



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



**Handreiking
Paalfundering in een
archeologievriendelijk
bouwplan**



Handreiking Paalfundering in een archeologievriendelijk bouwplan

De Handreiking Paalfundering in een archeologievriendelijk bouwplan beschrijft op welke manieren schade aan het bodemarchief als gevolg van (het inbrengen van) funderingspalen zoveel mogelijk kan worden voorkomen. Geadviseerd wordt deze handreiking in samenhang met de Handreiking Algemene uitgangspunten archeologievriendelijk bouwen te gebruiken.

Een fundering op palen wordt toegepast wanneer een draagkrachtige grondlaag heel diep gelegen is. Of een dergelijke fundering nodig is, wordt bepaald door het ontwerp en het gewicht van het bouwwerk en de draagkracht van de bodem.

Uitgangspunten archeologievriendelijk bouwplan

Bodemingrepen die de archeologische vindplaats raken en verstoren, worden zoveel mogelijk voorkomen. De voorkeur gaat uit naar een fundering op staal, mits die aangelegd kan worden boven het archeologische niveau. Voor alle paalfunderingen geldt:

1. De noodzaak van paalfundering kan gemotiveerd worden aan de hand van het bouwplan en het uitgevoerde zettingsonderzoek.
2. Minimalisering van het aantal palen om bodemverstoringen te beperken.
3. Uitgaande van de oppervlakte van palen, verstoren palen maximaal 2% van de oppervlakte van de vindplaats in het plangebied.
4. Afstand tussen de palen(rijen) gerekend van rand tot rand bedraagt minimaal 4 m.
5. Typen palen gebruiken die de bodem zo weinig mogelijk verstoren.
 - a. bij voorkeur grondvervangende palen in stevige (zandige) bodems.
 - b. grondverdringende palen kunnen eventueel in slappe klei- of veenbodems.
 - c. grondverdringende schroefpalen en groutinjectiepalen altijd vermijden.
6. Methode van inbrengen van palen gebruiken die de bodem zo weinig mogelijk verstoort.

Beoordeling bouwplan op het aspect paalfundering

In de *Handreiking Algemene uitgangspunten archeologievriendelijk bouwen* wordt beschreven hoe en op welke aspecten een bouwplan kan worden beoordeeld en welke gegevens over de vindplaats en het bouwplan daarvoor nodig zijn.

Ten aanzien van paalfundering wordt een bouwplan op de volgende criteria beoordeeld:

1. Is een fundering op palen noodzakelijk of kan een minder verstorende fundering (op staal) worden toegepast?
2. Bedraagt de afstand tussen de palen(rijen) van rand tot rand minder dan 4 meter?
3. Bedraagt de totale verstoringsoppervlakte van palen meer dan 2% van de oppervlakte van de vindplaats? Zo ja:

a) Zijn alle palen noodzakelijk of kan met minder palen worden volstaan?

b) Is het voorgestelde type paal noodzakelijk of kan een minder verstorend paaltype worden toegepast?

4. Bevat de vindplaats omvangrijke houten of stenen constructies?

Oplossingen

De volgende oplossingen kunnen het bouwplan archeologievriendelijk(er) maken.

Oplossingen op het niveau van het funderingsplan:

1. Andere funderingstechniek toepassen
Vooral bij lichte bouwwerken kan een fundering op staal toegepast worden. Ook een hybride funderingsplan, waarbij het bouwwerk voor een deel op een fundering op staal rust en voor een deel op funderingspalen, beperkt de omvang van de versterking. Zie hiervoor de *Handreiking Fundering op staal in een archeologievriendelijk bouwplan*.
2. Het clusteren van palen
Een oplossing kan zijn om (dikkere) palen dicht bij elkaar te plaatsen (te clusteren), als daardoor de totale versterking van de vindplaats door palen kan worden verkleind en de hele zone waarin het cluster palen staat vooraf opgegraven wordt. Als deze aanpak juist tot een grotere versterking leidt, kan clusteren beter vermeden worden.
3. Op minder palen funderen
 - a. Minimalisering aantal palen
Uit de archeologische praktijk blijkt dat wanneer in detail gekeken wordt naar de noodzaak van elke afzonderlijke paal, het voorziene bouwplan soms toe kan met minder palen.
 - b. Lichter bouwen
Het aantal palen kan worden verminderd als op de fundering een lichter bouwwerk rust. Dat kan door toepassing van lichtere materialen of door aanpassing van het bouwontwerp.
 - c. Minder – en dikkere – palen gebruiken
In voorkomende gevallen kan de totale versterking door palen gunstiger uitvallen wanneer minder palen worden gebruikt, die dan vaak wat dikker moeten zijn. Dit kan in combinatie met het volgende punt worden uitgevoerd.
 - d. Zwaardere funderingsbalken gebruiken
Het aantal palen kan worden verminderd door het gebruik van zwaardere funderingsbalken, waarmee grotere afstanden kunnen worden overbrugd. Als daardoor een diepere ontgraving nodig is, waardoor de vindplaats wordt geraakt, zal de funderingsbalk hoger, dat wil zeggen boven het archeologisch niveau, aangebracht moeten worden (een eventueel niveauverschil met het maaiveld kan vervolgens aangevuld worden).
 - e. Bestaande palen en funderingsbalken hergebruiken
Wanneer bij de sloop van een gebouw de palen niet getrokken worden, kunnen ze mogelijk opnieuw gebruikt worden, vooropgesteld dat bepaald kan worden in hoeverre ze nog

kunnen worden belast.

4. Het palenplan optimaliseren

Hieronder vallen aanpassingen van het palenplan die niet het aantal palen wijzigen, maar wel de plaatsing ervan.

a. Palen in rijen plaatsen

Als het niet mogelijk is het aantal palen te verminderen om voldoende afstand tussen de palen te houden, kan het plaatsen van palen in rijen die minimaal 4 meter van elkaar afstaan een oplossing zijn. Toekomstig onderzoek met een graafmachine blijft dan tussen de rijen mogelijk.

b. Aanpassen van de locatie van palen

Uit archeologisch onderzoek is soms bekend waar de bodem plaatselijk verstoord is of waar lage vondstconcentraties liggen. Door palen te positioneren op plaatsen in het plangebied waar geen of weinig archeologische resten liggen, kan de schade aan het bodemarchief worden beperkt.

Oplossingen op paalniveau:

1. Grondvervangende palen gebruiken

Veel grondverdringende funderingspalen verstoren niet alleen het eigen paalvolume, maar drukken ook grond rondom weg, wat voor meer bodemverstoring zorgt. Een grondvervangende paal verstoort in stevige zandige bodems minder, ondanks het feit dat dit type palen in verhouding tot grondverdringende palen doorgaans iets dikker

2. Voorboren of voorheien

Als er omvangrijke resten van hout- of steenbouw in de bodem liggen, dan kunnen funderingspalen daar vaak niet doorheen. Vooral in slappe bodems kunnen dergelijke archeologische constructies kapot of zelfs helemaal naar beneden gedrukt worden. Er bestaan twee manieren om dergelijke schade te voorkomen:

a. Scherp voorboren

Bij deze techniek wordt de locatie van de paal bijvoorbeeld met een grote holle kernboor voorgeboord, zodat harde constructies in de grond – zoals funderingen – van een gat worden voorzien waar de paal doorheen kan.

b. Voorheien

Bij deze techniek wordt met behulp van een kleinere paal of een H-staalprofielbalk de locatie van de toekomstige paal voorgeheid. Daarbij worden eventuele obstakels kapot getrild en/of doorboord. Daarmee wordt het wegdrukken, vervormen of meeslepen van constructies voorkomen.

NB

Alle informatie is gebaseerd op de stand van kennis van deze materie medio 2015.

Deze handreiking kan op zichzelf nooit inspelen op bijzondere gevallen en uitzonderingen. Belangrijk is dan ook dat alle betrokken partijen zich realiseren dat er ook andere, niet in deze handreiking benoemde risico's kunnen bestaan die voortvloeien uit het gebruik van paalfunderingen in specifieke bouwplannen.

Meer weten?

Er zijn vijf handreikingen over archeologievriendelijke bouwplannen opgesteld:

- > Handreiking Algemene uitgangspunten archeologievriendelijk bouwen
- > Handreiking Ontgravingen in een archeologievriendelijk bouwplan
- > Handreiking Paalfundering in een archeologievriendelijk bouwplan
- > Handreiking Fundering op staal in een archeologievriendelijk bouwplan
- > Handreiking Belasten van de bodem in een archeologievriendelijk bouwplan

Deze handreikingen, een checklist, praktijkvoorbeelden en publicaties zijn opgenomen in de digitale brochure Handreiking Archeologievriendelijk bouwen. Alle documenten zijn te vinden op www.archeologiein.nl/bouwen-en-archeologie.

Achtergrondinformatie

Een fundering op palen wordt gebruikt ten behoeve van een bouwwerk waarvan het gewicht te groot is voor de draagkracht van de directe ondergrond. Of een dergelijke fundering nodig is, wordt bepaald door het ontwerp en het gewicht van de constructie, de draagkracht en de zettingsgevoeligheid van de bodem en de constructietechnische eisen die aan het bouwwerk worden gesteld. Diezelfde variabelen bepalen het type funderingspaal, of met veel of weinig palen kan worden volstaan, of palen in rijen kunnen worden geplaatst, of dat 'palennesten' nodig zijn.

Funderingspalen brengen het gewicht van het bouwwerk over op een dieper gelegen laag die draagkrachtig genoeg is. Vaak is dat een laag met een andere samenstelling. Denk aan de pleistocene zandlaag die in het westen en noorden van Nederland onder dikke lagen klei en veen ligt. Maar dat hoeft niet per se. Hoe dieper in de bodem, des te groter het gewicht van de opliggende grond en des te groter dus ook de gronddruk. Daarom bevindt zich ook in een homogene bodem een niveau dat voldoende draagkracht kan opbrengen: hoe dieper, des te meer draagkracht.

Holle bouwconstructies onder de grondwaterspiegel (zoals een parkeergarage of een fietstunnel) gaan drijven. Voor dergelijke constructies worden ook funderingspalen gebruikt, maar die brengen het gewicht niet over op de ondergrond, dat is immers niet nodig: ze drijven al. In plaats daarvan houden de funderingspalen de constructies juist omlaag. Ze worden, zoals dat heet, 'op trek' belast.

Informatieverlies door funderingspalen

Funderingspalen doorboren elke archeologische vindplaats en veroorzaken daardoor in meer of mindere mate schade. Naarmate de vondst-/spoordichtheid van een vindplaats toeneemt, zal de kans op schade en informatieverlies toenemen. Dat is bijvoorbeeld het geval bij kleine vindplaatsen met vondstconcentraties of bij vindplaatsen die uit dikke archeologische (ophogings)lagen bestaan, zoals terpen, wierden en historische binnensteden.

Ook vindplaatsen met omvangrijke houten of gemetselde constructies, zoals beschoeiingen en funderingen zijn kwetsbaar doordat het inbrengen van palen gepaard kan gaan met breuk, verdrukking en vervorming van die constructies en omliggende bodem.

Het verwijderen van paalfunderingen veroorzaakt vaak nieuwe schade. Als palen in de grond blijven zitten en niet hergebruikt

worden, zal bij een volgend bouwproces, door toevoeging van nieuwe palen een grotere dichtheid aan palen ontstaan, die niet alleen meer bodemverstoringen oplevert, maar ook de mogelijkheden voor archeologisch onderzoek beperkt.

Paaltypen

Er bestaan vele paaltypen. De keuze voor een type paalfundering is afhankelijk van vele factoren, waarvan archeologie er slechts één is. De vereiste belasting – hoeveel moet de fundering kunnen dragen? – is de belangrijkste civieltechnische randvoorwaarde. De opbouw en structuur van de bodem speelt daarin een belangrijke rol. Ook de vraag of palen op druk of op trek worden belast, stelt eisen aan het type paal. In binnensteden is het vaak gewenst dat palen trillingsarm worden ingebracht om schade aan omliggende bebouwing te voorkomen. In dichtbevolkte gebieden is het wenselijk dat geluidsarm wordt gewerkt. Ten slotte kan ook bodemvervuiling een rol spelen, bijvoorbeeld bij de afvoer van uitgeboorde grond.

Er bestaan voor al die voorwaarden veel oplossingen. In hoofdlijnen kan onderscheid gemaakt worden tussen grondverdringend en grondvervangend aangebrachte funderingspalen. In de regel kunnen palen die alleen op druk worden belast grondvervangend worden aangebracht. Palen die op trek worden belast, of zijwaartse krachten moeten opvangen (funderingspalen van geluidsschermen bijvoorbeeld), moeten zo'n goede grip hebben op de ondergrond dat grondverdringende palen nodig zijn.

Binnen die twee categorieën kan weer onderscheid worden gemaakt tussen gedreven (geheide, geschroefde, getilde, gedrukte) en ter plekke gevormde (gegoten en gespoten) palen. Onder 'geschroefde' palen worden in deze handreiking grondverdringende palen verstaan die met behulp van een schroefdraad aan de buitenzijde van de punt van de paal geluids- en trillingsarm in de bodem worden ingedraaid (dit in tegenstelling tot de betekenis die aan het begrip in de archeologie wordt gehecht: een met behulp van een op schroefdraad gelijkende avegaarboor ingebrachte, grondvervangende paal).

Effecten van funderingspalen

Grondvervangende palen verstoren niet meer dan het volume van de paal zelf, al zijn ze vaak wel iets groter in diameter dan grondverdringende palen. Bij grondverdringende palen (zoals de standaard prefab heipaal) wordt de grond weggedrukt, waarbij sprake is van volledige wegdrukking van het volume van de paal zelf en van gedeeltelijke verdrukking in een zone

rondom de paal. Bij schroefpalen raakt een zone – zo groot als de schroef – rond de paal ook geroerd.

Onderzoeksresultaten tot dusverre lijken erop te duiden dat de verdrukte zone rond een grondverdringende paal ongeveer éénmaal de diameter van die paal bedraagt in sterk plastische bodems en tot twee à driemaal de paaldiameter kunnen bereiken in grofkorreliger en goed gepakte bodems, zoals zand en 'stadsgrond'. Dat wil zeggen dat een paal van 50 cm diameter, bij een verdrukking van éénmaal de paaldiameter 150 cm verstoort: 50 cm voor de paal zelf en 2 x 50 cm voor de verdrukte zone. In die verdrukte zone kan zowel neerwaartse, zijwaartse als opwaartse verplaatsing van sediment plaatsvinden.

In het algemeen zal de verstoring van een vindplaats door een gemiddeld palenplan niet meer zijn dan 2% van de oppervlakte van de vindplaats in het plangebied, zeker niet wanneer grondvervangende palen worden gebruikt.

In de archeologische praktijk worden voor zowel grondverdringende als grondvervangende palen diverse rekenmethoden gebruikt om uit te rekenen hoeveel een palenplan verstoort in termen van de oppervlakte van een vindplaats. De methoden verschillen onderling in hun aannamen. Sommige gaan uit van een vaste verstoringsfactor (bijvoorbeeld 'driemaal de diameter') of van een vaste paaldiameter, andere methoden gebruiken daarvoor variabelen. Niet alle rekenmethoden houden rekening met de vorm van de paal (vierkant of rond). Met al deze methoden kan berekend of geschat worden wat een gegeven palenplan zal verstoren.

In tegenstelling tot de variabele omvang van de verstoringszone rondom een paal, is de paaloppervlakte een vast gegeven en eenvoudig te berekenen: lengte x breedte bij vierkante palen; $\pi \times (0,5 \text{ paaldiameter})^2$ bij ronde palen. In deze handreiking wordt ervan uitgegaan dat de totale verstoring door palen, zijnde de som van de paaloppervlakte plus de verstoorte zone eromheen van alle palen tezamen, niet meer dan 5% bedraagt mits de totale verstoring op basis van alleen de paaloppervlakte van palen beperkt blijft tot 2%. Wanneer die 2%-verstoring op basis van paaloppervlakte als uitgangspunt wordt gehanteerd voor een archeologievriendelijk bouwplan, zullen in de meeste gevallen geen problemen ontstaan.

Er zijn ook rekenmethoden waarmee berekend kan worden wat de minimaal toegestane afstand tussen de palen moet zijn om ervoor te zorgen dat de verstoring als gevolg van een nog te ontwerpen palenplan een gegeven percentage van de oppervlakte van de vindplaats niet overschrijdt.

vlakke van de vindplaats niet overschrijdt.

Bij geschroefde palen is geen sprake van verticaal 'meeslepen', maar wel van het roeren van de grond rondom de paal als gevolg van het indraaien van de schroef aan de buitenzijde van de paalpunt. De omvang van de geroerde zone is gelijk aan de totale diameter van de paal plus de schroef. Bij gespoten palen (groutinjectiepalen) is de wegdrukking van het volume van de paal onregelmatig van vorm en de verdrukking in de zone rondom de paal dus ook. Bij het wegdrukken of wegspoelen van zachte delen van de bodem – zoals veenlenzen – kan dat extreme vormen aannemen. Er kunnen dan hele platen beton in de ondergrond ontstaan. Ook vanuit technisch oogpunt is dat ongewenst, want het kost veel beton en ook wordt het grondwater – en daarmee de vochtbalans – erdoor verstoord.

Onvoorziene obstakels in de ondergrond in de vorm van stenen funderingen of zware houten constructies zijn vanuit technisch oogpunt een probleem. In voorkomende gevallen moeten ze worden weggegraven. In slappe bodems drukken de palen de obstakels soms verder de bodem in.

Hergebruik van paalfunderingen

Een eenmaal aangelegde fundering is 'op maat' gemaakt voor het bouwwerk dat erop staat. Dat wil alleen niet zeggen dat de bestaande fundering niet gebruikt zou kunnen worden voor een nieuw bouwwerk. Dat is afhankelijk van een aantal factoren:

1. De draagkracht van de oude fundering moet voldoende zijn voor de nieuwe constructie.
2. De oude fundering moet voldoen aan de veiligheidseisen die gelden voor de nieuwe constructie.
3. De oude fundering moet passen bij of passend gemaakt kunnen worden bij de ondergrondse logistiek van het nieuwe bouwwerk (kabels en leidingen, vochthuishoudelijke maatregelen, isolatie e.d.) zonder inbreuk te doen op de voorgaande punten.

Om aan die eisen te voldoen, moet de staat van de fundering constructief in orde zijn: de draagkracht moet voldoende zijn en er mag geen majeure schade ontstaan door het aanpassen van de fundering. Een fundering die draagkracht tekortkomt, kan worden aangepast of gerepareerd. Soms is sprake van het 'bijheien' van funderingspalen om de draagkracht te vergroten. Daarbij is uiteraard niet uitsluitend sprake van heien, maar kunnen palen ook onder de bestaande fundering worden aangebracht met andere technieken.

Hergebruik van funderingen betekent dat er bij de bouwwerkzaamheden minder nieuwe bodemverstoringen ontstaan. Wanneer de palen van een bestaande fundering uit de grond getrokken worden, zal meestal extra schade aan de vindplaats ontstaan. Bestaande palen kun je beter laten zitten, zeker als het type funderingspaal niet meer te achterhalen is. Dat maakt hergebruik van een bestaande paalfundering een voor de hand liggende optie. De eisen die gesteld worden aan het hergebruik van funderingen zullen in de eerste plaats van constructieve aard zijn. De technische (on)mogelijkheden zullen bepalen of hergebruik haalbaar is. Dat hangt af van de randvoorwaarden die aan het bouwproject worden gesteld.

Hergebruik van funderingen vergt – zo blijkt wel uit het bovenstaande – een goede kennis van de funderingen. Die kennis is zowel gebaat bij een goed dossier over de aanleg van de funderingen bij de bouw als bij de resultaten van het onderzoek naar de belast- en bruikbaarheid van de huidige funderingen. Funderingen kunnen in elk geval worden belast tot het niveau waarop ze gedurende het bestaan van de oude constructie zijn belast. Vragen daaromtrent rijzen pas bij een toename van de belasting óf bij een significante wijziging in de verdeling van de belasting over de fundering door de nieuwe constructie.

Archiefonderzoek kan in eerste instantie al veel vragen beantwoorden. Soms is er in het verleden al funderingsonderzoek gedaan. Daarnaast kunnen bouwtekeningen en andere bouwgegevens nuttige informatie leveren over zowel de oorspronkelijke bouw als over reparaties.

Het draagvermogen van een fundering kan ook worden bepaald aan de hand van onderzoek aan de constructie erop: een vloerwaterpassing kan al veel zeggen over de vervorming die in het verleden is opgetreden in de fundering. Een lintvoegmeting, waarbij een horizontale voeg nauwkeurig wordt gewaterpast, heeft hetzelfde doel. Bij een nauwkeurigheidsmeting worden metalen bouten op strategische punten in de muren bevestigd. De verplaatsing daarvan wordt vervolgens tot op de tiende millimeter bijgehouden gedurende enige tijd.

Zowel het hergebruik zelf als het ervoor noodzakelijke onderzoek lijkt nauwelijks voor schade aan het bodemarchief te kunnen zorgen, met één uitzondering: een visuele inspectie naar de technische staat van de fundering door middel van een ontgraving kan wél verstoring van dat bodemarchief veroorzaken.

Belastbaarheidsonderzoek van funderingspalen

Ten behoeve van het hergebruiken van funderingspalen kan ook onderzoek aan de palen zelf worden verricht om de belastbaarheid vast te stellen. Dergelijk onderzoek is in Nederland niet gebruikelijk, omdat voor nieuwe funderingen de berekeningen worden gebaseerd op uitgebreid grondonderzoek en berekeningen van de constructie. Er bestaan drie soorten tests:

- > Statische proefbelasting – waarbij met behulp van ballast de druk op een paalkop stapsgewijs wordt verhoogd en de verplaatsing van de paal nauwkeurig wordt gemeten. Deze test duurt lang: enkele dagen tot een halfjaar, maar geldt wel als de meest betrouwbare techniek. Statische proeven kunnen zowel op druk, op trek als op laterale belasting worden uitgevoerd.
- > Dynamische proefbelasting – waarbij men een gewicht (doorgaans een heiblok) op de paal laat vallen en met precisieapparatuur zowel de verplaatsing van de paal meet als de verplaatsingssnelheid. Deze test is sneller uitgevoerd en levert een schatting op van het draagvermogen. Omdat het meetmoment heel kort is, wordt de meting beïnvloed door inertie van de paal. De test kan schade aan de paal veroorzaken, wat voor de constructeur een nadeel is.
- > Pseudo-statische proefbelasting – waarbij een gewicht vanaf de paal wordt gelanceerd door middel van een gecontroleerde explosie (Statnamic) en de reactiekrachten in de paal worden gemeten of waarbij een gewicht op een demper op de paal stuitert (Statrapid). De lancering (of de demper) zorgt ervoor dat de belasting van de paal iets langer duurt dan bij een dynamische test en de uitkomsten zouden dan ook iets nauwkeuriger moeten zijn. Deze techniek is echter nog heel jong.

© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 2016
Beeldverantwoording: Hans Huisman

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Postbus 1600
3800 BP Amersfoort
www.cultureelerfgoed.nl