

Hans Huisman en René Klaassen

Archeologisch hout en tijdelijke droogstand

Invloed van water, zuurstof en tijd

Organische archeologische resten, waaronder niet-verkoolde houten voorwerpen en houtresten, vormen een belangrijke component van het archeologisch bodemarchief in Nederland. Denk daarbij aan funderingshout (palen), waterputten, schepen en gebruiksvoorwerpen uit allerlei perioden. Een recent overzicht van de houten voorwerpen uit het Romeinse fort van Velsen¹ is een mooi voorbeeld van de vele soorten houten objecten die kunnen worden aangetroffen in goed geconserveerde vindplaatsen, en de kennis die ze kunnen opleveren: van

kommen tot schrijftafels en van tentharingen tot militaire uitrustingsstukken geven ze een beeld van het leven in het verleden. Ook niet-archeologische houten resten kunnen ons veel leren over landschap en klimaat in het verleden. Zo tekenen de ligging en dendrochronologische informatie van de dennenstammen uit Leusden-Den Treek² de veranderingen in landschap en klimaat op de overgang van de laatste ijstijd naar het Holoceen.



Behoud van hout: de rol van water

Grondwater is van groot belang voor de conservering van hout en ander organisch materiaal. Hout dat boven de grondwaterspiegel ligt – en daarbij (deels) uitdroogt – wordt snel aangetast. Schimmels zijn onder deze omstandigheden zeer efficiënt in afbraakprocessen. In de natuur (denk aan dode bomen in een bos) is het hout van de meeste boomsoorten (es, esdoorn, iep, populier, beuken, wilgen) in Nederland in enkele jaren volledig afgebroken. Alleen eiken en robinia houden het één tot twee decennia uit, maar dan is het ook voor deze houtsoorten afgelopen.

Aantasting door schimmels is niet mogelijk in droog hout – minder dan 20 procent vochtgehalte, zoals binnenshuis in een constructie of gebruiksvoorwerp – of in waterverzadigd hout. Dit zijn daarom de omstandigheden waarin hout bewaard kan blijven. De reden dat het Nederlandse archeologische bodemarchief nog zo veel hout bevat is dat de grondwaterstanden – zeker in het westen van het land – zo hoog zijn dat archeologische resten permanent onder water liggen en daardoor waterverzadigd zijn. En het lijkt afdoende bekend wat er gebeurt als grondwaterstanden zo ver verlaagd worden dat archeologische niveaus uitdrogen:³ In hout en ander onverkoold organisch materiaal worden schimmels actief en ze gaan daardoor verloren. Het inrichten van een zogenoemde 'hydrologische zone' bij het voormalige eiland Schokland⁴ is bijvoorbeeld mede bedoeld om de onverkoelde organische resten in steentijdvindplaatsen te beschermen tegen een te laag grondwaterniveau, en daarmee afbraak van hout en ander organisch materiaal.

We hebben de kennis van de afbraak van hout en ander organisch materiaal, en we weten onder welke omstandigheden ze plaatsvinden. Toch misten we nog één aspect dat van groot belang is voor de archeologische monumentenzorg. En dat is de snelheid van afbraak: we weten niet hoe lang het duurt totdat de schimmelaantasting echt goed op gang is nadat hout droog is komen te staan, bijvoorbeeld door verlaging van de grondwaterstand, en we weten niet hoe snel het vervolgens doorgaat.

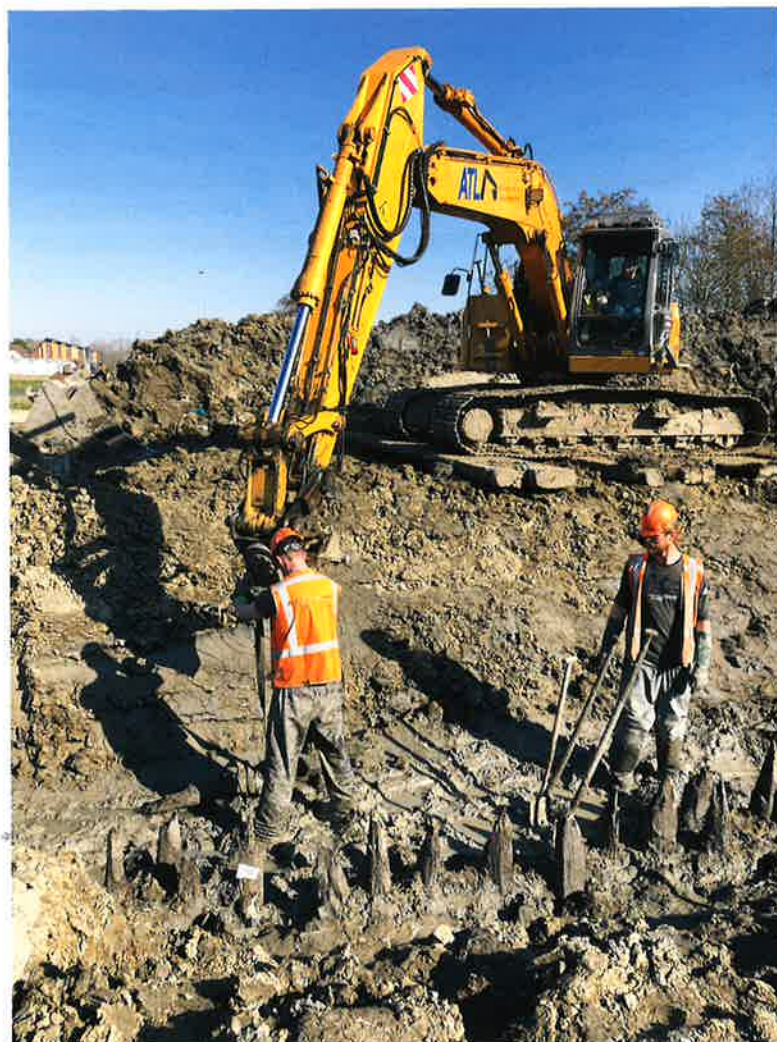
Schimmels: de grote boosdoeners

Wat we wel weten zijn de verschillende vormen van houtaantasting door schimmels en in welke successiereeks ze voorkomen. Onder water is er te weinig zuurstof voor schimmelgroei en dat is zeker het geval in bodems die organisch materiaal bevatten. Zuurstof die bijvoorbeeld door infiltratie in het bodemwater komt, wordt meteen door micro-organismen gebruikt om makkelijk afbreekbaar organisch materiaal (hout is moeilijk afbreekbaar) te verteren. Komt hout – bij dalende grondwaterstanden maar bijvoorbeeld ook tijdens opgravingen – boven het water uit, dan kunnen snel oppervlakteschimmels op het hout gaan groeien. Die zorgen voor witte, zwarte, groene en nog andere kleuren in een diffuus patroon. Deze schimmels tasten de houtstructuur niet aan maar zorgen wel voor verontreiniging

◀ Twee rijen eikenhouten palen van de Romeinse weg in Valkenburg (ZH) tijdens de opgraving. Een deel van deze palen is na de opgraving gebruikt als testmateriaal voor de laboratoriumproeven.



▲ Gesneden beukenhouten dierenkop uit de Romeinse stad Forum Hadriani (Voorburg). Hij is gevonden in een waterput, wat de goede conservering verklaart. Dit soort houten ornamenten, waarschijnlijk aan gebouwen bevestigd, blijven slechts zeer zelden bewaard omdat ze gewoonlijk niet in natte bodems terecht komen.



▲ Vrijleggen van een rij eikenhouten palen (Romeinse weg bij Valkenburg ZH). In de permanent natte bodemlagen is het hout goed bewaard gebleven, maar de koppen van de palen die in drogere lagen waren ingebed zijn verdwenen door schimmelaantasting.

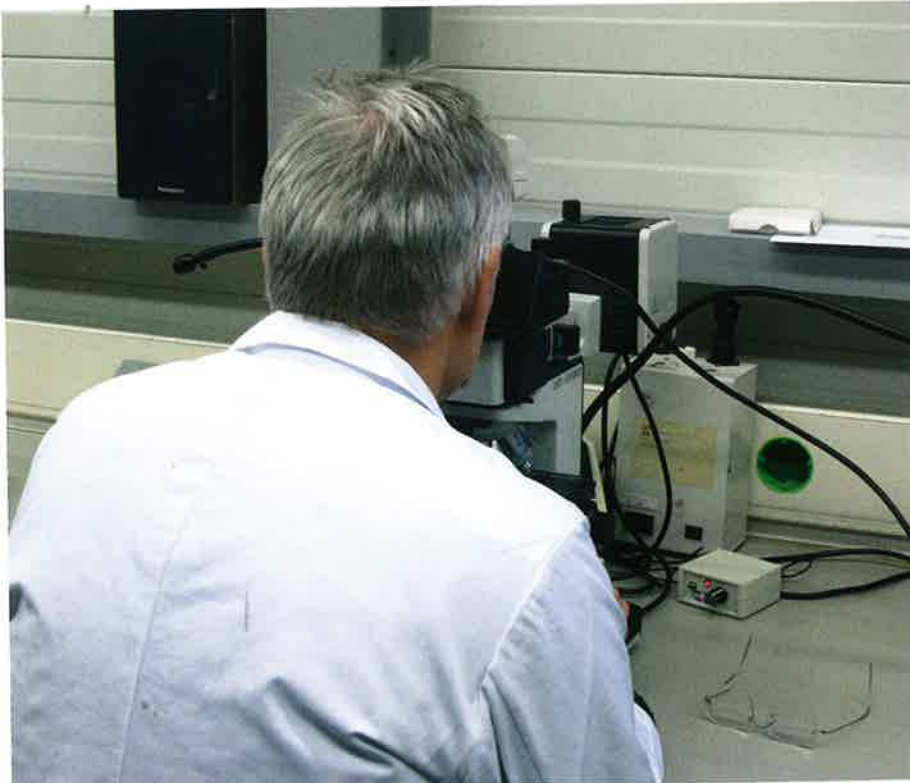
van het oppervlak, en ze zijn voorbodes voor echte aantasting. Na de oppervlakte-schimmels duiken de verblauwende schimmels op. Zij groeien alleen in spinthout en geven het hout een onregelmatig blauw vlekkenpatroon. Ze leven van inhoudstoffen maar tasten de houtstructuur ook niet aan.

De eerste echte houtaantasters zijn softrotschimmels. Zolang hout in de bodem waterverzadigd is, is hiervoor te weinig zuurstof beschikbaar. Maar bij voldoende zuurstof kunnen zij hout aantasten. Wanneer bijvoorbeeld houten funderingspalen droog komen te staan, kan afbraak door schimmels plaatsvinden. Softrotschimmels veranderen het hout in een slijmerige structuur. De droogstaande paalkoppen zitten in een stabiele omgeving waarbij de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid nauwelijks varieert en in deze toestand gedijen alle houtaantastende schimmels goed. Als de droogstand zo ernstig wordt dat het hout ook kan uitdrogen en er dus zuurstof in het hout komt, worden witrot- en bruinrotschimmels actief. Door de bank genomen komen witrotschimmels in loofhout voor en zij maken het hout zacht en het krijgt een wittige kleur. Bruinrotschimmels komen vooral in naaldhout voor en maken het hout bros en geven het een bruinige kleur. Sporen van elke vorm van schimmelaantasting zijn overal en altijd aanwezig, dus zodra de omstandigheden geschikt zijn, worden ze actief. Het type schimmel bepaalt hoe snel de afbraak zal gaan: witrot en bruinrot zijn het snelst, terwijl softrotschimmels wel tien keer zo traag zijn.

“Zolang hout in de bodem niet meer waterverzadigd is, kan het bij voldoende zuurstof aangetast worden door schimmels”

Vragen over water, zuurstof en tijd

Bij archeologisch hout in de bodem dat boven het grondwater is komen te liggen, is het effect van een grondwaterstands daling op het houtvochtgehalte niet precies bekend. Een belangrijke vraag is ook hoe snel de zuurstoftoevoer via het sediment op gang komt. Verder is niet duidelijk of de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid variëren rondom het archeologische hout. Daarom is niet duidelijk wat er gaat gebeuren als grondwaterstanden tijdelijk lager worden dan het niveau van de houten objecten. Bijvoorbeeld tijdens bouwactiviteiten, als gedurende enkele maanden bronbemaling wordt toegepast om de bouwput droog te houden, of bij een extreem droge zomer. En dat levert vragen op die ook voor de archeologische monumentenzorg van belang zijn: kan toestemming worden gegeven voor bouwactiviteiten als daarvoor een bemaling direct naast een archeologische vindplaats moet plaatsvinden? Zo ja, hoe lang kan dat duren voordat er schade optreedt? In hoeverre speelt de grondsoort een rol bij deze afwegingen?



▲ Typisch microscopisch beeld van softrot-aantasting in naaldhout.

▲ René Klaassen aan het werk achter de microscoop.

Onderzoek

Vanwege deze onduidelijkheid heeft de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) opdracht gegeven aan de Stichting Hout Research (SHR) om onderzoek te doen naar houtaantasting onder tijdelijke droogstand, met behulp van laboratoriumexperimenten. Omdat archeologisch hout waarschijnlijk anders reageert dan vers hout, is daarbij gebruikgemaakt van Romeins eikenhout uit de Romeinse weg bij Valkenburg (124 na Christus), die net was opgegraven.⁵ Een belangrijk verschil met vers hout is dat archeologisch hout dat decennia of eeuwen onder het grondwater is opgeslagen, aangetast kan zijn door bacteriën. Deze vorm van aantasting gaat zo'n tien maal langzamer dan softrot-aantasting, maar heeft als bijzondere eigenschap dat zelfs in behoorlijk aangetast hout de vorm van het object en bijvoorbeeld de bewerkingssporen en jaarringen nog intact zijn. Het hout heeft echter nauwelijks sterkte meer en kan bijna als spons in elkaar worden geknepen.

De vraag was hoe lang hout boven het grondwatervniveau kan uitsteken voordat het wordt aangetast door schimmels of verlies aan vorm of bewerkingssporen optreedt als gevolg van die aantasting. Ook was de vraag in hoeverre verschillende grondsoorten een rol spelen. Omdat houten objecten, zoals paalfunderingen, in de bodem vaak doorlopen in de diepere bodemlagen, is ervoor gekozen om de praktijkexperimenten hiervoor te ontwerpen. Een eerste test is gedaan om de snelheid van aan-

tasting onder ideale omstandigheden te bepalen. En vervolgens is onderzoek gedaan naar de gevolgen van snelle (tijdelijke) waterstandsverlaging.

Uitvoering

Om de snelheid van aantasting in waterverzadigd hout onder optimale omstandigheden te kunnen bepalen, zijn waterverzadigde staakjes van 10 centimeter lang van vers eiken, vers grenen en archeologisch eiken voor de helft in vochtig zand, veen en klei gestoken. Na twee, vier, acht, twaalf, 24 en 34 weken zijn er staakjes uitgehaald en is het gewichtsverlies bepaald.

Voor het bepalen van de effecten van tijdelijke droogstand zijn paalstukken van circa een halve meter met één diameter van circa 15 centimeter gebruikt van twee veel toegepaste soorten (vers eiken en grenen) en van (Romeins) archeologisch eiken. De paalstukken zijn geplaatst in geperforeerde PVC buizen van circa 35 centimeter in diameter en de buizen zijn gevuld met verschillende grondsoorten (zand, veen, klei). Alle gevulde buizen zijn in het laboratorium eerst volledig onder water gezet. Om de praktijksituatie zo veel mogelijk te benaderen is het water zuurstofarm gemaakt en gehouden. Vochtsensoren monitorde het houtvochtgehalte in het kernhout en het spinthout van een aantal palen, zowel aan de top als aan de onderste punt van de paal.

Na acht weken is het waterniveau in de bakken teruggebracht



◀▲ Het boren van gaten in de paalstukken voor het plaatsen van sensoren.



- ▲ Een deel van het Romeinse schip De Meern 4 wordt zichtbaar bij veldonderzoek in samenwerking met onderzoekers van het Britse tv-programma 'Time Team'. De resten van het schip liggen in een permanent waterverzadigde bodem en kon daardoor in situ bewaard worden.

tot de helft (ongeveer 17 centimeter), vervolgens acht weken later tot 2 centimeter en weer acht weken later is al het water uit de bak gehaald. Tijdens al deze weken is het houtvochtgehalte in de palen gemonitord en zijn met regelmaat houtmonsters uit de bovenkant van de palen genomen. Deze zijn op aantasting gecontroleerd. Gedurende en na afloop van het experiment zijn paalstukken uit de buizen gehaald en zijn vochtgehalte en het voorkomen van aantasting over de hele paal bepaald. Ook is het bodemvochtgehalte bovenin en onderin de buis bepaald. Deze test simuleert een veldsituatie waarin tijdelijke droogstand voorkomt. Als de waterstanden weer stijgen en het hout weer waterverzadigd wordt, zal schimmelaantasting in de praktijk stoppen.

Heel snelle aantasting onder ideale omstandigheden

Het bleek dat onder optimale omstandigheden hout snel kan worden aangetast, hoewel de resultaten sterk varieerden en afhankelijk waren van het type hout, grondsoort en het bereikte vochtgehalte: in vers eikenspint ontstond in veengrond na vijf weken 5 procent massaverlies door aantasting en deze liep op na tien weken tot 10 procent aangetast en na vijftien weken tot 35 procent. In het eikenkernhout gaat dit langzamer met 5 procent massaverlies na tien weken en 10 procent massaverlies na 25 weken. Het archeologische hout lijkt minder te reageren op aanvullende aantasting want hier werd nauwelijks massaverlies waargenomen. Alleen bij één staak werd 30 procent massaverlies gevonden na vijftien weken.

Gevolgen van droogstand

In het droogstand-experiment bleek dat beperkte verlaging van het waterniveau (17, 30 centimeter) niet leidde tot lagere houtvochtgehaltes, en er geen aantasting ontstond. Kennelijk kunnen verticale palen vocht van dieper lagen aanvoeren waardoor het



◀ Dit doosje (pyxis) uit het Romeinse schip De Meern 1 is gedraaid uit een stuk Spaanse aak (*Acer campestre*). Dit dunne hout met fijne details is heel gevoelig voor aantasting, en zou bij uitdrogen direct scheuren. Het is perfect bewaard gebleven onder de grondwaterspiegel.

proces van aantasting wordt vertraagd. Pas nadat de buizen niet meer in het water stonden werd verandering in het houtvochtgehalte aan de bovenkant van de palen in klei en veen waargenomen. De vochtgehaltes namen eerst af in het spint-hout aan de bovenkant van de paal en later, vaak pas na een maand, in het kernhout. Opvallend was dat in zand het houtvochtgehalte van de palen helemaal niet daalde. Het bodemvochtgehalte liet zien dat het zand droog was terwijl klei en vooral veen nog vocht bevatten. Het lijkt er dus op dat in nat zand, bij tijdelijke droogstand, het houten element vocht aan het sediment kan onttrekken waardoor het langer een hoog vochtgehalte behoudt. In veen en klei lijkt dit proces net andersom te verlopen.

Met het dalen van het vochtgehalte in de palen in klei en veen werd ook aantasting in de palen geconstateerd. Deze aantasting kwam echter slechts zeer langzaam op gang, en alleen bij een sterke verlaging van het houtvochtgehalte. Het lijkt erop dat veen en klei vocht aan de paal onttrekken. Zolang dit minder is dan de aanvoer vanuit de diepere bodemlagen, zou dit een extra beschermende werking kunnen hebben. Is die vocht-aanvoer echter te weinig, dan is er versnelde uitdroging van



▲ Kokers met paalstukken omringd door sediment, hier wordt de laatste hand gelegd aan de paal in klei.



▲ Na het experiment wordt de paal uit de koker gehaald. Het veen is hier al verwijderd.

- ▼ Natte omstandigheden bij de opgraving van de Romeinse weg bij Valkenburg (ZH). Een pomp wordt gebruikt om lokaal een overschot aan water weg te pompen. Dat levert hier geen problemen op, maar wat gebeurt er bij intensieve en langdurige onttrekking, bijvoorbeeld met bronbemaling?



het hout, waardoor sneller zuurstof wordt aangevoerd en schimmelaantasting wordt gestimuleerd. Omringend zand voorziet een uitdrogende paal van vocht maar droogt hierbij wel sneller uit: dit vermindert op langere termijn wel de beschermende werking. Voordat de schimmelaantasting begon, trad er nog een ander probleem op: door uitdroging begon het hout te scheuren en vervormen. Dit soort aantasting van de vorm van het hout is onomkeerbaar, en daarom zeer schadelijk.

Praktische invulling

Hoewel blijkt dat de snelheid van aantasting onder optimale omstandigheden in vers hout kan leiden tot een massaverlies tot 35 procent binnen vijftien weken, zijn het de grondsoort en grondwaterstanden die bepalen of en hoe sterk de aantasting is. Het droogstand-experiment laat zien dat bij verticale houten palen kleine grondwaterstandsverlagingen nauwelijks een gevaar opleveren voor het ontstaan van aantasting. Periodes van maanden kunnen hiermee overbrugd worden. Nalevering van water uit diepere bodemlagen kan het hout afdoende nat houden om aantasting tegen te gaan. Paradoxaal is dat dit het beste



- ▲ Stammetjes van de neolithische veenweg van Nieuw-Dordrecht worden vrijgelegd bij veldonderzoek. Hoewel het hout heel ondiep ligt is het goed bewaard gebleven doordat het permanent in waterverzadigd veen begraven ligt.



lijkt te werken in zandige sedimenten. Zandige bodems staan vanwege hun goede doorlatendheid en drainage in het algemeen vooral bekend als slechtere milieus voor conservering van archeologisch hout dan kleiige en venig bodems. Waterverzadigd zand is echter net zo conserverend voor hout als klei of veen. En het hier beschreven onderzoek laat zien dat hout

in zand minder gevaar loopt bij tijdelijke verdroging of droogstand. Tegelijk ontstaat in zand sneller een droogstand door de in het algemeen goede doorlatendheid van zandbodems.

Wanneer de bodem rondom houten objecten zodanig uitdroogt dat geen nalevering van vocht uit diepere bodemlagen mogelijk is (liggend hout, kleine objecten, zo diepe verlagingen dat palen over hun hele lengte droog komen te staan), is het gevaar voor aantasting bij tijdelijke droogstand groter. Dan duurt het nog steeds maanden voordat de aantasting echt begint. Er is echter wel een ander gevaar, namelijk dat het hout zijn vorm en zijn gebruikssporen verliest. Dit gebeurt wanneer het sterk uitdroogt. Dit gebeurt sneller dan het ontstaan van schimmelaantasting, namelijk binnen twee à drie maanden na drooglegging.

“Hout in zand loopt minder gevaar bij tijdelijke verdroging of droogstand, maar in zand ontstaat wel sneller droogstand”

Implicaties

Uit de resultaten van dit onderzoek kunnen we afleiden dat een tijdelijke verlaging van de grondwaterstand voor een periode van twee à drie maanden gewoonlijk geen directe gevolgen zal hebben voor houtaantasting. Bij langere droogstand kan hout echter gaan krimpen en scheuren en vervolgens (op zijn vroegst na vijf à zes maanden) ernstig worden aangetast door schimmels. Voor langere periodes van verlaagde grondwaterstand is aanvullend onderzoek nodig om vast te stellen of hout gevaar zal lopen.

Een belangrijke aantekening hierbij is dat we geen onderzoek hebben gedaan naar wat er gebeurt als er herhaaldelijk periodes van droogstand zijn: hebben die een cumulatief effect of niet? Zolang dat niet duidelijk is, moet zeker voorzichtig worden omgegaan met opeenvolgingen van ingrepen die het grondwater beïnvloeden en met bijvoorbeeld de invloed van herhaalde droge zomers.

Verantwoording

Noten

- 1 Lange (2021).
- 2 Bazelmans e.a. (2021).
- 3 Willemse (2020), 83.
- 4 Huisman en Mauro (2013); Huisman en Mauro (2012), 406-428.
- 5 We willen hierbij René Isarin en Rijnlandroute/ Provincie Zuid Holland danken voor het beschikbaar stellen van dit hout. Zie ook <https://rijnlandroute.nl/artheologisch-onderzoeksrapport-weerdkampen-een-waardevol-stuk-van-de-romeinse-puzzel/>.

Literatuur

Bazelmans, J., R. van Balen, J. Bos, O. Brinkkemper, J. Colenberg, P. Doeve, B. van Geel, T. Hakbijl, H. van Hateren, W. Z. Hoek, H. Huisman, E. Jansma, C. Kasse, B. van Os, H. van der Plicht, J. Schokker,

N. Van der Putten en J. van der Woude (2021), 'Environmental changes in the late Allerød and early Younger Dryas in the Netherlands: a multiproxy high-resolution record from a site with two *Pinus sylvestris* populations', in: *Quaternary Science Reviews* 272, art.nr. 107199, 1-21

Huisman, D.J. en G. Mauro (2012), 'The never-ending story? What can we learn from 15 years of archaeological monitoring on the former island Schokland', in: *Conservation and Management of Archaeological Sites* 14, 1-4

Huisman, D.J. en G. Mauro (2013), *Schokland UNESCO World Heritage site 3rd monitoring round*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 207)

Lange, S. (2021), *The Wooden Artefacts from the Early Roman Fort Velzen I*, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 69)

Willemse, N.W. (2020), *Beschermde maar kwetsbaar. Fysieke bedreigingen van archeologische rijksmonumenten en maatregelen om ze te behouden*, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 67)

Over de auteurs

Hans Huisman heeft een achtergrond in de bodemkunde en geochemie. Hij werkt als specialist bij de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en is bijzonder hoogleraar Geoarcheologie en Archeometrie aan de Rijksuniversiteit Groningen. René Klaassen is docent houtanatomie en doet toegepast houtonderzoek voor de reguliere bouw, ook binnen de bouwhistorie en archeologie. Een belangrijk werkveld is het mechanisme van microbiologische aantasting en de mogelijkheden tot conserveren.