.3.2 Verstoring door funderingspalen en andere ondergrondse constructies

In situaties waar paalfunderingen deel uitmaken van het plan is de schade lastiger in te schatten. Het verstoorte volume is minimaal net zo groot als het paalvolume binnen de archeologische lagen. Hoe groot de omringende verstoorte zone is, hangt vooral af van de bodemsamenstelling en het type toegepaste paal. Beperkt onderzoek suggereert dat het verstoorte volume buiten een ingeheide de paal in kleiige bodems verwaarloosbaar is, maar in zandige bodems kan oplopen tot meer dan viermaal de paaldiameter (Groenendijk, 2009; Huisman et al. 2009). De aanname dat grondvervangende palen als schroefpalen en geboorde palen minder schade doen dan geheide palen wordt betwist (onder andere Groenendijk 2009; zie ook hiervoor) en moet nader worden onderzocht. Vanwege onzekerheid over de mate van verstoring door verschillende soorten heipalen willen we hier, tot nader onderzoek is gedaan, niet een bepaald type paal aanwijzen als minder verstorend

bij plaatsing. Wel kan worden meegenomen dat voorlopige resultaten erop duiden dat palen met stalen casings met minder schade verwijderd kunnen worden dan betonnen palen (er wordt minder bodemmateriaal mee naar boven getrokken en er hoeft geen put te worden gegraven om de kop vast te pakken).

Afwegingscriteria kunnen zijn:

- (1) het totale verstoorde oppervlak in procenten van de totale oppervlakte van de vindplaats: hoe groter de verstoring, des te groter het informatieverlies en des te beperkter de mogelijkheden om in de toekomst de vindplaats alsnog te onderzoeken;
- (2) de grootte van de verstoringen in verhouding tot de grootte van de aanwezige sporen en andere informatiedragers: kleine dragers worden gemakkelijk vernietigd door een kleine verstoring, grotere veel minder makkelijk; kleine dragers worden echter ook minder gemakkelijk geraakt;
- (3) de storende werking van in de grond aanwezige palen op het proces van archeologisch onderzoek: als palen in de grond aanwezig zijn, is het aanleggen van vlakken lastig of onmogelijk. Voor clusters van palen, maar ook bijvoorbeeld voor nauwe parallelle rijen van palen geldt daarom dat de archeologie tussen de palen vaak als verloren moet worden beschouwd. Andersom geldt dat hoe groter de afstand is tussen de palen, des te kleiner de invloed is op de mogelijkheden voor toekomstig gravend onderzoek. Plaatsing van palen op rijen met zo groot mogelijke ruimten tussen de rijen wordt vaak als minst storend gezien. De keus voor palen die in de toekomst zonder veel verdere schade uitgetrokken kunnen worden (bijvoorbeeld palen in losse metalen casings) kan ook een positief effect hebben op eventuele toekomstige opgravingen.

Bovenstaande afwegingen zijn minder relevant voor damwanden en kabels/leidingen, aangezien die ten hoogste als lineaire elementen in een vlak aanwezig zullen zijn. Echter, ook een dicht netwerk van drainagestrips zoals toegepast bij ophogingen kan een sterk negatief effect hebben op de mogelijkheden om naderhand archeologisch onderzoek uit te voeren. De strips zijn niet meer te verwijderen zonder de bodem te verstoren, en maken het machinaal aanleggen van vlakken lastig. Waarschijnlijk zullen ze stuk voor stuk op het vlak met de hand moeten worden afgeknipt.

Aspecten die een rol spelen bij archeologiesparend heien zijn dus:

- type paal;
- aantal palen;
- afmetingen palen;
- locatie van de palen.

6.4 Gegevens voor het beoordelen van schade door zetting

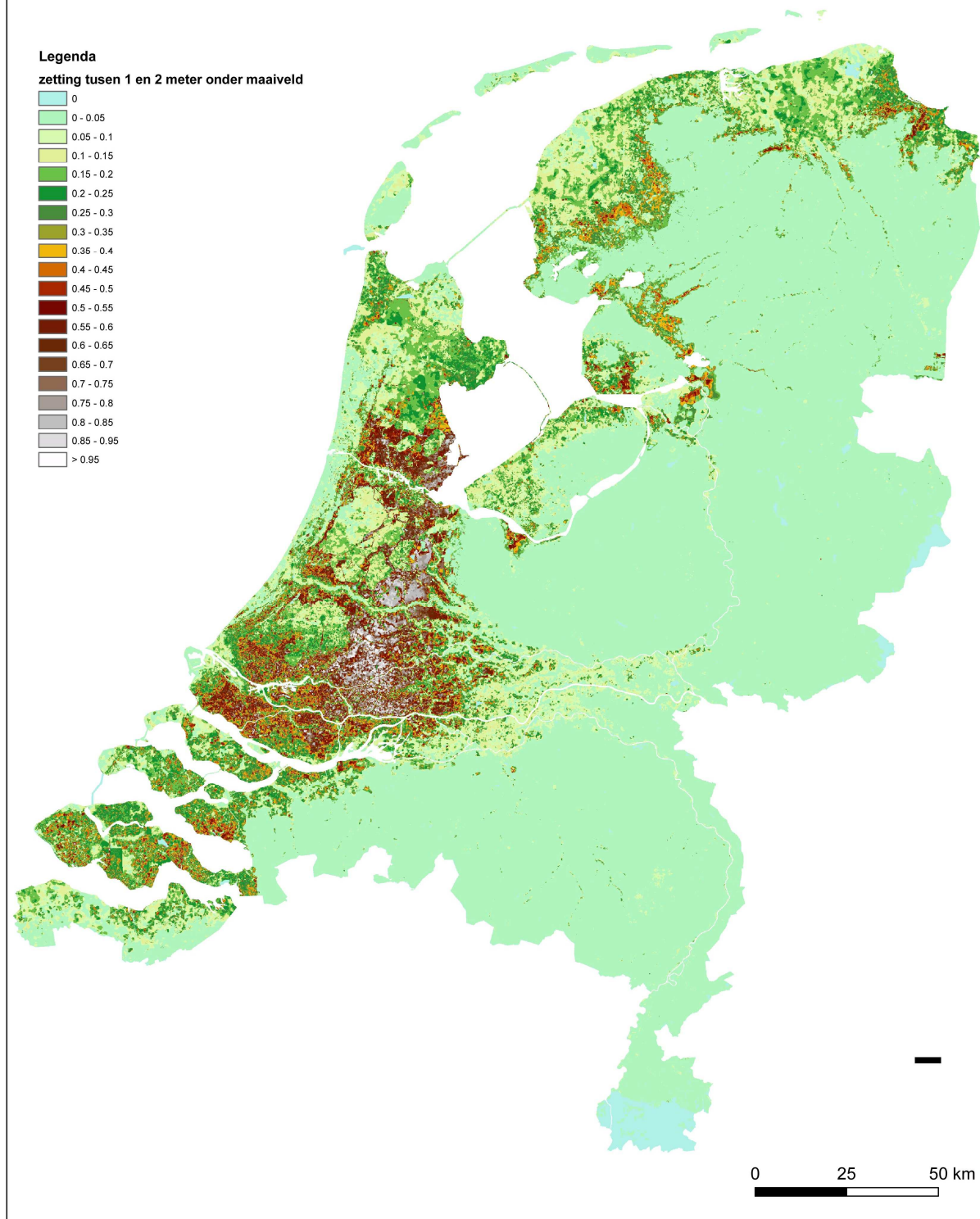
6.4.1 Een eerste indicatie

De gevolgen van zetting zijn het sterkst bij dikke ophogingspakketten. Bij ophogingen van maximaal 50 centimeter zand of klei is de belasting zo laag dat wordt aangenomen dat de fysieke effecten op archeologische vindplaatsen verwaarloosbaar zijn.

De gevoeligheid van de Nederlandse ondergrond voor compressie van de bodemlagen varieert sterk (zie figuur 7). Dit komt vooral doordat dit sterk afhankelijk is van de samenstelling van de bodem. Zand is relatief weinig samendrukbaar en veen juist heel veel.

Klei , zavel en leem nemen een middenpositie in. Dat is de reden dat in figuur 7 de grootste gevoeligheid in holoceen Nederland blijkt te liggen, waar de bodem voor een belangrijk deel uit klei en veen bestaat. Daarnaast is de diepteligging van belang: diepliggende lagen staan al onder druk en hebben daarom al een groot deel van de mogelijke samendrukking ondergaan. Dat is de reden dat met toenemende diepte de gevoeligheid voor compressie steeds verder afneemt.

Zetting per laag van 1 meter dikte



Figuur 7 Voorbeeld van de kaarten van zettingsgevoeligheid van Nederland, gemodelleerd op lagen van 1 meter dikte op vaste afstanden onder maaiveld. De kaarten zijn gemaakt door Deltares. De kaarten per meter staan in bijlage 1. De gemodelleerde zetting (in centimeters) is indicatief voor de zettingsgevoeligheid en moet niet als absolute waarde worden genomen.

De kaarten van de zettingsgevoeligheid zoals weergegeven in figuur 7 en bijlage 1 kunnen worden gebruikt om een snelle eerste indruk te krijgen. Ze zijn gemaakt door een hypothetische situatie door te rekenen (namelijk dat geheel Nederland wordt opgehoogd met een zanddek van 1 meter) en een geologisch 3D-model te gebruiken om te voorspellen hoe sterk de samendrukking is op verschillende diepten onder het maaiveld. De kaarten zijn echter gebaseerd op een hypothetische situatie en één geologisch model voor het hele land. Lokale gegevens zijn altijd nodig om de situatie op een vindplaats in kaart te brengen.

6.4.2 De geotechnische vragen

Bij veel bouwprojecten wordt geotechnisch onderzoek uitgevoerd om de effecten van compressie en zetting te voorspellen. Hiermee is dus veel ervaring opgedaan en er zijn veel bedrijven die het onderzoek kunnen uitvoeren. Omdat dit onderzoek zich primair richt op de stabiliteit van de bouwwerken worden zetting en compressie onderzocht en gemodelleerd met technieken die als doel hebben te komen tot zo betrouwbaar mogelijke uitspraken over stabiliteit. De vraag wat er precies gebeurt in de bodem – en helemaal wat er precies gebeurt met archeologische resten – is daarbij altijd minder belangrijk geweest. Dat geldt overigens niet voor meer fundamenteel geotechnisch onderzoek dat plaatsvindt bij universiteiten en enkele grote onderzoeksinstituten.

In de bouwpraktijk wordt bijvoorbeeld in geotechnische rapporten met modelleringen van zetting vaak alleen de zetting aan maaiveld gegeven, en niet de compressie in de verschillende bodemlagen. Helaas is hierdoor heel weinig bekend van de precieze invloed van zetting en compressie op archeologische vindplaatsen. Toch is geotechnisch onderzoek op dit moment de enige manier waarop voorspellingen gedaan kunnen worden van de mogelijke gevolgen van zetting en compressie op een archeologische vindplaats.

We noemen hier de afwegingen waarvoor informatie nodig is.

- 1) Hoe sterk worden de lagen in de archeologische vindplaats samengedrukt? In combinatie met de archeologische gegevens kan dit antwoord geven op de vragen:
 - of er kans bestaat dat organische resten worden aangetast;
 - of er kans bestaat dat andere resten worden beschadigd of vervormd;
 - of er kans bestaat dat grondsporen zodanig worden vervormd dat interpretatie wordt bemoeilijkt (wat leidt tot verlies aan archeologische informatie);
 - of het mogelijk is dat grotere, stevige materialen in overliggende lagen worden gedrukt.
- 2) Hoe groot is de eventuele verschilzetting of deformatie en hoeveel vervorming veroorzaakt die? Hier zijn relevante vragen:
 - of het oude oppervlak, archeologische lagen of voormalig reliëf door verschilzetting worden vervormd;
 - of er horizontale eenheden zijn die als gevolg van de vervorming niet meer goed kunnen worden onderzocht in een opgravingsvlak;
 - of er kans bestaat dat grondsporen zodanig worden vervormd dat interpretatie wordt bemoeilijkt (wat leidt tot verlies aan archeologische informatie);
 - of de lagen in de archeologische vindplaats zodanig worden vervormd dat discontinuïteit of fysieke schade kan ontstaan;
 - wat de effecten zijn buiten de belasting.

3) Of en in welke mate gaat laterale verplaatsing, vervloeiing of liquefactie plaatsvinden van bodemmateriaal in de archeologische laag of lagen?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is het van belang een beeld te hebben van de bodemopbouw en van het gedrag van de verschillende lagen onder druk. Daarbij is kennis van de ruimtelijke variatie in bodemopbouw en de laageigenschappen van groot belang. Geotechnici kunnen deze specifieke vragen beantwoorden en informatie leveren.

Tegelijkertijd is enige terughoudendheid op zijn plaats. In een aantal gebieden is nog steeds fundamenteel onderzoek nodig om de voorspellende waarde van modellen te verbeteren. Zo leidde 1,5 jaar monitoring van bodembewegingen na plaatsing van een grondlichaam in een paar gevallen (Bricortest en Abcoude) tot de conclusie dat de verticale zetting en compressie redelijk goed werden voorspeld, maar druk en laterale (zijwaartse) vervorming niet. In de praktijk blijven het ontwerp en de aanleg van grondlichamen op zachte sedimenten een uitdaging voor geotechnici. Onder meer omdat allerlei aannamen niet overeenkomen met de feitelijk *in situ* condities (huidige en vroegere belasting, drukgedrag, bodemstructuur). Maar ook omdat bepaalde aspecten van grondgedrag onder belasting vaak worden genegeerd (initiële overconsolidatie, anisotroop niet-lineair gedrag, structuurverlies van enigszins overgeconsolideerd materiaal dicht bij bezwijking) en omdat analytische oplossingen op versimpelde ('pannekoek'-type, zie verderop) bodemmodellen slecht werken.

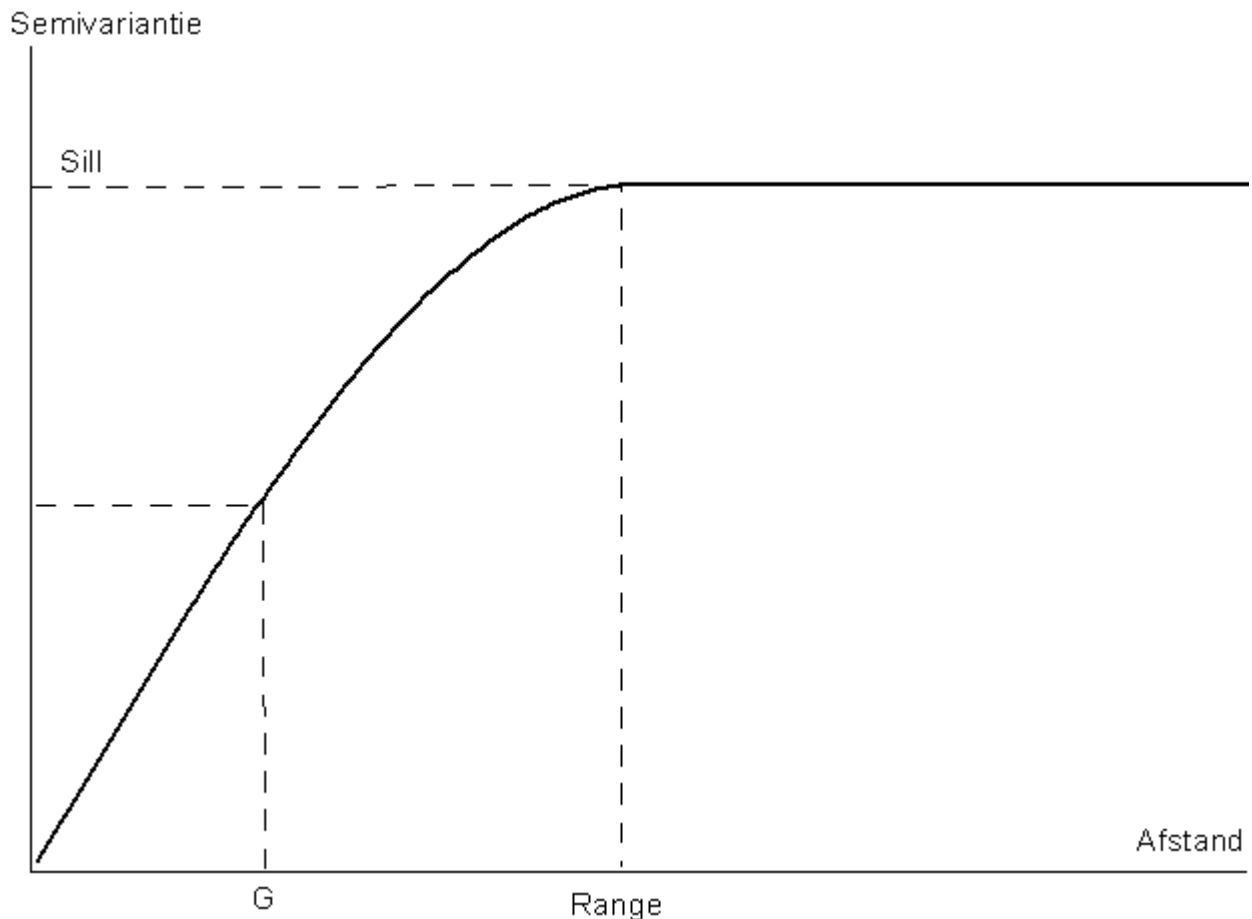
6.4.3 Het bepalen van de bodemopbouw

De bodemopbouw en ruimtelijke variatie daarin worden bij archeologisch vooronderzoek gewoonlijk bepaald op basis van boringen; meestal handboringen, soms mechanische boringen (als handboringen technisch niet haalbaar zijn). Aan de hand daarvan wordt een geologisch model van het onderzoeksgebied opgesteld. Archeologische indicatoren (aardewerk, houtskool, voorsteen enzovoorts) die in de boormonsters worden aangetroffen vormen samen met het geologische model de informatie die wordt gebruikt om een archeologische verwachting op te stellen.

Voor geotechnisch onderzoek wordt in de regel gewerkt met sonderingen. Sonderen is een techniek waarbij een metalen staaf de grond in wordt geduwd, terwijl gemeten wordt hoeveel weerstand hij ondervindt (zie Schoor & Van der Sluis 2006). Omdat de weerstand gerelateerd is aan de lithologie leveren sonderingen ook informatie over de geologie. Vooral wordt echter voor sonderingen gekozen omdat ze informatie geven die direct kan worden gebruikt voor een inschatting van de draagkracht van de bodemlagen. Gezien vanuit de archeologie is het grootste nadeel van sonderingen dat geen archeologische indicatoren kunnen worden verzameld en dat de stratigrafische resolutie te laag is voor archeologische doeleinden. Toch kan er reden zijn om sonderingen voor archeologische prospectie te verkiezen boven booronderzoek, bijvoorbeeld vanwege technische beperkingen. Dit speelde bijvoorbeeld bij het onderzoek aan het traject van de A4 Midden Delfland in 2010. Toen werden sonderingen gebruikt omdat (hand)boringen door een 6 meter dik zandig ophogingspakket technisch problematisch waren en te veel tijd zouden kosten.

Bij het bepalen van de bodemopbouw is de ruimtelijke variatie in laagdikte en laageigenschappen van groot belang. Niet alleen voor de archeologische voorspelling. Verschillen in laagdikte en laageigenschappen zijn de belangrijkste factoren die bepalen welke verschilzetting optreedt. Om ruimtelijke variatie goed in kaart te krijgen is een afdoende aantal waarnemingen (boringen of eventueel sonderingen) nodig. Aanvullende gegevens uit geofysische technieken of het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) kunnen helpen grip te krijgen op ruimtelijke variatie.

Wanneer er zulke grote verschillen zijn in laaigeenschappen en laagdikten dat verschilzetting kan optreden, is het van belang de ruimtelijke variatie in die parameters goed in kaart te krijgen. De belangrijkste vraag is daarbij feitelijk op welke afstanden de variaties optreden. Grote verschillen over korte afstanden leiden namelijk voor de sterkste verschilzettingen. De waarnemingen (boringen of sonderingen) moeten op zodanige afstand van elkaar plaatsvinden dat dit bepaald kan worden. Als de grootste variaties binnen het onderzoeksgebied zich afspelen op afstanden die korter zijn dan de afstanden tussen waarnemingspunten kan het ruimtelijk model feitelijk niet worden gebruikt voor het voorspellen van verschilzettingen. Om dit te testen kan een semivariogram dienst doen (zie figuur 8 en voor meer informatie Davis 1986). Als geen aanvullende waarnemingen mogelijk zijn kan het best worden uitgegaan van een *worstcasescenario*. Dat wil zeggen dat dan aangenomen wordt dat de grootste verschillen in zetting voorkomen op afstanden die kleiner zijn dan de afstanden tussen de boringen of sonderingen.



Figuur 8 Principe van semivariogram. De semivariantie (y-as) is een maat voor de verschillen in waarde van een parameter (bijvoorbeeld verwachte zetting) tussen twee waarnemingspunten op een bepaalde afstand. In principe zouden waarnemingspunten op kleinere afstand van elkaar (x-as) ook meer op elkaar lijken, dus een lagere semivariantie hebben. Bij grotere afstanden neemt de semivariantie toe tot de afstand (range) waarop het algemene niveau van semivariantie in het hele onderzoeksgebied wordt bereikt (sill).

6.4.4 Het bepalen van de geotechnische eigenschappen

Voor het voorspellen van gedrag van bodemlagen onder druk is een serie geotechnische meettechnieken beschikbaar (Schoor & Van der Sluis 2006; Verruijt 1983 voor meer

achtergrondinformatie). In heel eenvoudige situaties wordt wel uitgegaan van een lijst van geotechnische eigenschappen van verschillende grondsoorten uit NEN 6740 (binnenkort vervangen door Eurocode 7). Deze lijst moet echter als indicatief worden gezien en zeker niet meer dan dat.

Sonderingen (zie hiervoor) geven een algemeen beeld van de samendrukbaarheid van een laag. Omdat ze snel en tegen relatief lage kosten kunnen worden uitgevoerd zijn ze geschikt om snel een algemeen beeld te krijgen van de variatie in geotechnische laageigenschappen. De vertaling van sondering naar geotechnische eigenschappen is echter niet heel betrouwbaar (Tiggelman & Beukema 2006). Daarom wordt voor archeologische terreinen vaak gevraagd om laboratoriumtests op *ongeroerde monsters*, dat wil zeggen uit steekboringen.

De meest gebruikte laboratoriumproef is de *samendrukkingsproef*. Daarmee wordt in het laboratorium bepaald hoe sterk de bodem comprimeert onder een bepaalde druk. Dat is de meest directe meting van zetting, en kan zodanig worden aangepast dat hij zo goed mogelijk de geplande situatie nabootst. Het is van belang de samendrukking van de archeologisch relevante lagen te bepalen, en – als dat relevant is – van onderliggende lagen die voor verschilzetting zouden kunnen zorgen. Veel geotechnici zijn gewend om bij zettingsberekeningen in gelaagde grond alleen de zetting aan het maaiveld te rapporteren. Als het om archeologie gaat is echter alleen de compressie per laag relevant en die moet dus ook worden gerapporteerd. Dit moet dus specifiek worden geëist bij het opstellen van een geotechnische rapportage voor dit doel. De keuze van het toegepaste rekenmodel is tevens van groot belang (zie verder).

Om het gedrag van bodemmateriaal onder druk preciezer te bepalen wordt een meer complexe proef gebruikt, de *triaxiaaltest*. Deze test lijkt op een samendrukkingsproef, maar hier kan het monster van alle kanten (en niet alleen verticaal) onder druk worden gezet. Deze proef bestaat in verschillende varianten (al dan niet geconsolideerd; al dan niet gedraineerd) die afhankelijk van de bodemcondities worden toegepast. Door de complexiteit en kostbaarheid worden triaxiaalproeven minder vaak gebruikt. Ze zijn soms echter nodig om bruikbare gegevens te verkrijgen voor het voorspellen van het gedrag van de bodem onder belasting, vooral vervormingen en bezwijken, en voor de effecten daarvan op archeologische vindplaatsen.

6.4.5 Rekenmodellen

Er bestaan verschillende rekenmodellen voor het voorspellen van het gedrag van de ondergrond. Een dergelijk model bestaat uit twee delen: (1) een grondmodel, dat een weergave is van de verschillende lagen in de ondergrond en hun eigenschappen, en (2) een numeriek model dat wordt gebruikt om te berekenen hoe dit grondmodel reageert op bouwplannen. Deze modellen variëren van eenvoudig tot complex. Eenvoudige modellen bestaan uit simpele 'pannenkoek'-grondmodellen. Hierbij kunnen berekeningen van verticale compressie in een standaardspreadsheet gedaan worden. Complexe modellen zijn bijvoorbeeld ingewikkelde 3D-grondmodellen waarbij compressie, vervorming of horizontale verplaatsing wordt voorspeld met zogeheten eindige elementen- of a-b-c-numerieke modellering. Vaak in twee of soms zelfs in drie dimensies. Er moet worden gezegd dat eindige-elementenmodellen bij sterke zetting (in ieder geval meer dan 20%) niet goed meer werken. Daarom wordt op dit moment steeds vaker gebruikt gemaakt van andere modelleringen, waaronder de *Total Lagrangian* (TL), *Updated Lagrangian* (UL) en *Arbitrary Lagrangian-Eulerian* (ALE). De ontwikkeling en het gebruik van numerieke modellen voor het modelleren van slappe sedimenten is echter een vakgebied dat nog steeds in ontwikkeling is (cf. Nazem 2006).

Afhankelijk van de situatie moet de juiste combinatie van grondmodel en numeriek model worden gekozen. In het algemeen geldt dat hoe heterogener de ondergrond is en hoe lastiger de vraagstelling, des te complexer de modellen die nodig zijn. Complexere modellen vragen ook om meer en hoogwaardiger gegevens over de ondergrond.

Tabel 1 schetst hoe de complexiteit van de ondergrond en de eigenschappen van de geplande ingreep gezamenlijk bepalen welk niveau van complexiteit nodig is om een voorspelling te kunnen doen over het gedrag van de ondergrond als gevolg van de ingreep. In deze tabel is ervan uitgegaan dat in ieder geval één van de lagen van het archeologisch niveau of daaronder zodanig gevoelig is voor zetting dat vervolgonderzoek noodzakelijk is. In gevallen waar de ondergrond bijvoorbeeld volledig bestaat uit grofzand- en grindlagen kan in het gros van de gevallen worden aangenomen dat de zetting verwaarloosbaar zal zijn. In de tabel wordt onderscheid gemaakt tussen matig en hoog reliëf als maat voor de variabiliteit van lagen in de ondergrond. Het onderscheid zoals hier bedoeld, wordt in feite bepaald door de dichtheid van de waarnemingen. Als de ruimtelijke variatie in de diepteligging van de laaggrenzen groot is, maar goed in kaart gebracht kan worden met de gekozen dichtheid van boringen of sonderingen spreken we van matig reliëf. Hoog reliëf betekent dat bij deze dichtheid nog steeds een grote onzekerheid is over het eigenlijke diepteverloop van de laaggrenzen, en dus ook van de steilte en diktevariaties in de lagen (zie hiervoor).

Bij de gegevens in tabel 1 moeten nog twee aantekeningen worden gemaakt. In de eerste plaats over de kosten van metingen en modelleringen. Hoe hoger de eisen die worden gesteld aan een modellering, des te hoger de kosten voor het verzamelen van gegevens en voor het modelleren. In de praktijk worden bij de meeste projecten alleen de meest simpele (en goedkope) van de hier beschreven technieken toegepast. Het is in veel gevallen goed te verdedigen dat er hogere eisen worden gesteld aan grondonderzoek en modellering dan gebruikelijk bij het bebouwen van archeologische vindplaatsen. Daarbij moeten echter wel de kosten van het geotechnisch onderzoek in alle redelijkheid in de gaten worden gehouden.

Een tweede aantekening gaat over de betrouwbaarheid van de modellen. Hoe goed ook gezorgd is voor voldoende en correct uitgevoerde waarnemingen, een model blijft een benadering van de werkelijkheid. De uitkomsten van een berekening gaan altijd gepaard met onzekerheid. Daarbij komt dat ervaren modelleers kunnen toerekenen naar een gewenste uitkomst door een slimme keuze van parameterwaardes en wijze van modelleren.

Tabel 1 Interactie tussen eigenschappen van de ondergrond en de geplande ingreep, en hun effecten op waarnemingsdichtheden en wijze van geotechnisch modelleren. Er wordt van uitgegaan dat de archeologische laag, of onderliggende lagen, samendrukbaar is/zijn, en dat daarom sowieso gewerkt wordt met geotechnische parameters die zijn gebaseerd op laboratoriumtests. De resultaten van het onderzoek en eventuele modellering dienen te worden geconfronteerd met de eigenschappen van de archeologische vindplaats, waarbij de beoordeling zich richt op (1) directe schade aan de archeologische resten, (2) potentiële verstoringen van de stratigrafie en (3) vervormingen en horizontale verplaatsingen in het archeologische niveau.

Geschatte variatie in dikte zettingsgevoelige lagen (op basis van vooronderzoek)*	Variatie in reliëflagen (archeologisch niveau of dieper)	Consequentie: dichtheid waarnemingen t.b.v. ruimtelijk model ondergrond	Betrouwbaarheid ruimtelijk model ondergrond	Homogeen dekkende ophoging met > 50 cm zand (of equivalent) t.o.v. oorspronkelijke maaiveld	Niet-homogeen dekkende ophoging met >50 cm zand (of equivalent) t.o.v. oorspronkelijke maaiveld
Weinig variatie	n.v.t.	Lage dichtheid	Redelijk – goed	Spreadsheetberekening	2/3D eindige-elementenmodellering
Veel variatie	Flauw reliëf	Lage dichtheid	Redelijk – goed	Spreadsheetberekening	2/3D eindige-elementenmodellering
	Matig reliëf	Hoge dichtheid	Redelijk **	2/3D eindige-elementen-, TL-, UL- of ALE-modellering ***	2/3D eindige-elementen-, TL-, UL- of ALE-modellering***
	Hoog reliëf	Hoge dichtheid	Weinig **	2/3D eindige-elementen-, TL-, UL- of ALE-modellering uitgaand van sterkst mogelijke ruimtelijke variatie***	2/3D eindige-elementen-, TL-, UL- of ALE-modellering uitgaand van sterkst mogelijke ruimtelijke variatie***

* Ervan uitgaand dat de lagen homogeen van eigenschappen zijn. Dit moet wel onderzocht zijn.

** Eventueel toetsen of waarnemingsdichtheid voldoende is om reliëf in kaart te brengen door middel van geostatistische analyse (semivariogram)

*** Rekening houden met de instabiliteit van eindige-elementenmodellen bij sterke compressie.

6.5 Gegevens voor het beoordelen van schade door veranderingen in het bodemmilieu

De belangrijkste effecten op het bodemmilieu bij het bebouwen van terreinen zijn gerelateerd aan het bodemvocht en de beschikbaarheid van zuurstof in de bodem. Verdroging en indringing van zuurstof kunnen leiden tot een versterkte aantasting van organische resten en metalen, en kunnen resulteren in bioturbatie en (dus) vermenging van bodemlagen. Vernatting en afname van zuurstofbeschikbaarheid kunnen leiden tot verblauwing. Om dergelijke aantasting te kunnen beoordelen, zal in de eerste plaats bekend moeten zijn – of ingeschat kunnen worden – welke materiaalsoorten er in de vindplaats voorkomen, en hoe de sporen er uit zien.

Voor het meten en monitoren van bodemvocht en zuurstof in de bodem bestaat een uitgebreid assortiment aan meetmethoden. Parameters die kunnen worden gemeten en gemonitord zijn onder meer grondwaterstanden, bodemvochtgehalte en redoxtoestand (zie Huisman et al. 2009 en Huisman 2009). Dergelijke parameters kunnen worden gemeten om de huidige toestand te karakteriseren en om bij te houden hoe het bodemmilieu wordt beïnvloed door bouwwerkzaamheden. Hierbij is het wel van belang dat de metingen worden vertaald naar effecten op de archeologische vindplaats; bijvoorbeeld de aantasting van organische resten. Om te voorspellen wat er tijdens en na bouwwerkzaamheden gebeurt met het bodemmilieu zullen metingen moeten worden gedaan op basis van deze parameters, waarbij ook de effecten van eventuele ingrepen die deel uitmaken van het bouwproces (zoals grondwateronttrekkingen) worden meegenomen. Van verblauwing is op dit moment niet goed duidelijk onder welke omstandigheden het optreedt. Tot hierover meer duidelijkheid bestaat, zullen we bebouwing, verharding en ophogingen allemaal moeten beschouwen als potentiële oorzaak. Wel kunnen we omstandigheden aangeven die het optreden van verblauwing waarschijnlijker maken.

Verblauwing is waarschijnlijker:

- in fijne sedimenten;
- als de redoxgrens dicht onder de archeologische vindplaats ligt;
- als de bodem redoxvlekken vertoont (dat wil zeggen een afwisseling van blauw-grijze en geel of geel-oranje vlekken);
- als het kleurverschil tussen sporen en omringende grond klein is;
- als de sporen bestaan uit materiaal met (grofweg) dezelfde korrelgrootte als de omringende grond;
- als de sporen weinig organische stof bevatten;
- als de sporen geen of zeer weinig antropogene materialen als gebakken leem en houtskool bevatten.

Ervaring leert dat met name in het Rivierengebied vaak aan deze voorwaarden wordt voldaan, maar ook in andere delen van Nederland zijn gevallen van verblauwing bekend.

6.6 Gegevens voor het beoordelen van schade door overige effecten

In paragraaf 5.5. worden vier overige effecten van overbouwen genoemd. Ieder van deze effecten vraagt om een andere beoordeling en andere informatie. Wat ze verbindt is dat een afweging alleen kan worden gemaakt als een duidelijk beeld bestaat van de eigenschappen van de archeologische vindplaats én van de te bouwen constructie.

1. Ontoegankelijkheid tijdens levensduur bouwwerk

Bij afwegingen met betrekking tot de toegankelijkheid van het bodemarchief is van belang in hoeverre de vindplaats volledig afgesloten wordt. Bij de meeste gebouwen zal er een volledige afsluiting zijn in de vorm van vloeren. Soms, bijvoorbeeld bij eenvoudige loodsen zonder vaste vloeren, worden echter niet per definitie alle onderzoeksmogelijkheden geblokkeerd. Dat geldt bijvoorbeeld ook voor kleine ophogingen die niet verder bebouwd worden.

2. Toegankelijkheid na levensduur bouwwerk

Bij afwegingen met betrekking tot de toegankelijkheid na afbraak van een bouwwerk zal moeten worden beoordeeld in hoeverre de gebruikte funderingen storend kunnen zijn bij toekomstig onderzoek. Een belangrijke factor daarbij is de hoeveelheid ruimte die vrij onderzocht kan worden tussen palen of muren. Hierbij zou ook kunnen meewegen welke onderzoekstechnieken waarschijnlijk nodig zijn voor de typen archeologische resten die aanwezig zijn. Ook kan meewegen in hoeverre de fundering in de toekomst verwijderd zou kunnen worden zonder verdere schade te doen aan de aanwezige archeologisch resten.

3. Versnippering van eigendom

Bij afwegingen met betrekking tot de versnippering van archeologische vindplaatsen is het zaak een vergelijking te maken tussen de bouwplannen en eigenschappen van de archeologische vindplaats. Daarbij is de vraag hoe grote ruimtelijke eenheden in één keer onderzocht moeten kunnen worden om zinnige informatie te kunnen vergaren op deze vindplaats.

4. Belevingswaarde

Bij afwegingen met betrekking tot de belevingswaarde is de vraag of en in hoeverre de vindplaats na voltooiing van een bouwwerk nog als zodanig herkenbaar is (bij zichtbare resten) en in hoeverre belevingswaarde is af- of toegenomen. Deze afweging kan ook positief uitvallen, bijvoorbeeld bij het aanvullen van grafheuvels of schansen, of het aanpassen van vegetatie met het doel de belevingswaarde te vergroten.

6.7 Omgaan met onzekerheden

Wanneer beslissingen moeten worden genomen over de mogelijkheden en wenselijkheid van het bebouwen van een archeologische vindplaats is een groot probleem dat er enerzijds grote onzekerheden bestaan en dat tegelijkertijd accurate en soms gedetailleerde uitspraken of voorspellingen nodig zijn.

- (1) In de eerste plaats zijn er onzekerheden over de archeologie in de vindplaats. Hoe uitgebreid en hoe goed voorgaand onderzoek ook is geweest, alleen een vlakdekkende opgraving – en dus totale vernietiging – kan bepalen welke resten er in de grond zitten en in welke staat. Het model van de vindplaats zal dus gebaseerd zijn op een archeologische interpretatie van beperkte waarnemingen.
- (2) Ook zijn er onzekerheden over de geotechnische en hydro(geo)logische eigenschappen van de bodem op de vindplaats. Deze gegevens komen uit boringen, peilbuizen, sonderingen, redoxsondes, vochtmeters en/of laboratoriummetingen aan bodemonsters. Deze vormen de basis van een ruimtelijk model. De kwaliteit en betrouwbaarheid van het model zijn afhankelijk van het soort gegevens dat verzameld is, de wijze van verzamelen en de dichtheid van waarnemingspunten. Er zal altijd een

mate van onzekerheid zijn omdat monsters niet per definitie representatief zijn voor de bodem.

- (3) Dan zijn er onzekerheden die voortkomen uit het gebruik van voorspellende modellen. Zowel geotechnische als hydro(geo)logische modellen zijn slechts een benadering van de werkelijkheid. Ze kunnen dus – los van de punten genoemd onder (2) – resultaten opleveren die geen accurate voorspelling van de werkelijkheid zijn. Bij geotechnische modellen leidt dit bijvoorbeeld tot aanzienlijke verschillen tussen zettingsmodellen die modelleringen uitvoerden met dezelfde basisgegevens (Jansen et al. 2005).
- (4) Ten slotte zijn er onzekerheden over het feitelijke effect van bebouwing op het archeologisch bodemarchief – effecten die vrijwel niet zijn onderzocht en waarvoor geen modellen bestaan. Treedt inderdaad aantasting op van houtskool onder druk? Hoe sterk vervormen grondsporen? Vindt er inderdaad stratigrafische verstoring plaats door compressie? Hoeveel schade doen palen? Treedt hier verblauwing op? Worden er sporen onzichtbaar bij verblauwing, en welke?

Aan sommige van deze onzekerheden is weinig te doen. Met name bij (1) en (2) zouden aanvullende waarnemingen en metingen kunnen helpen om de onzekerheid te verkleinen. Bij (3) en (4) kunnen we alleen hopen dat nieuwe waarnemingen, aanvullende onderzoeken en verbeteringen van de techniek zorgen voor een verkleining van de onzekerheid: Op veel punten is nader onderzoek nodig om voorspellingen over de effecten van bouwen op archeologie te verbeteren en zo beter gefundeerde beslissingen te kunnen nemen.

Tot nieuwe gegevens en technieken beschikbaar komen, kunnen de in deze notitie genoemde kennis en technieken worden toegepast voor het voorspellen van de effecten van bouwen op archeologische vindplaatsen.

Literatuurlijst

Council of Europe, 1992, European convention on the protection of the archaeological heritage (revisited), *European Treaty Series 143*.

Davis, J.C., 1986, Statistics and data analysis in geology 2nd edition, Wiley and Sons, New York, 646 pp.

Groenendijk, M., 2009, Archeologievriendelijk bouwen op de Koningshof te Gouda, Een evaluatie van de archeologievriendelijke aanpak, Gemeente Gouda, Gouda.

Huisman, D.J. (ed.), 2009, Degradation of archaeological remains, SdU, Den Haag, 245 pp.

Huisman, D.J., A. Smit, M.M.E. Jans, W. Prummel, A.G.Cuijpers & J.H.M. Peeters, 2008, Het bodemmilieu op de archeologische vindplaatsen bij Swifterbant (provincie Flevoland): bedreigingen en mogelijkheden voor in situ behoud, Rapportage Archeologische Monumentenzorg (RAM) 163, RACM, Amersfoort.

Huisman, D.J., J. van Doesburg, J. Stöver & A. Muller, 2009a, De (on)mogelijkheden van archeologievriendelijk bouwen op terpen/wierden. Onderzoek (2007) naar de effecten van heien op de wierden Kenwerd Oldehove en Groot Wetsinge, Rapportage Archeologische Monumentenzorg 176, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort.

Huisman, D.J., M. Vorenhout, A. Smit & B.J. H. van Os, 2009, Instandhouding en monitoring van archeologische terreinen, *Praktijkreeks Cultureel Erfgoed 6 (18)*, 47 pp.

Huisman, D.J., J. van Doesburg, & A. Muller, *geaccepteerd*, Impact of driven foundation piles on archaeological sites. Three cases from the Netherlands. Conservation and Management of Archaeological Sites

Jansen H.L., J. Knol & W.J. van Niekerk, 2005, Betrouwbaarheid van zettingsprognoses, *Geotechniek (3)*: 46-49.

Maas, K., 2001, Kwelvensters onder gebouwen en in het vrije veld, *Stromingen 7*: 15-32.

Nazem, M., 2006, Numerical algorithms for large deformation problems in geomechanics, Proefschrift universiteit Newcastle, 211 pp.

Schoor, C. & J. van der Sluis, 2006, Ondergrond. Handboek geotechnisch bodemonderzoek, Vereniging Ondernemers Technisch Bodemonderzoek (VOTB), Voorschoten, 144 pp.

Tiggelman, L. & H.J. Beukema, 2006, Ringonderzoek sonderen, *Geotechniek 10 (1)*: 34 - 38.

Tol, A.J., P. Verhagen, & M. Verbruggen. 2006, Leidraad IVO karterend booronderzoek, SIKB.

Tol, A., P. Verhagen, A. Borsboom & M. Verbruggen, 2004, Een studie naar de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van booronderzoek in de prospectiearcheologie, RAAP Rapport 1000, RAAP Archeologisch Adviesbureau, Amsterdam.

Van Kappel, K., 2004, Ondergedekt verleden, het effect van kunstmatige ophogingen op archeologische vindplaatsen in het noordelijke mariene gebied in Nederland, Afstudeerscriptie Wageningen Universiteit, Wageningen, 114 pp.

Verruijt, A., 1983, *Grondmechanica*, Delftse Uitgevers Maatschappij, Delft, 296 pp.

Williams, J., J. Sidell & I. Panter, 2007, *Piling and archaeology. An English Heritage Guidance Note*, English Heritage Publishing, Swindon, 24 pp.

Williams, J., R. Hunter, N. Branch, G. Swindle, N. Walsh, I. Valcarez, A. Palmer, T. Langdale – Smith & M. Allen, 2008a, Monitoring leaching from cast *in situ* piles, *In: H. Kars & R. van Heeringen (eds.), Preserving archaeological remains in situ. Proceedings of the 3rd conference 7 – 9 December 2006, Amsterdam, Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 10*, Vrije Universiteit Amsterdam: 175-180.

Williams, J., Ch. Hird, K. Emmet, G. Davies & T. Rayner, 2008b, Understanding sub-surface impact of driven piles, *In: H. Kars & R. van Heeringen (eds.) Preserving archaeological remains in situ. Proceedings of the 3rd conference 7 – 9 december 2006, Amsterdam, Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 10*, Vrije Universiteit Amsterdam: 85-91.

