



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

Nederlandse
Archeologische
Rapporten

067

Beschermd maar kwetsbaar

*Fysieke bedreigingen van
archeologische rijksmonumenten en
maatregelen om ze te behouden*

N.W. Willemse

Beschermd maar kwetsbaar

Fysieke bedreigingen van archeologische rijksmonumenten en maatregelen om ze te behouden.

N.W. Willemse

Colofon

Nederlandse Archeologische Rapporten 67

Beschermde maar kwetsbaar

Fysiske bedreigingen van archeologische rijksmonumenten en maatregelen om ze te behouden

Auteur: N.W. Willemse

Autorisatie: H.F.A Haarhuis

Illustraties: RAAP en de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, tenzij anders vermeld

Tekstredactie: RAAP

Afbeelding omslag: J. Stöver (erfgoedfoto.nl)

Opmaak en productie: Xerox, Den Haag / Osage studio

ISBN/EAN: 978-90-5799-329-9

© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort, 2020

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Postbus 1600

3800 BP Amersfoort

www.cultureelerfgoed.nl

Samenvatting	5	4.4.4 Wortelgroei en wortelwerking	48
Summary	7	4.4.5 Zoogdieren die bioturbatie veroorzaken	51
1 Inleiding	9	5 Risico op schade door menselijke ingrepen	55
1.1 Instandhouding van archeologische rijksmonumenten	9	5.1 Inleiding	55
1.2 Aanleiding, doel en onderzoeksvragen	10	5.2 Landbouwactiviteiten	57
1.2.1 Aanleiding	10	5.2.1 Inleiding	57
1.2.2 Doel	10	5.2.2 Reguliere (hoofd)grondbewerking	57
1.2.3 Onderzoeksvragen	11	5.2.3 Incidentele grondbewerking: egalisatie en kilveren	59
1.3 Voor wie is deze publicatie bedoeld?	11	5.2.4 Incidentele grondbewerking: decompactiewerkzaamheden	60
1.4 Leeswijzer	11	5.2.5 Incidentele grondbewerking: profielverbetering	61
1.5 Verantwoording en dankwoord	12	5.2.6 Effecten van het aanleggen van drainage en het graven van sloten	61
2 Archeologische rijksmonumenten in context	13	5.2.7 Omgronden	62
2.1 De huidige voorraad wettelijk beschermde terreinen	13	5.2.8 Rooien van bomen en struiken inclusief kluit	63
2.2 Huidig landgebruik	15	5.2.9 Gebruik als weidegrasland of als productiegrasland	63
2.3 Zichtbare en niet-zichtbare rijksmonumenten	16	5.2.10 Omzetten van grasland in akkerland	64
2.3.1 Afdedekt of aan de oppervlakte?	16	5.2.11 Bodemgebruik onder kassen	64
2.3.2 Diepteligging van archeologische resten	17	5.2.12 Aanleggen van voederkuilen	64
2.4 Beheer en beleid	18	5.2.13 Vermesting, verzuring en bekalking	65
2.5 Vergunningplicht bij ingrepen	20	5.2.14 Toepassen steenmeel	66
2.6 Vergunningaanvragen	21	5.2.15 Effecten van gewasbeschermingsmiddelen en biocides	66
3 De kwetsbaarheid van archeologische rijksmonumenten	25	5.3 Bouwactiviteiten en aanlegwerkzaamheden	67
3.1 De instandhoudingsgedachte	25	5.3.1 Inleiding	67
3.2 Wat is een fysieke dreiging?	25	5.3.2 Ontgravingen	69
3.3 Directe en/of sluipende aantasting?	27	5.3.3 Doorboringen	72
3.4 Wanneer is er sprake van informatieverlies?	27	5.3.4 Belasting	73
3.5 Kwetsbare rijksmonumenten in groepen	28	5.3.5 Wateronttrekking	75
3.5.1 Diepteligging en grondwatersituatie	29	5.3.6 Afdekking	76
3.5.2 Monumenten in groepen	31	5.3.7 Stabilisatie	76
3.6 Het proces van verwerking en verval	34	5.4 Wijzigingen in de waterhuishouding	77
4 Risico op schade door natuurlijke oorzaken	37	5.4.1 Inleiding	77
4.1 Inleiding	37	5.4.2 Grondwaterstanddaling door landinrichting	79
4.2 Processen aan het maaiveld	37	5.4.3 Peilbesluiten en peilbeheer	80
4.2.1 Bodemerosie	37	5.4.4 Verbeteren van de waterhuishouding op agrarische percelen	81
4.2.2 Verzakken en afglijden van bodemlagen	38	5.4.5 Grondwaterwinning/wateronttrekking	82
4.2.3 Bodemverstoring door wild en vee	39	5.4.6 Bodemdaling door waterbeheer	82
4.2.4 Woekering van bomen, struiken en helofyten	41	5.4.7 Gevolgen van verdroging voor rijksmonumenten	83
4.2.5 Windworp	41	5.4.8 Verzilting van de bodem	85
4.2.6 Mosgroei en groei van algen	42	5.5 Effecten van natuur- en bosbeheer	86
4.3 Processen in de bodem	43	5.5.1 Natuurbouw en natuurbeheer	86
4.3.1 Fysische verwerking	43	5.5.2 Bosbeheer	89
4.3.2 Mineralisatie en humusvorming door bodemleven	44	5.6 Overige bedreigende ingrepen	89
4.4 Bioturbatie	45	5.6.1 Ontgronden en delfstofwinning	89
4.4.1 Wat is bioturbatie?	45	5.6.2 Recreatiedruk	91
4.4.2 Schade door bioturbatie	46	5.6.3 Erfgoedbeheer	91
4.4.3 Mesofauna	46	5.6.4 Funeraire activiteiten	91
		5.6.5 Incidenten en vandalisme	91

6	Fysieke instandhoudingsmaatregelen	93		
6.1	Algemeen	93		
6.2	Noodzaak voor beschermingsmaatregelen	93		
6.2.1	De mate van bedreiging	93		
6.2.2	De urgentie	95		
6.3	Welke fysieke beschermingsmaatregelen kunnen er genomen worden?	95		
6.3.1	Doel en afwegingen	95		
6.3.2	Vormen van instandhouding	96		
6.4	Aangepast agrarisch grondgebruik	97		
6.4.1	Directe inzaai en minimale bodembewerkingstechnieken	97		
6.4.2	Ophogen of bezanden	98		
6.4.3	Braaklegging en afrastering	99		
6.4.4	Graslandbeheer, omzetten in grasland	99		
6.5	Aangepast bos- en natuurbeheer	100		
6.6	Aangepast waterbeheer	101		
6.6.1	Waterverzadiging en conservering	101		
6.6.2	Beperken peilverlaging	102		
6.6.3	Peilverhoging	103		
6.6.4	Vegetatiebeheer als antiverdrogingsmaatregel	104		
6.7	Archeologiesparend bouwen	104		
6.7.1	Voorkomen van schade door belasting	105		
6.7.2	Bouwconstructies	106		
6.8	Voorkomen van schade door aanlegwerkzaamheden	106		
6.9	Afdekken en/of inkuilen van archeologische resten	106		
6.10	Aangepast voertuig- en machinegebruik	107		
6.11	Erosiebestrijding	109		
6.11.1	Teelttechnische maatregelen tegen bodemerosie door water	109		
6.11.2	Overige maatregelen om bodemerosie door water tegen te gaan	110		
6.11.3	Maatregelen tegen winderosie	111		
6.11.4	Maatregelen tegen erosie van kunstmatige heuvels, wallen, terpen en wierden	112		
6.12	Vegetatiebeheer	113		
6.12.1	Bomen	113		
6.12.2	Wortelwering en wortelgeleiding	114		
6.12.3	Voorkomen van opslag	115		
6.12.4	Rietbeheer	115		
6.12.5	Exoten	116		
6.13	Tegengaan van wildschade en bodemverstoringen door vee			116
6.13.1	Inleiding			116
6.13.2	Konijnen en dassen			116
6.13.3	Mollen en ratten			117
6.13.4	Maatregelen tegen bodemverstoring door vee			117
6.14	Recreatiebeheer			118
6.14.1	Versterken van het bodemoppervlak			118
6.14.2	Wijzigen of beïnvloeden van paden en wegen			119
6.14.3	Antivandalisme			120
6.15	Maatregelen van toepassing op enkele zichtbare complextypen			120
6.15.1	Kasteel-, klooster- en kerkerreinen, uithoven			120
6.15.2	Ringwalburchten, vluchtburchten en motteheuvels			121
6.15.3	Terpen/wierden			122
6.15.4	Celtic fields			122
6.15.5	Aarden wallen, landweren en schansen			123
6.15.6	Grafheuvels en urnenvelden			123
7	Conclusies			125
7.1	Fysieke bedreigingen			125
7.1.1	Hoofdpijnen			125
7.1.2	Schadelijke processen en ingrepen			126
7.2	De grootste bedreigingen			128
7.3	Grootste bedreigingen en typen rijksmonument			129
7.4	Schade tot stilstand brengen of voorkomen			129
7.4.1	Agrarisch beheer, natuurbeheer en bosbouw			129
7.4.2	Bouwactiviteiten en inrichtingswerkzaamheden			130
7.4.3	Waterbeheer en grondwaterbeheer			130
7.5	Kennislacunes			131
7.5.1	Agrarisch grondgebruik en natuurbeheer			131
7.5.2	De gebouwde omgeving			131
7.5.3	Waterbeheer			132
7.5.4	Wortelwerking			132
7.6	Tot besluit			133
	Literatuur			135
	Begrippen en definities			151

Deze publicatie is bedoeld als naslagwerk voor professionals werkzaam in de archeologische monumentenzorg die eigenaren/grondgebruikers/beheerders adviseren over de instandhouding van archeologische rijksmonumenten. Het gaat om een literatuurstudie waarin een overzicht wordt gegeven van de fysieke bedreigingen die schade aan de archeologische rijksmonumenten op land kunnen veroorzaken. Ook wordt antwoord gegeven op de vraag wat we kunnen doen om de risico's van deze fysieke dreigingen in te perken of tot stilstand te brengen. Deze publicatie kan daarom ook gebruikt worden door eenieder die in de praktijk betrokken is bij het fysieke beheer van de beschermde terreinen.

Archeologische resten op rijksmonumenten worden, ondanks hun vaak al lange aanwezigheid in de bodem en de rijksbescherming, blootgesteld aan aantasting en verval. Deze aantasting kan veroorzaakt worden door natuurlijke processen, zoals mineralisatie, bioturbatie, verdroging en erosie, maar ook voortkomen uit menselijk ingrijpen. Beide, ingrepen en natuurlijke verstoringen, zijn van invloed op de conservering van sporen en lagen en op de fysieke staat van vondstmaterialen zoals vuursteen, bot, metaal, hout, zaden en keramische producten. Deze dragers van informatie en de samenhang daartussen vormen de belangrijkste kennisbronnen over het verleden en het (gedeeltelijke) verlies daarvan is onomkeerbaar.

Niet elke bodemverstoring moet opgevat worden als schade die voorkomen of gestopt moet worden. Er zijn gradaties in de aard en ernst van de schade aan te wijzen. Schade kan lokaal optreden (door windworp) maar ook een aantal percelen betreffen (zoals bij bodemerosie). En verder dienen sommige vormen van schade zich acuut aan (het inzakken van een steilkant) terwijl andere verstoringen heel geleidelijk verlopen (verdroging). Aanscherping van het begrip schade is daarom wenselijk om er een praktisch werkbaar begrip van te maken.

Van schade is sprake wanneer de fysieke kwaliteit van archeologische resten van (een deel van) het rijksmonument achteruitgaat. Schade kan tot informatieverlies leiden als de herkenbaarheid van informatiedragers (grondsporen, lagen of vondsten), hun betekenis of hun onderlinge samenhang verloren gaan, waardoor kennisvragen op het niveau van het beschermde complex niet meer door onderzoek beantwoordt kunnen worden.

Informatieverlies is dus een ernstig gevolg van schade en als informatieverlies (of de dreiging daarvan) zich voordoet, of binnen afzienbare tijd ontstaat, is het treffen van fysieke beschermingsmaatregelen noodzakelijk om verdere achteruitgang te voorkomen. Indien er op dat moment geen reële opties voor het treffen van fysieke beschermingsmaatregelen bestaan, kan opgraven een alternatieve optie zijn om te voorkomen dat de informatiewaarde van het beschermde rijksmonument verder achteruit gaat of verloren gaat. Het accent bij archeologische rijksmonumenten ligt echter op duurzame instandhouding / behoud in de bodem.

Uit deze studie komt naar voren dat de kans dat het bodemarchief beschadigd raakt vele malen groter is voor ondiep gelegen vindplaatsen en aan het maaiveld zichtbare archeologische resten dan voor afgedekte en dieper gelegen vindplaatsen. De meeste schadelijke processen vinden namelijk plaats direct aan of direct onder het maaiveld, zoals grondroerende activiteiten en de inwerking van de atmosfeer en het bodemleven. Bijna 55% van het oppervlak aan rijksbeschermde archeologische vindplaatsen betreft zichtbare rijksmonumenten. Daarnaast bestaat ruim 38% van het oppervlak aan archeologische rijksmonumenten uit archeologische resten die binnen 50 cm onder het maaiveld voorkomen. Deze twee categorieën archeologische rijksmonumenten zijn daarom het meest gevoelig voor fysieke bedreigingen.

Uit de gegevens die in de loop van het project zijn verzameld blijkt verder dat het risico op onherstelbare aantasting van archeologische vindplaatsen het grootst is onder akkerland, in heideterreinen en in productiebos. Deze typen landgebruik nemen samen bijna 81% van het oppervlak in binnen het huidige rijksmonumentenbestand. De schade ontstaat in deze gebieden veelal sluipenderwijs, buiten het zicht van een vergunningverlener en zonder dat er een gereguleerde vorm van toezicht op bestaat. Hetzelfde risico op sluipende degradatie van kwetsbaar archeologisch erfgoed komt voort uit verdroging door het peilbeheer in zowel landelijk als stedelijk gebied. Ook in de in toenemende mate verstedelijkende omgeving waarbinnen archeologische rijksmonumenten voorkomen is sprake van een groot schaderisico. Het huidige vergunningenbeleid voor rijksmonumenten voorkomt of beperkt echter al een deel van de schadelijke ingrepen (zoals bouwwerkzaamheden

of diepere bodemingrepen). Uitgangspunt van het beleid is om de belevingswaarde en wetenschappelijke betekenis van het archeologisch rijksmonument te behouden. Daardoor is de RCE in zijn rol als vergunningverlener terughoudend met het toestaan van schadelijke planontwikkeling en wordt in de vergunningprocedure gestuurd op plaanpassing. De vergunningplicht kent echter ook beperkingen. Degradatie van het rijksmonument door natuurlijke processen worden hierdoor niet gestopt: er is immers geen verstoorder aan te wijzen. En met uitzondering van bouwwerkzaamheden worden voor veel grondwerkzaamheden in het buitengebied (vooral agrarisch gebied) die dieper gaan dan de aangegeven vrijstellingsdiepte (en dus vergunningplichtig zijn) geen monumentenvergunning aangevraagd.

In het kader van archeologievriendelijk beheer van agrarische gronden zijn alternatieven voor de reguliere agrarische groundbewerking aan te dragen. Deze alternatieven worden vaak samengevat met de begrippen minimale bodembewerkingstechnieken of 'niet-kerende groundbewerking' (NKG). NKG varieert van het voorafgaand aan inzaai volledig stopzetten van welke vorm van bewerking dan ook ('no tillage') tot het overgaan op/kiezen voor minimale bewerkingstechnieken. Archeologievriendelijk is ook het lokaal braakleggen van grond op en rond een archeologiegevoelig deel van het terrein, of door over te stappen op extensief graslandbeheer. Ook aangepast agrarisch grondgebruik/aangepaste teelten zoals natte landbouw in het veenweidegebied kan bijdragen aan de instandhouding van, in dit geval droogtegevoelige, archeologische resten.

Fysische maatregelen om de risico's van verdroging en inklinking van de bodem weg te nemen richten zich op de eerste plaats op het herstellen of verhogen van het bodemvochtgehalte binnen schadegevoelige percelen. Opzetten van (sloot) waterpeilen rondom een terrein als maatregel blijkt echter alleen zinvol als daarmee daadwerkelijk betere conserveringsomstandigheden in de vorm van een hoog bodemvochtgehalte en een laag zuurstofgehalte in de bodems wordt bereikt. Omdat het verhogen van het grondwaterpeil en het beïnvloeden van het bodemvochtgehalte als fysieke beschermingsmaatregel vaak wordt toegepast is meer kennis over de conserverende werking van het bodemwatersysteem wenselijk.

Om schade aan archeologische rijksmonumenten te voorkomen is ook het tegengaan van opslag van bomen of struiken op archeologische rijksmonumenten, en zeker de zichtbare rijksmonumenten, belangrijk. Tijdig onderhoud voorkomt dat jonge bomen alleen met grove middelen verwijderd moeten worden. Verwijderen van opslag moet echter oordeelkundig gebeuren, met de bedoeling verdere aantasting te beperken. Dat geldt ook voor (verschralings)werkzaamheden die gericht zijn op herstel van de nutriëntenbalans van graslanden, heidegebieden en bossen op de arme zandgronden. Verder wordt voor alle sectoren (infra, bouw, agro) aangeraden om insporing en bodemverdichting te minimaliseren, bijvoorbeeld door machines en voertuigen te gebruiken met een lage contactdruk en door rekening te houden met de (lokale) bodemgesteldheid.

Tot slot, het effectief in stand houden van de belangrijkste resten van onze cultuurgeschiedenis is alleen mogelijk als de verschillende belangen en risicofactoren tegen elkaar worden afgewogen en als er, indien noodzakelijk, naar passende instandhoudingsmaatregelen wordt gezocht. Dit vraagt van alle partijen wederzijds begrip voor elkaars wensen, eisen en standpunten. Soms is namelijk sprake van een tegenstelling tussen het algemene belang en het belang van de eigenaar en/of gebruiker. Daar waar een eigenaar van een gebouwd rijksmonument veelal een zeker gebruiksgenot ontleent aan zijn bezit, levert een archeologisch rijksmonument de eigenaar/ gebruiker in vrijwel alle gevallen niets op. Integendeel, de beschermde status grijpt vaak in op zijn/haar gebruiksmogelijkheden en maakt nieuwe ontwikkelingen ter plekke soms onmogelijk of kostbaar. Dit kan leiden tot inkomstenderving, bijvoorbeeld voor boeren wanneer akkerland wordt omgezet in extensief beheerd grasland, wanneer het terrein anders moet worden ingericht of wanneer er nieuw materiaal moet worden aangeschaft. Het is dan belangrijk om na te gaan welke inkomstenderving wordt voorzien en welke financiële regeling(en) getroffen kunnen worden. Voor de archeologische monumentenzorg betekent deze tegenstelling tussen het algemene belang en het belang van de eigenaar/gebruiker, dat ook de bestaande kennis over wat als schadelijk voor archeologische resten moet worden gezien continu tegen het licht moet worden gehouden en indien nodig aangepast. Deze publicatie wil aan deze kennisdeling en aan het wederzijdse begrip voor de instandhoudingsproblematiek bijdragen.

This publication is a reference work for archaeological heritage professionals when advising land owners, land users or site managers about the care and maintenance of archaeological monuments. In this literature study an overview is presented of the main physical threats that can cause damage to archaeological remains preserved within the national monuments. It also provides an answer to the question what can be done to stop or mitigate the risks of these physical threats. Therefore, it might also be of interest for anyone else involved in the conservation and caretaking of archaeological monuments.

Despite the fact that archaeological remains have remained more or less undisturbed in the burial environment, and despite the measures that have been taken to protect them, they can be subjected to a sudden and rapid decay. This decay can be the result of natural processes, such as increased mineralization, bioturbation, drying and erosion, but can also arise from human impact due to e.g. agricultural practices or activities in the built environment. Both human impact and natural disturbances affect the preservation of archaeological remains such as flint, bone, metal, wood, ceramic products and soil features, and ecofacts like seeds or pollen. These artefacts and ecofacts and their internal coherence form the main constituents of what we call 'sites' and provide the main sources of knowledge about the human past. Notably, their (partial) loss is irreversible. However, it is also generally accepted that not all forms of disturbances or deterioration are equally harmful or should be considered as severely damaging a site. Only when the identification of artefacts, ecofacts or soil features are hampered to such extent that their interpretation becomes troublesome, damage can be labelled as 'severe'; a condition that should be prevented at all costs.

In the Netherlands, damage to an archaeological site is considered critical when research questions at the site level can no longer be answered using archaeological techniques. If a critical loss of information (or a serious threat to that end) occurs or arises in the foreseeable future (for example due to desiccation or erosion) protective physical measures become necessary. If protective measures are unrealistic because of

costs, technical challenges or lack of (local) support, excavation may become necessary to prevent further loss of information.

The risk of disturbance of archaeological remains due to human impact or due to natural causes are many times larger for sites in the shallow subsurface and archaeological remains visible at ground level than for sites deeply covered by sediments. Almost 55% of the archaeological monuments in the Netherlands are visible at ground level, such as dwelling mounds and barrows. In addition, more than 38% of the monuments are sites with archaeological remains in the shallow subsurface (within 50 cm below the surface). These conditions are the reason that for most archaeological monuments a directive has been adopted that regulates the maximum depths of cultivation/ tillage that can be carried out without the necessity of a legal permit. In its current role as a licensing authority, the Cultural Heritage Agency of the Netherlands (RCE) is reluctant to allow spatial developments when it comes to archaeological monuments.

The data collected also shows that the greatest risk of irreversible damage to archaeological sites is under arable land, in heathland and in forestry. Together these types of land use account for almost 81% of the surface area of archaeological monuments in the Netherlands. In these terrains the damage often occurs gradual and without a regulated form of supervision or monitoring. The same risk of gradual degradation of archaeological remains prone to desiccation comes from water management, especially (ground)waterlevel lowering in both rural and urban areas. There are also potentially disruptive activities in the built environment. The current licensing policy for national monuments, however, is effective in preventing harmful interventions (such as construction work or deeper soil interventions). However, there are also some drawbacks of the licensing policy: natural processes such as desiccation or erosion are not subjected to licensing. And with the exception of construction works, many cultivation techniques often have a deeper impact than allowed (and are therefore liable for authorization), but permits are in many cases not applied for.

Alternatives to regular cultivation techniques have been proposed in the context of archaeology-friendly management of agricultural land. These alternatives are often dubbed as 'minimal invasive tillage'. These vary from the complete cessation of any kind soil intervention ('no tillage') to opting for minimal invasive techniques. Also, the local exclusion of vulnerable parts of a monument (set-aside using e.g. fences) or switching to extensive grassland management can be opted for as is the adaptation to wet agriculture in wetland areas that are drought-prone. Furthermore, soil compaction and soil disturbance due to heavy traffic and machinery can be avoided for example by using machinery and vehicles with low contact pressure and by taking into account the (local) soil conditions.

Physical measures to eliminate the risk of desiccation mostly focus on increasing soil moisture levels within a plot. However, increasing surface water levels around a site is effective only when it actually achieves better conservation conditions in the form of a high soil moisture content and low oxygen content. To understand the effectiveness of this measure a better understanding of the soil water system is recommended. In some cases, trees or shrubs need to be removed from archaeological monuments especially when they (start to) pose a threat to archaeological remains. Regular (and proper) maintenance prevents the need for more invasive methods to free the terrain from young trees and shrubs. Removal of vegetation should be done judiciously, however, and with the aim of limiting further deterioration. This

also applies to the actions needed to restore the nutrient balance of grasslands, heathlands and forests on sandy soils.

Finally, sustainably preserving archaeological monuments in-situ is possible only if, and when, the different interests and risk factors at stake are weighted against each other and if, when necessary, appropriate measures can be taken to counteract adverse processes. This requires a mutual understanding of the different views, wishes and considerations of what is meant by effective measures of all parties involved. In some cases the communal interest is incompatible with the interests of the landowner and/or user. Whereas the owner of a listed building often takes pleasure in his property, an archaeological monument is in almost all cases of no benefit for the landowner/user. Some measures may even lead to loss of income, e.g. for farmers when arable land is converted into extensively managed grassland or when new machines need to be purchased. It then becomes appropriate to consider these foreseeable losses of income beforehand and to agree on the financial arrangement(s) in relation to the required measures. For archaeological heritage management these different interests at stake also means that the existing paradigms of what is to be seen as harmful to archaeological remains need constant evaluation and should be adapted if necessary. This publication aims to contribute to the dissemination and evaluation of this knowledge and to the communal understanding of the conservation problem of archaeological remains.

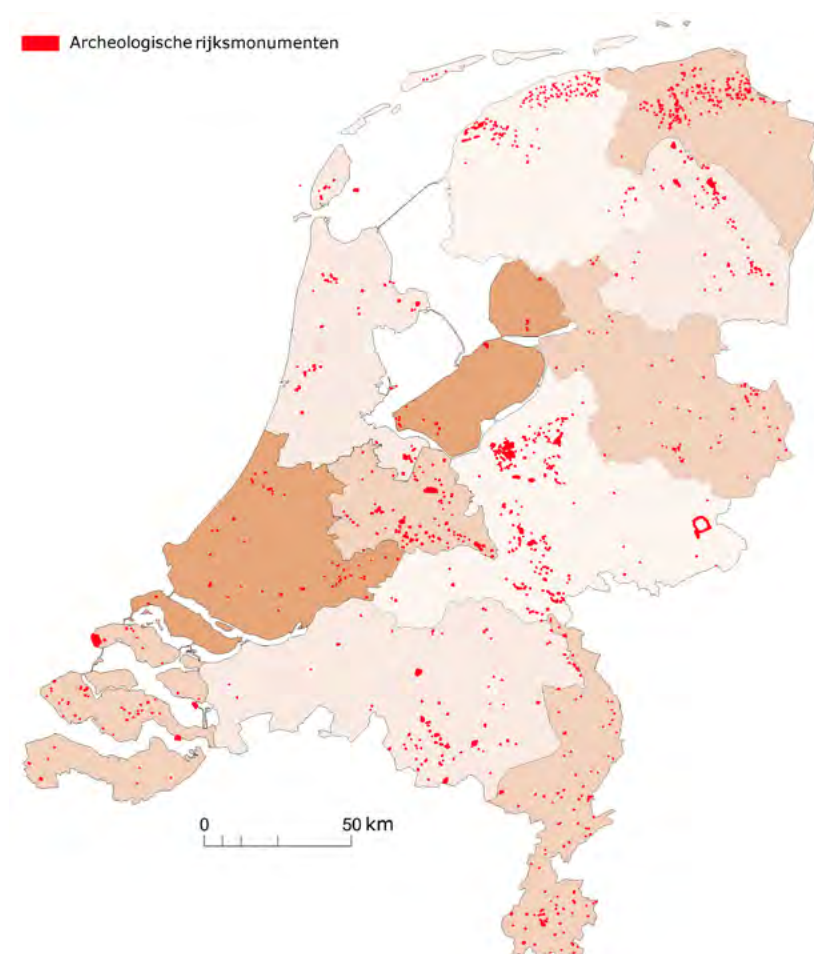
1.1 Instandhouding van archeologische rijksmonumenten

Archeologische rijksmonumenten worden gezien als vindplaatsen van grote inhoudelijke en maatschappelijke waarde. Het is een soort keurmerk dat duidelijk maakt dat het gaat om nationaal erfgoed; terreinen met archeologische resten die zo bijzonder zijn als bron voor de kennis over ons verleden, dat we deze voor toekomstige generaties willen behouden. Dat doen we door de vondsten, grondsporen en lagen op deze plekken in de bodem te bewaren en beschermen in plaats van door ze op te graven. De gedachte achter dit beleid van 'behoud in de bodem' is dat archeologen in de toekomst met nieuwe technieken en nieuwe onderzoeksvragen veel meer informatie uit deze bronnen kunnen halen dan

nu mogelijk.¹ Zichtbare rijksmonumenten zoals terpen, hunebedden en grafheuvels hebben daarnaast ook een belevingswaarde en een herinneringswaarde die behoud wenselijk maakt.²

Nederland telde op 1 januari 2020 1.464 archeologische rijksmonumenten, waarvan 1.456 op land (afb. 1.1). Een groot deel daarvan is in eigendom van grote terreinbeherende organisaties zoals Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten. Een ander aanzienlijk deel ligt op terreinen van pachters of privé-eigenaren zoals projectontwikkelaars en agrariërs. Een klein aantal is in bezit van overheden. Hoewel het wenselijk is dat eigenaren, pachters en beheerders bij het grondgebruik rekening houden met de aanwezige archeologische

¹ Het beleid van behoud in situ is bepleit en geformaliseerd in het Europese verdrag van Valetta en heeft uiteindelijk in 2007 geresulteerd in de Wet op de archeologische monumentenzorg. Zie ook Willems 2008; Caple 2016.
² Smit et al. 2019. Beide redenen voor aanwijzing zijn genoemd in de Erfgoedwet artikel 3.1.



Afb. 1.1 De ligging van de archeologische rijksmonumenten in de verschillende provincies van Nederland (gegevensbron: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, stand maart 2019).

resten, zijn ze zijn ze niet verplicht tot onderhoud van het archeologisch rijksmonument.

Vaak behelst de zorg voor archeologie niet meer dan het met rust laten en er niet aankomen. In sommige gevallen is echter sprake van een versnelde en al dan niet zichtbare achteruitgang waardoor de archeologische resten als kennisbron (deels) verloren dreigen te gaan. Op dat moment ontstaat er behoefte aan instandhoudingsmaatregelen. Een archeologisch rijksmonument kan bijvoorbeeld overgroeid raken waardoor de resten en informatie in de bodem (ernstig) worden beschadigd. Regulier maaien en het verwijderen van houtopslag is dan gewenst. In sommige gevallen zal regulier beheer niet voldoende zijn en zijn ook fysieke beschermingsmaatregelen gewenst. Bijvoorbeeld als archeologische resten dreigen te verdrogen. De aanleg van een hoogwatersloot rondom een terrein kan dan een oplossing bieden. Ook komt het voor dat het grondgebruik op gespannen voet staat met het streven om het archeologisch erfgoed zoveel mogelijk in de bodem te behouden. In dat soort gevallen kan in overleg met de eigenaren gestreefd worden naar een aangepaste vorm van bodemgebruik.

Mochten deze instandhoudingsmaatregelen niet effectief zijn om de snelle achteruitgang van archeologische resten tegen te gaan, dan rest er geen andere mogelijkheid dan aankopen van het terrein of het opgraven van (een deel) van het rijksmonument.

centraal. Deze kennis is essentieel voor duurzame instandhouding van het bodemarchief. Een handzaam en kritisch overzicht van de bevindingen van deze studies met literatuurverwijzingen ontbreekt echter, waardoor deze kennis onvoldoende gedeeld, benut en toegepast wordt in de archeologische monumentenzorg.

Projectcontext

De komende jaren wordt er door het Rijk extra in archeologie geïnvesteerd. In de publicatie "Erfgoed telt" is dit nader uitgewerkt en concreet gemaakt.⁴

In deze publicatie 'Erfgoed telt' staan de drie pijlers voor de toekomstige erfgoedzorg:

- 1 *de instandhouding van het erfgoed voor huidige en toekomstige generaties;*
- 2 *het positioneren van erfgoed in de leefomgeving;*
- 3 *aandacht voor de verbindende kracht – de sociale en maatschappelijke waarde – van het erfgoed.*

Bij de eerste pijler is specifiek voor archeologie opgemerkt dat bij een deel van de 1.464 archeologische rijksmonumenten sprake is van instandhoudingsproblemen.⁵ In het Programma Kennis voor Archeologie wordt deze problematiek door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed opgepakt binnen het deelprogramma: Instandhouding van Archeologische rijksmonumenten.⁶ In het kader van dit deelprogramma is deze studie uitgevoerd: het bijeenbrengen en delen van kennis over de instandhouding van archeologische rijksmonumenten.

³ Bijvoorbeeld de overzichtswerken van Wagner *et al.* 1997; Kars & Kars 2002; Kars & Smit 2003; Klaassen 2005; Louwagie, Noens & Devos 2005; Huisman *et al.* 2006; Kars & Van Heeringen 2008; Huisman *et al.* 2008; Huisman 2009; Minkjan *et al.* 2010; Huisman *et al.* 2011; Van Os & Kosian 2011; Historic England 2016, 2017; Huisman & Van Os 2016; Roorda & Stöver 2016; Historic England 2019; Lascaris 2019; Boosten & Penninkhof 2019.

⁴ cultureelerfgoed.nl/publicaties/publicaties/2018/01/01/erfgoed-telt. Het deelprogramma 'instandhouding van archeologische rijksmonumenten' loopt van 2018 tot en met 2021.

⁵ Meer informatie hierover is te vinden op de website van de Rijksdienst: www.cultureelerfgoed.nl.

⁶ www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/archeologische-rijksmonumenten/documenten.

1.2 Aanleiding, doel en onderzoeksvragen

1.2.1 Aanleiding

De afgelopen jaren zijn meerdere (overzichts) publicaties verschenen die ingaan op de verschillende vormen van achteruitgang van archeologische resten en eventueel te nemen fysieke maatregelen om deze processen af te remmen of te stoppen.³ In deze studies staat de invloed van het bodemmilieu - en veranderingen daarin - op de fysieke kwaliteit van zowel grondsporen als de diverse vondsten en materialen

1.2.2 Doel

Vooraf professionals die in de praktijk betrokken zijn bij de instandhouding van archeologische rijksmonumenten hebben behoefte aan een overzicht van de bekende fysieke bedreigingen waar archeologische rijksmonumenten aan blootgesteld (kunnen) worden. Verder is er behoefte aan een overzicht van de fysieke instandhoudingsmaatregelen die ingezet kunnen worden om die rijksmonumenten duurzaam in de bodem te behouden. Bestaande overzichten met informatie over fysieke bedreigingen zijn namelijk niet zonder meer makkelijk

te vinden terwijl de laatste jaren in toenemende mate onderzoek wordt uitgevoerd om kennisvragen over de instandhouding te kunnen beantwoorden. Verder blijkt er lang niet altijd consensus te bestaan over de ernst van de bedreigingen van archeologische rijksmonumenten (evenmin als over de veronderstelde ernst van sommige vormen van aantasting) en de verschillende fysieke maatregelen die genomen kunnen worden voor de instandhouding van deze rijksmonumenten. Daarbovenop is er behoefte om de bestaande kennisleemten op het gebied van fysieke bedreigingen en beheersmaatregelen te signaleren en te inventariseren zodat deze kennisleemten in de toekomst voor onderzoek geprioriteerd kunnen worden.

1.2.3 Onderzoeksvragen

In deze studie staan de volgende zes onderzoeksvragen centraal:

1. welke bedreigingen tasten (mogelijk) de fysieke kwaliteit van Nederlandse archeologische rijksmonumenten op land aan en wat zijn de effecten daarvan op de archeologische resten?
2. wat zijn de grootste bedreigingen voor archeologische rijksmonumenten (qua zwaarte van effect en frequentie van voorkomen) en waardoor worden deze veroorzaakt?
3. welke (categorieën) archeologische rijksmonumenten zijn onderhevig aan / gevoelig voor de grootste bedreigingen?
4. welke bedreigingen zijn tot stilstand te brengen of te voorkomen door het treffen van fysieke maatregelen, en met welke fysieke maatregelen?
5. welke kennislacunes ten aanzien van schadelijke effecten van bedreigingen kunnen niet met bestaande kennis worden opgelost en behoeven aanvullend onderzoek?
6. welke kennislacunes ten aanzien van de effectiviteit van fysieke maatregelen behoeven (aanvullend) onderzoek?

Deze onderzoeksvragen worden in dit rapport beantwoord. Hiertoe zijn de resultaten van eerder verschenen overzichtspublicaties en

(deel)onderzoeken samengevat en waar nodig aangevuld met informatie afkomstig uit de wetenschappelijke literatuur.

1.3 Voor wie is deze publicatie bedoeld?

Dit stuk is in de eerste plaats bedoeld voor professionals werkzaam in de archeologische monumentenzorg die eigenaren/grondgebruikers/beheerders adviseren over de instandhouding van de archeologische rijksmonumenten en over eventuele inrichtings- en beheerplannen. Het rapport kan daarnaast ook gebruikt worden als naslagwerk voor belangstellenden en voor ieder ander die in de praktijk betrokken is bij de instandhouding van archeologische rijksmonumenten. Zowel de erfgoedprofessionals als beheerders hebben behoefte aan een overzicht van de bekende schaderisico's waar archeologische rijksmonumenten aan blootgesteld (kunnen) worden en de fysieke beschermingsmaatregelen om (mogelijke) problemen het hoofd te bieden. Dat kunnen reguliere onderhoudswerkzaamheden zijn (beheer), maar ook eenmalige inrichtingswerkzaamheden.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport omvat zeven hoofdstukken die samen een overzicht bieden van de bekende fysieke bedreigingen waar archeologische rijksmonumenten aan blootgesteld (kunnen) worden en de maatregelen om schade en informatieverlies te voorkomen. Dit eerste hoofdstuk gaat over de doelstellingen van het onderzoek en over het kader waarbinnen deze publicatie is geschreven. In het tweede hoofdstuk komt zeer beknopt de huidige voorraad archeologische rijksmonumenten aan de orde, hun fysieke voorkomen en landschappelijke context en de wijze waarop de rijksbescherming wordt vormgegeven. In het derde hoofdstuk worden de begrippen fysieke dreiging, kwetsbaarheid, schade en informatieverlies toegeelicht. In de hoofdstukken 4 en 5 komen de fysieke bedreigingen zelf aan de orde. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen natuurlijke processen (hoofdstuk 4) en ingrepen door de mens (hoofdstuk 5).



Afb. 1.2 Hunebed D45 te Emmerdennen (rijksmonument 45.374).

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de concrete fysieke maatregelen die door de eigenaar / grondgebruiker kunnen worden uitgevoerd om schade aan de archeologische rijksmonumenten te voorkomen of te stoppen. Dat kunnen eenmalige inrichtingswerkzaamheden zijn, maar ook onderhoudswerkzaamheden. Dit laatste wordt niet uitputtend behandeld; in veel gevallen gaat het slechts om een aanzet.⁷ In het afsluitende hoofdstuk 7 wordt antwoord gegeven op de vraag welke fysieke bedreigingen (mogelijk) schadelijk zijn voor de archeologische rijksmonumenten op land, welke daarvan de belangrijkste zijn en welke (categorieën) archeologische rijksmonumenten daarvoor het meest gevoelig zijn.

1.5 Verantwoording en dankwoord

Dit rapport is geschreven in opdracht van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. Een aantal personen droeg bij aan de inzichten en de lijst met studies die in dit rapport vermeld staan.

Onze dank gaat speciaal uit naar Huub Scholte Lubberink, Theo ten Anscher, Reinier Ellenkamp (RAAP), Maarten Wispelwey (Regio Noord Veluwe) en Carla Soonius (Archeologie West-Friesland).

Versillende medewerkers van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed waren betrokken bij de discussies of hebben in de loop van het project gegevens verzameld en casussen vermeld die verweven zijn in de teksten. Speciaal te noemen zijn de leden van de begeleidingscommissie: Iepie Roorda, Guido Mauro, Fred Brounen, Hans Huisman en Bertil van Os. Zij brachten de broodnodige nuances aan waar het gaat over fysieke bedreigingen van archeologische rijksmonumenten en formuleerden een praktische omschrijving van het begrip 'schade'. Tenzij anders vermeld, zijn de teksten in het rapport samengesteld door Nico Willemse die namens RAAP ook verantwoordelijk was voor de projectleiding..

⁷ Zie ook het 'Handboek Cultuurhistorisch Beheer' (Baas & Raap 2010) en de publicaties van Probos (Jansen & Van Benthem 2005; Boosten, Jansen & Van Benthem 2011; Boosten & Penninkhof 2019).

2 Archeologische rijksmonumenten *in context*

2.1 De huidige voorraad wettelijk beschermde terreinen

Op grond van de eerste Monumentenwet werden er vanaf 1967 in Nederland archeologische rijksmonumenten aangewezen. Op 1 januari 2020 was dit aantal gegroeid tot 1.464, waarvan 1.456 gelegen 'op land' (afb. 2.1). Aan deze archeologische rijksmonumenten zijn één of meerdere beschermde percelen gekoppeld. Sommige archeologische rijksmonumenten zijn erg groot en beslaan meerdere complextypen en/of complexen (tabel 2.1), die binnen het terrein zowel zichtbaar aan het maaiveld kunnen voorkomen (zoals grafheuvels en Celtic field wallen) als direct daaronder (zoals huisplattegronden en resten van urnenvelden).⁸ Veel rijksmonumenten zijn niet zo groot; ruim de helft heeft een omvang die kleiner of gelijk is aan 1 hectare (afb. 2.2). In totaal ging het in maart 2019 om ruim 1.800 beschermde terreinen en ruim 4.100 complexen. Het totale oppervlak aan rijksbeschermde terreinen op land bedroeg in 2019 bijna 7.675 hectare waarvan 31,2% is gelegen in de provincie Gelderland (afb 2.1) gevolgd door de provincies Zeeland (13,4%), Utrecht (10,5%) en Noord-Brabant (10,2%).

Tabel 2.1 Het aantal archeologische complexen per rijksmonument.

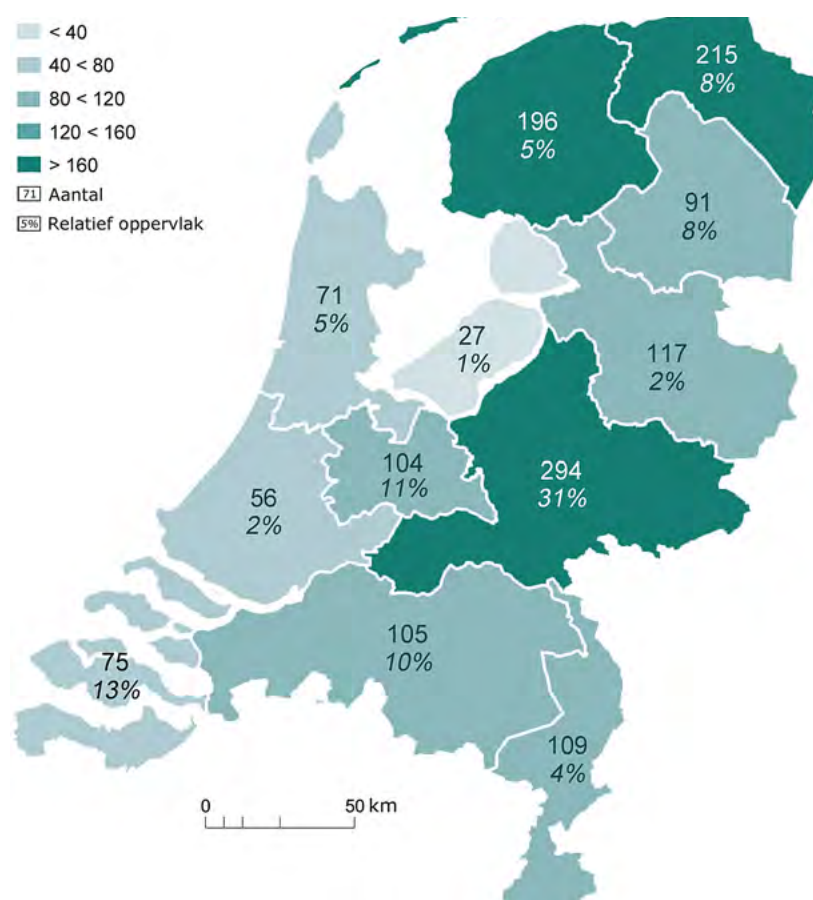
Aantal	%
1	51,2
2	22,0
3	10,7
4	4,7
5	1,7
> 5 (max. 124)	9,7
Totaal	100

De meeste archeologische rijksmonumenten bevinden zich in de provincies Gelderland (294) en Groningen (215). In Flevoland bevindt zich het kleinste aantal (27). Dit verschil kan worden verklaard door de wijze waarop het huidige bestand is ontstaan en welke gedachten daaraan ten grondslag lagen.⁹ In het begin lag de nadruk sterk op het beschermen van zichtbare archeologische resten. Zo zijn er onder de archeologische

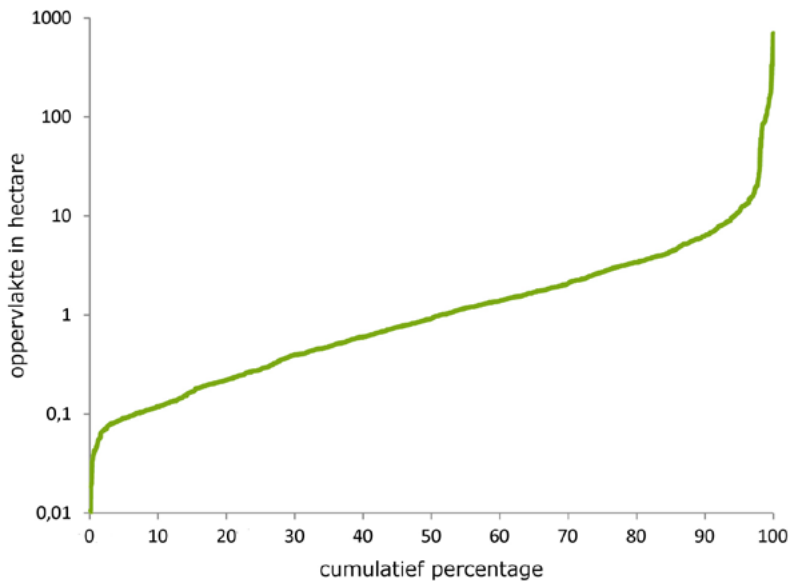
rijksmonumenten in Groningen en Friesland bijvoorbeeld veel terpen en wierden in het bestand opgenomen. Het hoge aantal archeologische rijksmonumenten in Gelderland (294) is mede het gevolg van het grote aantal grafheuvels in deze provincie. De provincie Flevoland kent een relatief korte archeologische onderzoeksgeschiedenis en hier liggen de archeologische resten, behalve historische scheepswrakken en de archeologische rijksmonumenten op de werelderfgoed-site Schokland, vaak diep in de bodem.

Ook in Zuid Holland zijn weinig vindplaatsen als archeologisch rijksmonument beschermd (56) terwijl er door een relatief hoge bouwactiviteit (woningen en infrastructuur) wel veel vindplaatsen aan het licht zijn gekomen. Mogelijk

⁸ Een vindplaats wordt gedefinieerd door een complextype (nederzetting, grafveld etc.) en een globale datering van dit complextype (neolithicum, middeleeuwen etc.).
⁹ Van Haaff 2006. Zie ook Van Doesburg & Stöver 2018.



Afb. 2.1 Verdeling van het aantal archeologische rijksmonumenten en de relatieve oppervlakte ervan (%) per provincie.



Afb. 2.2 Oppervlakteverdeling van de archeologische rijksmonumenten.

wordt het lage aantal veroorzaakt door de hoge bewoningsdichtheid en de druk op de ruimte in deze provincie.

Wat verder opvalt aan het huidige rijksmonumentenbestand is dat het aantal beschermde archeologische complexen ook sterk per complextype wisselt (tabel 2.2).¹⁰ Binnen het huidige bestand rijksbeschermde complexen vormen grafheuvels verreweg de grootste groep: 57% van het totaal. Slechts twee cultusplaatsen worden als archeologisch rijksmonument beschermd en één dijk. Andere complextypen die weinig beschermd worden zijn resten van grondstofwinning, landbouw, Celtic fields, scheepvaart, infrastructuur, huisterp, stad/dorp en landweer/schans.

Tabel 2.2 Rijksbeschermde complextypen.

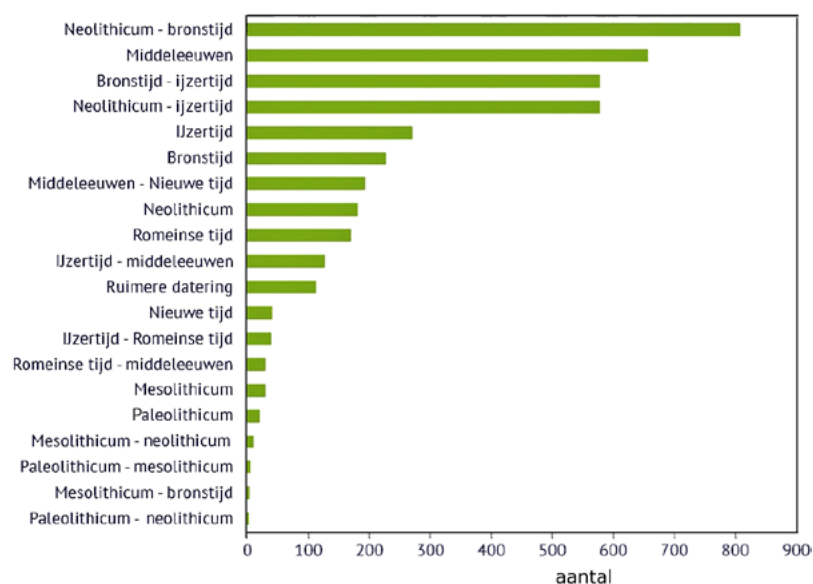
Complextype	Complexen	
	Aantal	%
Grafheuvel	2.328	56,7
Bewoning (inclusief verdediging)	368	9,0
Terp/wierde	353	8,6
Huisterp/ huiswierde	208	5,1
Moated site	139	3,4
Urnenveld	72	1,8
Kerk	46	1,1
(Romeinse) villa	33	0,8
Kasteel	67	1,6
Mottekasteel	64	1,6
Megalietgraf	57	1,4
Klooster	49	1,2
Weg	29	0,7
Grafveld (onbepaald)	28	0,7
Legerplaats	21	0,5
Scheepvaart	19	0,5
Kerkhof	17	0,4
Begraving	16	0,4
Overige complextypen	205	5,0
Totaal	4.119	100

¹⁰ Zie ook Zoetbrood et al. 2006.

De laatste decennia worden archeologische rijksmonumenten niet meer individueel aangewezen maar op basis van aanwijzingsprogramma's.¹¹ Dit aanwijzingsbeleid is er op gericht rijksmonumenten aan te wijzen die wat complextype en datering betreft ondervertegenwoordigd zijn in het rijksmonumentenbestand. Met dit beleid wordt toegewerkt naar een bestand aan rijksbeschermden archeologische monumenten dat een representatief beeld geeft van de bewoningsgeschiedenis van Nederland.

2.2 Huidig landgebruik

De staat van de archeologische resten en sporen in de bodem wordt niet in de laatste plaats beïnvloed door de wijze waarop het gebied wordt gebruikt. Onderzoek (in vooral het buitenland) heeft aangetoond dat het risico op aantasting van archeologische vindplaatsen het grootst is onder bosbouw en akkerland.¹² Het risico onder grasland (door scheuren, berijden, bemesten) zou matig zijn.¹³ Ook in de in toenemende mate verstedelijkende omgeving waarbinnen archeologische rijksmonumenten voorkomen is sprake



Afb. 2.3 Het aantal beschermden archeologische complexen per periode (stand oktober 2019).

van schaderisico's. Deze zijn meestal het gevolg van bouwwerkzaamheden en de aanleg van bovengrondse en ondergrondse infrastructuur.¹⁴

¹¹ Beleidsregel aanwijzing beschermden monumenten 2009 (gebouwd en archeologische monumenten) en 2013. Zie ook Bazelmans *et al.* 2008; Smit *et al.* 2013.

¹² Prickett 1985; Darvill & Fulton 1998; Crow & Moffat 2004, 2005; Trow & Holyoak 2008; English Heritage 2010; Datema 2015.



Afb. 2.4 Grafheuvel gelegen op de Kampsheide bij Balloo.

Het grootste deel van de percelen binnen archeologische rijksmonumenten bestond volgens het Kadaster in 2018 uit grasland (36,6%), natuur (bos en stuifzanden: 30,3%, heide: 4,9%) en akkerland (9,1%) (afb. 2.5).¹⁵ Bijna 22 hectare van de percelen bestaat uit bebouwd gebied, waarvan ruim éénderde (7,2 hectare) voorkomt binnen de rijksbeschermde terpen/wierden (afb. 2.7). Deze bebouwing varieert van een oude dorpskern met (vaak) een kerk en huizen, tot boerderijen ontsloten door een wegennet. De bouw en sloop van huizen en schuren, de aanleg van mestkuilen, de aanleg van windturbines en het graven van smalle leidingsleuven op en rondom het erf vormen hier de belangrijkste bedreigingen.¹⁶

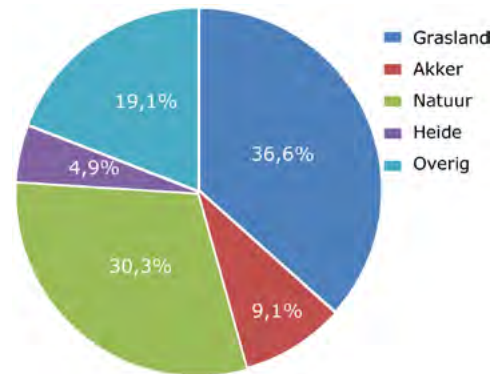
Naast het landgebruik op terpen/wierden bestaat het dominante landgebruik op en rondom de zichtbare andere archeologische rijksmonumenten vooral uit bos (53,1%), naast heide (28,2%) en grasland (9,3%) (afb. 2.7). Een klein ander deel gaat schuil onder (binnen)water, zoals een groot deel van de verdrinken stad Reimerswaal (rijksmonumentnummer 532.468). Dit was tussen de elfde/twaalfde eeuw en de zestiende eeuw de derde stad van Zeeland en bij zeer laag water in de Oosterschelde/Bergsche Diep zijn de resten soms nog te zien.

2.3 Zichtbare en niet-zichtbare rijksmonumenten

2.3.1 Afdgedekt of aan de oppervlakte?

Veel factoren, zoals diepteligging, bodemwatergehalte, zuurstofgehalte en (in mindere mate) bodemchemische omstandigheden zoals het zuurbufferend vermogen en het chloridegehalte spelen een rol in de conservering of aantasting van archeologische resten in de bodem.¹⁷

Sommige van de beschermde vindplaatsen zijn in de loop van vele eeuwen afdgedekt geraakt door klei, veen of zand en komen daardoor meer dan één meter diep onder het maaiveld voor. Andere vindplaatsen zijn niet of nauwelijks afdgedekt geraakt en de beschermde resten komen dan vlak onder het maaiveld voor.



Afb. 2.5 Dominant landgebruik van de archeologische rijksmonumenten per 1-1-2018.

Hoe ondieper sporen, lagen en vondsten in de bodem voorkomen, des te kwetsbaarder de vindplaats is voor allerlei ingrepen en natuurlijke processen. De meeste vormen van fysieke aantasting werken namelijk in vanaf het maaiveld, zoals agrarische bodembewerking, graafwerkzaamheden, vegetatiebeheer en erosieverschijnselen. De kans dat het bodemarchief beschadigd raakt is dan ook vele malen groter voor ondiep gelegen vindplaatsen of zichtbare vindplaatsen dan voor afdgedekte en dieper gelegen vindplaatsen.

Zichtbare archeologische vindplaatsen en terreinen met archeologische resten die vlak onder het huidige maaiveld voorkomen vormen thans de meest kwetsbare groep, vooral omdat zichtbare archeologische rijksmonumenten (terpen/wierden, grafheuvels, Celtic fields, vliedbergen, kasteelheuvels, (ring)walburgen, enz.) samen bijna 75% van het totale bestand aan beschermd complexen uitmaken. Voor veel zichtbare archeologische rijksmonumenten geldt overigens dat de resten zowel aan het maaiveld liggen als diep er onder (kunnen) voorkomen, zoals het geval is bij terpen en terpzolen (afb. 2.10) of onder en rondom grafheuvels.

Het aantal door een dik sedimentdek afdgedekte archeologische rijksmonumenten is beperkt. Veel van de rijksmonumenten in het gebied met holocene afzettingen komen alsnog dicht aan de oppervlakte voor.¹⁸ Hier liggen de archeologische niveaus wisselend onder of boven het grondwaterniveau. Juist dit soort archeologische vindplaatsen is gevoelig voor fluctuaties van het bodemvochtgehalte en verdroging.¹⁹

¹³ Darvill & Fulton 1998.

¹⁴ Huisman *et al.* 2011a; Huisman 2013. Zie bijvoorbeeld ook Van Doesburg & Stöver 2018.

¹⁵ Gegevensbron rijksmonumenten: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 30 september 2019; landgebruik: TOP10NL, Kadaster 2018.

¹⁶ Van Doesburg & Stöver 2018.

¹⁷ Huisman 2009.

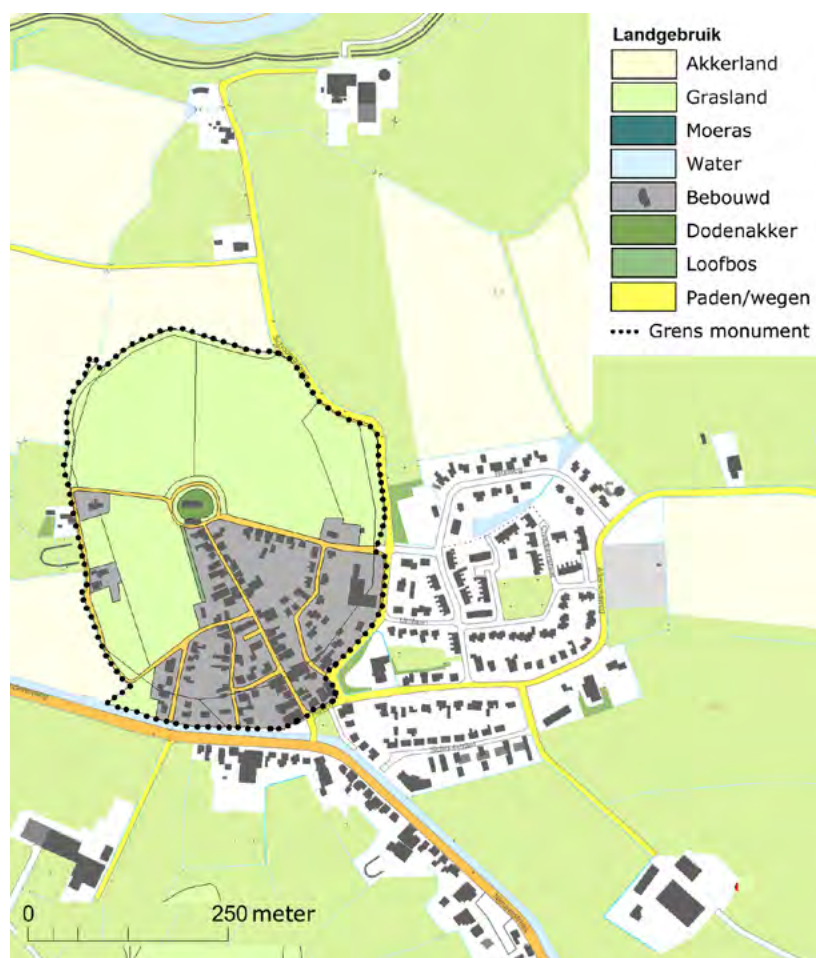
¹⁸ Van Heeringen & Theunissen 2007.

¹⁹ Bijvoorbeeld Van Heeringen & Theunissen 2006; 2007.

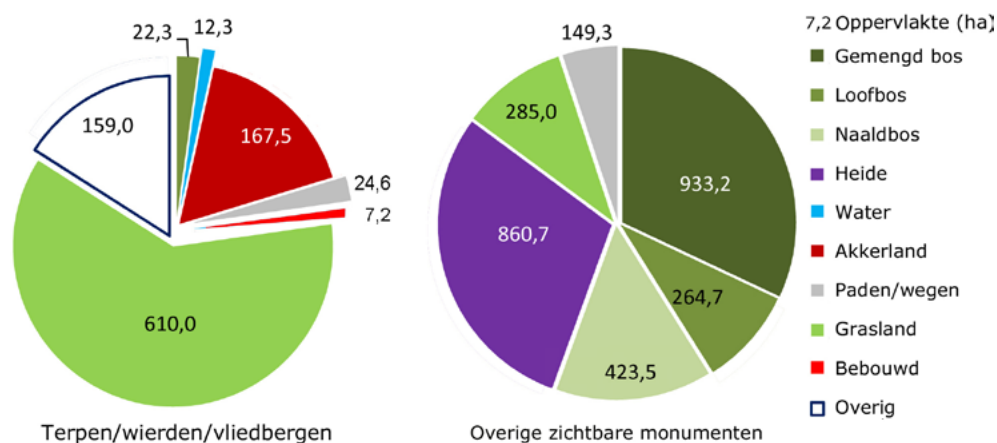
2.3.2 Diepteligging van archeologische resten

Op basis van de thans beschikbare documentatie is niet altijd bekend wat de exacte locatie en dikte van de archeologische laag is binnen de rijksmonumenten.²⁰ In het geval van zichtbare complexen kan de locatie in het veld vaak eenvoudig vastgesteld worden. Maar bij niet-zichtbare complexen is dit soms problematisch. Wanneer sprake is van een terrein met een geringe variatie in bodemtype of een geringe variatie in de diepteligging van archeologische resten is dit probleem relatief klein. Binnen terreinen met een grote variatie aan bodemtypen en reliëf is dit probleem groter.

Voor veel archeologische rijksmonumenten is wel bekend welke vrijstellingsdiepten voor bepaalde grondwerkzaamheden gelden (afb. 2.12).²¹ In de meeste gevallen reikt deze vrijstellingsdiepte tot de top van het archeologische niveau en kan de vrijstellingsdiepte dus als maat worden genomen voor de diepteligging van de top van het archeologische niveau.²²



Afb. 2.6 Landgebruik per 1-1-2018 op de terp van Ezinge (rijksmonument 522.164).



Afb. 2.7 Landgebruik van de rijksbeschermden terpen/wierden/vliedbergen en binnen de groep overige zichtbare rijksmonumenten per 1-1-2018.

²⁰ Van ca. 96% van de archeologische rijksmonumenten is wel het hoogste niveau van de archeologische resten bekend, maar niet het onderste niveau. Het gaat om de vrijstellingsdiepten afkomstig uit het AMR-archief uit 2005.

²¹ Na 2005 zijn 51 rijksmonumenten aangewezen. Ook voor deze archeologische rijksmonumenten gelden vrijstellingsdiepten. Deze zijn echter niet goed digitaal ontsloten. De gegevens van na 2005 zijn in de tabellen verwerkt als 'onbepaald' en 'onbepaald: zichtbaar'.

²² Iepie Roorda (RCE), mond. meded. (oktober 2019).

Tabel 2.3 Vrijstellingsdiepten terpen/wierden/vliedbergen.

Vrijstellingsdiepte	Oppervlakte	
cm -mv	ha	%
0	40,1	3,9
10	15,1	1,5
20	47	4,6
15	13,5	1,3
25	31,9	3,1
25/60	18,0	1,8
30	235,8	23,1
30/40	11,0	1,1
30/60	66,4	6,5
35	20,5	2
40	160,6	15,8
40/60	60,3	5,9
60	43,5	4,3
Onbekend, zichtbaar	175,7	17,3
Anders	63,1	6,2
Onbepaald	15,8	1,6
Totaal	1.018,7	100

Veelal is bij de aanwijzing tot beschermd archeologisch monument en de toekenning van een vrijstellingsdiepte rekening gehouden met de landgebruikssituatie op dat moment.²³ Binnen 3% van de rijksmonumenten is daarom sprake van gecombineerde vrijstellingsdiepten met percelen waarvoor een vrijstellingsdiepte van bijvoorbeeld 60 cm geldt voor de bouwkavels en 30 cm voor de omliggende agrarische percelen (tabel 2.3). Deze zijn in afbeelding 2.12 niet afgebeeld. Vooral terpen en wierden zijn (deels) in agrarisch gebruik als weiland, als akkerland of als boerenerf, en deels bebouwd. Om dezelfde redenen gelden ruimere vrijstellingsdiepten op percelen in agrarisch gebruik buiten de terpen/wierden. Waar mogelijk is de vrijstellingsdiepte van de overige (onbebouwde) zichtbare archeologische rijksmonumenten op nul gesteld (tabel 2.4).

Tabel 2.4 Vrijstellingsdiepten zichtbare monumenten.

Vrijstellingsdiepte	Oppervlakte	
cm -mv	ha	%
0	2.310,2	74,3
>0 <35	44,4	1,4
> 35	9,2	0,3
Onbekend, zichtbaar	638,6	20,5
Onbepaald	108,2	3,5
Totaal	3.162	100

2.4 Beheer en beleid

De Erfgoedwet (en Monumentenwet) stelt dat het verboden is zonder vergunning een monument te wijzigen, te beschadigen of in gevaar te brengen (paragraaf 2.5).²⁴ Beheer van het rijksmonument is echter geen verplichting. Beheer betekent vooral het onderhouden van het archeologische rijksmonumenten en is gericht op het behoud van de informatiewaarde, en bij zichtbare archeologische rijksmonumenten ook de belevingswaarde daarvan. Een hele rij van mensen krijgen daar in de praktijk met enige regelmatig mee te maken. Dit betreft land- en bosbouwers, beheerders van (natuur)terreinen maar ook loonwerkers, aannemers, bouwers, opzichters en amateurarcheologen en vrijwilligers in het natuurbeheer. Deze betrokkenen zijn zoals gezegd dus niet de beheerders van de archeologische resten en vooral particuliere eigenaren voelen zich in de regel niet verantwoordelijk voor het onderhoud van hun rijksmonument. Ze maken bijvoorbeeld weinig gebruik van de Subsidieregeling Instandhouding Monumenten (SIM).²⁵

Namens de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW) is de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) in Amersfoort als uitvoeringsdienst belast met de aanwijzing van archeologische rijksmonumenten, vergunningverlening en handhaving.²⁶ Maar ook andere mensen op bestuurlijk en beleidsmatig vlak komen in aanraking met de archeologische rijksmonumenten: ambtenaren van provincie, gemeente of waterschap, en andere mensen werkzaam bij (semi-)overheidsinstellingen.

²³ Rijksmonumenten werden tot in de jaren 90 aangewezen zonder vermelding van een richtlijn vrijstelling vergunningplicht. De vrijstellingsdiepten voor die monumenten zijn in het kader van het AMR-project alsnog bepaald.

²⁴ De vergunningplicht is vastgelegd in artikel 11 Monumentenwet 1988 en thans onderdeel van het Overgangsrecht in de Erfgoedwet.

²⁵ Grontmij 2015, 50; Smit et al. 2019, 19.

²⁶ Het toezicht op archeologische rijksmonumenten ligt bij de Inspectie Informatievoorziening en Erfgoed.



Afb. 2.8 Ringwalburg Hunneschans te Uddel-Gelderland (rijksmonument 527.251).



Afb. 2.9 Vliedberg Veere (rijksmonument 550.474).

Het Rijksbeleid met betrekking tot de omgang met archeologische rijksmonumenten wijkt op enkele punten wezenlijk af van de door gemeente/provincie planologisch beschermde terreinen met archeologische resten.²⁷ Op de eerste plaats is voor ingrepen op een rijksmonument sprake van een aparte vergunningprocedure (paragraaf 2.5) en dat blijft zo met de invoering van de Omgevingswet. Op de tweede plaats ligt het accent bij archeologische rijksmonumenten veel meer op duurzame instandhouding / behoud in de bodem. Op de derde plaats is de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed in haar huidige rol als vergunningverlener terughoudender bij het toestaan van ruimtelijke planontwikkeling dan de lagere overheden. Ingrepen zijn alleen toegestaan als er geen sprake is van beschadiging van de archeologische resten. De erfgoedwaarde heeft hier prioriteit boven andere belangen. Als verstoring onontkoombaar is, worden hoge eisen gesteld aan archeologisch onderzoek.

Bij planologisch beschermde terreinen wordt door gemeenten vrijwel altijd gekozen voor archeologievriendelijk bouwen, inpassing en/of behoud *ex situ* (opgraven).²⁸ Hier is het uitgangspunt veelal dat alle ingrepen mogelijk zijn als sprake is van een goede omgang met de archeologische resten en behoud *ex situ* wordt in dat opzicht als afdoende beschouwd. Erfgoedwaarde is hier nevensgeschikt aan een reeks van andere belangen.

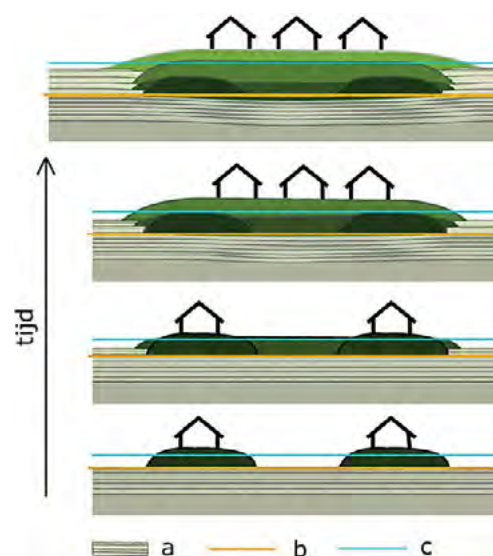
2.5 Vergunningplicht bij ingrepen

Op archeologische rijksmonumententerreinen is het zonder vergunning in de regel niet toegestaan ingrepen te doen die de archeologische resten en sporen aantasten en schade (kunnen) toedienen en/of ontsierend zijn.²⁹ Deze vergunningplicht is een belangrijk middel om schadelijke ingrepen op rijksmonumenten te voorkomen of te beperken.³⁰ Wie wel ingrepen wil doen die het bodemarchief kunnen schaden of die ontsierend zijn moet daarom bij de minister van OCW een monumentenvergunning aanvragen. Bij de beoordeling (van de aanvraag) wordt achtereenvolgens gekeken of de ingreep a) schadelijk of ontsierend is, b) noodzakelijk is en c) de ingreep door planaanpassing minder

verstarend of ontsierend is. Op basis daarvan wordt besloten of en onder welke voorwaarden een vergunning wordt verleend.³¹

De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed kan voor een archeologisch rijksmonument verder ook een specifieke richtlijn 'vrijstelling vergunningplicht' vaststellen. Hierin wordt de reikwijdte van de vergunningplicht ten aanzien van het rijksmonument nader omschreven. De richtlijn geeft aan tot welke diepte onder maaiveld (de vrijstellingsdiepte) bepaalde bodemingrepen zonder vergunning kunnen worden verricht en voor welke ingrepen altijd een vergunning is vereist. Op rijksmonumenten is (anders dan bij de planologisch beschermde terreinen) geen sprake van oppervlaktevrijstellingsgrenzen.

De vrijstellingsdiepte wordt in de regel bij een besluit tot aanwijzing als beschermd archeologisch rijksmonument bekend gemaakt, maar kan ook op een later moment, bij een vergunning tot wijziging van het rijksmonument kenbaar worden gemaakt. De vastgestelde vrijstelling vergunningplicht moet opgevat worden als een schriftelijke toestemming van de minister om bepaalde grondwerkzaamheden (tot de aangegeven vrijstellingsdiepte) te verrichten zonder



Afb. 2.10 Schematische dwarsdoorsnede door verschillende ontwikkelingsfasen van een terp/wierde. a: kwelderafzettingen; b: horizontaal vlak; c: niveau van extreem hoog water. Niet op schaal (bron: Nieuwhof & Vos 2018).

²⁷ Smit *et al.* 2019, 10.

²⁸ Ibid.

²⁹ De vergunningplicht is vastgelegd in artikel 11 Monumentenwet 1988 en thans onderdeel van het Overgangsrecht in de Erfgoedwet. De monumentenvergunning vervalt op termijn en wordt vanaf de inwerkingtreding van de Omgevingswet vervangen door een omgevingsvergunning. Met de inwerkingtreding van de Omgevingswet wordt de gemeente vergunningverlener (voor meervoudige activiteiten), daarbij geadviseerd door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. Deze rijksdienst heeft instemmingsrecht op het voorgenomen besluit van de gemeente.

³⁰ Zie bijvoorbeeld Van Doesburg & Stöver 2018, 56-58.

³¹ Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed 2012a 'Behandelen vergunningaanvragen archeologische monumenten'. Dit vergunningbeleid zal in verband met de invoering van de Omgevingswet vervangen worden door een formele beleidsregel. Daarin komen de beoordelingsregels te staan voor vergunningplichtige activiteiten op archeologische rijksmonumenten.



Afb. 2.11 Een voorbeeld van een door holocene afzettingen afgedekt archeologisch rijksmonument is de neolithische nederzetting in Polder De Hooge Weere te Aartswoud (rijksmonument 531.042). Luchtfoto uit 1984 (IPP - Willy de Vries-Metz). Inzet: schematische doorsnede door het monument (Van Heeringen & Theunissen 2006; 2007).

monumentenvergunning. Hiermee wordt voorkomen dat grondgebruikers voor alle wijzingen van het rijksmonument, ook als deze de archeologische resten niet raken, een vergunning moeten aanvragen zoals artikel 11 van de Monumentenwet 1988 vereist.

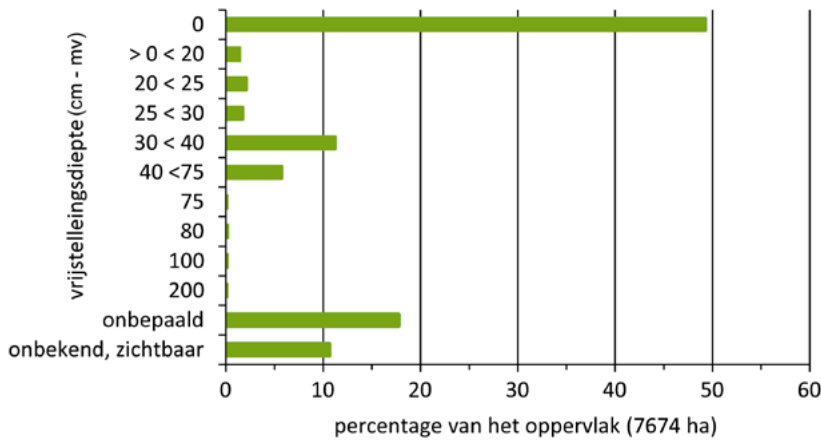
Voor bepaalde ingrepen is altijd een vergunning nodig, ook als die ingrepen de bodem niet of minder diep verstoren dan de vrijstellingsdiepte. Voorbeelden daarvan zijn bouwwerkzaamheden, het ophogen, verlagen of egaliseren van het maaiveld, het aanbrengen van verhardingen in de openbare ruimte en het dempen van watergangen.

2.6 Vergunningaanvragen

Op jaarbasis worden voor enkele tientallen archeologische rijksmonumenten één of meer vergunningen bij de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed aangevraagd (afb. 2.13).³²

Ongeveer tweederde van de aanvragen heeft betrekking op de aanleg van infrastructuur en sloop- of bouwwerkzaamheden. Veel van de andere vergunningaanvragen hebben te maken met consolidatie, restauratie of beheer en inrichting van het archeologische rijksmonument.

³² Zie ook Erfgoedbalans 2009 (Beukers 2009, 78).



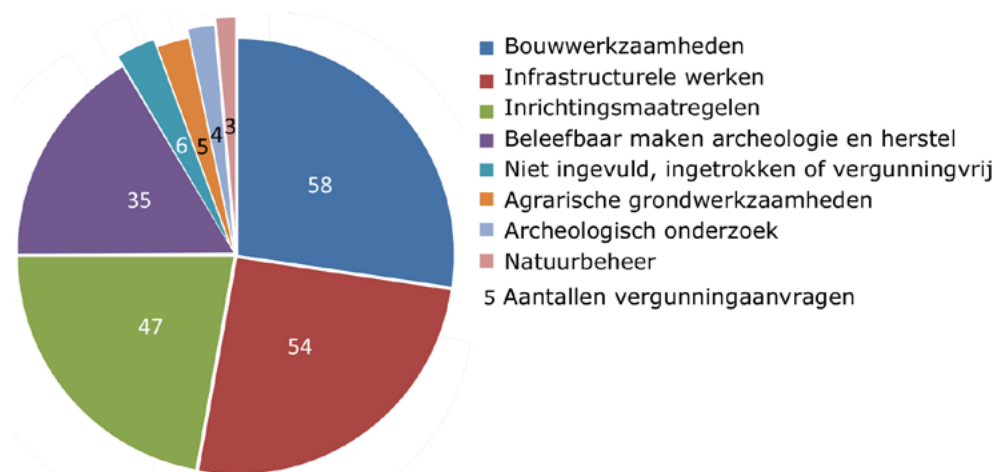
Afb. 2.12 Een rijksmonument kan verschillende vrijstellingsdiepten hebben. Een kadastraal perceel heeft echter altijd maar één vrijstellingsdiepte. De figuur toont de vrijstellingsdiepten geldend voor 97% van het oppervlak van alle rijksbeschermden percelen (bron: AMR-archief van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed).

Bij de twee provincies met veel rijksmonumenten (Groningen en Friesland) is het aandeel in de vergunningaanvragen navenant groot (afb. 2.14), maar de omvang van de ingreep relatief klein. Meer dan de helft van de aanvragen voor ingrepen op archeologische rijksmonumenten heeft hier betrekking op terpen, wierden, huis-terpen of nederzettingsterreinen. In het geval van terpen en wierden gaat het veelal om bouw-aanvragen. Daarnaast vormen grafheuvels een aanzienlijk deel van de aanvragen, meestal voor consolidatie.³³

³³ Beukers 2009.
³⁴ Alleen ingrepen binnen de begrenzing van het archeologisch rijksmonument zijn vergunningplichtig. Onttrekking van grondwater door plaatselijke bronnering is daardoor wel vergunningplichtig.

Al in de *Erfgoedbalans* uit 2009 werd vastgesteld dat de meeste vergunningen worden aangevraagd voor rijksmonumenten in bebouwd en agrarisch gebied. Dat is niet verrassend: hier vinden allerlei bouwwerkzaamheden plaats. In Zuid-Holland is de druk op de rijksmonumenten bijvoorbeeld relatief erg groot. Weliswaar zijn er slechts weinig rijksmonumenten in die provincie, maar hiervan ligt een groot aantal in verstedelijkt gebied. Waarschijnlijk wordt het hoge percentage in het agrarisch gebied verklaard door uitbreidingen van agrarische bedrijven met schuren en stallen en de aanleg van nieuwe wijken en bedrijventerreinen in – tot dan toe – agrarisch gebied. Voor ingrepen ten behoeve van agrarisch grondgebruik worden zelden vergunningen aangevraagd.

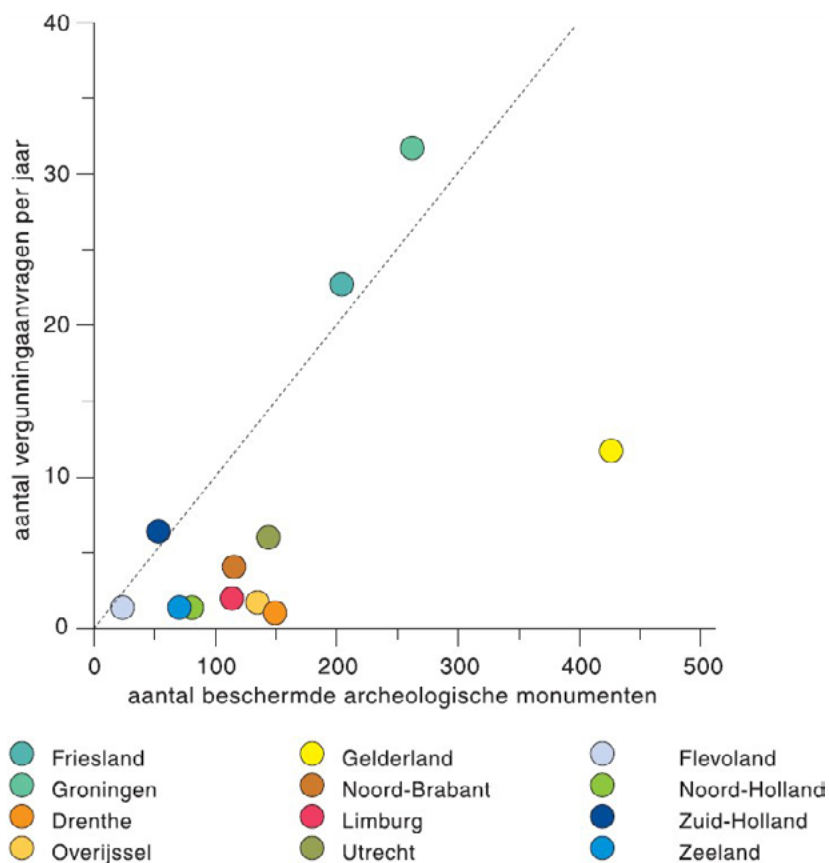
Enkele typen ingrepen ontbreken (vrijwel) geheel in het vergunningbestand, zoals het aanleggen van kabels en leidingen (denk aan glasvezel). Een van de meest opvallende is echter het peilbeheer. Peilverlaging door bemaling van het oppervlaktewater is niet vergunningplichtig omdat deze activiteit (bemaling) buiten het archeologisch rijksmonument wordt uitgevoerd. Verlaging van de grondwaterstand – door aanpassingen van het peilbeheer – kan leiden tot grootschalige aantasting van onverkoolde organische resten en inklinking van de bodems (paragraaf 5.4.7).³⁴ Opmerkelijk is ook dat nauwelijks vergunningen worden aangevraagd voor grondwerkzaamheden in agrarisch gebied, zoals diepplougen, draineren of het omzetten van grasland in akkerland. Voor



Afb. 2.13 Overzicht van de soorten en aantallen ingrepen op beschermden archeologische rijksmonumenten waarvoor in de periode 2013-2017 vergunningen zijn aangevraagd.

normaal agrarisch grondgebruik (tot een diepte van de bouwvoor; 30-40 cm) is vaak geen vergunning vereist. Maar dat geldt niet voor bodemingrepen die dieper gaan, zoals het

verdiepen van de bouwvoor door de inzet van zware machines en decompactiewerkzaamheden, het aanleggen van drainagewerken of het aanplanten van bomen.



Afb. 2.14 Aantal aanvragen voor monumentenvergunning per provincie tot en met 2009 afgezet tegen het aantal beschermde rijksmonumenten per provincie (bron: Beukers 2009, 80).

3 De kwetsbaarheid van archeologische rijksmonumenten

3.1 De instandhoudingsgedachte

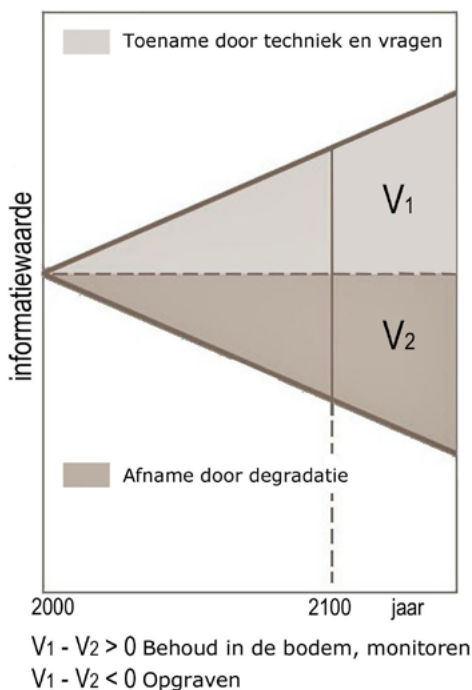
Behoud in situ van archeologische resten vormt het centrale uitgangspunt van beleid en wetgeving. Het behoud staat daarbij in het teken van toekomstig onderzoek naar onze geschiedenis. Door de ontwikkeling van nieuwe technieken zal naar verwachting in de toekomst namelijk meer informatie uit het bodemarchief kunnen worden gehaald dan op dit moment het geval is.³⁵ Toekomstige generaties zullen bovendien mogelijk andere vragen stellen aan ons bodemarchief. De informatiewaarde, dat wil zeggen de betekenis van een rijksmonument als kennisbron over het verleden, is dus veranderlijk en kan met de tijd toenemen alhoewel dat geen vanzelfsprekendheid is.³⁶

De informatiewaarde van een vindplaats wordt teniet gedaan wanneer vondsten, sporen en lagen in omvang en kwaliteit achteruit gaan door verval van (grote delen van) de vindplaats. Indien deze achteruitgang aan informatiewaarde groter dreigt te worden dan de eventuele

toename zou logischerwijs tot het treffen van fysieke maatregelen moeten worden overgegaan om verdere achteruitgang tot stilstand te brengen of tenminste te vertragen. Een andere mogelijkheid is het opgraven van (delen van) de vindplaats. In afbeelding 3.1 zien we de theoretische winst en verlies van informatiewaarde voor een willekeurige vindplaats weergegeven als lijnen die een verband met de tijd vertonen. De verbanden zijn hier lineair maar verwacht mag worden dat de toename van de informatiewaarde van een vindplaats - door nieuwe technieken of door nieuwe vragen die we willen kunnen beantwoorden - eerder schoksgewijs zal verlopen.

In de praktijk is de toename van de informatiewaarde moeilijk te voorspellen. Met de afname van de informatiewaarde van een vindplaats zijn we - in theorie althans - beter bekend.

Archeologische resten in onze bodems zijn aan een voortdurend proces van verval onderhevig en de informatie die we er uit kunnen afleiden wordt mettertijd minder (hoofdstuk 4).³⁷ Dat kan het gevolg zijn van de lokale en beperkte aantasting van een grafheuvel door het gegraven van konijnen, dassen en zwijnen.³⁸ Het kan ook komen door de uitdroging en degradatie van al het begraven onverkoelde organische materiaal in een polder waarvan het grondwaterpeil wordt verlaagd.³⁹ Daartussen zijn allerlei vormen van aantasting denkbaar met als belangrijkste gevolg het verlies aan informatie op termijn.



Afb. 3.1 Theoretisch verloop van de informatiewaarde van een archeologische vindplaats met de tijd (bron: Van den Berg *et al.* 2010).

3.2 Wat is een fysieke dreiging?

De informatiebronnen in het archeologische bodemarchief bestaan uit vondsten, grondsporen, bodemlagen, ingesloten ecologische resten én de samenhang daartussen. Als de herkenbaarheid en kwaliteit van deze resten en sporen, hun betekenis, of hun onderlinge samenhang verloren gaat, treedt informatieverlies op. Dit is meestal een zeer geleidelijk proces van verval en achteruitgang.⁴⁰ In bepaalde situaties kan de achteruitgang zelfs nagenoeg stil staan, één van de redenen dat archeologische resten van zeer hoge ouderdom soms relatief goed geconserveerd teruggevonden worden. Dit langzame proces van verval kan door veranderende bodemcondities echter ook in een

³⁵ Willems 2008; Caple 2016.; Zie als voorbeeld Reich 2018 over DNA uit menselijk botmateriaal.

³⁶ Directoraat-Generaal Cultuur en Media 2017; Smit *et al.* 2019. De informatiewaarde kan ook afnemen simpelweg omdat er meer van dezelfde complextypen voorradig blijken te zijn dan eerst gedacht (en dus niet zo zeldzaam blijken te zijn).

³⁷ Huisman 2009; Huisman & Van Os 2016.

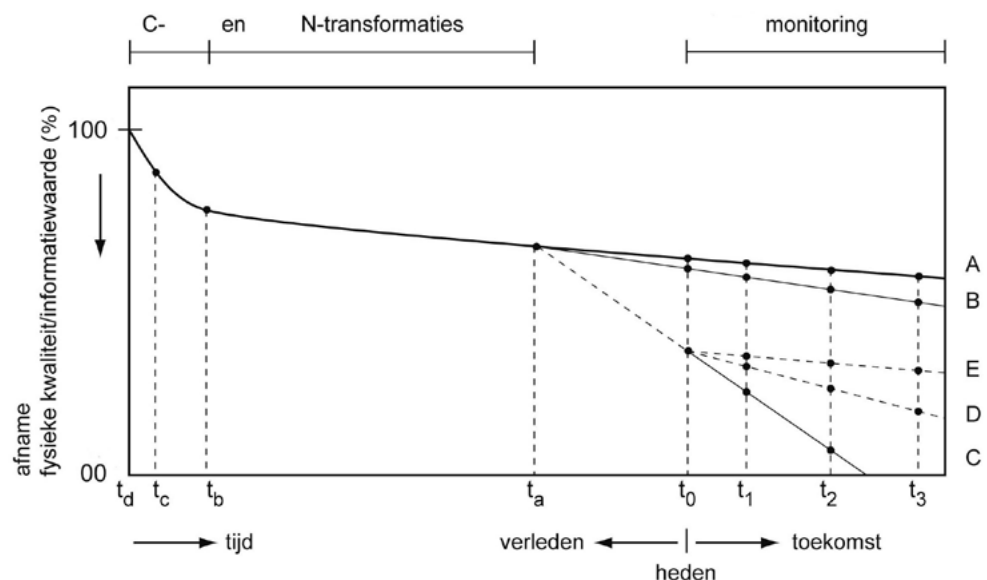
³⁸ Bijvoorbeeld Datema 2015.

³⁹ Bijvoorbeeld Van Heeringen, van Kregten & Roorda 2003; Van Heeringen & Theunissen 2007.

⁴⁰ Greathouse *et al.* 1954; Schiffer 1996, 141-261.

versnelling raken met als gevolg dat de vindplaats als kennisbron binnen één à twee generaties (deels) verloren gaat (afb. 3.2). Ook kan er sprake zijn van ingrijpende maar meer incidentele processen, zoals erosie van akkers op hellingen tijdens hoosbuien, windworp in bossen, het veroorzaken van ploegschade door te diep ploegen, gegraveerd door wild of door vandalisme, die elk op zijn minst als bedreigend moeten worden aangemerkt en soms zelfs schadelijk kunnen zijn. Tot de fysieke bedreigingen van archeologische rijksmonumenten worden dus zowel natuurlijke processen gerekend (hoofdstuk 4) als de ingrepen door de mens (hoofdstuk 5). Beiden kunnen immers een versnelde achteruitgang van de archeologische resten tot gevolg hebben. Voorbeelden van fysieke bedreigingen zijn:

- aantasting door agrarisch gebruik (zoals door werkzaamheden om bodemverdichtingen weg te nemen, de aanleg van drainage of egalisatie), door natuurbeheer (plagwerkzaamheden, vegetatiebeheer), of door recreatiedruk;
- aantasting door bouwactiviteiten, aanleggen van infrastructurele werken of inrichtingswerkzaamheden in de gebouwde omgeving;
- aantasting door verandering van grondwaterpeilen en grondwaterstanden. Kwetsbare archeologische resten zoals hout en bot die lange tijd bewaard zijn gebleven onder zuurstofloze of zuurstofarme omstandigheden kunnen vergaan nadat het grondwaterpeil verlaagd is en ze in het bereik komen van schimmels en/of ander bodemleven;
- aantasting door erosie (hellingerosie, winderosie), vooral wanneer een terrein in gebruik is als akker;
- aantasting door plantenwortels en bodemverstorende activiteiten door zoogdieren en ander bodemleven;
- aantasting van archeologische rijksmonumenten door overtredingen: illegale opgraving, metaaldetectie (wat leidt tot selectieve verarming van de kennisbron), vandalisme enz.



Afb. 3.2 Afnemen van de informatiewaarde van een archeologische vindplaats. t_d =tijd van depositie/spoorvorming, t_c =tijd intensief gebruik vindplaats, t_b =tijdstip van begraving in de bodem. C-transformaties zijn culturele veranderingsprocessen en N-transformaties zijn natuurlijke veranderingsprocessen die van invloed zijn op de vindplaats. A is de evenwichtssituatie waarin de vindplaats langzaam aan informatiewaarde verliest. BCDE zijn de uitkomsten van de verschillende vormen van versneld verval ingezet op verschillende tijdstippen. t_a =tijd vanaf wanneer nieuwe bedreigingen toenemen. t_0 - t_3 zijn de tijdstippen van monitoring van de vindplaats (bron: Leidraad Standaard Archeologische Monitoring versie 1.0).

3.3 Directe en/of sluipende aantasting?

Naast de hierboven genoemde tweedeling in ingrepen en natuurlijke oorzaken kan onderscheid gemaakt worden tussen directe aantasting en sluipende aantasting.⁴¹ Onder directe aantasting verstaan we processen of werkzaamheden die directe schadelijke gevolgen kunnen hebben voor archeologische resten, zoals bodembewerking (waaronder ploegen, eggen, oogsten en inzaaien), wegnemen van bodemverdichtingen, egaliseren, ontgravingen in het kader van bouw- en aanlegwerkzaamheden, bodemerosie, gegraveerd door wild of door vandalisme. Op plaatsen waar schadelijke processen tot dieper in de bodem reiken kan echter ook een nauwelijks zichtbaar proces van verval optreden. Dit wordt sluipende aantasting genoemd.⁴²

Sluipende aantasting is vaak het onbedoelde gevolg van veranderingen in grondgebruik in het landelijke gebied, verandering in de waterhuishouding in landelijk of stedelijk gebied⁴³ of het gevolg van regulier gebruik van de grond. In het lage natte deel van Nederland, waar onverkoelde organische resten vaak goed geconserveerd in de bodem aanwezig zijn, kunnen peilverlagingen leiden tot verdroging met aantasting en het vergaan van onverkoelde organische resten als gevolg (paragraaf 5.4.7).⁴⁴ Sluipende aantasting kan verder ook het gevolg zijn van het omzetten van gras naar akkerland (wat leidt tot meer en diepere bodembewerkingen) of een gevolg zijn van bemaling (waardoor de inzet van zwaardere machines mogelijk wordt). Sluipende aantasting kan ook een indirect gevolg zijn van het afsteken of afplaggen van de zode en het kilveren van een perceel. Deze vormen van directe aantasting kunnen namelijk leiden tot het sluipenderwijs aftoppen van een deel van de archeologische niveaus.

Bovengenoemde vormen van sluipende aantasting komen in heel Nederland voor. De effecten laten zich in de regel echter minder makkelijk vaststellen dan die van directe bedreigingen. Op termijn kan sluipende aantasting echter minstens zo schadelijk zijn als directe aantasting. Vooral in gebieden waar archeologische resten zijn afgedekt door een cultuurdek (plaggendek,

ophogingspakket), door permanente begroeiing, door beek- of riviersediment, duinzand, veen of andere holocene afzetting, is deze vorm van achteruitgang waarschijnlijk het sterkst vertegenwoordigd.

3.4 Wanneer is er sprake van informatieverlies?

Achteruitgang vindt plaats wanneer door ingrepen of door natuurlijke processen de herkenbaarheid en samenhang van grondsporen, vondsten of lagen in (een deel van) het rijksmonument afneemt (afb. 3.2).⁴⁵ Achteruitgang staat dus gelijk aan het verlies van informatie(bronnen) over ons verleden.⁴⁶ Deze achteruitgang vindt echter plaats op verschillende schaalniveaus: op vondst-/spoonniveau (zeer lokale verstoring), op complexniveau (vlakdekkende verstoringen op perceelsniveau) tot op landschapsniveau (door bijvoorbeeld verdroging). Er zijn bovenop het schaalniveau ook gradaties in de aard en ernst van de schade aan te wijzen. Veel natuurlijke processen (bioturbatie, betreding en vertrapping, verwerking, podzolering, enz.) tasten het bodemarchief aan, maar vinden al eeuwen plaats, dus ruim voordat de vindplaats was ontdekt en als rijksmonument werd aangewezen. Ook mensen brengen soms al eeuwenlang op dezelfde plek de grond in cultuur en betreding en vertrapping (vee, mensen) zijn hier een algemeen verschijnsel. De bodem met daarin archeologische resten is als gevolg daarvan al enigszins aangetast.⁴⁷ Bodemverstoringen door bioturbatie of door bodemverdichting betekenen dus lang niet altijd dat er schade is aan een archeologisch rijksmonument. Aanscherping van de begrippen schade en informatieverlies zijn daarom wenselijk om er praktisch werkbare begrippen van te maken.

Het uitgangspunt voor deze publicatie is dat er sprake is van *schade* wanneer de fysieke kwaliteit van archeologische resten van (een deel van) het rijksmonument achteruitgaat. Schade kan tot *informatieverlies* leiden als de herkenbaarheid van informatiedragers (grondsporen, lagen of vondsten), hun betekenis of hun onderlinge samenhang verloren gaan, waardoor kennisvragen op het niveau van het beschermde complex niet meer door onderzoek beantwoord kunnen

⁴¹ Vos & Van der Vliet 2006; Van Os & Kosian 2011.

⁴² Ibid.

⁴³ Willemse 2017.

⁴⁴ Ibid.

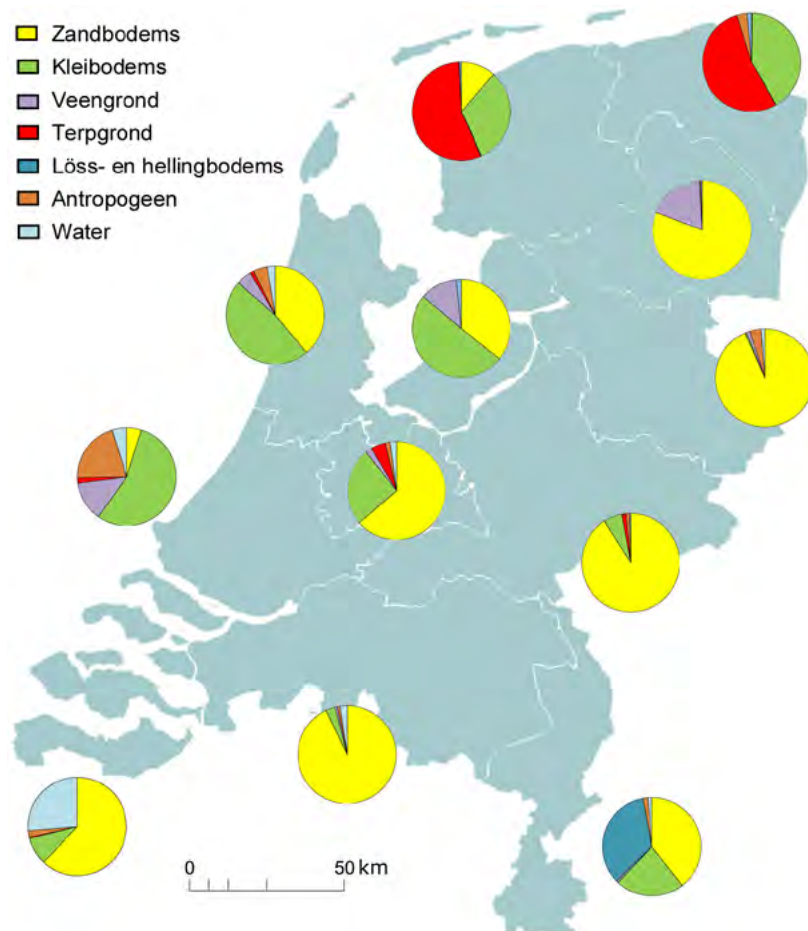
⁴⁵ Huisman & Van Os 2016.

⁴⁶ Zie bijvoorbeeld Van den Berg *et al.*

2010, 162; Van Os & Kosian 2011;

Huisman & Van Os 2016.

⁴⁷ Zie bijvoorbeeld Huisman & Ngan-Tillard 2019.



Afb. 3.3 Overzicht dominante bodemtypen binnen de archeologische rijksmonumenten per provincie naar oppervlakte (bron: Bodemkaart van Nederland 1:50.000/NEBO50, PEDOK-versie 2018).

worden. Informatieverlies is dus een ernstig gevolg van schade en als informatieverlies (of de dreiging daarvan) zich voordoet, of binnen afzienbare tijd ontstaat, is het treffen van fysieke beschermingsmaatregelen noodzakelijk om verdere achteruitgang te voorkomen.

Niet elke bodemverstoring moet opgevat worden als schade die voorkomen of gestopt moet worden. Er zijn gradaties in de aard en ernst van de schade aan te wijzen. Schade kan lokaal optreden door bijvoorbeeld windworp (paragraaf 4.2.5), of door gravende landdieren (paragraaf 4.2.3), maar ook een aantal percelen betreffen (zoals bij bodemerrosie). En verder dienen sommige vormen van schade zich acuut aan (het inzakken van een steilkant) terwijl andere verstoringen heel geleidelijk verlopen (verdroging). Bij het bepalen of schade binnen

afzienbare tijd ontstaat, speelt monitoring een belangrijke rol. Hieruit kan namelijk blijken dat een rijksmonument zodanig aangetast raakt dat een maatregel genomen moet worden om verdere achteruitgang te voorkomen. Indien er op dat moment geen draagvlak of reële opties voor het treffen van fysieke beschermingsmaatregelen bestaan, kan behoud ex situ een alternatieve optie zijn om te voorkomen dat de informatiewaarde van het beschermde rijksmonument verder achteruitgaat of verloren gaat.

Als de aantasting zeer traag verloopt en achteruitgang niet waarneembaar of meetbaar is, dan is ingrijpen op korte termijn (door het treffen van maatregelen) niet nodig. Zinvoller is het dan om de rijksmonumenten structureel te blijven monitoren. Een besluit tot het treffen van maatregelen of het opgraven van (een deel) van het complex kan dan genomen worden als een kritieke grens van informatieverlies overschreden wordt.

3.5 Kwetsbare rijksmonumenten in groepen

Of een ingreep zoals ploegen of een natuurlijk proces zoals bodemerrosie bedreigend is (of zelfs schadelijk) voor de informatiewaarde van een archeologisch rijksmonument hangt, naast de schaal en snelheid van aantasting, mede af van de archeologische eigenschappen en de bodemgesteldheid ter plaatse (afb. 3.3). Deze kenmerken, zoals diepteligging, materiaalsoorten, spoordichtheid, bodemwatersituatie, aanwezigheid van hellingen, landgebruik, enzovoorts vormen samen een eerste indicatie voor de kwetsbaarheid van een vindplaats voor bepaalde typen fysieke bedreiging. In algemene zin kan gesteld worden dat de grootste risico's op schade voorkomen bij vindplaatsen die gekenmerkt worden door:⁴⁸

- een ondiepe ligging ten opzichte van het maaiveld: hoe ondieper, des te kwetsbaarder;
- een hoge vondst-/spoordichtheid: concentraties van vondsten en/of sporen, ofwel horizontaal (in het vlak), dan wel verticaal (in dikke archeologische lagen of sporen);
- de aanwezigheid van onverkoelde organische resten zoals hout, textiel, leer, bot en zaden;

⁴⁸ Roorda & Stöver 2016.

- een zettingsgevoelige bodem: slappe (klei- of veen)bodems met samendrukbare archeologische lagen, constructies, sporen en vondsten.

3.5.1 Diepteligging en grondwatersituatie

Omdat veel van de hierboven opgesomde kenmerken in de basisdocumentatie van rijksmonumenten ontbreken en alleen beredeneerd kunnen worden is deze indeling ongeschikt om een schatting te maken van de omvang van kwetsbare terreinen in het huidige rijksmonumentenbestand. Als alternatief is daarom per archeologisch rijksmonument, en daarbinnen per perceel, gismatig bepaald wat de dominante bodemsoorten en landgebruiktypen zijn.⁴⁹ Deze gegevens zijn gecombineerd met de door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed gehanteerde vrijstellingsdiepten (ter inschatting voor de top van het archeologisch niveau). De volgende gegevens zijn verwerkt:

- monumentgegevens (Monumentregister, peil-datum oktober 2019);
- complextype (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, versie april 2019);
- vrijstellingsdiepten (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed/AMR-bronbestand uit 2005);
- grondgebruik en oppervlakte (TOP10NL, versies 2016 en 2018);
- bodemtype (NEBO50);
- hoofdgrondsoort (NEBO50);
- grondwatertrap (NEBO50).

De complextypen zijn onderverdeeld in de categorieën niet-zichtbare complexen en zichtbare complexen. Een verdere indeling is gemaakt op basis van de globale grondwatersituatie binnen de archeologische rijksmonumenten op het niveau van de bovenkant van de archeologische resten. Hiertoe is gebruik gemaakt van het classificatieschema voor de grondwatertrappen volgens de vigerende versie Nederlandse Bodemkaart, schaal 1:50.000.⁵⁰

Grondwatertrappen zijn klasse-indelingen van een over een reeks van jaren gemiddelde verloop van de hoogste en laagste grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld (tabel 3.1).

De gebruikte grondwatertrappen geven echter niet de actuele situatie weer. De grondwaterstanden zijn sinds de veldopnames in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw door allerlei oorzaken veranderd.⁵¹ Op het moment dat deze studie werd uitgevoerd was alleen de update van de grondwatertrappenkaart van laag Nederland gereed en werd nog gewerkt aan het publiceren (via PDOK) van de nieuwste kartering van de grondwaterdynamiek in hoog Nederland.⁵² In afbeelding 3.4 wordt daarom de globale grondwatersituatie weergegeven zoals die voorkomt binnen het huidige bestand archeologische rijksmonumenten op basis van deze oudere gegevens.

Tabel 3.1 Indeling in grondwatertrappen.

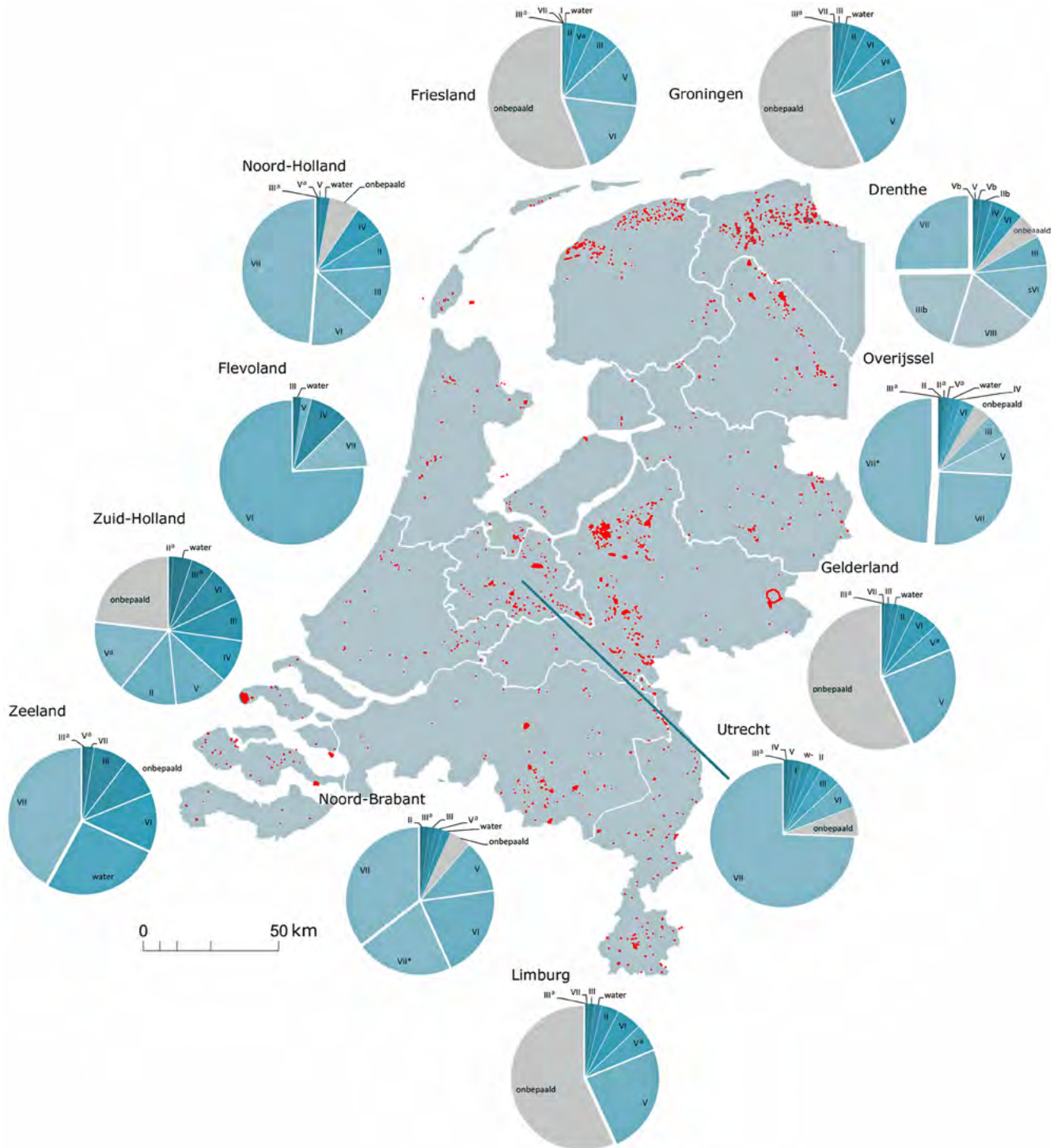
Grondwatertrap	GHG (cm - mv)	GLG (cm - mv)
Ia	< 25	< 50
Ic	> 25	< 50
IIa	< 25	50-80
IIb	25-40	50-80
IIc	> 40	50-80
IIIa	< 25	80-120
IIIb	25-40	80-120
IVu	40-80	80-120
IVc	> 80	80-120
Va	< 25	> 120
Vao	< 25	120-180
Vad	< 25	> 180
Vb	25-40	> 120
Vbo	25-40	120-180
Vbd	25-40	> 180
VI	40-80	> 120
Vio	40-80	120-180
Vid	40-80	> 180
VII	80-140	> 120
VIIo	80-140	120-180
VIIId	80-140	> 180
VIII	> 140	> 120
VIIIo	> 140	120-180
VIIIId	> 140	> 180

Tabel 3.1 De grondwatertrappen in Nederland met de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) (bron: Knotters *et al.* 2018).

⁴⁹ De gegevens, bodempolygonen en perceelindelingen zijn afkomstig van de Nederlandse Bodemkaart, schaal 1:50.000 (vigerende PDOK versie) en van het digitale topografische basisbestand van het Kadaster, TOP10NL (versie 2018). Gepubliceerd als geodataset op www.pdok.nl.

⁵¹ Knotters & Janssen 2005; Werkgroep achtergrondddaling NHV 2016.

⁵² Knotters *et al.* 2018.



Afb. 3.4 Voorkomende grondwatertrappen binnen de archeologische rijksmonumenten naar oppervlakte per provincie. Zie tabel 3.1 voor de grondwatertrappen (bron: Bodemkaart van Nederland 1:50.000, PEDOK-versie 2018).

3.5.2 Monumenten in groepen

Door het samenvoegen van deze gegevens en het indelen in verschillende groepen kan een beeld worden geschetst van de diepteligging (afb. 3.6) en grondwatersituatie op archeologische rijksmonumenten (afb. 3.4, tabel 3.2). De in het rijksmonumentenbestand belangrijkste groep van de zichtbare archeologische complextypen zijn in de tabel 3.2 gesplitst in twee groepen: T en Z. Tot de categorie T zijn gerekend de (huis)terpen/wierden en vliedbergen. De overige zichtbare archeologische landschapselementen zijn tot de categorie Z gerekend. Voor beide categorieën geldt dat de archeologische resten zichtbaar aan het oppervlak voorkomen en daardoor het meest worden blootgesteld aan directe en sluipende vormen van aantasting. (Huis)terpen/wierden en vliedbergen zijn als aparte categorie opgenomen vanwege de soms bijzondere conserveringsomstandigheden van de terplagen voor onverkoelde organische resten en andere materiaalsoorten.

Niet-zichtbare archeologische complexen zijn onderverdeeld naar ligging ten opzichte van de gemiddeld hoogste of laagste grondwaterstand (groep A, B of C).

Groep A1 betreft vindplaatsen waarvan de top van het archeologische niveau op minder dan 50 cm diep onder het maaiveld voorkomt en vrijwel altijd boven de gemiddeld hoogste grondwaterspiegel (GHG) ligt (grondwatertrappen VI en hoger). In deze situatie domineren mechanische processen (zoals fragmentatie, vermenging) en aerobe degradatieprocessen (paragraaf 4.3).

Groep A2 betreft vindplaatsen waarvan de top van het archeologische niveau eveneens minder dan 50 cm diep voorkomt maar die wisselend onder of boven het laagste grondwaterniveau (boven GLG, grondwatertrappen I, II, III) liggen. Er is sprake van relatief natte bewaaromstandigheden. Vanwege de geringe diepteligging domineren ook hier mechanische processen en vanwege de soms volcapillaire vochttoestand van de bodem (afb. 5.22) zowel aerobe als anaerobe degradatieprocessen.

Complextypen waarvan de top van het niveau met archeologische resten dieper dan 50 cm beneden het maaiveld voorkomt zijn minder kwetsbaar voor mechanische aantasting. Indien het archeologisch niveau tussen de hoogste en laagste gemiddelde grondwaterstand voorkomt zijn deze complextypen in *groep B* ondergebracht (grondwatertrappen II, III, IV, V en VI). Een

Tabel 3.2 Indeling van archeologische rijksmonumenten naar diepteligging en grondwatersituatie.

Groep	Context	Grondwatertrap	Omschrijving context
Z/T	zichtbaar	nvt	zichtbare landschapselementen (grafheuvels, terpen, wallen, raatakkers etc.)
A1	↑ 50 ↑ GHG	V en hoger	archeologische resten/archeologisch niveau voorkomend binnen 50 cm - mv en gelegen boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Hier domineren mechanische processen en aerobe degradatieprocessen
A2	↑ 50 ↑ GLG	I (II) (III)	archeologische resten/archeologisch niveau voorkomend binnen 50 cm - mv en gelegen boven de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Hier domineren mechanische processen en aerobe en anaerobe degradatieprocessen
B	↓ 50 GHG-GLG	(II) III IV V VI	archeologische resten/archeologisch niveau dieper dan 50 cm - mv en gelegen tussen GHG en GLG. Hier domineren aerobe en anaerobe degradatieprocessen
C	↓ 50 ↓ GLG (red)	I (II)	archeologische resten/archeologisch niveau dieper dan 50 cm - mv en gelegen onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. In afwezigheid van zuurstof en andere oxidatoren (sulfaat, ijzer, mangaan) komen reducerende omstandigheden voor
W	W	nvt	archeologische resten in binnenwaterbodems. Hier domineren oxidatie en reductieprocessen



Afb. 3.5 Laatneolithische veenweg in het Bourtangerveen. De veenweg werd rond 2550 v.Chr. aangelegd door boeren van de Enkelgrafcultuur. Het wegdek bestaat uit al dan niet gekloofde en ca. 3 m lange stammetjes van els, berk, linde, eik en esdoorn. Sinds 1981 is deze veenweg wettelijk beschermd (rijksmonument 45.391). Door grondwaterstandverlaging leken delen van het monument bedreigd te worden door uitdroging. De schade door schimmelwerking bleek in 2008 (en 2018) echter beperkt te zijn.⁵³ Min of meer permanente waterverzadiging van de veenbodem en de houtresten zorgen alsnog voor anaerobe conserveringsomstandigheden. Het zuurstofgehalte in waterverzadigd hout is namelijk gelijk aan nul door bacteriële afbraak (foto: Geheugen van Drenthe/ Casparie *et al.* 2004).

⁵³ Huisman & Theunissen 2008; Huisman (RCE), mond. meded.

⁵⁴ De Bakker & Schelling 1989; Doesburg *et al.* 2007.

⁵⁵ Afhankelijk van de aard van de metalen en de grondsoort is er niet altijd sprake van bedreiging door corrosie.

⁵⁶ Caple & Dungworth 1996; Huisman *et al.* 2008; Historic England 2018.

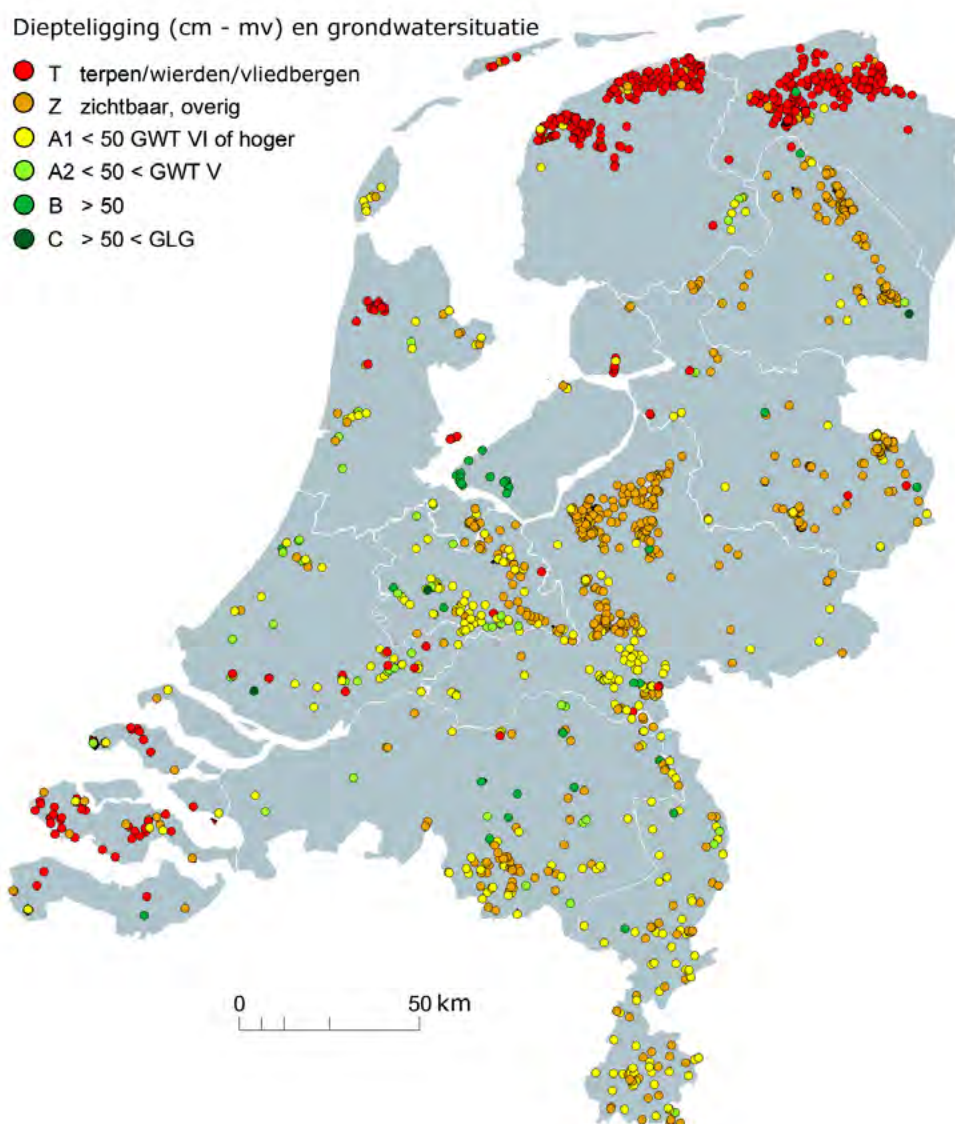
⁵⁷ Respectievelijk de rijksmonumenten 45.987 en 531.057; De Groot & Morel 2007.

bekend voorbeeld van groep B vindplaatsen zijn archeologische rijksmonumenten waarvan het niveau met archeologische resten wordt afgedekt door een opgebrachte en tenminste 50 cm dikke minerale eerdlaag (oud bouwlanddekken, bodemkundig de enk- en tuineerdgronden).⁵⁴

Groep B omvat ook vindplaatsen die zijn afgedekt door een meer dan 50 cm dik pakket holocene afzettingen (zeeklei, rivierklei, veen, duinzand) maar die (tijdelijk) nog boven de laagste grondwaterspiegel liggen (afb. 3.5). Ook hier kunnen de onverkoelde organische resten, maar ook metalen, worden bedreigd door aerobe processen en heel soms door inklinking/zetting/krimp (in het geval van niet-ontwaterde en niet-geconsolideerde bodems).⁵⁵

Groep C betreft complextypen 'op land' die zowel buiten het bereik van de meeste reguliere bodemingrepen vallen (agrarisch gebruik, natuurbeheer, ondiepe ingrepen in de gebouwde omgeving, enz.) maar daarbovenop ook in hun geheel onder de gemiddeld laagste grondwaterstand voorkomen. In het geval van veen- of kleipakketten heersen hier meestal anaerobe bewaaromstandigheden.⁵⁶ Voorbeelden van dergelijke onder de grondwaterspiegel bewaarde archeologische rijksmonumenten zijn de neolithische en vroege bronstijd vindplaats Spijkenisse-Hekelingen I in Polder Vriesland en het opnieuw afgedekte schip De Meern 4 te Leidsche Rijn (Veldhuijzen-De Balije).⁵⁷ Andere voorbeelden zijn de archeologische rijksmonumenten Laag Dalem-Gorinchem (Dalemse Donk, rijksmonument 531.041), de midden neolithische vindplaats Koedood te Barendrecht (rijksmonument 529.084) en Liewegje/ Zuiderpolder te Haarlem (rijksmonument 532.446).

In afbeelding 3.6 wordt de ligging in Nederland weergegeven van de naar diepteligging en grondwatersituatie ingedeelde rijksmonumentterreinen. Zichtbare archeologische rijksmonumenten (Z en T) maken ruim 54% uit van het totale oppervlak aan rijksbeschermd bodemarchief, waarvan (huis)terpen/wierden en vliedbergen (categorie T) in de minderheid zijn (13%) (tabel 3.3). Verreweg de belangrijkste andere categorie terreinen betreft ondiep gelegen niet-zichtbare vindplaatsen die onder overwegend droge bodemcondities in de bodem voorkomen (A1: 34%).



Afb. 3.6 Ligging van de archeologische rijksmonumenten ingedeeld naar diepteligging en grondwatersituatie.

Vooral diep afgedekte (> 50 cm) 'wetlandvindplaatsen' die onder de laagste grondwaterpiegel bewaard worden (groep C) komen nauwelijks voor in het huidige archeologische monumentenbestand. De meeste beschermde vindplaatsen in West-Nederland die als wetland sites kunnen worden gekarakteriseerd vallen vanwege hun relatief ondiepe ligging en de grondwatersituatie in de categorieën A2 en B (afb. 3.6).⁵⁸ Het zijn bij deze vindplaatsen vaak alleen de diepere niveaus met organische archeologische resten die min of meer

permanent waterverzadigd zijn. Volgens de *Erfgoedbalans* uit 2009 lag 13% van de toentertijd bekende archeologische terreinen in gebieden met hoge grondwaterstanden (grondwatertrappen I-II, gemiddeld hoogste grondwater < 40 cm onder maaiveld) en circa 43% in gebieden met matig hoge grondwaterstanden.⁵⁹ Deze groep C complextypen worden doorgaans pas ontdekt in het kader van ruimtelijke plannen. In enkele gevallen heeft de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed na goed overleg met gemeenten en ontwikkelaars kunnen aansturen op het uitsparen en wettelijk beschermen van dit type vindplaatsen. Dit is na 2005 gebeurd met

⁵⁸ Van Heeringen & Theunissen 2001a; Van Heeringen & Theunissen 2002; Van Heeringen, Smit & Theunissen 2004; Theunissen & Van Heeringen 2006a.

⁵⁹ Beukers 2009.

Gorinchem-Dalemse Donk, Barendrecht-Koedood in de Albrandswaard, Haarlem-Liewegje en Kijfhoek-Heerjansdam.

Tabel 3.3 Relatief aandeel van de onderscheiden categorieën.

Groep	Oppervlakte	
	ha	%
Zichtbaar, overig	3.071,1	41,2
Terp/wierde/vliedberg	991,4	13,3
A1	2526,9	33,9
A2	320,6	4,3
B	342,9	4,6
C	7,5	0,1
W	193,9	2,6
Totaal	7.454	100

3.6 Het proces van verwerking en verval

Verwerking en verval

Alle vondsten en grondsporen die aan of in de bodem voorkomen worden na kortere of langere tijd aangetast en ontleed door de inwerking van de atmosfeer, water, erosie- en sedimentatieprocessen en door organismen, waaronder de mens. Deze aantasting wordt verwerking genoemd alhoewel bij het uiteenvallen en vergaan van het materiaal van antropogene oorsprong van degradatie wordt gesproken.⁶⁰ Doorgaans wordt het proces van aantasting in drie hoofdgroepen verdeeld:⁶¹

1 mechanische of fysische aantasting:

De processen waarbij de mineralogische of chemische samenstelling van sporen/lagen/ objecten niet verandert worden tot de mechanische vorm van verwerking gerekend. Mechanische verwerking is het gevolg van verplaatsing/transport van bodemmateriaal als gevolg van erosie, grondroering door de mens, drukbelasting en bioturbatie (door planten en door dieren). Het resultaat hiervan is dat sporen/contexten verstoord raken en materialen fragmenteren (en zelfs desintegreren);⁶²

2 biologische aantasting:

Micro-organismen en bodemfauna spelen een belangrijke rol bij de omzetting en daardoor het verval van onverkoelde organische materialen. Omzettingen van plantaardig en dierlijk materiaal naar humus vinden plaats door toedoen van de mesofauna in de bodem (wormen, insecten, enz.) en de microflora en –fauna. Deze laatste bestaan uit aerobe bodembacteriën, actinomyceten en schimmels.⁶³ Wanneer er voldoende zuurstof in het bodemmilieu aanwezig is kunnen deze micro-organismen organische materialen zoals botanische resten, hout en bot letterlijk opeten (paragraaf 4.3.2).⁶⁴ Microbiologische aantasting door schimmels en bacteriën kan echter ook sommige anorganische materialen aantasten;⁶⁵

3 chemische aantasting:

Dit betreft het corroderen en oplossen van het oorspronkelijke object of stoffen in de bodem.⁶⁶ In dit proces spelen meerdere agentia een rol. Zowel het effect van redoxprocessen als de zuurgraad en het zoutgehalte zijn betrokken bij de aantasting van archeologische resten in de bodem.

De drie bovengenoemde mechanismen zijn van toepassing op organisch materiaal zoals resten van plantaardige en dierlijke oorsprong (bot, hout, leer, textiel, zaden, stuifmeel enz.) maar ook op archeologische materiaalsoorten van anorganische oorsprong, zoals metalen, glas, steen, vuursteen en aardewerk.⁶⁷ De snelheid en de mate waarin elk van deze processen verlopen en elkaar beïnvloeden is afhankelijk van de materiaalsoorten, omgevingsvariabelen zoals bodemomstandigheden (lithologie, grondwaterstand, leefomstandigheden voor bodemleven), diepteligging en de tijd. Wanneer deze processen van verval in snelheid afnemen is een schijnbaar stabiel evenwicht van de archeologische resten met de bodem bereikt. Dankzij dit schijnbaar stabiele evenwicht kunnen we zelfs na soms duizenden jaren nog steeds informatie uit dit archief putten. Dit geldt voor alle soorten informatiedragers in de bodem. Het geldt voor de grondsporen en lagen die de zichtbaarheid danken aan de aanwezigheid van (an)organische verbindingen (gehecht aan bodemdeeltjes). Het geldt ook voor artefacten en alle andere resten die samenhangen met menselijke activiteiten in

⁶⁰ Huisman 2009.

⁶¹ Meeussen *et al.* 1997; Schiffer 1996; Louwagie, Noens & Devos 2005; Huisman 2009.

⁶² Huisman *et al.* 2011a; Reuler *et al.* 2014; Lascaris 2019.

⁶³ Locher & De Bakker 1990; Chapin, Matson & Mooney 2002.

⁶⁴ Voor hout en dierlijk en menselijk bot is de aantasting door micro-organismen al in detail uitgezocht. Zie Klaassen 2005, 2007; Jans 2005, 2008; Huisman 2009; Kendall *et al.* 2018.

⁶⁵ Klaassen, Eaton & Lamersdorf 2008.

⁶⁶ French 2003; Huisman 2009; Karkanas 2010.

⁶⁷ De processen die archeologische materialen en sporen beïnvloeden en aantasten worden uitgebreid beschreven in Huisman (2009). Ze worden daarom in deze publicatie alleen beknopt aangehaald.

het verleden, zoals resten van gebruiksplanten en dieren, resten van constructies, vuursteen-semblages, enz.

Degradatie onder het vergrootglas

Sinds de jaren negentig wordt het risico van een versnelde achteruitgang van ons archeologisch erfgoed door erfgoedinstellingen in heel Noordwest-Europa erkend. Dit heeft onder andere geresulteerd in het Verdrag van Valletta, waardoor nationale wetgeving is aangepast. Het heeft ook geleid tot een aantal door de Europese Unie gefinancierde onderzoeksprogramma's naar het afbraakproces van archeologische materialen in de bodem zoals het verval van metalen artefacten, bot en hout.⁶⁸ Het heeft in de laatste 20 jaar ook geleid tot een aantal internationale congressen over het behoud van archeologische resten in de bodem.⁶⁹

Op dit moment worden de mechanismen achter de achteruitgang van de meeste archeologische materialen ruwweg goed begrepen alhoewel sommige materiaalcategorieën uitputtender zijn onderzocht (bot, hout) dan andere categorieën zoals metalen en archeologische resten zoals grondsporen en -lagen.⁷⁰ Een belangrijke conclusie is dat verschillende materialen en grondsporen op verschillende manieren reageren onder veranderende omstandigheden in het bodemmilieu. Vooral de waterhuishouding en bodemstabiliteit in een bepaald gebied speelt een belangrijke rol in het behoud van het archeologisch erfgoed, waarbij verandering van een bestaande situatie in de meeste gevallen leidt tot een verstoring van het dynamische evenwicht en daarmee tot een versnelde aantasting van het archeologisch bodemarchief.⁷¹

Oxidatie en reductie

Bodems of bodemlagen die gedurende ten minste een deel van het jaar niet verzadigd zijn met water zijn doorgaans zuurstofrijk. De grootste bron van zuurstof in de bodem zijn de aanwezige mineralen. Siliciumoxide (SiO₂) bijvoorbeeld bestaat voor de helft uit zuurstof in gewicht. In goed doorluchte bodems komt daar de onuitputtelijke beschikbaarheid van zuurstof vanuit de atmosfeer bij.⁷² Wanneer er zuurstof in de bodem aanwezig is, verloopt de corrosie van metalen en andere materiaalsoorten in het algemeen sneller dan zonder zuurstof.⁷³ Verder is de

aanwezigheid van zuurstof in de bodem slecht voor onverkoold organisch materiaal omdat zuurstof de belangrijkste factor is in het proces van mineralisatie door aeroob bodemleven (paragraaf 4.3).⁷⁴

Structurele wateronttrekking, vooral verlaging van het grondwaterpeil, heeft tot gevolg dat zowel anorganisch als onverkoold organisch materiaal binnen bereik van oxidatieprocessen en bodemleven komen. Voor het conserveren van onverkoelde organische materialen zijn juist reducerende omstandigheden gunstig omdat het proces van biologische aantasting dan (goedgevoel) stopt.⁷⁵ Een reducerende omgeving ontstaat vaak onder zuurstofloze condities. Het bodemniveaau waarop de bodem zuurstofarm wordt hangt af van de mate van waterverzadiging en de microbiële activiteit.⁷⁶

Zuurgraad

Verzuring van bodem of water is een gevolg van de uitstoot (emissie) van stikstofhoudende stoffen zoals stikstofdioxide (NO_x) en ammoniak (NH₃) plus zwaveldioxide (SO₂). Deze stoffen reageren in de atmosfeer met elkaar en worden omgezet in andere stoffen waaronder salpeterzuur (HNO₃) en zwavelzuur (H₂SO₄), welke samen met ammoniak reageren tot ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat. Deze laatste genoemde stoffen komen voor in aerosolvorm (atmosferische fijnstof). Alle genoemde stoffen kunnen nadat ze op de bodem of het oppervlaktewater zijn gedeponeerd, verzuring veroorzaken en leiden tot de aantasting van ecosystemen en materialen. Of een bodem kan verzuren is vooral afhankelijk van de buffercapaciteit (het zuurneutraliserend vermogen) van een bodem. De buffercapaciteit wordt bepaald door de aanwezigheid van calciumcarbonaat (in kalkrijke gronden) of van basische kationen (Ca, Mg, K, Na) en andere metaalionen (Fe, Al) (aanwezig in klei of in organisch materiaal).⁷⁷

In een (natuurlijke) kalkgebufferde bodem worden archeologische resten niet door verzuring aangetast. De bodem verzuurt pas als de buffercapaciteit op /afwezig is. De kans dat verzuring optreedt is het grootst in gebieden met schrale zandbodems met een heide- en duinvegetatie. De zuurgraad van de bodem is

⁶⁸ Respectievelijk Wagner *et al.* 1997; Kars & Kars 2002; Klaassen 2005/Klaassen *et al.* 2008.

⁶⁹ Corfield *et al.* 1998; Nixon 2004; Kars & Van Heeringen 2008; Strætkvern & Huisman 2009; Matthiessen & Gregory 2012; Leuzinger *et al.* 2016.

⁷⁰ Huisman 2009.

⁷¹ Huisman & Van Os 2016.

⁷² Chapin, Matson & Mooney 2002.

⁷³ Scully 1990; James & Bartlett 2000; Schüring *et al.* 2004; Smit, Van Heeringen & Theunissen 2006; Huisman 2009, hoofdstukken 3 en 5-8.

⁷⁴ Huisman 2009.

⁷⁵ Klaassen 2005; Huisman 2009; Doutereolo, Goulder & Lillie 2010.

⁷⁶ James & Bartlett 2000.

⁷⁷ CBS, PBL, RIVM, WUR 2019.

⁷⁸ Huisman 2009, hoofdstukken 3 en 5-8.
⁷⁹ Ibid.
⁸⁰ Edward & Lofty 1972; Meeussen *et al.* 1997.

van invloed op het behoud van botten, metalen en textiel maar archeologische monumenten met zandschrale bodems bevatten doorgaans al lang geen onverkoolde organische resten meer.⁷⁸

Lagere pH-waarden remmen ook de activiteit van allerlei bodemdieren af.⁷⁹ Wormen bijvoorbeeld worden duidelijk minder actief als de pH-waarde van de bodem lager wordt dan pH 7.⁸⁰



Afb. 4.1 Afspoeling van de bodem op een maisakker in het heuvelland (foto: Geelen 2006).

4.1 Inleiding

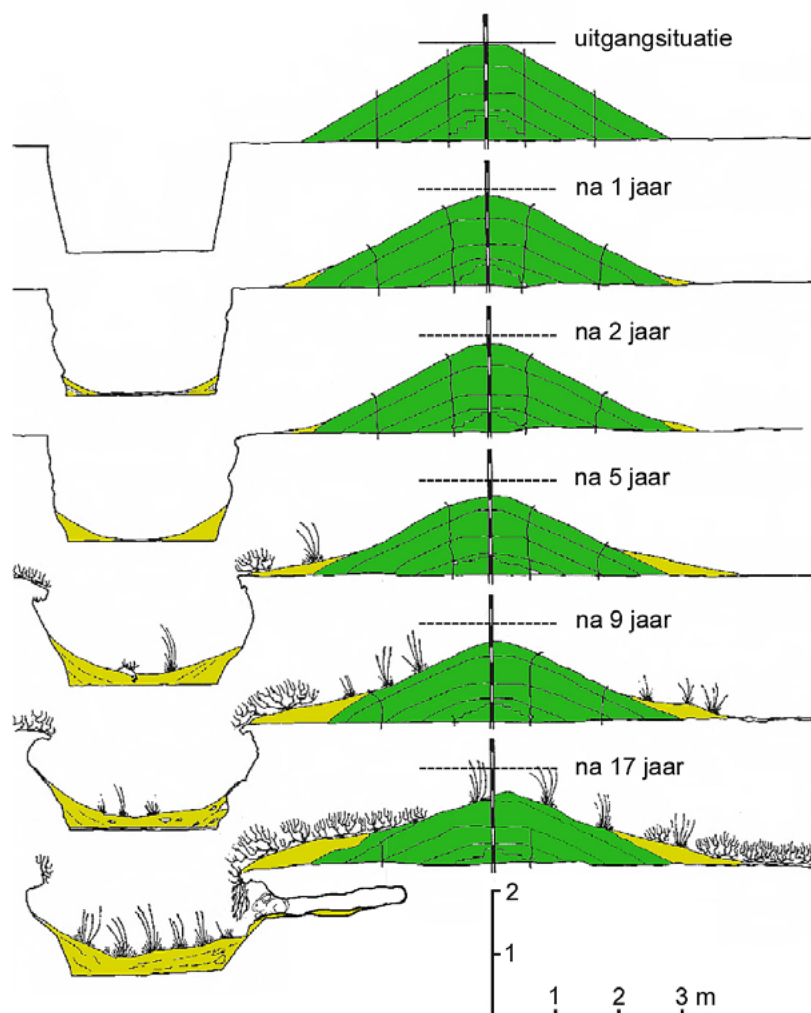
In dit hoofdstuk staan allereerst de natuurlijke oorzaken van schade aan archeologische rijksmonumenten centraal. Vrijwel alle materialen die ondiep in de bodem voorkomen of op het bodemoppervlak liggen worden na kortere of langere tijd aangetast en ontleed door de inwerking van de atmosfeer, door erosieprocessen, door planten en door dieren.⁸¹ De meeste van deze 'natuurlijke' processen verlopen echter zeer langzaam en behoren tot het intrinsieke mechanisme van vertering, vertering en verval waaraan alle materialen op en in de bodem bloot staan (paragraaf 3.6).⁸² Een aantal natuurlijke processen verloopt echter zo snel dat op korte termijn schade aan het monument kan ontstaan, zoals bodemerrosie, de versnelde vertering en aantasting van materialen door het wegvallen van waterverzadiging (binnen enkele jaren), of het vervagen van grondsporen door reductieverschijnselen.⁸³ Ook de woekering van (nieuwe) plantensoorten in een gebied, intensieve begrazing door wild (en vee) en graafactiviteiten door bijvoorbeeld konijnen, dassen en zwijnen kunnen tot de natuurlijke oorzaken van schade aan archeologische rijksmonumenten worden gerekend.

4.2 Processen aan het maaiveld

4.2.1 Bodemerrosie

Bodemerrosie is een proces waarbij het bodemoppervlak wordt aangetast doordat bodemmateriaal wegspoelt of wegwaait.⁸⁴ Er bestaan echter ook andere vormen van erosie, bijvoorbeeld erosie door het mee-oogsten van grond bij wortel- en knolgewassen (grondtarra)⁸⁵ en erosie door het uitspoelen van gangenstelsels door horizontale kwel. Ook bij het bewerken van akkers op hellingen treedt vaak een hellingafwaartse verplaatsing van bodemmateriaal op. Dit wordt bewerkingserosie genoemd.⁸⁶

Erosie door afstromend (regen)water vindt vooral plaats in gebieden met hellingen steiler dan 2%. De meeste vlakke gebieden zijn weinig



Afb. 4.3 Afbraak door erosie van een experimentele wal (bron: Rimmington 2004).

gevoelig voor erosie door water. Vooral op niet begroeid akkerland en bij bodems waar het indringend vermogen van neerslag relatief klein is (kleiige en lemige bodems) kan bij een stevige bui oppervlakkige afstroming en geulvorming ontstaan (afb. 4.1).⁸⁷ Ook taluds en de steile flanken van aarden wallen zijn gevoelig voor erosie door afstromend water (afb. 4.3)

Bodems met een hoog gehalte aan fijn zand en silt en een laag gehalte aan organische stof zijn het meest gevoelig voor hellingerosie, zoals lössbodems.⁸⁸ Fijnzandige bodems met een hele losse aggregaatstructuur (zoals braakliggende akkers op zandbodems) zijn vooral gevoelig voor

⁸¹ Schiffer 1996; Sullivan & Dibble 2014.

⁸² Huisman 2009; Historic England 2016.

⁸³ Wood & Johnson 1978; Schiffer 1996; Canti 2003; Van Waijjen 2001b; Huisman 2007.

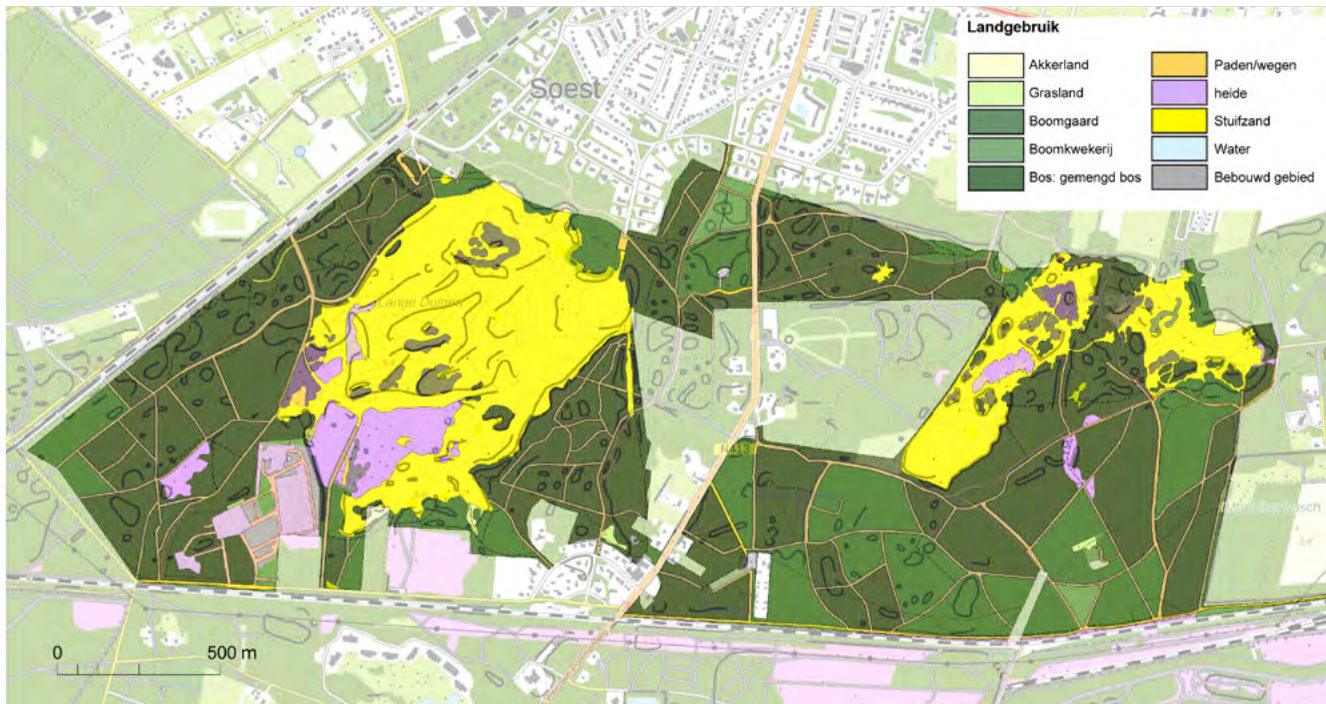
⁸⁴ Langohr 1990; Louwagie, Noens & Devos 2005; Kwaad, de Roo & Jetten 2006. Zie ook ALBON 2015.

⁸⁵ Seynaeve 1999; Reuler *et al.* 2014; Lascaris 2019, par. 2.2.5.

⁸⁶ Gillijns *et al.* 2005.

⁸⁷ Langohr 1990, 211; Poessen 1993; Kwaad, Van der Zijp & Van Dijk 1998; Kwaad, de Roo & Jetten 2006; Cerdà, Imeson & Poesen 2007; Winteraeken & Spaan 2010; Kinnell 2013; ALBON 2015.

⁸⁸ Oxford Archaeology 2002. Ook het waterafstotend vermogen van (licht) humeuze zandbodems kan watererosie veroorzaken (Ampe 1999).



Afb. 4.2 Het archeologisch rijksmonument De Lange Duinen te Soest (rijksmonument 45.995).

winderosie.⁸⁹ Gillijns *et al.* Beschrijven bijvoorbeeld de gevolgen van winderosie op akkers in de Antwerpse en Limburgse Kempen.⁹⁰ Winderosie vindt ook plaats op het archeologisch rijksmonument in de Meeuwenduinen nabij Burgh-Haamstede (Westeren Ban van Schouwen, rijksmonument 46.170).⁹¹ Natuurlijke akkererosie vond door beheermaatregelen in de tweede helft van de twintigste eeuw nauwelijks meer plaats maar tegenwoordig wordt verstuiwing bewust weer op gang gebracht door het verwijderen van vegetatie en door onder andere afplaggen/afgraven van de bovengrond (zie ook afb. 5.25).⁹²

Als erosie plaatsvindt op een niet afgedekt c.q. begroeid archeologisch terrein resulteert dat op termijn in het verlies van archeologische resten en sporen.⁹³ Door verlies van bodemmateriaal gaan archeologische resten direct verloren of komen sluipenderwijs of versneld in het bereik van de ploeg. Bij voortschrijdende erosie gaat een vindplaats dan gaandeweg verloren doordat het archeologische niveau steeds verder afge-topt raakt. In Nederland ligt iets meer dan 10% van de bekende archeologische terreinen in gebieden waar de dreiging door hellingerosie matig tot groot is.⁹⁴ Het gros van deze terreinen is door voortgaande erosie reeds beschadigd en

enkele zijn vrijwel volledig vernietigd.⁹⁵ Een klein aantal heeft juist baat bij hellingerosie; deze liggen op de plek waar het afgespoelde bodemmateriaal weer sedimenteert waardoor de archeologische resten afgedekt raken door colluvium.

De negatieve invloed van erosie op het erfgoed werd in de *Erfgoedbalans 2009* geïllustreerd door de studie naar de staat van Romeinse villacomplexen in Zuid-Limburg.⁹⁶ Zestien wettelijk beschermde villaterreinen vertoonden op twee na allemaal een achteruitgang als gevolg van ploegen en erosie. Bij zes villa's waren funderingen deels verdwenen, bij twee villa's volledig. De twee niet-aangetaste terreinen liggen op een locatie waar ze door accumulatie van elders geërodeerd materiaal (colluvium) worden beschermd.

4.2.2 Verzakken en afglijden van bodemlagen

Op steilere hellingen of ter hoogte van steilranden kan een waterverzadigde bodem over een slecht doordringbare ondergrond gaan glijden. Dit wordt een aardverschuiving

⁸⁹ Lancaster 2009; Langohr 1990.

⁹⁰ Gillijns *et al.* 2005.

⁹¹ Kasbergen 2016; Provincie Zeeland 2017.

⁹² Zie bijvoorbeeld Van der Valk *et al.* 2013.

⁹³ Zie bijvoorbeeld Wilkinson, Tyler & Grieve 2006; De Groot 2006; Heeres 2014; Huisman & De Kort 2017; Huisman & Van der Heiden 2017.

⁹⁴ Beukers 2009.

⁹⁵ *Ibid.*, 272.

⁹⁶ De Groot 2006.

genoemd: een vorm van 'plotselinge' of incidentele erosie. Wanneer dit proces heel langzaam verloopt wordt gesproken van solifluctie of bodemvloeïing.⁹⁷

Aardverschuivingen en bodemvloeïingen ontstaan wanneer de wrijvingsweerstand tussen bodemlagen wordt overschreden. Zware belasting door bijvoorbeeld machines of verzadiging van een hellende ondergrond met water kan de aanleiding voor de grondbeweging vormen. Ondoorlatende lagen zoals een dichtgeslepte ondergrond fungeren vaak als glijvlak waarlangs grond omlaag schuift. Soms worden aardverschuivingen getriggerd door grondtrillingen veroorzaakt door (zwaar) verkeer, goederentreinen of heistellingen (voor heipalen, damwanden).⁹⁸ Steilkanten kunnen ook instorten of verzakken als zware landbouwmachines, bouw- of vrachtverkeer te dicht langs de steilkanten rijden.

Aardverschuivingen en bodemvloeïingen vinden plaats in relatief reliëfvrije gebieden, zoals in Limburg of langs de afbraakwanden van de stuwwallen (Wageningen, Ubbergen), en waar andere vormen van steilere hellingen bestaan zoals bij dijken, kasteelheuvelds, langs de steilkanten en oude afgravingwanden van terpen/wierden.⁹⁹ Ze kunnen aanzienlijke beschadigingen veroorzaken aan archeologische terreinen. Zo kan het wegzakken van een helling of steilrand ervoor zorgen dat grondsporen en de gelaagdheid in de verschillende delen van de vindplaats niet meer met elkaar in verband gebracht kunnen worden.

Er zijn enkele meldingen waarbij aardverschuiving of bodemvloeïing schade hebben toegebracht aan archeologische rijksmonumenten. Zo ontstonden ze tijdens restauratiewerkzaamheden aan aarden wallen en grachten (o.a. aan het Gennepershuis) en tijdens onderzoek aan oude profielwanden. In het terpengebied zijn er voorbeelden van steilkanterrosie op rijksmonumenten (afb. 4.4).



Afb. 4.4 De steilkant aan de noordzijde van de terp van Oostrum zakt in (rijksmonument 45.391). De oorzaak is niet duidelijk. Mogelijk wordt het veroorzaakt door het rottend wortelgestel van enkele omgekapt bomen. Het is echter ook mogelijk dat het stromende water in de omringende sloot voor hellinginstabiliteit zorgt, waardoor inzakkings ontstaat (foto: Van Doesburg & Stöver 2018).

4.2.3 Bodemverstoring door wild en vee

(Wilde) varkens kunnen door het omwoelen van de bodem lokaal ernstige aantasting van grondsporen en vondstlagen teweegbrengen. Ze kunnen door vraat ook wortelstelsels van bomen beschadigen met een hoger risico op windworp tot gevolg. Vooral wilde zwijnen

⁹⁷ Carson & Kirkby 1972; Heeres 2014.

⁹⁸ www.kivi.nl/afdelingen/geotechniek/geonet/dossiers/trillingen; zie ook Meijers 2007.

⁹⁹ Zie ook Arjaans 1990.



Afb. 4.5 Schaapskudde op het Ballooërveld (foto: Jos Stöver / erfgoedfoto.nl).

kunnen de bodem sterk en tot enkele decimeters diep omwoelen. Ze worden vooral aangetrokken door lage begroeiing die rijk is aan bodeminsecten en open plekken zoals rond goed beheerde grafheuvels. Ook zware stenen tot ca. 100 kg kunnen door wilde zwijnen gekanteld worden.

Grazende koeien en paarden veroorzaken lokaal vertrapping van (vooral) natte en vochtige bodems (afb. 6.19) en insporing op zichtbare archeologische rijksmonumenten zoals terpen en grafheuvels.¹⁰⁰ Een verstoord vegetatiedek heeft een negatief effect op de verzadigingsgraad van de bodem¹⁰¹ en is een belangrijke factor bij het ontstaan van bodemerrosie (paragraaf 4.2.1). Verder maken paarden kuilen, net als bronstige stieren en edelherten. Veel grootvee draagt er verder aan bij dat de bodem compacter wordt waardoor de waterinfiltratie verminderd en de kans op oppervlakkige

afstroming en erosie (in gebieden met hellingen) toeneemt.¹⁰² In mindere mate geldt dit ook voor kleinvee zoals geiten en schapen waarvan het laatste boerderijdier als minst schadelijk wordt aangemerkt omdat ze niet zo nadrukkelijk hun stempel op de grasmat en bodem drukken als ander vee (afb. 4.5).¹⁰³

De extra schade aan archeologische resten in de bodem door wild en vee is doorgaans beperkt. Dit geldt evenwel niet voor schade aan zichtbare archeologische rijksmonumenten en schade aan zeer ondiep gelegen archeologische niveaus. Tijdens verschillende inspecties op het rijksmonument Wervershoof-Eendenkooi (gemeente Medemblik) werd geconstateerd dat het vee op het rijksmonument de aanwezige grafheuvels vertrapt en de hellingen aantasten.¹⁰⁴ Verder kunnen groepen wilde zwijnen in één nacht een aanzienlijk oppervlak diep omwoelen.

¹⁰⁰ Bijvoorbeeld Van Doesburg, Van der Heiden & Stöver 2019. De Moor, Kars & De Groot 2018, 715. Zie ook Van der Heiden & Feiken 2018.

¹⁰¹ Oostindie *et al.* 2003.

¹⁰² Trimble & Mendel 1995; Dillon 2007; Huisman & Ngan-Tillard 2019.

¹⁰³ Baas & Raap 2010.

¹⁰⁴ Van der Heiden & Feiken 2018; rijksmonument 46.173.

4.2.4 Woekering van bomen, struiken en helofyten

Er is veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen boomwortels en beschadiging van constructies en archeologische resten.¹⁰⁵ In algemene zin kan gesteld worden dat de ene boomsoort gemiddeld meer dikke wortels ontwikkelt dan de andere en dat dikkere wortels meer verstoringen veroorzaken dan dunnere. Boomwortels zijn verder opportunistisch en groeien de kant op van de minste weerstand. Wanneer de groeiomstandigheden slechter zijn in diepere lagen, is de wortelmassa het grootst in ondiepe lagen wat de kans op wortelopdruk vergroot. In gebieden met een hoge grondwaterstand wortelen de bomen eveneens ondiep en ook andere groeiomstandigheden bepalen de hoogteligging van de wortels.¹⁰⁶ Veel wortels groeien van nature horizontaal uit.

Ook uitheemse struiken (exoten) kunnen een bedreiging vormen voor archeologische rijksmonumenten. Japanse duizendknoop kan aanzienlijke bioturbatie veroorzaken door zijn uitgebreide wortelstelsel dat tot 2 meter diepte kan reiken. De stabiliteit van hellingen kan daardoor verminderen (door uitdroging, door wortelwerking), er kan schade ontstaan aan verhardingen en funderingen en dieper gelegen grondsporen en vondstlagen raken op de groeiplaats aangetast. Ook de wortelstokken van riet verstoren archeologische resten in bodems en oevers van grachten en in drassige terreinen met in de ondiepe ondergrond archeologische resten. Zie verder paragraaf 4.4.4: wortelgroei en wortelwerking.

Een indirect gevolg van het woekeren van planten is dat sommige struwelen bescherming bieden aan konijnen, vossen, muizen en ratten om er naar hartenlust te graven. Ook vee wordt door de schaduwrijke plekken die struwelen bieden aangetrokken.



Afb. 4.6 Omgevallen boom in Twello (foto: Jaco van Hal 2018).

4.2.5 Windworp

Bomen kunnen behalve door hun wortelwerking ook een aantasting van archeologische resten veroorzaken wanneer de boom met zijn kluit en al omwaait en een groot deel van het wortelsysteem uit de bodem trekt.¹⁰⁷ Dit kan een grote impact hebben op archeologische resten, aangezien de meegetrokken wortelstelsels vaak grote bodemverstoringen veroorzaken (afb. 4.6).¹⁰⁸ Omgevallen bomen kunnen de bodem vaak tot op 120 tot 150 cm diepte of meer verstoren.¹⁰⁹ De lengtes van de kuilen kan 5 tot 7 meter bedragen. Boomwortels groeien op diepte echter minder compact en minder dik zodat er minder kans is op verstoring door boomval wanneer de archeologische resten dieper in de bodem voor komen.

Bomen die slecht tegen een hoge grondwaterstand kunnen hebben op natte bodems een hoger risico op windworp. Daarnaast zijn over het algemeen naaldbomen gevoeliger voor storm dan loofbomen, omdat de meeste stormen in de winter zijn, wanneer de loofbomen niet in blad staan. Ook de boom- en bosstructuur zijn van belang voor de stormgevoeligheid. Hakhout is in de regel minder gevoelig voor windworp. Sneeuw, droogte, blikseminslagen en bosbranden leiden vaak tot het aantasten van de bomen in grotere boszones wat aaneengesloten gebieden gevoeliger maakt

¹⁰⁵ Biddle 1998; Cox *et al.* 2001.

¹⁰⁶ Coutts 1989; Canadell *et al.* 1996.

¹⁰⁷ Langohr 1993.

¹⁰⁸ Crombé 1993; Kooi 1974; Wood & Johnson 1978; Boosten & Penninkhof 2019, 75.

¹⁰⁹ Langohr 1993.



Afb. 4.7 Het archeologische rijksmonument de Hunenborg bij Volthe in Overijssel (rijksmonument 46.005) betreft een walburg uit vermoedelijk de elfde en twaalfde eeuw. Al omstreeks 1660 beschreef Johan Picardt (1600-1670) de restanten van de walburg als 'gantschelijck verwildert en verstrueert'. Vooral regelmatig voorkomende windworp was desastreus voor de archeologische resten. Het terrein van de hoofdburcht was in de loop van de jaren begroeid geraakt met bomen en struikgewas als gevolg van achterstallig onderhoud maar is nu vrijgemaakt.

voor windworp.¹¹⁰ Ook verjonging van bosvakken kan leiden tot windworp omdat het windveld tijdens storm dieper in de opengevallen bosvakken kan reiken en omdat de bomen die ineens aan een nieuwe rand komen te staan hun wortelsysteem nog niet hebben aangepast aan de verhoogde blootstelling aan wind.

Individuele overhellende en minder vitale bomen gelden gezien het risico van boomval als een bedreiging voor de kleinere zichtbare en ondiep gelegen archeologische resten.¹¹¹ Of windworp tot schade aan een archeologisch rijksmonument leidt is afhankelijk van de aard van het rijksmonument en de omvang en de ernst van de verstoringen (afb. 4.7). In veel individuele gevallen zal de schade beperkt zijn. Er zijn echter ook indirecte effecten. De opengevallen plekken of de zone waar de bomen zijn omgewaaid zorgen niet alleen voor meer licht maar ook voor een verandering in de

bodemvochtigheid, waardoor struikgewas en grondvegetatie toenemen en ook de bioturbatie toeneemt.¹¹² De struikvegetatie en de open plekken trekken herbivoren en gravende dieren aan zoals konijnen en zwijnen waardoor nieuwe bodemverstoringen kunnen ontstaan.¹¹³

4.2.6 Mosgroei en groei van algen

Een vrij specifieke vorm van aantasting is het effect dat mosgroei en de groei van algen heeft op archeologische materialen aan de oppervlakte, zoals natuursteen of muurwerk (afb. 4.8).¹¹⁴ Een van de effecten is dat het begroeide oppervlak langer vochtig blijft wat tot afschilfering en fragmentatie door vorstinwerking en zwel- en krimpkrachten kan leiden. Korstmossen scheiden ook zuren af waardoor een dun laagje steen aangetast raakt. Als een aantasting

¹¹⁰ Kooi 1974; Wagner 1992.

¹¹¹ Boosten & Penninkhof 2019; Datema 2015.

¹¹² Langohr 1993.

¹¹³ Zoals soms het geval is rondom van bomen vrijgestelde grafheuvels: Fred Brounen (RCE), mond. meded.

¹¹⁴ Altieri & Ricci 1997; Warscheid & Braams 2000; Nuhoglu *et al.* 2006. Zie ook Colpa & Van Zanden 2006 over de mossen op de hunebedden.



Afb. 4.8 Een bemoste stoepsteen als grafteken op het Stryper kerkhof te Midsland (rijksmonument 46.015, foto: Jos Stöver / erfgoedfoto.nl).

eenmaal is ontstaan zal deze gewoonlijk niet meer verder gaan omdat de aanwezige (korst) mosbedekking de onderlaag beschermt. De aantasting door mos- en algengroei is daarom zeer gering en de kans op schade aan rijksmonumenten nihil.¹¹⁵ De waarde van de vaak zeldzame mossen- en korstmossenflora en andere muurvegetatie zoals schubvaren en zwartsteel is echter groot.¹¹⁶

4.3 Processen in de bodem

Belangrijke van nature aanwezige processen die inwerken op archeologische resten in de bovenste decimeters van de bodem zijn fysische verwerking (vorst-dooi cycli, het zwellen en krimpen van materialen door vernatting en verdroging), vertering door aeroob bodemleven en bioturbatie (door dieren en planten). De effecten van deze processen zijn vertering, mineralisatie, fragmentatie/vergruizing en verplaatsing/transport van vondsten en bodem-materiaal. De schaal waarop dit plaatsvindt is uitermate groot en kan in een versnelling raken wanneer archeologische resten door (agrarische) grondbewerking, verdroging, vegetatieschade of door erosie in grotere mate bloot worden gesteld aan de inwerking van de atmosfeer in de

bodem.¹¹⁷ Alhoewel ook bioturbatie in de bodem plaatsvindt wordt deze categorie in een aparte paragraaf 4.4 beschreven.

4.3.1 Fysische verwerking

Brek en verregaande fragmentatie vormen de grootste en direct zichtbare bedreiging van aardewerk, steen, glas en bot.¹¹⁸ Dit mechanisch verval is voor archeologen een zeer bekend fenomeen; er wordt zelden een compleet voorwerp aangetroffen, meestal vinden we fragmenten of slechts kruimels.

Brek en fragmentatie in de bovenste bodemlagen wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door de inwerking van de atmosfeer op de bodem (bodemkundigen spreken over fysische verwerking). Met name vorst-dooicycli en het zwellen en krimpen van bodemaggregaten en poreuze materiaalsoorten spelen hierin een rol.¹¹⁹ Zo zal met water doordrenkt aardewerk in de winter na herhaaldelijk vriezen en dooien in stukken breken en vergruizen.¹²⁰ Verder zijn veel materialen zoals aardewerk en natuursteen hygroscopisch, dat wil zeggen dat ze vocht naar zich toe trekken om in evenwicht te blijven met de luchtvochtigheid van de omgeving. Dit maakt ook deze materialen gevoelig voor vorstschade.

¹¹⁵ Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten 2008, 5.

¹¹⁶ Colpa & Van Zanden 2006.

¹¹⁷ Greathouse *et al.* 1954.

¹¹⁸ Volgens respectievelijk Kars & Smit 2003 en Huisman 2009. Zie ook Hunt 2017.

¹¹⁹ Breeuwsma & Drijver-de Haas, hfst. 6 in: Locher & De Bakker 1990.

¹²⁰ Swain 1988. Boeren op de klei kennen dit proces maar al te goed; kleigronde worden in het najaar geploegd juist om de vorst in te laten werken op de kluiten.



Afb. 4.9 Krimpscheuren in humeuze siltarme klei (foto auteur, Berkel te Lochem).

Vorstinwerking is echter ook bekend van dicht materiaal zoals natuursteen, waaronder vuursteen. Het proces treedt vooral op in de bovenste decimeters van de bodem en bij een regelmatige afwisseling van perioden met (streng) vorst en dooi. Verder zijn artefacten in bodems die vocht goed vasthouden (zoals kleien lössbodems, bij elkaar bijna 25% van de voorkomende bodems) kwetsbaarder voor vorstschade dan artefacten in drogere zandbodems.

Siltarme kleigronden en (silrijke) lössbodems krimpen bij indrogen waardoor het poriënvolumen afneemt en de dichtheid toeneemt. Onder droge omstandigheden kunnen kleigronden daardoor zeer hard worden en scheuren (afb. 4.9). Onder natte omstandigheden zwellen de scheuren weer (grotendeels) dicht.¹²¹ Als gevolg van verdroging en vernatting kunnen hierdoor zwel- en krimpkrachten in poreus of hygroscopisch materiaal ontstaan wat tot afschilfering, breuk of het helemaal vergruizen van artefacten kan leiden.

Fragmentatie op zich is niet heel schadelijk voor vindplaatsen zolang de herkenbaarheid van het materiaal op peil blijft. Vooral verkrumming van artefacten tast de informatiewaarde aan. Alleen wanneer verplaatsing van bodemmateriaal tot gevolg heeft dat gefragmenteerde artefacten steeds verder verspreid raken is er sprake van kwaliteitsverlies op het rijksmonument.¹²²

4.3.2 Mineralisatie en humusvorming door bodemleven

Bodemfauna en -(micro)flora zijn nauw betrokken bij de processen door organisch materiaal wordt omgezet in humus en anorganische mineralen. Dit afbraakmechanisme is het resultaat van drie verschillende processen:¹²³

1. bodemdieren, voornamelijk insecten en wormen, staan aan het begin van de keten (zie ook paragraaf 4.4). Plantenresten worden door deze dieren in stukken geknipt en gegeten als brandstof voor hun eigen metabolisme en ze zetten dit om in (vooral) CO₂ en groei. Deze bodemdieren zorgen ook voor vermenging van afgebroken organisch materiaal in de bodem (de zogenaamde bioturbatie: paragraaf 4.4). Uitwerpselen van de ene groep dieren kunnen daarna - al dan niet in combinatie met minerale bodemdelen - voedsel vormen voor nog kleinere bodemdieren of vormen een voedingsbodem voor microbiële kolonisatie door schimmels en aerobe bacteriën;
2. chemische verandering van onverkoold organisch materiaal is voornamelijk een gevolg van de activiteit van wormen, bacteriën en schimmels;
3. chemisch veranderde en daardoor in water oplosbare materialen reageren met de minerale bodemdeeltjes, of spoelen uit naar diepere bodemlagen of naar het grondwater.

Bij dit proces, mineralisatie genoemd, wordt het organische materiaal dus zodanig afgebroken en verteert dat het in steeds kleinere delen uiteenvalt.¹²⁴ Daarbij worden ecologische resten zoals macrobotanische resten en pollen afgebroken maar ook andere plantaardige vezels en dierlijke resten.¹²⁵ Meestal gebeurt dat in zuurstofrijke omstandigheden. Er bestaan echter ook bacteriën die in staat zijn onder anaerobe omstandigheden organische grondstoffen (zoals leer) om te zetten maar doorgaans verlopen deze processen traag.¹²⁶ Verder consumeren bacteriën en schimmels tijdens het verteringsproces zuurstof waardoor het zuurstof in vochtige en slecht waterdoorlatende bodems (veenbodems, kleibodems) maar ook in waterverzadigde

¹²¹ Locher & De Bakker 1990; Schiffer 1996, 141 e.v.

¹²² Trow & Holyoak 2008; Trow 2010; Behm *et al.* 2011; Dain-Owens *et al.* 2013.

¹²³ Chapin *et al.* 2002, 151 e.v.

¹²⁴ Locher & De Bakker 1990; Sunner 2000; Chapin, Matson & Mooney 2002; Hopkins 2004.

¹²⁵ Havinga 1984; Van Waijen 2001b; Huisman 2009.

¹²⁶ Hopkins 2004.

organische materialen (hout, bot) op kan raken en er reducerende condities ontstaan (paragraaf 5.4.7).¹²⁷

Het proces van humusvorming en mineralisatie door mesofauna, schimmels en bacteriën verloopt vrij snel.¹²⁸ Uit een langjarig monitoring-onderzoek naar de staat van archeologische terreinen in Limmen (Noord-Holland) is gebleken dat door een grondwaterstandverlaging vrijwel al het fossiele stuifmeel binnen zes jaar door bodemleven ernstig was aangetast.¹²⁹ Verder was er over dezelfde periode een toename van 30% aan graafgangen en holtes ontstaan, zichtbaar in bodemslijpplaatjes.¹³⁰ Al het archeologische waardevolle onverkoolde organisch materiaal, en daarmee een groot deel van de informatiebronnen van de archeologische vindplaatsen in dit gebied, konden binnen tien jaar als verloren worden beschouwd als gevolg van een dergelijke ingreep. Omdat organisch materiaal een belangrijke factor kan zijn voor het optreden van kleurverschillen tussen grondsporen en de omringende bodem, kan microbiële activiteit ook de zichtbaarheid van grondsporen snel doen verminderen.

4.4 Bioturbatie

4.4.1 Wat is bioturbatie?

De processen waarbij de bodem en archeologische resten door planten en door dieren wordt geroerd, doorboord en vermengd worden samengevat met de term bioturbatie.¹³¹ Bioturbatie treedt van nature op grote schaal en in vrijwel alle bodems op waar organische voedingsstoffen zitten, dus onder zowel akkerland en grasland als in natuurgebieden en in stadsbodems, en vormt daarmee een belangrijk achtergrondproces in de aantasting van archeologisch erfgoed.¹³²

Tabel 4.1 Nederlandse diersoorten in de bodem (bron: Berg 2016).

Diergroep	Aantal soorten in de bodem of gebonden aan de bodem
Wormen	31
Slakken	116
Amfibieën	0
Reptielen	8
Zoogdieren	31
Insecten	4.947
Spinachtigen	652
Duizendpootachtigen	113
Kreeftachtigen	44
Zespotigen	343
Totaal	6.304

Bioturbatie is vooral het gevolg van de leefwijze van grotere en kleinere ongewervelde dieren zoals wormen, maar ook insecten en geleedpotigen spelen een belangrijke rol (tabel 4.1, paragraaf 4.4.3). De bodem kan namelijk enorme aantallen vooral kleinere insecten bevatten waaronder springstaartjes, mijten, kevers, mieren, enz.¹³³ Het dieptebereik tot waarop deze dieren de bodem omwoelen is meestal gebonden aan de aanwezigheid van zuurstof en vers organisch materiaal. Het archeologisch bodemarchief wordt verder ook aangetast door gewervelde dieren die (deels) ondergronds leven, tunnels graven of de bodem omwoelen (paragraaf 4.4.5). Holen (dassen, vossen) en tunnels (mollen, konijnen, muizen, ratten, dassen vossen) vormen in de bodem 'natuurlijke' grondsporen op zich.¹³⁴ Alleen de graafgangen die door de grotere diertjes worden gemaakt zijn in het bodemprofiel macroscopisch nog goed te herkennen (afb. 4.10).¹³⁵

Ook planten zorgen voor aantasting van archeologische resten (paragraaf 4.4.4).¹³⁶ Op de eerste plaats groeien hun wortels door de bodemlagen waarbij ze bodemdeeltjes opzij duwen en archeologische lagen en sporen doorboren of vervagen. Door wortelopdruk worden niet alleen objecten en soms ook constructies stuk gedrukt of opgetild, maar treedt er ook vervorming of zelfs menging van de archeologische cultuurlagen op.¹³⁷ Verder zijn plantenwortels van

¹²⁷ Huisman 2009, 168.

¹²⁸ Chapin, Matson & Mooney 2002; Molenaar, Exaltus & Van Waijjen 2003. ¹²⁹ Van Waijjen 2001b, 28.

¹³⁰ Molenaar, Exaltus & Van Waijjen 2003; French 2003.

¹³¹ Wood & Johnson 1978; Schiffer 1996, 207.

¹³² Chapin, Matson & Mooney 2002; Wilkinson *et al.* 2009.

¹³³ Bijna 22% van het aantal Nederlandse diersoorten leeft op en in de bodem (Berg 2016, zie ook Weeda, Ozinga & Jagers op Akkerhuis 2006).

¹³⁴ Dunwell & Trout 1999; Rimmington 2004, 60.

¹³⁵ Brussaard & Runia 1984.

¹³⁶ Wood & Johnson 1978; Schiffer 1996.

¹³⁷ Johnson 1998; Cox *et al.* 2001; Crow & Moffat 2004, 2005.

invloed op het bodemvochtgehalte van de bodem en op bodemvormende processen (uitspoeling, oxidatie en reductie). Zie paragraaf 4.4.4.

4.4.2 Schade door bioturbatie

Bioturbatie van archeologische resten door dieren en door planten is een langzaam voortschrijdend proces. Verreweg de meeste aantasting heeft al plaatsgevonden lang voordat het terrein werd ontdekt en als rijksmonument aangewezen. Menig archeologisch vlak in Nederland wordt gesierd door de getuigenissen van eeuwenlange wortelwerking en het graven van gangenstelsels, maar desondanks is nog altijd sprake van een zekere mate van 'leesbaarheid' van sporen en artefactenspreidingen. De schade die planten en dieren veroorzaken aan archeologische resten lijkt dus beperkt en is meestal onzichtbaar. Wel is het zo dat de bodem volledig gehomogeniseerd kan raken tot de diepte waarop zuurstof en voedsel te vinden is, en waarbij grondsporen met de omringende bodem zodanig worden gemengd dat ze niet meer zichtbaar zijn.¹³⁸ Een goed voorbeeld van diep omgewerkte en gehomogeniseerde bodems waar een groot deel van het sporen-niveau en de gelaagtheid is uitgewist zijn de moderpodzolen op de stuwwallen in Nederland.

Bioturbatie beperkt zich niet tot de (bovenste) gehomogeniseerde bodem. Wortelstelsels en graafgangen kunnen in uitzonderlijke gevallen enkele meters diep in de bodem reiken. Bioturbatie kan vooral schadelijk zijn voor archeologische vindplaatsen wanneer deze versneld plaatsvindt. Voorbeelden zijn de afbraak van archeologische niveaus met niet-verkoelde organische resten door het ontstaan van aerobe bodemomstandigheden, het ontstaan van uitgebreide gangenstelsels ter hoogte van kleinere rijksmonumenten zoals grafheuvels en hunebedden, ondergraving van steilkanten of hellingen door gravende dieren, omwroeten van de hellingprofielen van zichtbare archeologische landschapselementen, enz.¹³⁹

4.4.3 Mesofauna

Regenwormen zijn – na schimmels en bacteriën – qua schaal en intensiteit waarschijnlijk het belangrijkste organisme bij het verplaatsen, vermengen en verteren van bodemdeeltjes en het aantasten van archeologische resten.¹⁴⁰ Het aantal wormen in de bodem hangt voornamelijk af van de bodemgesteldheid waarbij de grootste concentraties worden aangetroffen in bodems met zwak basische of neutrale zuurtegraad.¹⁴¹ Wormen zijn nauwelijks tot niet aanwezig in zure bodems (zoals veengronden). Een tweede belangrijke factor is de vochtigheid van de bodem. Waterverzadiging en vooral het gebrek aan zuurstof zijn dodelijk voor regenwormen.¹⁴² Bij normale omstandigheden worden de hoogste wormconcentraties aangetroffen op 15 tot 30 cm diepte, dat wil zeggen in de bovenste aerobe en niet verdichte bodemzone waarin (organische) voedingsstoffen zitten.¹⁴³ Van diepgravers (anectische soorten) kunnen in ongeploegde terreinen, afhankelijk van de bodemgesteldheid en mate van verdichting, 150 gangen per vierkante meter en tot één meter diepte of meer worden gevonden.¹⁴⁴

De meeste wormensoorten leven zeer ondiep in de bovenste (vaak al verstoorde) bodemlagen. De dominante soortengroep van de bodemwoelers (ondiepe gravers, afb. 4.11) vormen tijdelijke en meestal horizontaal georiënteerde gangenstelsels op geringe diepte (0-30 cm).¹⁴⁵ De gangen van de soorten die tot de diepgravers worden gerekend (anectische soorten) kunnen tot 120 cm onder maaiveld worden aangetroffen maar die zijn zeldzaam (tabel 4.2). Deze wormtunnels vormen een ideale doorgang voor plantenwortels.¹⁴⁶

De activiteit van wormen en lijkt weinig schadelijk voor de archeologie (afb. 4.11). Het belangrijkste versturende effect van wormen is het graven van gangen die doorgaans 1 tot 10 mm in diameter zijn. Hierdoor kunnen artefacten en ecologische resten verplaatst raken en grotere objecten ondergraven. Charles Darwin schreef bijvoorbeeld al in 1881 een publicatie over regenwormen waarin hij beschrijft hoe een kei op zijn gazon door regenwormen geleidelijk onder het oppervlak wordt gewerkt.¹⁴⁷ Hij deed

¹³⁸ Schuylenborgh, Slager & Jongmans 1970.

¹³⁹ Zie bijvoorbeeld Boosten & Penninkhof 2019, 76.

¹⁴⁰ Wood & Johnson 1978; Stein 1983; Lee 1985; Armour-Chelu & Andrews 1994; Gobat *et al.* 1998; Canti 2003; Valckx *et al.* 2009; Blouin *et al.* 2013; Pfiffner 2017.

¹⁴¹ *Ibid.*; zie ook Lee 1985.

¹⁴² Babel 2003; Lee 1985.

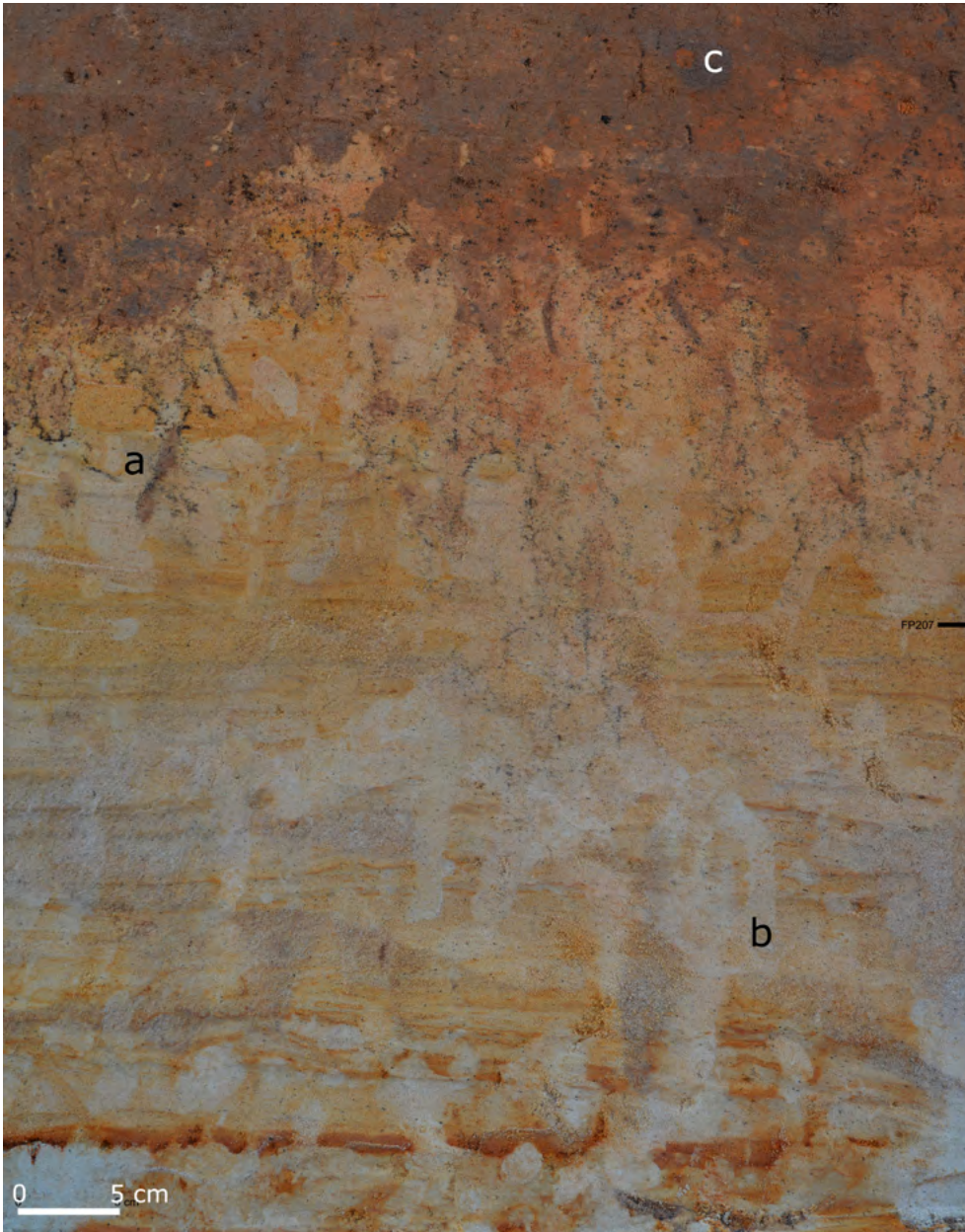
¹⁴³ Atkinson 1957; Lee 1985; Valckx *et al.* 2009, 11 en 23; Pfiffner 2017.

¹⁴⁴ Pfiffner 2017.

¹⁴⁵ Valckx *et al.* 2009, 23.

¹⁴⁶ Barton 1992; Pfiffner 2017.

¹⁴⁷ Darwin 1881: The formation of vegetable moulds, through the action of worms, with observations on their habits, London, John Murray.



Afb. 4.10 Bioturbatiesporen door wortelwerking (a), graafactiviteiten van kevers (b) en een klein zoogdier (c) in een minerale eerddlaag (op een dekzandprofiel) te Borne-Oude Aalderinkskamp (foto auteur).

ook onderzoek naar de activiteiten van regenwormen bij Stonehenge. Een belangrijk ander effect van wormactiviteit is dat wormen voor bodemomstandigheden zorgen waarin het voor schimmels makkelijker is om zich tot op grotere diepte te handhaven. Hierdoor kan kwetsbaar organisch materiaal makkelijker worden gemineraliseerd.¹⁴⁸ Op de laatneolithische vindplaats Simonshaven-Polder (Voorne-Putten) waren de

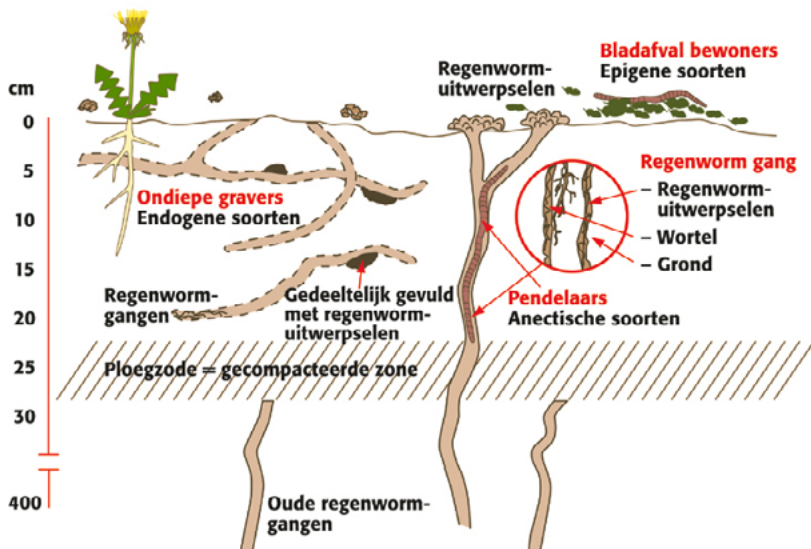
archeologische resten bijvoorbeeld met name verstoord door toegenomen wormactiviteit die het gevolg was van verdroging in de zomer.¹⁴⁹

Ook *insecten* en (vooral) larven van insecten leven in bodemlagen waar voedsel te vinden is. Veel vliegen en kevers behoren tot deze groep van tijdelijke bodembewoners. Mestkevers komen voor in zandige en lemige zandbodems en graven gangen met doorsneden tot 14 mm.¹⁵⁰ De aangetroffen gangen zijn tot 20 cm lang en

¹⁴⁸ Havinga 1984; Canti 2003.

¹⁴⁹ Van Heeringen & Theunissen 2002.

¹⁵⁰ Brussaard & Runia 1984; Brussaard 1985.



Afb. 4.11 De drie belangrijkste regenwormsoorten kennen elk een eigen leefomgeving en voedingspatroon (beeld: Pfinner 2017/Bioforum Vlaanderen vzw).

kunnen tot wel 2 meter diepte aangetroffen worden of in ieder geval tot het niveau van de waterverzadigde zone.¹⁵¹ Mieren komen vooral veel voor in niet te intensief begraaide weiden en in bossen.¹⁵² Hoewel mieren vrij klein zijn kunnen ze toch voor vrij grote verstoringen en

soms ook schade zorgen. De onregelmatige gangenstelsels storten gemakkelijk in wat naast doorboring van de bodemlagen ook tot verzakking kan leiden.¹⁵³ In welke mate insecten een bedreiging vormen voor de informatiewaarde van archeologische rijksmonumenten is niet bekend. Het effect lijkt minimaal. Vooral mierenkolonies worden als 'problematisch' ervaren, met name waar de instortende galerijen tot verzakking van oppervlakteverhardingen en objecten leiden.

4.4.4 Wortelgroei en wortelwerking

Bomen en struiken zorgen met hun wortels voor verstoring van archeologische resten doordat materiaal wordt weggedrukt, verpulverd of doorboord.¹⁵⁴ Ook kan er vervorming of zelfs menging van de archeologische cultuurlagen optreden.¹⁵⁵ De worteldiepte (wortelpenetratiediepte) van planten wordt bepaald door de structuur van de boven- en ondergrond en de lucht- en waterhuishouding, ondoorlatende of oververdichte lagen in het bodemprofiel,

Table 4.2 Bioturbatie door dieren (naar: Louwagie, Noens & Devos 2005).

Type dier	Favoriet leefgebied	Bodembereik	Dieptebereik	Doorboring	Lengte
			cm	cm	m
Koeien en varkens	grasland	-	-	-	-
Konijnen	grasland en bosranden	goed gedraineerde, vooral zandige bodems	75-450	10-15	5-250
Dassen	grasland en open bos	goed gedraineerde zandige tot lemige bodems	100-400	25-60	20-100
Vossen	bos/weide/park/duin/heide	goed gedraineerde, vooral zandige bodems	-	-	-
Hamster	akkers en halfopen landschappen	goed gedraineerde leembodems	30-200	7	-
Ratten	konijnenholen, mesthoven, hagen, opslagplaatsen	-	tot 50	6-9	-
Veldmuizen	grasland	nattere bodems	tot 70	tot 16	-
Mollen	vooral grasland, open bos	zandige bodems	25-275	6	-
Regenwormen	weiland	niet te droge neutrale tot licht basische bodems	tot 120	0,1-1	-
Mestkevers	-	zandige en zandlemige bodems	tot 200	1,4	0,2
Mieren	weiden en bossen	-	20-30 tot > 100	-	-

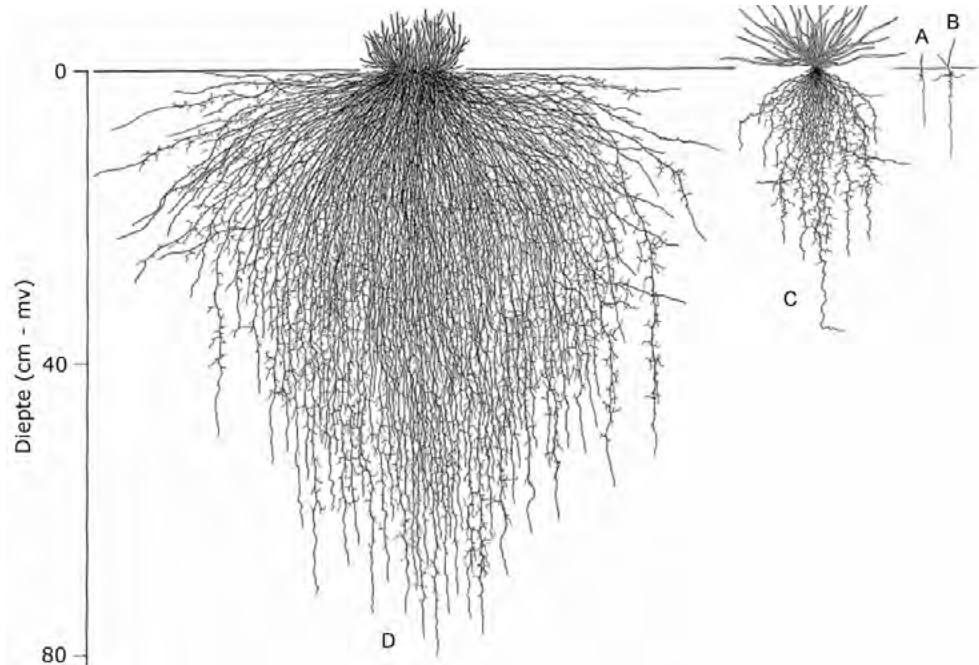
¹⁵¹ Ibid.; Brussaard & Slager 1986.

¹⁵² Langohr & Crombé 1999.

¹⁵³ Wood & Johnson 1978; Langohr & Crombé 1999; Babel 2003. Naast kevers en mieren graven ook andere insecten en larven gangenstelsels in de bodem, zoals wolfspinnen, veenmollen en tijgerkevers. Ook wespen, bijen en hommels graven tunnels (Brussaard & Runia 1984).

¹⁵⁴ Wood & Johnson 1978; Schiffer 1996.

¹⁵⁵ Johnson 1998; Cox et al. 2001; Crow & Moffat 2004, 2005.



Afb. 4.12 Wortelstelsel van Engels raaigras in verschillende groeistadia. A: 2 weken na inzaaien; B: 4 weken na inzaaien; C: 10 weken na inzaaien; D: 14 maanden na inzaaien (bron: Kutschera & Lichtenegger 1982).

temperatuur, humusgehalte, zuurgraad en vruchtbaarheid van de bodem en de competitie met andere planten.¹⁵⁶

Bomen wortelen over het algemeen dieper dan struiken.¹⁵⁷ Alle boomwortels hebben echter zuurstof nodig om te ademen, maar sommige soorten hebben strategieën ontwikkeld om te overleven bij verminderde zuurstofgehalten. Bodems met permanent hoge grondwaterstanden zorgen er meestal voor dat bomen zeer ondiepe, wijdverspreide wortelstelsels ontwikkelen. Als er genoeg regenwater in de bovengrond blijft hangen, wortelen bomen ook oppervlakkiger. Ook bij diepere grondwaterstanden kunnen wortels er goed gebruik van maken, op voorwaarde dat de bodemgesteldheid op die diepte geschikt is voor wortelpenetratie en zuurstofvoorziening. Als het grondwater binnen twee meter van de oppervlakte (het maaiveld) zit, groeien de wortels er bijvoorbeeld naartoe. Dieper gaan ze meestal niet omdat het daar te koud is en er te weinig zuurstof zit. Wanneer alle voorwaarden gunstig zijn kunnen wortels tot grote diepte groeien. De boomsoort zelf is dus niet bepalend voor hoe diep wortels groeien.¹⁵⁸

De diepte van de wortelstelsels van veel landbouwgewassen varieert op de eerste plaats met de groeiduur en de bodemgesteldheid maar bedraagt bij eenjarige vlinderbloemige gewassen (erwt, boon, wikke) 55 cm tot meer dan 85 cm en bij eenjarige niet-vlinderbloemige gewassen (haver, mais, aardappel) 55 cm of meer waarbij vooral haver en mais worteldiepten van meer dan 85 cm kunnen bereiken.¹⁵⁹ Ook overjarige soorten zoals raaigras en klaver wortelen vele decimeters diep (afb. 4.12) en het beeld van oppervlakkige beworteling door grassen moet genuanceerd.¹⁶⁰ Bij de meeste raai-grassoorten bevindt 99% van de totale wortel-massa zich echter in de bovenste 35-40 cm.

De wortelstelsels van veel planten bepalen in hoge mate de zone waarin het meeste bodemleven zit en waar dus bioturbatie optreedt. Verder groeien plantwortels soms bij voorkeur door grondsporen. Het iets hogere organisch gehalte van de sporen bevat namelijk meer voedingsstoffen en de lossere structuur tussen de bodemdeeltjes biedt minder weerstand. Als gevolg van de vochtopname kan een sterke verdroging van de grond optreden, waardoor materiaal verloren gaat en/of archeologische sporen vervagen en onleesbaar worden. In opgravingsprofielen is vaak goed de invloed van

¹⁵⁶ Stone & Kalisz 1991; Canadell *et al.* 1996; Crow 2005.

¹⁵⁷ Ruark, Mader & Tatter 1982.

¹⁵⁸ Onder ideale bodem- en vochtomstandigheden kunnen wortels tot meer dan 10 meter diep groeien.

¹⁵⁹ Ten Cate *et al.* 1995; Van Lieshout 1956, 10 e.v., fig. 16. Zie ook Kutschera, Lichtenegger & Sobotik 2009. De maximale worteldiepte voor mais zal in Nederland waarschijnlijk zo'n 100 tot 150 cm zijn maar de werkelijke worteldiepte kan veel kleiner zijn als gevolg van beperkingen in de bewortelbare diepte.

¹⁶⁰ Van Lieshout 1956; Deru, Van Eekeren & de Boer 2010.



Afb. 4.13 Hunebed Do3 bij Midlaren wordt omgeven door eikenbomen (rijksmonument 532.467).

wortelsystemen te zien op lokale processen van oxidatie en reductie (ijzer en roestvlekken, verbleking) rondom de wortelzones en de verstoring van de (micro)gelaagdheid (afb. 4.10).¹⁶¹ De verdamping van bomen is daarbij ongeveer het dubbele van gras, waardoor de bodem bij bomen tot op worteldiepte (wat afhankelijk is van de bodemgesteldheid) sterk uitdroogt. Hierdoor kunnen bij aanhoudende droogte diepe en brede scheuren in steilranden ontstaan. Dit probleem treedt bijvoorbeeld op bij veen- en kleidijken.

Als het grondwater boven het archeologisch niveau staat hebben boomwortels daar doorgaans weinig invloed op: boomwortels kunnen er niet tegen om permanent onder water te staan en groeien daarom in principe niet voorbij het grondwaterpeil, uitgezonderd waterminnende soorten zoals wilg, els en moerascipres. Riet daarentegen kan juist onder water alles met zijn wortels perforeren.¹⁶² Het is een erg agressief gewas dat de neiging heeft om andere planten te overwoekeren.¹⁶³ Het kan in diverse vormen

groeien op plekken die merendeels van het jaar droog zijn, op plekken die nu en dan onder water staan en op plaatsen waar riet een groot deel van het jaar in het water staat. Dat geeft verschillende vormen van wortelgroei. Op droge bodems gaat riet met een diep wortelstelsel op zoek naar grondwater. Onder natte omstandigheden vormen de wortels een dichte mat met dikke wortelstengels. Bij de UNESCO werelderfgoedplaats Schokland bleken de rietwortels in natte bodems veel dichter en grover van structuur dan in de aangrenzende drogere bodems.¹⁶⁴ En vooral voor riet geldt: hoe dieper de doorworteling, hoe dieper er zuurstof in de bodem wordt gebracht.

Ook een soort als de *adelaarsvaren* vermeerderd zich door middel van een dikke, zwarte en kruipende wortelstok. Het wortelstelsel van deze plant vertakt zich onder de grond over het algemeen gemakkelijk, zodat een heel netwerk van over elkaar heen groeiende rhizomen kan

¹⁶¹ Limbrey 1975; Wood & Johnson 1978.

¹⁶² Canadell *et al.* 1996; Tjellden *et al.* 2016.

¹⁶³ Tjellden *et al.* 2016.

¹⁶⁴ Hans Huisman (RCE), mond. meded.

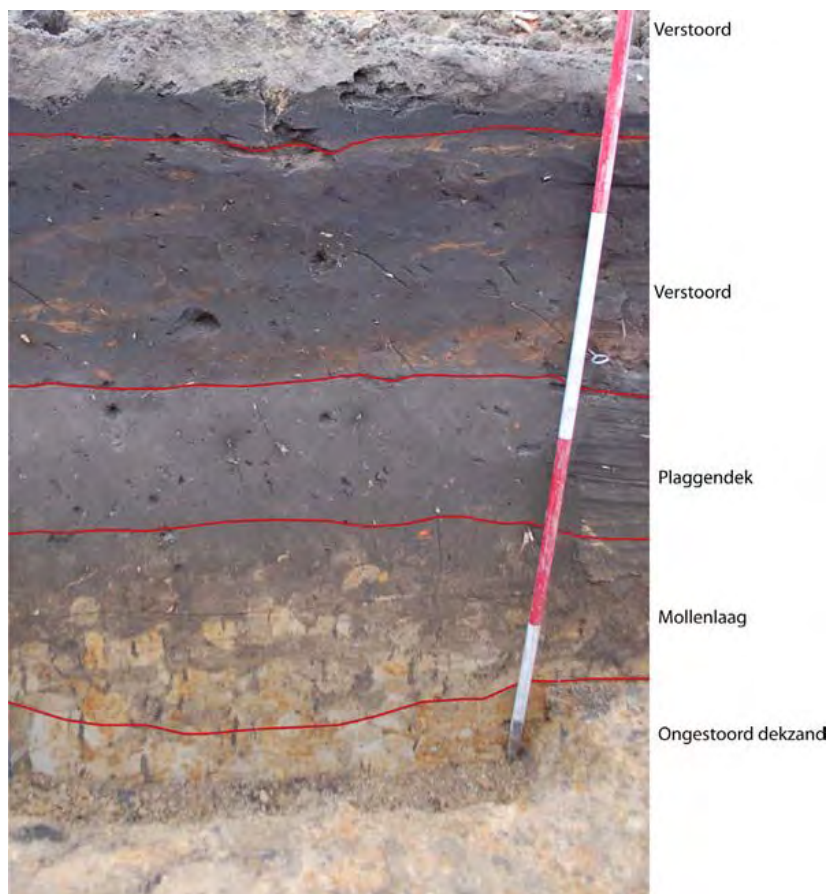
ontstaan: een soort matvorming. De worteldiepte is in algemene zin echter klein: circa 20 cm.¹⁶⁵

De mate waarin wortelwerking schade kan toebrengen aan archeologische resten is lang niet altijd duidelijk en meestal onzichtbaar. Doorworteling van de bodem en meer specifiek het doorboren van grondsporen en vondstlagen (en soms vondstmateriaal) verstoort in theorie de samenhang tussen deze archeologische resten waardoor de fysieke kwaliteit daarvan afneemt.¹⁶⁶ Menig archeologisch vlak in Nederland wordt echter gesierd door de getuigenissen van eeuwenlange wortelwerking, maar desondanks is nog altijd sprake van een zekere mate van 'leesbaarheid' van sporen en artefactenspreidingen. De schade die planten veroorzaken aan archeologische resten lijkt dus beperkt. Schade is meestal het gevolg van het uittrekken van wortelstelsels. Ook wortels van landbouwgewassen reiken gemiddeld dieper dan de bouwvoor. Toch leidt ook dit niet tot verlies aan archeologische informatiewaarde door wortelwerking. Verder geldt uiteraard dat wanneer de archeologische resten dieper liggen ze minder kwetsbaar zijn dan wanneer ze dicht aan het oppervlak voorkomen.

Wortelwerking kan in specifieke gevallen schade aan de archeologische rijksmonumenten tot gevolg hebben wanneer de aantasting versneld plaatsvindt. Voorbeelden van versnelde aantasting door wortelwerking zijn invasieve diep wortelende soorten op een rijksmonument, windworp, wortelopdruk van constructies en lagen, enz.

4.4.5 Zoogdieren die bioturbatie veroorzaken

Alhoewel je kunt bediscussiëren of gravende zoogdieren nog tot de categorie bioturbatie gerekend moeten worden (een definitiekwestie) leiden hun woel- en graafactiviteiten weldegelijk tot vermenging en doorboring van bodems. De verstoring door het graafwerk van *mollen* is bijvoorbeeld goed bekend onder veldarcheologen. Deze spreken vaak van een verstoorde 'mollenlaag' die eerst verwijderd dient te worden alvorens een leesbaar archeologisch vlak



Afb. 4.14 Profielopname ter hoogte van de Ceintuurbaan te Deventer. Onder een deels verstoord plaggendek tekent zich een duidelijke mollenlaag af in de top van het onderliggende dekzand (foto: Archeologie Deventer).

aangelegd kan worden (afb. 4.14). Deze diertjes leven in complexe tunnelsystemen die vaak meer dan 100 meter lang zijn, en met een honderdtal molshopen aan het oppervlak.¹⁶⁷ De tunnels hebben een diameter van ongeveer 6 centimeter en de diepte van het gangencomplex varieert van 25 centimeter ('bouwvoordiepte') tot soms wel 1,5 meter, of in ieder geval tot de diepte waar ze hun favoriete voedsel vinden: de regenwormen.¹⁶⁸

Muizen komen voor in open gebieden, bosgebieden en in de gebouwde omgeving. De meeste muizensoorten lijken voor de archeologie niet schadelijk. Veldmuizen en veldspitsmuizen leven bijvoorbeeld in ondiep gelegen burchten en graven gangenstelsels in de bovenste (vaak al verstoorde) bodemlagen. De minimale diepte van de gangenstelsels van de veldmuis is

¹⁶⁵ FLORON verspreidingsatlas vaatplanten (geraadpleegd januari 2020).

¹⁶⁶ English Heritage 2004; Datema 2015.

¹⁶⁷ Wood & Johnson 1978; Dunwell & Trout 1999.

¹⁶⁸ www.zoogdierveniging.nl. Sommige diepe gangen worden door de mollen gegraven om aan een dreiging te ontsnappen.



Afb 4.15 Met bodemmateriaal opgevuld tunnelsysteem van een dassenfamilie (foto: RAAP).

gemiddeld 5 cm en de maximale diepte 30 cm, met nesten op gemiddeld 22 cm diepte.¹⁶⁹ De gangenstelsels van bosmuizen zijn iets dieper gelegen tot gemiddeld maximaal 50 cm diep. Sommige bosmuisgangen zijn wel zes meter lang. In uitzonderlijke gevallen kunnen concentraties van 15 tot 20 muizengangen per m² voorkomen.

Ratten hebben een voorkeur voor een vochtige en niet te warme omgeving. In ons land komt de bruine rat en de muskusrat voor in rietvelden en langs watergangen. *Bruine ratten* maken hun holenstelsels in oude konijnenholen, in oevers, tussen stenen en aan de voet van bomen. Hoewel bruine ratten als zwakke gravers bekend zijn kunnen ze tunnels tot 50 centimeter diep graven met gangdoorsneden tot 9 cm.¹⁷⁰ Vooral de *muskusrat* wordt beschouwd als een schadelijk dier. Hij graaft gangen in de oevers van stilstaand en stromend water met sterke begroeiing van water- en oeverplanten maar ook in dijken. Dit laatste wordt gezien als gevaarlijk omdat ze kunnen leiden tot dijkdoorbraken en (spoor) wegverzakkingen, maar ook het wegzakken van landbouwmachines langs slootkanten. Ook het

als archeologisch rijksmonument beschermde westelijke deel van de stadswelden rond de oude stad Bunschoten (rijksmonument 45.276) heeft last van de graafactiviteiten van de muskusrat.

Konijnen komen vaak voor in kolonies en graven hun gangen bij voorkeur in zachtere en goed gedraineerde hellingen zoals grafheuvels en wallichamen. Afhankelijk van de bodem kan het gangenstelsel 5 tot 250 meter lang zijn, met een typische tunneldiameter van 10 tot 15 cm. De diepte van de gangen varieert van 75 cm (vorstvrij) tot bij uitzondering 4,5 meter (tabel 4.2).¹⁷¹ Door de gangstelsels kan de (archeologische) bodemlaag verzakken. Consolidatie van een grafheuvel (rijksmonument 45.947) was bijvoorbeeld nodig om verzakking als gevolg van ingraven door konijnen te voorkomen.¹⁷² De kaalslag in de vegetatie rondom de kolonies door vraat en de wroetsporen die konijnen achterlaten maken bodems verder vatbaar voor erosie.¹⁷³

¹⁶⁹ Www.zoogdiervereniging.nl; Wymenga et al. 2015.

¹⁷⁰ Dunwell & Trout 1999.

¹⁷¹ Dunwell & Trout 1999; Barton 1992.

¹⁷² Datema 2015.

¹⁷³ Dunwell & Trout 1999.

¹⁷⁴ Www.zoogdiervereniging.nl.

¹⁷⁵ Datema 2015.

¹⁷⁶ Dunwell & Trout 1999; Www.

zoogdiervereniging.nl.

¹⁷⁷ Ibid.

¹⁷⁸ English Heritage 2000; Datema 2015.

¹⁷⁹ Dunwell & Trout 1999.

Dassen leven in uitgebreide zelf gegraven holenstelsels, ook wel burchten genoemd.¹⁷⁴ Een burcht heeft meestal 3 tot 10 (soms wel 80) ingangen en bestaat uit holen die door lange gangen van soms enkele honderden meters lang met elkaar zijn verbonden (afb. 4.15). Verder hebben de dassen in hun voedselgebieden vluchtpijpen. Dit zijn eenvoudige holen in taluds, steilkanten (zoals in heuvel 7 in Oss-Paalgraven¹⁷⁵), greppels en dergelijke waarin ze zich bij gevaar kunnen verbergen. De gangen van dassen hebben een diameter van 25 tot soms wel 60 cm en het stelsel reikt tot diepten van 1 tot wel 4 meter.¹⁷⁶ In de loop van vele generaties wordt een burcht vaak uitgebreid tot een enorm ondergronds gangenstelsel en zo kan een burcht wel een hele hectare beslaan (afb. 4.15).¹⁷⁷ Bij het graven van hun burchten kunnen dassen dus heel wat verstoringen aanrichten aan archeologische resten in en op de bodem.¹⁷⁸ Dassen in Nederland zijn echter een beschermde diersoort en het is niet zondermeer toegestaan ze te verdrijven en naar elders te verplaatsen. Ook vossen graven holen die uit één of meer gangen bestaan met een diameter van 25 tot

30 cm. Vaak worden bestaande (konijnen-)holen uitgegraven.¹⁷⁹ Soms worden verlaten dassenburchten benut. Vossen kunnen dus vooral de verstoringen die reeds zijn aangericht door konijnen of dassen vergroten.

Net als de das is ook de *bever* een beschermde diersoort die niet verjaagd of gedood mag worden. Dit bijzondere zoogdier leeft solitair of in een kleine familie en in een territorium dat een gebied van slechts 100 meter in diameter tot wel drie kilometer langs waterlopen kan beslaan. Afhankelijk van de hoogte van de oever en het voorkomen van stilstaand of stromend water bouwt de bever zijn burcht in of op de oever of in het water en bouwt hij al dan niet dammen om (zelf) het waterpeil te reguleren. Bij rivieren met een hoge oever bouwt de bever lange gangen in de oever als burcht met een diameter van 35 cm. In het geval van (een zelfgemaakt) meer wordt een burcht gemaakt die als een eiland midden in het meer ligt. Bevers zijn thans aanwezig op een deel van het rijksbeschermde scheepswrak De Ravage (Almere) waar het dier echter geen schade veroorzaakt.

5 Risico op schade door menselijke ingrepen

5.1 Inleiding

Onderzoek in ons land en in de ons omringende landen Engeland, Duitsland en België laat zien dat met betrekking tot grondgebruik, grondbeheer en landinrichting het risico op onherstelbare aantasting van archeologische vindplaatsen het grootst is onder bosbouw en akkerland.¹⁸⁰ In Nederland speelt daarbovenop de drooglegging van grote gebieden voor de landbouw en de

grondwateronttrekking. Sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw is de grondwaterstand in grote delen van Nederland met gemiddeld 20 tot 40 cm gedaald. Dit heeft tot grootschalige verdroging van een deel van het archeologisch bodemarchief geleid.¹⁸¹ De meeste landbouwactiviteiten die schadelijk voor het archeologisch bodemarchief kunnen zijn, zijn geïntroduceerd met de intensivering en schaalvergroting van de agrarische sector. Die vond vanaf het begin van de 20ste eeuw, en vooral vanaf de jaren vijftig plaats.¹⁸² Voor de landbouwer kan een diepere

Tabel 5.1 Overzicht van ingrepen.

Ingrepen	Voorbeelden van concrete ingrepen
1. Bouwwerkzaamheden	
1.1 Bouwrijp maken bouwkaavel(s)	ophogen, ontgraven, verdichten, egaliseren (tijdelijke) waterpeilverlaging door (bron)bemaling
1.2 (Ver)bouw van bouwwerken	graven van bouwputten aanbrengen paalfundering fundering op staal (plaat- of strokenfundering) jetgrouten
2. Ondergrondse infrastructuur	sleuven voor kabels en leidingen aanleg/vervangen riolering ontgraven/plaatsen ondergrondse vuilcontainers
3. Bovengrondse infrastructuur	aanleg van straten/wegen, parkeerterreinen, pleinen aanleg van viaducten, taluds aanbrengen van windturbines aanleg zonnepark
4. Inrichtingswerkzaamheden en beheer in de gebouwde omgeving: openbare ruimte en particuliere terreinen/kavels	ontgraving t.b.v. verbouw, funderingsherstel, vloerverwarming aanleg/beheer groenvoorziening graven van sloten, vijvers, wadi's aanbrengen erfbepanting
5. Natuurbouw en natuurbeheer	rooien/vellen van bomen en struiken verwijderen van zode/verschralen verwijderen van houtopslag
6. Landbouw: veeteelt, weidebouw, akkerbouw, tuinbouw, bosbouw	bodembewerking cultivatie bemesting en gewasbescherming oogsten/rooien
7. Waterbeheer	peilverlagen oppervlaktewater (bemaling) uitbaggeren van watergangen graven, verbreden en uitdiepen van watergangen aanbrengen van beschoeiingen grondwaterwinning

¹⁸⁰ Voorbeelden uit Engeland: Hinchcliffe & Schadla-Hall 1980; Darvill & Fulton 1998; Oxford Archaeology 2002; Trow & Holyoak 2008; Trow 2010; English Heritage 2010; België: De Bie, Van Gils & De Wilde 2008; Nederland: Eerden & Van Heeringen 2000; Lascaris 2019; Duitsland: Behm 2000; Kretschmer & Mündel 2015.

¹⁸¹ Wijmer 1990; Van der Gaast & Massop 2005; Werkgroep NHV 2016.

¹⁸² Lascaris 2019.

bodembewerking een hele verbetering betekenen, maar diezelfde bodem is eveneens erg belangrijk in archeologisch en cultuurhistorisch opzicht. Ook op plaatsen waar commerciële bosbouw plaatsvindt (productiebossen) vinden de nodige ingrepen plaats, zoals het vellen van bomen, het uitslepen of uitrijden van hout en bodembewerking voor het planten van bomen en rasters.

Ook in de in toenemende mate verstedelijkende omgeving waarbinnen archeologische rijksmonumenten voorkomen is sprake van potentieel verstorende activiteiten. Deze zijn meestal het gevolg van bouwactiviteiten en de aanleg van bovengrondse en ondergrondse infrastructuur. Door wetgeving zijn de archeologische rijksmonumenten hier lang gevrijwaard gebleven van bebouwing. Daardoor zijn het in stedelijk gebied nu vaak de laatste nog 'vrije' stukjes als het om ruimtelijke ontwikkelingen gaat. De druk hierop is echter groot, niet alleen uit de hoek van

projectontwikkelaars en lokale overheden, maar ook door burgerinitiatieven zoals inrichtingsplannen voor speeltuinen, het zichtbaar maken van het verleden, enz.

Het is vanwege deze redenen dat er voor het uitvoeren van veel ingrepen op archeologische rijksmonumenten een monumentenvergunning vereist is (paragraaf 2.5). De vergunningplicht voorkomt dat ingrepen plaatsvinden die zeer schadelijk /bodemverstorend zijn, of die de belevingswaarde van zichtbare rijksmonumenten aantasten. Toch lost de vergunningplicht niet alle problemen op. Op de Zeeuwse vliedbergen veroorzaken grazende koeien looppaden in het talud, waarna erosieschade kan ontstaan.¹⁸³ In de Groninger Veenkoloniën en in Drenthe komt er steeds meer verstuing van de zandgronden voor, onder andere door het verbieden van het uitrijden van drijfmest op braakliggende akkers die daarvoor enige bescherming bood. Op de Zuidlimburgse heuvels spoelde bij iedere

Table 5.2 Werkingsdiepte en beweringsfrequenties voor verschillende hoofdgrondbewerkingen en grondverbeteringen.

Type	Werkingsdiepte cm - mv	Beweringsfrequentie
Directzaai	0	1 x per jaar
Minimale bodembewerking	5-7	1 x per jaar
Zaaibedbereiding	10-15	2 of 1 x per jaar
Spitten/woelen	25-35	3 of 2 x per jaar
Decompacteren	25-35	3, 2 of 1 x per jaar
Cultivator/tandeg	15-35	2 of 1 x per jaar
Grasland scheuren/ploegen	20-30	eens in de 3 tot 5 jaar
Ploegen	22-35	3 of 2 x per jaar
Ploegen met ondergronder en spitfrozen	35-40	1 x per jaar
Plantmachine kluit tot ø 80 cm	10-80	eens in de 3 tot 8 jaar
Rooien met kluitenbak ø 45-55-60-100 cm	30-50	een keer per 3 tot 8 jaar
Spitfrozen/diepploegen asperge/schorseneren	40-100	bij aanleg
Diepwoelen/diepploegen/ondergronder	35-150	incidenteel, incidenteel dieper
Maaiveldgreppels	30-70	incidenteel
Drainage sleuf/sleufloos om de 6-15 m	80-120	bij aanleg
Sloten smaller dan 1 m tot > 3 m	100-250	incidenteel
Egalisatie/kilveren	onbekend	incidenteel

¹⁸³ Van Heeringen 2007; Jaarverslag Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek 1986, 81 en 174; 1987, 62; 1988, 59.

(bronnen: Heunks 1995; Ten Broeke 2012; Reuler *et al.* 2014; Breimer & Seuer 2014; Massop & Schuiling 2017; landbouwmechanisatiebedrijven Goudland/Buts Meulepas B.V, Lemke GmbH).

regenbui een hoeveelheid vruchtbare lössgrond weg, doordat de beschermende heggen en graften waren verdwenen ten behoeve van de landbouw (paragraaf 4.2.1).¹⁸⁴ Een aantal andere voor het archeologisch bodemarchief nadelige ingrepen worden op grote schaal in het natuurbeheer toegepast, zoals ontgroningen in het kader van verschraling en vernatting van (nieuwe) natuurterreinen (paragraaf 5.5).¹⁸⁵

5.2 Landbouwactiviteiten

5.2.1 Inleiding

Schaalvergroting in de landbouw is een trend die op directe wijze het archeologisch erfgoed raakt. Het gaat hierbij om vergroting van akkers, de bouw en uitbreiding van veestallen (vaak met mestkelders) en loodsen en verandering van de waterhuishouding. Al deze veranderingen zijn gepaard gegaan met de inzet van steeds zwaardere landbouwmachines. Verder vinden op landbouwgrond bodemingrepen plaats die onderdeel zijn van de normale bedrijfsvoering maar die in sommige gevallen verstorend inwerken op het archeologische bodemarchief.¹⁸⁶ Incidenteel of eenmalig vinden er diepere grondbewerkingen op landbouwgrond plaats zoals het aanbrengen van drainage (paragraaf 5.2.6), of voor het wegnemen van storende lagen in de ondergrond (zie tabel 5.2).¹⁸⁷ Het is vaak ook een combinatie van ingrepen die verstorend werken. Fruitteelt, bijvoorbeeld, kan schadelijk zijn voor een archeologisch rijksmonument omdat niet alleen de plantgaten en wortels van de fruitbomen, maar ook de bijbehorende irrigatiesystemen en diepere steunconstructies de archeologie kunnen beschadigen.

5.2.2 Reguliere (hoofd)grondbewerking

Reguliere bewerkingen van de hoofdgrond (de teellaag/bouwvoor) zijn nodig voor het onderwerken van gewasresten (zoals stoppelresten) en onkruiden, het inwerken van dierlijke mest, het verbeteren van de waterberging en het los maken van de grond om wortelontwikkeling te optimaliseren. Ook het wegnemen/losmaken



Afb. 5.1 Ploegen van akkerland (foto: Lemken 2017).

van bodemverdichtingen in de bouwvoor die zijn ontstaan door berijding en grondkerende bewerkingen zoals ploegen zijn in de reguliere akkerbouw een hoofdgrondbewerking. Het standaard werktuig voor de hoofdgrondbewerking is nog altijd de (rister)ploeg maar ook frezen, woelen en kilveren komt voor.¹⁸⁸

Tot vlak na de Tweede Wereldoorlog werd er in de landbouw niet dieper geploegd dan 15-25 cm. In feite is de verploegde bovenste grondlaag dan ook door de eeuwen heen van een gelijkke dikte gebleven, en bracht een boer niet meer schade toe aan archeologische sporen dan zijn middel-eeuwse voorganger. Sindsdien gaan steeds meer boeren dieper ploegen, met als gevolg dat ook dieper begraven resten en lagen steeds verder aangetast raken. Een boer heeft daarbij nog een zekere mate van 'liefde' voor zijn land en de bodem waarvan hij leeft; de steeds vaker ingezette loonwerker met zijn vaak extreem

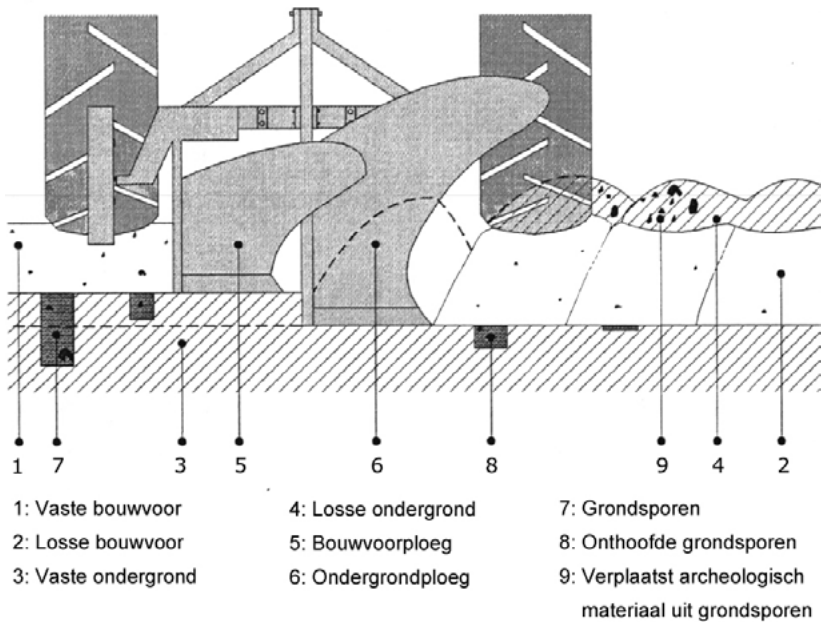
¹⁸⁴ De Groot 2006. In Zuid-Limburg bestaat sinds 1989 een Erosieverordening. Behalve retentiebekkens worden nu ook erosieremmende groenstroken teruggebracht in het landschap. Zie paragraaf 6.11.

¹⁸⁵ Chardon 2008.

¹⁸⁶ Mauro 2001; Oxford Archaeology 2002; English Heritage 2004; Terwan & Ringers 2004; Louwagie *et al.* 2005; ITADA 2006; Oxford Archaeology 2010, 11 e.v.; Deutsche Bundesstiftung Umwelt 2011. Landesdenkmalpflege Baden-Württemberg 2013; Reuler *et al.* 2014; Kretschmer & Mündel 2015; Lascaris 2019.

¹⁸⁷ Voor een overzicht van het diepte- en oppervlaktebereik van verschillende agrarische bodembewerkingstechnieken in Nederland, België en Duitsland zie Heunks 1995, 52; Reuler *et al.* 2014; Willemse 2019; Louwagie *et al.* 2005, 91-108; Behm 2000.

¹⁸⁸ Reuler *et al.* 2014; Lascaris 2019.



Afb. 5.2 Werking, bewerkingdiepten en effecten van ploegen en diepploegen (bron: Heunks 1995).

krachtige zware machines in mindere mate. Loonwerkers houden minder rekening met bijvoorbeeld ongunstige bodemcondities in natte periodes met diepe insporing, dieper ploegen, enz. tot gevolg. De laatste jaren is er een trend naar minder intensief grondgebruik zichtbaar.

Bij deze meest frequent uitgevoerde bodembewerkingen staat het feitelijke effect op onderliggende archeologische resten niet ter discussie.¹⁸⁹ Binnen het verstoorte volume gaan grondsporen en stratigrafie verloren, samen met de daarmee geassocieerde artefacten en andere resten (afb. 5.2).¹⁹⁰ Door ploegen en woelen worden eventueel aanwezige archeologische resten zoals aardewerk uit een onderliggend sporenniveau in de bouwvoor gebracht en worden ze blootgesteld aan een verval door mechanische en biologische processen.¹⁹¹ Kwetsbare anorganische artefacten zoals (pre) historisch aardewerk en bouwkeramiek kunnen hierdoor snel verkrumelen en vergaan. Onderzoek naar de aantasting van artefacten die in de bouwvoor circuleren laat zien dat:¹⁹²

- aardewerk steeds verder gefragmenteerd raakt naarmate het langer in de regelmatig geploegde bouwvoor circuleert;

- na 5 keer ploegen de helft en na 10 keer ploegen 75% van de artefacten op enig moment aan de oppervlakte heeft gelegen waar het extra bloot staat aan mechanische degradatieprocessen zoals vorstwerking en krimpen-zwellen;
- blootstelling van zachtgebakken en enigszins poreuze aardewerksoorten aan de kou van één winter voldoende is om de samenhang van het baksel zodanig aan te tasten dat de eerstvolgende beweging de vernietiging van de scherf betekent;
- de helft van de metalen artefacten in een periode van 8 jaar ongewijzigd teelt beschadigd raakt.¹⁹³

Bij meer robuuste vondsten als vuurstenen artefacten en hard gebakken keramiek als steengoed, treedt verkleining minder snel op. Koper, koperverbindingen zoals brons en messing en andere non-ferro artefacten blijven ook in de bouwvoor redelijk beschermd tegen (bio)chemische aantasting omdat deze vaak al zijn voorzien van een corrosiebestendig patina.¹⁹⁴ Ze zijn echter wel gevoelig voor fysieke aantasting door groundbewerking.

Bewerkingserosie

Door kerend ploegen wordt de grond vooral verplaatst in verticale zin maar is ook sprake van transport in horizontale zin. Inmiddels is bekend dat de grond bij keerploegen na drie jaar gewoonlijk tussen de nul en 90 cm verplaatst raakt met uitschieters tot wel 10 meter.¹⁹⁵ Ook bij niet-kerende groundbewerkingen zoals woelen kan materiaal over enkele meters worden verplaatst.¹⁹⁶ Het geleidelijk verplaatsen van teeltgrond in enigszins geaccidenteerde terreinen leidt dan tot een langzame nivellering van het lokale reliëf en daarmee tot een langzame verdieping van de bouwvoor.¹⁹⁷ Hierdoor kan de top van het archeologische niveau in de loop van de tijd steeds verder in de bouwvoor verdwijnen.¹⁹⁸

Zowel ploegen als woelen en eggen zorgen op den duur voor het verminderen van hoogteverschillen, maar bij ploegen verloopt dit proces aanzienlijk sneller.¹⁹⁹ Door de herverdeling van grond vlakke de bodem af zodat het aanwezige (micro)reliëf geleidelijk verdwijnt. De mate waarin dat gebeurt, hangt onder meer af van de werkrichting.²⁰⁰ Als op hellingen evenwijdig aan

¹⁸⁹ Dunnell & Simek 1995; Oxford Archaeology 2002; English Heritage 2010; Trow 2010; Möllenberg & Schlichtherle 2013; Lascaris 2019.

¹⁹⁰ Zie bijvoorbeeld ook Darvill & Fulton 1998.

¹⁹¹ Bijvoorbeeld Reynolds & Schadla Hall 1985; Dunnell & Simek 1995; Van Muysen, Van Oost & Govers 2006; Dain-Owens *et al.* 2013; Lascaris 2019.

¹⁹² Studies naar de mechanische degradatie van materialen zie: Pendleton 1999, 63; Reynolds 1987; 1989, 25-26; Clark & Schofield 1991; Richards 1985; Dobinson & Denison 1995, 52; Oxford Archaeology 2010, 8 en bijlagen; 1, 2 en 3; Dain-Owens *et al.* 2013, 1184; Leskovar & Bosiljkov 2016; Noble, Lamont & Masson-Maclean 2019.

¹⁹³ Oxford Archaeology 2002, 7; Haldenby & Richards 2010, 1160; Lamont & Masson-Maclean 2019.

¹⁹⁴ Van Os *et al.* 2014.

¹⁹⁵ Van Muysen, Van Oost & Govers 2006.

¹⁹⁶ Spandl *et al.* 2009.

¹⁹⁷ Bijvoorbeeld Gillijns *et al.* 2005.

¹⁹⁸ Bijvoorbeeld Van Heeringen, van Kregten & Roorda 2003; Van Heeringen & Theunissen 2006; 2007; Huisman & Mauro 2013, 39.

¹⁹⁹ Ibid.

²⁰⁰ Meuwissen 2012.



Afb. 5.3 Adorp-Munniketocht. Geploegd terrein met lichte verhoging op de achtergrond: een kapot geploegde kleine wierde (rijksmonument 45.062, foto: Jos Stöver / erfgoedfoto.nl).

de hoogtelijnen (contouren) wordt geploegd gaat de afvlakking minder snel dan als alleen van boven aan de helling naar omlaag wordt geploegd.²⁰¹ De verandering van het reliëf kan aanzienlijk zijn. Zo is aangetoond dat na slechts 30 ploegbewerkingen een reliëfverschil van meerdere decimeters hoogte verdwenen kan zijn.²⁰² Hierdoor ontstaan verschillen in de dikte van de bouwvoor waardoor eveneens een onderliggend archeologisch niveau afgetopt kan raken. Verder heeft dit uiteraard consequenties voor het bovengrondse deel van archeologische en cultuurhistorische objecten zoals terpen, motteheuvels, dijken, bolle akkers en grafheuvels (afb. 5.3).

Grondtarra

Een andere vorm van geleidelijk aftoppen van de bodem is het herhaaldelijk verwijderen van de zode in de graszodenteelt. Bij graszodenteelt maakt de grond onderdeel uit van het product en wordt per oogst wel tot 4 mm grond afgevoerd dat kan oplopen tot enkele centimeters per jaar.²⁰³ Zonder aanvulling leiden ook deze vlakdekkende verlagingen van het maaiveldniveau tot een geringere diepteligging van de onverstoorde bodem met als consequentie een jaarlijkse aftopping van het archeologische niveau.

Een ander effect is dat tijdens de oogst met ieder product ook wat aanhangende grond wordt afgevoerd. Dit wordt de grondtarra genoemd. Als geen compenserende maatregelen worden genomen zorgt dit uiteindelijk voor een verlaging van het perceel. De maaiveldvaling door tarra kan variëren van 0,1 mm per jaar voor poot aardappelen tot 0,9 mm per jaar voor waspeen, afhankelijk van de grondsoort.²⁰⁴ Bij suikerbieten bestaat maar liefst 10 procent van de oogst uit tarra. Het duurt echter vele decennia voordat hierdoor een verdieping van de bouwvoor ontstaat. Vooral bij de aardappel oogst wordt de aanhangende grond (tarra) echter weer teruggestort, maar niet altijd op de akker waar geoogst werd. Dit kan leiden tot verplaatsing van gebiedsvreemd vondstmateriaal c.q. vervuiling van het bodemarchief.²⁰⁵

5.2.3 Incidentele grondbewerking: egalisatie en kilveren

Egalisatie van percelen kan in verschillende gradaties worden uitgevoerd, van zeer lichte afvlakking van een terrein (kilveren) tot het afgraven van terreinreliëf (egaliseren). Meestal heeft het tot doel om vernattings- of verdrogings schade te voorkomen door een homogene en vlakke teellaag te creëren.

²⁰¹ De Alba *et al.* 2004.

²⁰² Heckrath *et al.* 2006.

²⁰³ Reuler *et al.* 2014; Lascaris 2019.

²⁰⁴ Reuler *et al.* 2014.

²⁰⁵ Fred Brounen (RCE), mond. meded.



Afb. 5.4 Cultivator of 'subsoiler' met een werkingsdiepte tot 65 cm (foto: Lemken 2017).

Om bij egalisatie vermenging van de bouwvoor met de schrale ondergrond te voorkomen en de teellaag te behouden wordt egalisatiewerk vaak gecombineerd met diepploegen. Eerst wordt alleen het hoger gelegen terreingedeelte (waar grond afgevoerd moet worden) gediepploed. Daarna wordt de naar boven geploegde schrale grond verplaatst naar de lager gelegen terreingedeelten met kilver- en dozerbakken. Na de egalisatie wordt ook dit lager gelegen terreingedeelte gediepploed, waardoor op deze locaties de bouwvoor weer naar boven wordt gebracht en de opgebrachte schrale grond naar beneden wordt geploegd.

Bij zowel egalisatie als bij kilveren raakt het microlief volledig uitgevlakt. Al in 1997 werd vastgesteld dat in Nederland sinds de jaren vijftig in maar liefst 25 procent van Nederland het reliëf verdwenen is.²⁰⁶ Duidelijk is dat deze vervlaking zich tot op heden voortzet waarbij het (micro)reliëf op landbouwgronden waarschijnlijk zelfs sneller en grootschaliger uitgevlakt wordt dan in 1997.²⁰⁷ Door egalisatie verdwijnen natuurlijke hoogteverschillen maar ook het (micro)reliëf dat samenhangt met eeuwenlang grondgebruik.²⁰⁸

Egalisatie en kilveren zijn meestal ook schadelijk voor archeologische rijksmonumenten waarvan de archeologische resten direct onder het maaiveld liggen, zoals de laatneolithische vindplaatsen in West-Friesland (zoals Aartswoud). Bij

het tijdelijk verwijderen van de teellaag gaat de relatie tussen archeologisch materiaal in de bouwvoor en onderliggende archeologische fenomenen compleet verloren. Diepploegen is funest voor vrijwel alle archeologische resten; alleen zeer diep ingegraven sporen en/of constructies (zoals waterkuilen en waterputten) blijven behouden. Egalisatie is een bijzonder ingrijpende vorm van niet-teeltgebonden agrarische groundbewerking en wordt op archeologische rijksmonumenten daarom in de regel niet toegestaan.

5.2.4 Incidentele groundbewerking: decompactiewerkzaamheden

Omdat er in de landbouw (maar ook in de bosbouw en in natuurgebieden) door het jaar heen veel over het veld gereden wordt met grote machines wordt de ondergrond zwaar belast.²⁰⁹ Daarbovenop zijn de landbouw- en bosbouwmachines de afgelopen dertig jaar steeds groter en zwaarder geworden wat samen is gegaan met een toenemende specialisatie en de inzet van loonbedrijven.²¹⁰ Het hogere gewicht van de voertuigen gaat samen met grotere wielen en bredere banden maar niettemin is de druk op de grond sterk toegenomen.²¹¹ Dit leidt tot bodemverdichting of bodemcompactie: het samendrukken van bodembestanddelen door druklast waardoor de bodemdichtheid en de penetratieweerstand toeneemt en het totale poriënvolume (vooral de macroporiën) afneemt (paragraaf 6.10).²¹² Ook het (najaars)ploegen van de bodem onder te natte condities leidt tot vervormingen en uiteindelijk tot compactie. Dit uit zich in een dichtere en dikkere ploegzool die zich steeds dieper uitstrekt.

Het gevolg van bodemverdichting voor boeren (en bosbouwers) is waterschade en oogstschade. De boven geschetste ontwikkelingen hebben er toe geleid dat in de gangbare landbouw elk jaar een vrij diepe hoofdgroundbewerking wordt uitgevoerd – 30 à 35 cm diep – om de verdichte grond weer los te maken voordat het volgende gewas ingezaaid wordt.²¹³ Regelmatig wordt een nog diepere groundbewerking toegepast om een verdichting onder de ploegzool weg te nemen (afb. 5.5). Bij deze bewerking wordt de verdichte

²⁰⁶ Dijkstra *et al.* 1997.

²⁰⁷ Lascaris 2019, 18.

²⁰⁸ Oxford Archaeology 2002; Koomen & Exaltus 2003; Meylemans, Vanmontfort & Van Rompaey 2008.

²⁰⁹ Godwin *et al.* 2010; Van den Akker *et al.* 2013; D'Hose *et al.* 2017; Lascaris 2019, 15; Huisman & Ngan-Tillard 2019, 6-8.

²¹⁰ Heunks 1995; Hanegraaf & de Visser 2003; Oxford Archaeology 2002, 2010; Sukkel & Pulleman 2016.

²¹¹ Oxford Archaeology 2010; Dain-Owens *et al.* 2013.

²¹² Bassett & McDaniel 1967; Oxford Archaeology 2002; De Vos 2005; Godwin *et al.* 2010. Tegenwoordig is bijna de helft van de Nederlandse ondergrond oververdicht (overschrijft de kritische dichtheid) en verwacht kan worden dat het oppervlakte verdicht nog toeneemt en de verdichting ook intenser wordt (Van den Akker *et al.* 2013).

²¹³ Reuler *et al.* 2014; Willemsse 2019.

laag – naar inschatting – tussen 30 en 40 cm -mv voor 60% tot 100% (spitfrees) geroerd (tabel 5.3). Dit wordt decompacteren genoemd.

De variatie in voorkomen en uitvoeringsfrequentie van deze periodieke (en diepere) grondbewerkingen is erg groot en wisselt per bodemsoort, per regio en per teler. Dit betekent dat ook de variatie in het effect op het bodemarchief groot is.²¹⁴ In ieder geval is duidelijk dat bij het periodiek bewerken van de bodem om de verdichting te verminderen de dicht onder de bouwvoor aanwezige grondsporen en artefacten verstoord kunnen worden. De effecten zijn vermenging van vondsten en grondsporen en wijziging van de erosiegevoeligheid.²¹⁵

5.2.5 Incidentele grondbewerking: profielverbetering

Bij profielverbetering worden vaak ‘stagnerende/verdichte’ lagen in de ondergrond doorgespit of omgewerkt. Ze kunnen het gevolg zijn van (secundaire) verdichting door berijding of grondbewerking onder, bijvoorbeeld, natte omstandigheden tijdens de oogst (zie hierboven).²¹⁶ Deze storende lagen komen echter ook van nature voor, zoals door textuurovergangen of een oerbank (afb. 5.5). Maatregelen zijn vaak het opheffen of breken van de storende laag door een (diepe) grondbewerking door verschillende vormen van (diep)woelen, -ploegen, spitfrees en mengroteren of omwerken met een graafmachine.²¹⁷ Bij deze speciale cultivatietechnieken kan de grond 90-120 cm diep worden omgezet. Dit paste men in het verleden op grote schaal toe bij het ontginnen van woeste grond zoals heidevelden waarbij in het verleden grafheuvelresten en walsystemen van Celtic fields verloren zijn gegaan.²¹⁸ Tegenwoordig maakt men nog gebruik van profielverbetering in de tuinbouw, vooral bij de aspergeteelt en bij de aanleg van boomgaarden. Gronden waarop bijvoorbeeld asperges, maar ook schorseneren of (fruit) bomen zijn geteeld hebben in veel gevallen een diepere hoofdgrondbewerking ondergaan, tot soms 100 cm -mv.²¹⁹



Afb. 5.5 Een profielkuil op een bouwlandperceel nabij natuurgebied Lonnekermeer toont drie verdichtingen: 1) een dicht gereden ploegzool met water stagnatie (30-35 cm - mv); 2) een harde ondoordringbare ijzeroerlaag (45-55 cm -mv) en 3) een sterk lemige laag (55-65 cm -mv) (foto: Joris Schaap, Badus Bodem & Water).

Archeologische resten kunnen bij profielverbetering grondig vernield worden, waarbij vanzelfsprekend ook lagen worden beschadigd die bij normale ploegen grotendeels gespaard zouden zijn gebleven (afb. 5.2). Ook deze cultivatietechnieken leiden dus, net als hoofdgrondbewerking, tot het aftoppen van archeologische niveaus.

5.2.6 Effecten van het aanleggen van drainage en het graven van sloten

Van het aanleggen van drainage gaat een fysieke dreiging uit (doorsnijding, verplaatsing) afhankelijk van de wijze waarop de drains worden aangelegd. In het geval van het aanleggen van

²¹⁴ Lascaris 2019.

²¹⁵ De Vos 2005.

²¹⁶ Söhne 1953; Boels & Havinga 1974; Hanegraaf & De Visser 2003; Ten Berge & Postma 2010, 42 e.v.; Zwart *et al.* 2011.

²¹⁷ Heunks 1995; Zwart *et al.* 2011.

²¹⁸ Lascaris 2019.

²¹⁹ Bijvoorbeeld Ten Broeke 2012; Reuler *et al.* 2014.



Afb. 5.6 Sleufloos aanbrengen van een drainagebuis met een V-vormige bodemfrees (foto: Smits B.V., Veldhoven).

drains in gegraven sleuven is de directe (fysieke) verstoring van archeologische resten niet alleen beperkt tot de sleuven zelf. Ook kwetsbaar vondstmateriaal zoals aardewerk en glas wordt beschadigd onder het gewicht van de wel 20 ton zware machines (paragraaf 5.3.4). Verder raken door de graafwerkzaamheden de vondsten verspreid en wordt de onderlinge samenhang van grondsporen, vondsten en lagen verstoord. Bij een sleufloze aanleg is dit laatste effect nagevoelbaar afwezig. Dan wordt de drainagepijp als het ware in de grond ingesnedden met behulp van een speciale V-vormige bodemfrees (afb. 5.6). Daarbij ontstaan twee smalle freessporen en wordt de grond daartussen ongeveer 10-20 cm opgelicht terwijl de drain wordt gelegd. Het effect op archeologische resten is daardoor bij een sleufloze aanleg beperkt.

Ook de aanleg van sloten en greppels leidt tot vergraving en verplaatsing van archeologische resten. De verstoring door maaiveldgreppels is, zeker als de diepte van deze greppels beperkt blijft tot de bouwvoor, gering. Het kan echter wel verstoring werken bij het herkennen van (vaak moeilijk) zichtbare archeologische structuren die als microreliëf aanwezig zijn. Een bijkomend effect van sloten is dat bij het opschonen daarvan samen met het op de bodem verzamelde slib vaak ook een kleinere of grotere hoeveelheid ongeroerde grond wordt meegevoerd. Daarbij kunnen al eerder bij de aanleg

van de sloot verstoorte archeologische resten verder verstoord worden. De grond uit de sloot wordt daarna gewoonlijk over het perceel verspreid waardoor eventuele vondsten zichtbaar aan de oppervlakte komen te liggen.

5.2.7 Omgronden

Omgronden is het op grote schaal vervangen van de bestaande bovenlaag door een nieuwe grondlaag, om daarmee een stuk grond geschikt te maken voor ander gebruik.²²⁰ Zo konden (en kunnen) in de kop van Noord-Holland en in Noord-Kennemerland enkele duizenden hectaren grasland en gronden met een kleilaag op een zandondergrond geschikt gemaakt worden voor de bloembollenteelt. Daarvoor wordt onder andere de bestaande bouwvoor gedeeltelijk afgegraven en wordt er zand van enige diepte naar het oppervlak gehaald waarna de bouwvoor weer wordt teruggezet. Vaak gaan dit soort ontgroningen samen met egalisatie, maaiveldverlaging of dieploegen. Het ligt voor de hand dat deze activiteit desastreuze gevolgen heeft of zal hebben voor archeologische waarden binnen deze terreinen.

²²⁰ Lascaris 2019.

5.2.8 Rooien van bomen en struiken inclusief kluit

Ook bij boomteelt en fruitteelt gaat de beïnvloeding van de bodem dieper dan de bouwvoor. Bomen planten wordt door een plantmachine gedaan waarbij kluiten met een omvang van 25/30 cm tot 80 cm op regelmatige afstand in plantgaten in de grond worden gezet. Ook het rooien of verplanten van bomen gaat met een (graaf)machine die de bomen met kluit en al uit de grond schept met een kluitbak. Er bestaan kluitenbakken met een omtrek van 10 tot 55 cm maar ook met een omtrek van 130, 160, 200 en zelfs 260 cm.

De effecten van bometeelt op een terrein met archeologische resten zijn divers.²²¹ Bij langdurige bometeelt op hetzelfde perceel raakt de bodem geheel gehomogeniseerd tot op de diepte van de plantgaten. Percelen waar gedraineerd wordt zijn gevoelig voor lokale grondwaterstanddaling en verdroging wat consequenties kan hebben voor kwetsbare materiaalsoorten (zie paragraaf 5.4.7).²²² Verder is de grondtarra bij (laan)bometeelt veel groter dan bij reguliere akkerbouw. De geschatte maaiveld daling bedraagt ongeveer 6-7 mm per jaar.²²³ Dit kan leiden tot een geleidelijke verdieping van de bouwvoor en het langzaam aftoppen van onderliggende archeologische niveaus.

5.2.9 Gebruik als weidegrasland of als productiegrasland

In Engeland wordt weidegrasland als de meest archeologievriendelijke vorm van agrarisch beheer gezien.²²⁴ Op weidegrasland wordt enkel vee geweid en worden normaal gesproken alleen ondiepe toplaagverbeteringen uitgevoerd.²²⁵ De schade die dit veroorzaakt zal beperkt zijn. Bodemverstoringen worden bij dit type agrarisch landgebruik vooral veroorzaakt door:

- het vertrappelen van de vegetatie en de grond door de veestapel;
- insporing door landbouwvoertuigen;

- aanleg en onderhoud van drainage en greppelsystemen;
- aanbrengen van nieuwe omheining of drinkputten;
- graslandverbetering door bemesting of herzaaien van de grasmat.

Er bestaat een veelheid aan beweidingssystemen (standweiden, omweiden, stripgrazen, enz.), dus het effect van beweiding op de degradatie van archeologische resten is niet eenduidig.²²⁶ Nat of droog weer werken vertrapping en erosie (op hellingen) in de hand.²²⁷ Grazers lopen vaak vaste routes langs een afrastering, over een kavelpad of richting voeder- of drinkwaterbakken en zorgen zo voor lokale verstoring van vegetatie en bodem. Insporing door landbouwvoertuigen vindt vooral plaats op waterverzadigde gronden.²²⁸

Van een aantal aspecten van beweiding is onduidelijk of het schadelijk is voor archeologische resten. Een daarvan is nitraatuitspoeling. In situaties met beweiding is sprake van een hogere nitraatuitspoeling uit mest dan in situaties zonder beweiding maar het effect op archeologisch materiaal (door verzuring) lijkt beperkt en langzaam te gaan (paragraaf 5.2.13).²²⁹ Verder is grasland voor veel bodemfauna aantrekkelijker dan akkerland of bos, wat tot extra bioturbatie leidt.²³⁰ Ook dat effect lijkt echter zeer beperkt. Als een verhoogde bioturbatie onder grasland zich voornamelijk beperkt tot de bouwvoor dan zijn de (extra) nadelige effecten op de archeologische informatiebronnen gering.

Een trend die mogelijk negatief kan uitpakken voor het archeologisch bodemarchief is het gebruik van weideland als productiegrasland. In de traditionele melkveehouderij combineerde het grasland beide functies: weiden en gras/hooiproductie. De omslag naar uitsluitend productiegrasland, waarbij het vee vrijwel jaar rond op stal blijft, heeft echter een gewijzigd grondgebruik tot gevolg. Door het inzaaien van snelgroeïende grassoorten en extra bemesting is het aantal keren dat het gras gemaaid wordt toegenomen van 3 à 4 keer per jaar in de jaren zestig tot 5 à 6 keer per jaar nu. Voor de optimalisatie van de grasopbrengst worden percelen ook met meer regelmaat geploegd of gescheurd om de water- en luchthuishouding te verbeteren.²³¹ Ook kan egalisatie en opnieuw inzaaien

²²¹ Reuler *et al.* 2014; De Vries *et al.* 2016.

²²² Cox *et al.* 2001.

²²³ Reuler *et al.* 2014.

²²⁴ English Heritage 2004.

²²⁵ Heunks 1995; Reuler *et al.* 2014.

²²⁶ *Ibid.* Omweiden: vee graast één of enkele dagen op een perceel; standweiden: vee graast meerdere weken op een perceel. Bij stripgrazen wordt het eerder afgegraste deel niet meer voor de beweiding aangeboden; etc.

²²⁷ Jones, Harlow & Gosling 2002, 31;

Russell 2003; English Heritage 2004.

²²⁸ Zie ook Van der Heiden, van Doesburg & Stöver 2017.

²²⁹ Van den Pol-Dasselaar, De Haan & Philipsen 2013.

²³⁰ Babel 2003. Zie ook Van Heeringen & Theunissen 2002.

aan de orde zijn om een vlakke grasmat te krijgen (van belang vanwege de mestwetgeving), en, indien noodzakelijk, wordt de grondwaterstand verlaagd.²³² De toename van machinegangen (en bodembewerkingen) leidt dan tot insporing en bodemverdichting door landbouwvoertuigen, fragmentatie en stukdrukken van artefacten en eventueel het aftoppen van het archeologisch niveau.

5.2.10 Omzetten van grasland in akkerland

Bij het omzetten van grasvegetaties in akkerland binnen archeologische rijksmonumenten zal meer dan onder grasland sprake zijn van mechanische en chemische aantasting van de beschermde archeologische resten.²³³ Niet alleen de reguliere bodembewerkingen zelf, maar ook de voorbereidende activiteiten (zoals drainage, aanleggen van wegen) kunnen bodemverstoringen veroorzaken.²³⁴ Daarnaast gaat een omzetting naar akkerland vaak gepaard met een verlaging van het grondwaterpeil, wat gevolgen heeft voor het bodemvochtregime en de conserveringsomstandigheden van archeologisch materiaal (paragraaf 5.4.7).²³⁵

5.2.11 Bodemgebruik onder kassen

Het areaal dat gebruikt wordt voor glastuinbouw neemt al jaren toe. In de periode 1996-2015 is er 2.450 hectare aan kassen bijgekomen.²³⁶ Effecten op de archeologie komen in de eerste plaats voort uit de bouwactiviteiten die het oprichten van een kas met zich meebrengt. Voor de aanleg van kassen worden oneffenheden in het landschap doorgaans geëgaliseerd en wordt in veel gevallen ook een intensief bewaterings- en/of drainagesysteem aangelegd.²³⁷ De poten van de meeste kastypen zijn stalen profielen die rusten op een betonnen fundering, die soms ook moet worden onderheid, vaak alleen 'op kleef'.²³⁸ Kassen worden daarbovenop tegenwoordig steviger gebouwd dan vroeger, omdat ze meer krachten moeten kunnen verdragen vanwege een grotere hoogte, een schermdeuk onder het kasdek, opgehangen teeltsystemen en hogere eisen die aan stormbestendigheid worden

gesteld. Via dikkere profielen en extra steunberen en gordingen wordt hieraan tegemoet gekomen.

Het belangrijkste effect op archeologische resten, naast de mechanische effecten van bouwwerkzaamheden (vergraving, doorboring, verplaatsing) is de invloed die een kas heeft op het functioneren van het grondwatersysteem. Het gevolg van een verharde vloer is bijvoorbeeld dat reducerende bodemomstandigheden ondieper komen te liggen en dat verblauwing van de bodem kan optreden (paragraaf 5.3.6). In kassen waar de gewasteelt in de volle grond plaatsvindt (dus kassen zonder verharde vloer), vindt soms een omgekeerd proces plaats. Hier vindt geen infiltratie van neerslag plaats, maar treedt wel verdamping van bodemwater op. Dit kan leiden tot lagere bodemvochtgehalten onder de kas en een diepere inwerking van aerobe afbraakprocessen. In een opgravings-sleuf in een kas op het archeologisch rijksmonument Matilo te Leiden bleek dat mogelijk daardoor het hout van palen in een periode van 10 jaar tot een behoorlijke diepte verdwenen was.²³⁹

5.2.12 Aanleggen van voederkuilen

Geoogst veevoeder wordt veelal als wintervoorraad opgeslagen in voederkuilen. In feite zijn dit geen kuilen, maar op een ingegraven verharde vloer opgehoopt veevoer dat bedekt wordt met landbouwplastic en daaroverheen soms een laag zand. Wanneer zand wordt gebruikt dan wordt dit gevonden aan weerszijden van de voederkuil, waardoor hier greppels worden gevormd die in de meeste gevallen tot ver onder de bouwvoor reiken. Weliswaar is de impact van één voederkuil op de bodem door het geringe oppervlak beperkt, maar omdat de kuilen soms regelmatig worden verlegd, neemt het negatieve (cumulatieve) effect steeds grotere vormen aan.²⁴⁰ Verder worden er vaak meerdere voederkuilen naast elkaar in gebruik genomen zodat er toch een aanzienlijke oppervlakteverstoring ontstaat. Door de vele rijbewegingen die nodig zijn om het kuilvoer af te steken en af te voeren is het terrein direct rondom de voederkuilen extra gevoelig voor rijschade, wat eveneens bijdraagt aan de bodemverstoring.

²³¹ Heunks 1995.

²³² Van Eerden 2004.

²³³ Oxford Archaeology 2002; Trow 2010; Behm et al. 2011; Dain-Owens et al. 2013.

²³⁴ Oxford Archaeology 2002.

²³⁵ Lascaris 2019.

²³⁶ Centraal Bureau voor de Statistiek 2016; Mutatiereeks Bodemgebruik 1996-2015.

²³⁷ Heunks 1995.

²³⁸ www.agriholland.nl/dossiers/kassenbouw/standtechniek.html.

²³⁹ Brandenburgh & de Bruin 2016, 235-237. Een kanttekening die gemaakt werd, is dat in dezelfde periode ook de nieuwbouwwijk Roomburg werd gebouwd. De verdieping van het aerobe milieu onder de kas kon daar ook mee te maken hebben gehad. Het is niet uitgesloten dat door de verlaging van het grondwaterpeil ook de organische resten buiten de kas tot een zelfde diepte zijn aangetast.

²⁴⁰ Kortlang 1987.

5.2.13 Vermesting, verzuring en bekalking

Vermesting

In de huidige landbouwpraktijk worden grote hoeveelheden dierlijke mest op grasland en maisakkers gebracht om het mestoverschot van de grondgebonden (melk)veehouderij en ook de niet-grondgebonden bio-industrie kwijt te raken. Bemesten vindt op dit moment meestal plaats door tot een diepte van 5 cm en met een onderlinge afstand van ongeveer 20 cm mest in de bodem te injecteren.²⁴¹ Deze moderne bemestingsmethoden hebben nauwelijks invloed op de bodemstructuur. Bijna alle organische stof wordt gemineraliseerd en ammoniak wordt omgevoerd tot nitraat en opgenomen door de plant.

Mest is door de aanwezigheid van ammoniak in het algemeen basisch.²⁴² De effecten van bemesting op archeologische resten zijn daarom onduidelijk. Koperhoudende voorwerpen (zoals gemaakt van brons) raken vooral in zure gronden beschadigd.²⁴³ De eerdere bewering in studies uit 2004 en 2009 dat bemesting zou zorgen voor een versnelde achteruitgang van de kwaliteit van metaalvondsten klopt dus waarschijnlijk niet.²⁴⁴ Deze achteruitgang lijkt eerder het gevolg te zijn van de intensivering van grondbewerking waardoor metalen voorwerpen uit hun beschermende omgeving in de bouwvoor terecht zijn gekomen.²⁴⁵ Als er al sprake is van een nadelige invloed, zijn er belangrijke verschillen tussen mestsoorten:

- mineralen uit dierlijke mest komen langzamer beschikbaar. Bovendien is het uitrijregime wettelijk zo geregeld dat een optimale gewasopname wordt bevorderd. Het minste risico op aantasting van metalen voorwerpen geeft gebruik van ruige mest (vaste stalmest), die relatief weinig ammoniak en relatief veel fosfaat bevat;
- mineralen uit kunstmest komen snel beschikbaar en bevatten doorgaans meer zouten.

Wel brengt bemesting soms andere fysieke bedreigingen met zich mee. Hier en daar werden in het verleden akkers (en zelfs bospercelen) gediëpplougd om de opnamecapaciteit van de grond voor de overtollige mest te vergroten.

Verzuring

Botmateriaal raakt het gemakkelijkst aangetast in permeabele zure bodems met een hoge zuurstofbeschikbaarheid wanneer de kalkbufferende werking wegvalt.²⁴⁶ Ook plantenvezels raken onder zure omstandigheden aangetast.²⁴⁷ Pennington (1996) stelt echter dat pollen juist in een zure bodem (met pH 5,5 of lager) beter bewaard blijft omdat de lage zuurgraad de afbraak door micro-organismen remt.²⁴⁸ Dit geldt ook voor andere ecologische resten in het archeologisch bodemarchief. Veel onverkoelde organische resten (hout, zaden maar ook leer en textielvezels van dierlijk materiaal) zijn ook juist bij een relatief zuur (en zuurstofloos) bodemmilieu.²⁴⁹

Waarschijnlijk zijn de effecten op archeologische resten van een lagere zuurgraad van de bodem klein en gaat het proces zeer langzaam.²⁵⁰ Onderzoek op het rijksbeschermd Romeinse castellum Fectio naar de degradatie van het bodemarchief heeft bijvoorbeeld geen aanwijzingen opgeleverd dat de degradatie van non-ferrometalen voorwerpen de laatste vijftig jaar is toegenomen door veranderingen in zuurlast ten gevolge van zure neerslag of toegenomen mestgift.²⁵¹ De zeggingskracht van dit onderzoek is echter niet helemaal duidelijk omdat dit mede lijkt te worden veroorzaakt door de samenstelling en textuur van de vondstlagen en sporen en deels door de kleiige, slecht waterdoorlatende en kalkhoudende laag waarmee het terrein is afgedekt.

Bekalking

Verzuring van bodems onder akkerland en in natuurterreinen wordt vaak in de hand gehouden door regelmatige bekalking van de grond ter verhoging van de bodem-pH.²⁵² In Duitsland is men daartoe ook op grote schaal kalk in de bosbodem gaan inploegen, wat (mechanische) schade oplevert voor begraven archeologische resten. Ook veengrond kan ernstig verzuren en daarmee de bodemvruchtbaarheid verminderen, reden waarom een deel van de agrariërs hier met enige regelmaat een kalkmeststof uitrijdt. Een theoretisch effect van bekalking (een *verhoging* van de pH-waarde van de bodem) op archeologische resten bestaat ook. In algemene zin is een (te) kalkrijke bodem niet gunstig voor onverkoeld organisch materiaal door een verhoogde microbiële activiteit.

²⁴¹ Haan *et al.* 2009.

²⁴² Eghball 2002.

²⁴³ Nord, Mattsson & Tronner 2005; Huisman 2009.

²⁴⁴ Pollard *et al.* 2004; Ward, Smith & Lawley 2009. Al in de achttiende eeuw werd geschreven over de mogelijk schadelijke invloeden van mest door corrosie van metalen artefacten in de bouwvoor (Tymann 1996). Zie verder ook Mattson *et al.* 1996; Meeussen *et al.* 1997; Nord, Mattsson & Tronner 1998; Nord *et al.* 2000; Soonius, Bekius & Molenaar 2001.

²⁴⁵ Spandl *et al.* 2009.

²⁴⁶ Huisman 2009, 51.

²⁴⁷ Huisman 2009, 84, 98.

²⁴⁸ Kool *et al.* 2005; Brinkkemper 2006.

²⁴⁹ *Ibid.*; Huisman 2009.

²⁵⁰ Hans Huisman (RCE), mond. meded.

²⁵¹ Van Os *et al.* 2014.

²⁵² Bijvoorbeeld Meeussen *et al.* 1997; Van der Zee *et al.* 2017.



Afb. 5.7 Uitstrooien van 250 ton steenmeel over 25 hectare heide en bospercelen in Brabant (Strabrechtse heide en Beuven) in november 2018 (foto: P. van Schalen).

Wel verloopt in een alkalische (bijvoorbeeld kalkhoudende) omgeving de corrosie van ijzer langzamer (maar het stopt niet).²⁵³ Sommige onderzoekers stellen dat een zuurgraad boven pH 6 slecht is voor de conservering van fossiel stuifmeel (pollen).²⁵⁴ Het effect van een stijging van de pH-waarde zou dan een verdere aantasting van de aanwezige grondsporen en organische resten door microbiële activiteit zijn, maar dat blijft zonder gericht onderzoek speculatief.²⁵⁵

5.2.14 Toepassen steenmeel

Steenmeel is een verzamelnaam voor gemalen vulkanische gesteenten. De mineralen waaruit steenmeel is opgebouwd brengen vooral elementen in de bodem terug die schaars zijn geworden.²⁵⁶ Reactieve mineralen in steenmeel, zoals magnesium, en verwerking van vulkanische mineralen zoals olivijn of plagioklaas zorgen ervoor dat koolstofdioxide uit de lucht wordt vastgelegd als carbonaat. Dit verhoogt de zuurgraad in de bodem maar het heeft eveneens een hogere beschikbaarheid van calcium en kalium voor planten als gevolg.²⁵⁷ Steenmeel is dus een bodemverbeteraar maar bevat ten opzichte van andere stoffen weinig fosfaat en geen stikstof. Het telt daarom niet mee in de mestboekhouding maar leidt wel tot hogere gewasopbrengsten. Om die reden is steenmeel aantrekkelijk voor boeren.

Ook in het natuurbeheer wordt steenmeel toegepast bij de aanpak van verzuurde bodems, waar de bufferende stoffen calcium en

magnesium grotendeels verdwenen zijn. Het gaat dan om het herstel van de nutriëntenbalans van graslanden, heidegebieden en bossen op de arme zandgronden. De bufferende stoffen komen pas vrij na verwerking. Hierdoor heeft de bodem een lange, continue aanvulling, in plaats van een korte, tijdelijke boost, zoals bij kalk het geval is. De gift kan variëren van 10 tot 16 ton per hectare (afb. 5.7). Er is weinig bekend over het effect van het uitstrooien van steenmeel over het bodemoppervlak op archeologische resten.

5.2.15 Effecten van gewasbeschermingsmiddelen en biocides

Er is eveneens weinig bekend over het effect van gewasbeschermingsmiddelen of biocides op archeologische resten. Niettemin is wel bekend dat veel van de gebruikte stoffen in de bodem terecht komen en daar behoorlijke verstoring zijn voor het bodemleven.²⁵⁸ Een bijgevolg is dan verdichting van de bodem omdat het bodemleven lucht in de bodem brengt en de porositeit verhoogt. Net als steenmeel is er geen informatie over rechtstreekse effecten van gewasbeschermingsmiddelen of biocides op archeologische resten gevonden.

²⁵³ Huisman 2009, 98.

²⁵⁴ Havinga 1971; Andersen 1986; Tomescu 2000.

²⁵⁵ Havinga 1967, 1971; Brinkkemper 2006.

²⁵⁶ Van Diggelen *et al.* 2019.

²⁵⁷ Bertil van Os (RCE), mond. meded.

²⁵⁸ Piffner 2017.



Afb. 5.8 a Aanleg zonnepark met geheide funderingsconstructie bij Hoofddorp (foto: SolarEnergyWorks 2017); b: Door insporing verstoorde bodem bij de aanleg van een zonnepark in Landkreis Straubing-Bogen (foto: Büttner & Husty 2015).

5.3 Bouwactiviteiten en aanlegwerkzaamheden

5.3.1 Inleiding

Verstedelijking is de afgelopen 30 jaar de belangrijkste rol gaan spelen bij de veranderingen in het landschap. Tussen 1950 en 2016 is 550 duizend hectare cultuurgrond aan de landbouw onttrokken om ruimte te maken voor woningbouw en bedrijfsterreinen en voor de aanleg van boven- en ondergrondse

infrastructuur (tabel 5.3).²⁵⁹ Voor wat betreft het archeologisch bodemarchief kan de schade in de bebouwde omgeving door verschillende ingrepen worden veroorzaakt. De bodem kan worden verstoord door het graven van putten en leidingtracés en door het slaan van heipalen en damwanden. Daarnaast kan de bodem vervormen onder druk (zetting) en kan schade optreden als gevolg van de aanleg en vernieuwing van wegen, leidingen, kabels en riolen. Ook na de bouw vinden diverse inrichtingswerkzaamheden plaats die een risico vormen voor aanwezige archeologische resten zoals aanleg en

²⁵⁹ Centraal Bureau voor de statistiek 2017: minder landschap meer bebouwing 1950-2015 (www.cbs.nl); Zie ook Kuhn & Lau 2015; Weiss 2015; Lascaris 2019, 30.



Afb. 5.9 a: Aanleg van een gastransportleidingsleuf (foto: Lascaris 2019); b: Het rijksmonument 45.807 Varsen-Varseneres (rood omlijnt) met de doorsnijding door gastransportleidingen (bron: Scholte Lubberink *et al.* 2017).

onderhoud van tuinen en parken en aanpassingen aan de bestaande gebouwen (uitbreiding, kelderaanleg, enz.).²⁶⁰

In verband met het bestaande vergunningenbeleid zullen schadelijke bouwwerkzaamheden op archeologische rijksmonumenten beperkt blijven (paragraaf 2.5). Dat laat onverlet dat

Tabel 5.3 Mutaties in landgebruik 1996-2015 (bron: Centraal Bureau voor de Statistiek, 2017).

Landgebruik	Oppervlakte (ha)		Af- toename
	1996	2015	%
Verkeesterrein	109.438	115.563	5,3
Bebouwd terrein	310.551	361.526	14,1
Semi-bebouwd terrein	37.186	49.318	24,6
Recreatieterrein	91.503	105.418	13,2
Agrarisch terrein	2.336.951	2.236.317	-4,5
Bos en open natuurlijk terrein	478.000	498.956	4,2
Binnenwater	355.948	371.941	4,3

bouwwerkzaamheden ook hier voorkomen. Op sommige beschermde percelen ligt bijvoorbeeld een bouwbestemming. In agrarisch gebied is dat bedoeld voor kassen, boerderijen, stallen en schuren binnen het bouwvlak. Waar een bouwbestemming op een beschermd perceel ligt is sprake van bestaand gebruik waar ook bij de vergunningprocedure rekening mee moet worden gehouden. Bouwen op rijksmonumenten is echter niet in overeenstemming met het uitgangspunt om het rijksmonument zo weinig mogelijk te verstoren en toegankelijk te houden voor toekomstig onderzoek. Daarom wordt er slechts in bepaalde situaties vergunning (onder voorwaarden) verleend.

Omdat dit hoofdstuk gaat over fysieke dreigingen door menselijk handelen worden de bouwactiviteiten en aanlegwerkzaamheden kort behandeld. In de publicaties van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed uit 2011 'De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen' en de publicatie uit 2016 'Handreiking archeologievriendelijk bouwen' wordt hier uitgebreid op ingegaan.²⁶¹

²⁶⁰ Nixon 1998; Williams & Corfield 2002; Huisman *et al.* 2011a.

²⁶¹ Respectievelijk Huisman *et al.* 2011a en Roorda & Stöver 2016. Zie ook Huisman 2013; Bouwmeester *et al.* 2019; Historic England 2019.

De meest voorkomende zes ingrepen zijn (tabel 5.4):

1. ontgravingen: graven van bouwputten of sleuven, grondverbetering, aanleg van bestrating, watergangen en beplanting, enz.;
2. doorboringen: inbrengen van funderingspalen, grouten en plaatsen van damwanden;
3. belasting: samendrukking en vervorming van bodemlagen als gevolg van ophogingen, bouwwerken op staal of door voertuigen;
4. wateronttrekking: veranderingen in het grondwatersysteem waardoor conserveringsomstandigheden veranderen;
5. afdekking van het oorspronkelijke bodemoppervlak;
6. stabilisatie van de bodem onder het bouwwerk.

Bij de meeste bouwplannen komen combinaties van deze ingrepen voor. Belangrijk is verder de constatering dat de mate waarin informatie door bouwactiviteiten en aanlegwerkzaamheden verloren gaat niet altijd evenredig is met de omvang van de ingreep. Ook een ingreep van beperkte omvang kan leiden tot relatief veel informatieverlies, afhankelijk van de aard en omvang en de vondst-/spoordichtheid van een vindplaats.²⁶²

5.3.2 Ontgravingen

Bouwactiviteiten gaan in de regel gepaard met graaactiviteiten. Het gaat hierbij niet alleen om het graven van bouwputten en sleuven voor kabels en leidingen, maar bijvoorbeeld ook om

Tabel 5.4 Overzicht van bouwgerelateerde ingrepen en effecten.

Soort ingreep	Ingreep	Effect
1. Ontgraving	verwijderen losse bouwvoor, egalisatie (bouwrijp maken)	grondverplaatsing (verwijderen)
	graven bouwputten, kruipruimten	
	graven strokenfundering	
	graven vorstrand plaatfundering	
	graven sleuven & putten nutsvoorzieningen	
	graven plantgaten bomen /struiken	
	graven bestrating	
	graven sloten, vijvers, wadi's	
2. Doorboring	plaatsen paalfunderingen	vervorming
	plaatsen damwanden	grondvermenging (grondverdringende palen)
	groutkolommen, groutankers	grondverplaatsing (grondvervangende palen)
	verwijderen damwanden	
	verticale drainage bij ophoging (zandpalen)	
3. Belasting	ophogen	vervorming
	verdichten bodem (bouwrijp maken, aanleg verhardingen)	zetting
	zwaar bouwverkeer	fragmentatie /breuk
	fundering op staal	
4. Wateronttrekking	bronneren (grondwater)	klink
	bemalen (peil verlagen oppervlaktewater)	verdroging: mineralisatie
5. Afdekking	bouwwerken (vloeren)	verblauwing
	verhardingen (bestrating etc.)	
6. Stabilisatie	verstevigen van de ondergrond	onbekend: grondvermenging door druk(?)

²⁶² De Groot et al. 2011.



Afb. 5.10 Heipalen van een gesloopt gebouw in het profiel van een opgravingsput in Voorburg (Forum Hadriani, rijksmonument 508.083). 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 koeienpoten te zien. De effecten van het plaatsen van de paal zijn evident in het zand, maar niet in de klei en het veen.

ontgravingen voor ondergrondse voorzieningen als kelders, parkeergarages, vuilopslag en gegraven tunnels.²⁶³

Vergraving leidt tot fysieke versterking van een archeologisch rijksmonument, waarbij sporen en stratigrafie worden vernietigd en artefacten verplaatst of beschadigd raken. Hoe ondieper archeologische resten zoals sporen en vondsten in de bodem liggen, des te kwetsbaarder het monument is voor graafwerkzaamheden en des te groter de kans dat het bodemarchief door ontgravingen beschadigd raakt.²⁶⁴ Ook een ontgraving van beperkte omvang kan daarbij leiden tot relatief veel informatieverlies. Zo kan het graven van bijvoorbeeld lange (leiding) sleuven ervoor zorgen dat grondsporen en de gelaagdheid in de verschillende delen van het monument niet meer met elkaar in verband gebracht kunnen worden. Dit wordt bodemcompartimentering genoemd (zie hieronder).²⁶⁵

Een bijkomend negatief effect van ontgravingen in slappe bodems of van diepe ontgravingen is deformatie van de omliggende bodemlagen door het wegvallen van de omgevingsdruk.²⁶⁶ Om tijdens het ontgraven het instorten van wanden te voorkomen – en als er geen plaats is voor open taluds – wordt de gronddruk gekeerd door een constructie. Veelgebruikte oplossingen zijn het intrillen van stalen damwanden en diepwanden. Diepwanden worden gemaakt door een met bentoniet gestabiliseerde sleuf te graven en vervolgens een wapeningsnet en beton aan te brengen.

Aanleg van sleuven (nutsvoorzieningen)

Nederland kent een bijzonder uitgestrekt netwerk van leidingen en kabels in de ondergrond, ook in landelijk gebied. Vaak lopen deze langs de wegen maar soms ook dwars over het land (afb. 5.9). In de gebouwde omgeving betreft het nutsleidingen en rioolstelsels. Vaak gelden er regels voor de minimale diepte waarop ze worden aangebracht. De Keur Waterschap Rivierenland 2014 bepaalt bijvoorbeeld dat hoogspanningskabels op tenminste 120 cm diepte moeten liggen, water- en gasleidingen op tenminste 100 cm onder het maaiveld en electriciteits- en telecommunicatiekabels op tenminste 60 cm. Bij het kruisen van sloten en open watergangen geldt verder dat er tenminste 100 cm grond boven de ontwerpdiepte van de watergang moet worden aangehouden: de gronddekking. In het Nederlandse transportnet hebben de

²⁶³ Huisman *et al.* 2011a, par. 3.3.1.

²⁶⁴ Roorda & Stöver 2016.

²⁶⁵ Willemsse 2015.

²⁶⁶ Korff 2009.

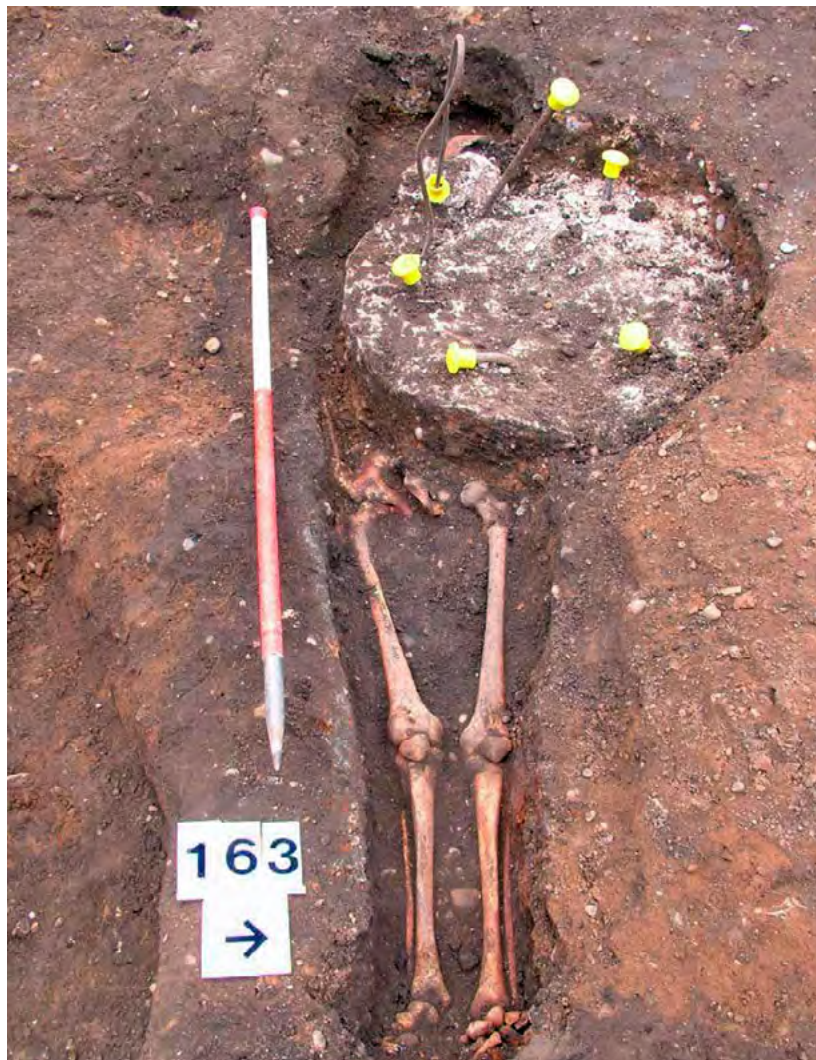
groter gastransportleidingen een gemiddelde gronddekking van 1,2 m (regionale transportnet) of 1,75 m (hoofdtransportnet).

Naast de diepteligging en gronddekking kunnen ook de afmetingen van de leidingen en kabels, en dus ook van de aanleg sleuven, enorm verschillen.²⁶⁷ De sleuven voor elektriciteitsleidingen op zonneparken en nutsleidingen langs wegen (aardgas, kabelnet, elektriciteit, water, enz.) zijn meestal smal (50 cm of minder). Aanleg sleuven voor riolering zijn al veel breder. Voor de aanleg van de brede transportleidingen kan de verstoring zelfs aanzienlijk zijn en vaak ook breder dan de aanleg sleuf zelf. Bij grotere buisdiameters worden tot wel twintig meter brede werkstraten aangelegd met daarin ergens in het midden de enkele meters diepe ontgraving van de sleuf waar de leiding in ligt (afb. 5.9). Door de berijding met zeer zware graaf- en pijp-transportmachines wordt ter hoogte van de werkstraat de grond onder de bouwvoor vaak tot meerdere decimeters diep verstoord dus de werkstraat is ook bedoeld om te teellaag te behouden. Verder wordt de ondergrond na beëindiging van de werkzaamheden gedecompacteerd wat een extra verstoring kan opleveren. Belangrijke verstoringen door de aanleg van buizen en leidingen binnen archeologische rijksmonumenten hebben vooral in het verleden plaatsgevonden.²⁶⁸ Bestaande transportleidingen worden soms verdubbeld, soms ook vervangen.

Compartmentering van een vindplaats

Bouwwerkzaamheden op een terrein met archeologische resten kan leiden tot het ontstaan van een mozaïek van verschillende bodemcompartimenten.²⁶⁹ Deze bodemcompartimenten zijn het gevolg van het doorsnijden van een terrein door sleuven voor kabels en riolering, door het graven van sloten en vaarten, het aanbrengen van bouwkuipen, damwanden en ondergrondse kunstwerken en het aanbrengen van verschillende oppervlakteafdekkingen.

Het effect van bodemcompartimentering is een verandering van het oorspronkelijke bodemregime binnen de verschillende bodemcompartimenten waaraan ook de archeologische resten zich zullen aanpassen. Alhoewel naar dit specifieke type fysieke bedreiging weinig onderzoek is gedaan, kan bodemcompartimentering in theorie tot ernstige schade aan een monument



Afb. 5.11 Doorboring van archeologische resten (foto: Historic England 2019).

leiden omdat het de samenhang van het (oorspronkelijk grotere) bodemsysteem verandert en de inwendige structuur van een vindplaats aantast omdat de samenhang tussen de context van sporen en vondsten verloren gaat. Bij sommige complextypen kan een verstoring van een klein deel van het terrein (een of enkele 'compartimenten') zelfs resulteren in het onleesbaar worden van een veel groter deel van de vindplaats.

²⁶⁷ Lascaris 2019, 33.

²⁶⁸ Zie bijvoorbeeld Scholte Lubberink et al. 2017.

²⁶⁹ Willemse 2015.

5.3.3 Doorboringen

De fundering van een gebouw of constructie zorgt ervoor dat het gewicht wordt overgedragen op een draagkrachtige ondergrond. In hoofdlijnen zijn er drie funderingstypen: op staal, op kleef of op stuit. Funderingen ‘op staal’ maken gebruik van liggende constructies, bouwen voort op eerdere constructies of staan ‘koud’ op de grond. Funderingen ‘op kleef’ maken gebruik van ingeheidde korte paaltjes waarbij de wrijving (‘kleef’) langs de paalschacht en/of de puntweerstand zorgt voor de draagkracht. Een fundering op stuit wordt toegepast wanneer een draagkrachtige grondlaag heel diep gelegen is.

Welke fundering nodig is, wordt bepaald door het ontwerp, het gewicht van het bouwwerk, de draagkracht van de bodem en omgevingsaspecten (hinder, archeologie).²⁷⁰ In hoofdlijnen kan onderscheid gemaakt worden tussen grondverdringende en grondvervangende funderingspalen. Binnen die twee categorieën kan weer onderscheid worden gemaakt tussen gedreven (geheide, geschroefde²⁷¹, getrilde, gedrukte) en ter plekke gevormde (gegoten en gespoten) palen. Deze hebben ongeveer hetzelfde effect op het bodemarchief: in meer of mindere mate grondvermenging, doorboring, vervorming van de bodem en grondverplaatsing (bij grondvervangende palen) (afb. 5.10).²⁷²

Jetgrouten of hogedruk-cementinjectie is een funderingstechniek waarbij trillingvrij en geluidsarm groutlichamen (zoals palen) met grote diameter (tot ca. 1,5 m) in alle grondsoorten kunnen worden gevormd. Dit wordt gedaan door in situ grond onder hoge druk te versnijden en te mengen met een betonmengsel. Na verharding van de jetgroutkolom blijft een funderingspaal in de grond over. Bij jetgrouten is de wegdrukking van het volume van de paal onregelmatig van vorm en de verdrinking in de zone rondom de paal dus ook. Vanwege de hoge snijenergie vindt er over de indringdiepte gronderosie plaats. Een deel van de grond zal hierdoor langs de boorbuis omhoog worden gespoeld. Bij het wegdrukken of wegspoelen van zachte delen van de bodem – zoals veenlenzen – kan dat extreme vormen aannemen.

Naarmate de vondst-/spoordichtheid van een vindplaats toeneemt, zal de kans op informatieverlies (en dus schade) door het plaatsen van funderingspalen toenemen (afb. 5.11).²⁷³ Dat is bijvoorbeeld het geval bij kleine vindplaatsen met vondstconcentraties of bij vindplaatsen die uit dikke archeologische (ophogings)lagen bestaan, zoals terpen/wierden of donken met bewoningssporen. Ook vindplaatsen met omvangrijke houten of gemetselde constructies, zoals beschoeiingen en funderingen, zijn kwetsbaar doordat het inbrengen van palen en damwanden gepaard kan gaan met breuk, verdrinking en vervorming van die constructies en omliggende bodem.²⁷⁴ Het verwijderen van



Afb. 5.12 De ligging van een gronddepot ter plaatse van archeologische rijksmonument Beuningen-De Woerdjes (monument 45.299).

²⁷⁰ Huisman *et al.* 2011a; Roorda & Stöver 2016; Historic England 2019.

²⁷¹ Geschroefde heipalen zijn grondverdringende palen die met behulp van een schroefdraad geluids- en trillingsarm in de bodem worden ingedraaid.

²⁷² Huisman *et al.* 2011a, par. 4.3; Huisman *et al.* 2011b; Roorda & Stöver 2016, 25; Historic England 2019.

²⁷³ Zie ook Huisman *et al.*, 2009a. In het algemeen zal de verstoring van een vindplaats door een gemiddeld palenplan niet meer dan 2% bedragen van de oppervlakte van de vindplaats, zeker niet wanneer grondvervangende palen worden gebruikt.

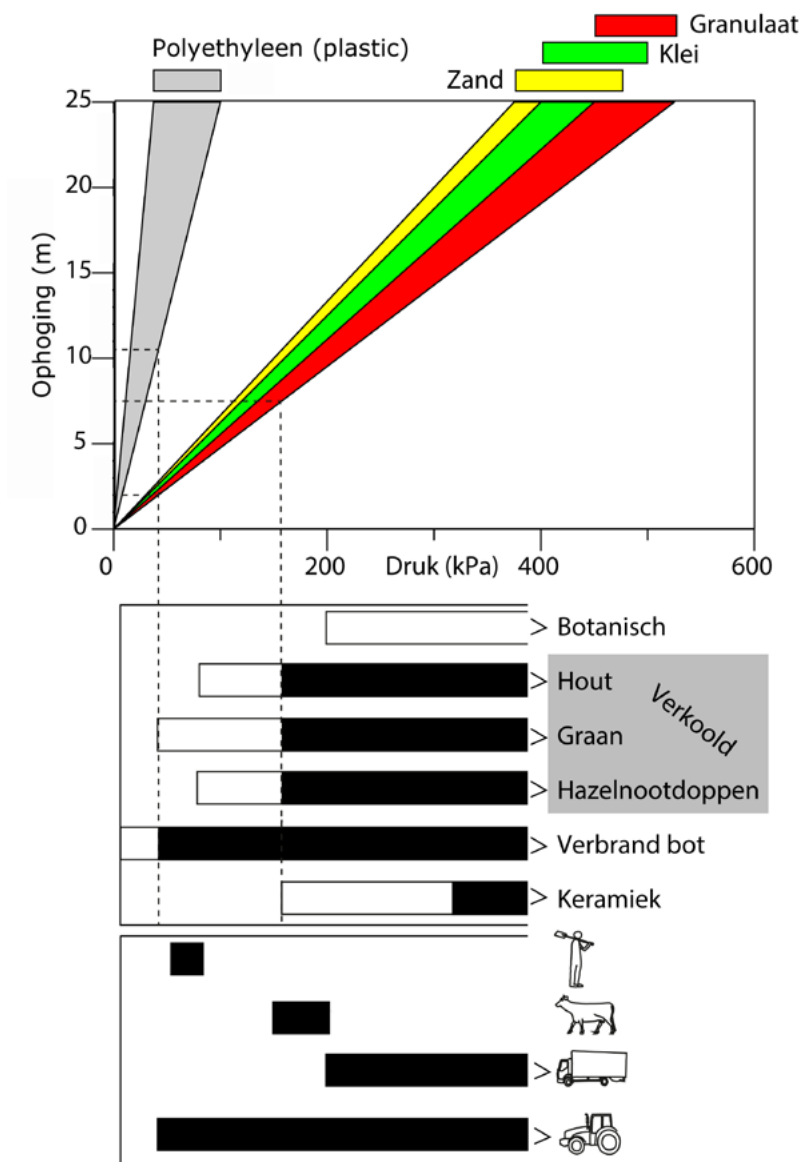
paalfunderingen en van damwanden veroorzaakt eveneens (nieuwe) verstoringen.²⁷⁵ Als palen in de grond blijven zitten en niet hergebruikt worden, zal bij een volgend bouwproces, door toevoeging van nieuwe palen een grotere dichtheid aan palen ontstaan, die niet alleen meer bodemverstoringen oplevert, maar ook de mogelijkheden voor archeologisch onderzoek beperken. Om al deze redenen is de rijksoverheid zeer terughoudend waar het gaat om bouwen op archeologische rijksmonumenten.

Verticale drainage

Bij het plaatsen van grondlichamen op slappe grond (zie paragraaf 5.3.4) worden soms aanvullende ingrepen uitgevoerd, die een eigen invloed hebben op de waterhuishouding en het archeologisch bodemarchief.²⁷⁶ Vaak wordt bijvoorbeeld *verticale drainage* aangebracht wanneer het gaat om forse ophogingen waarbij een risico op bezwijken bestaat. Deze vorm van drainage bestaat meestal uit geperforeerde plastic strips die in een dicht rasterpatroon in de grond worden gedrukt, en niet meer worden verwijderd. Naast geperforeerde strips worden ook zandpalen gebruikt om grondwater versneld af te voeren. Verticale drainage zorgt ervoor dat het water tussen de bodemdeeltjes sneller wordt afgevoerd waardoor de grondlagen sneller kunnen worden samengedrukt. Dit vermindert de kans op verzakken en bezwijken en verkort de wachttijd tussen aanleg en gebruik van een grondlichaam. Het effect van verticale drainage op de waterhuishouding is tijdelijk: totdat zoveel grondwater is afgevoerd dat een nieuw evenwicht ontstaat.

5.3.4 Belasting

De bodem kan tijdens het bouwproces op drie manieren worden belast: door het gewicht van een bouwwerk met een fundering op staal, door een (al dan niet tijdelijke) ophoging van het maaiveld of door het gebruik van zware machines. Ook van nature kan er grondbelasting zijn, zoals het gewicht van een kleilaag op een veenondergrond of grondbelasting door het rijpen van een bodem.²⁷⁷



Afb. 5.13 Overzicht van de relatie tussen ophoging en potentiële schade aan archeologische materialen. Bovenin geven de gekleurde banen de relatie tussen meters ophoging en druk voor verschillende materialen. In het middendeel staat weergegeven hoeveel ophoging nodig is voordat beperkte (witte balk) of ernstige (zwarte balk) schade aan kleine artefacten of ecofacten ontstaat. Onderin de figuur wordt weergegeven hoe de druk van voeten, poten en banden zich verhoudt tot ophogingen met grond (bron: Huisman & Ngan-Tillard 2019).

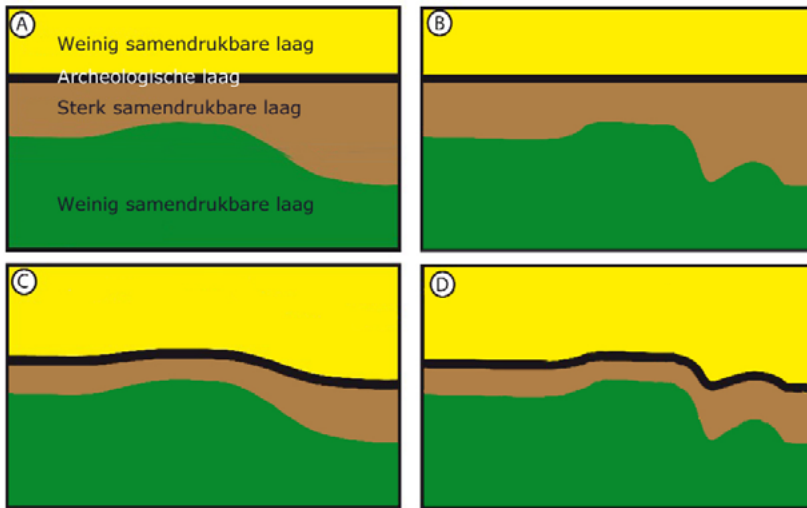
Het plaatsen van een belasting op bodemlagen kan verschillende effecten hebben. In de eerste plaats is er de zetting van bodemlagen. Midden onder een belasting vindt verticale zetting plaats, wat inhoudt dat de bodem wordt samengedrukt (gecompacteerd). De gronddruk neemt

²⁷⁴ Roorda & Stöver 2016, 26.

²⁷⁵ Groenendijk 2009.

²⁷⁶ Huisman et al. 2011, par. 3.3.4.

²⁷⁷ Schothorst 1967; Locher & De Bakker 1990, 244. Inklinking is dus nauw verwant aan zetting en beiden dragen meestal voor ongeveer 20-30% bij aan de bodemdaling in bijvoorbeeld het veenweidegebied.



Afb. 5.14 Schematische weergave van potentiële effecten van druk en zetting op onderliggende (archeologische) lagen en artefacten. Geïllustreerd op basis van ophoging met zand. A en B: beginsituatie, C en D: na 50% compressie van de meest zettingsgevoelige (bruine) laag. De verticale schaal is sterk overdreven. (bron: Huisman *et al.* 2011a).

toe, alle onderdelen (korrels, losse voorwerpen, kabels en leidingen) bewegen neerwaarts en bodemlagen worden dunner. Aan de randen van een belasting en bij een niet gelijkmatig gevormde zettingsarme bodemlaag in de ondergrond kunnen verticale bewegingen in de bodem resulteren in zijwaartse bewegingen.

Verschillende grondsoorten reageren verschillend op belasting. Zand en gerijpte klei en leem vertonen in de regel heel minimale zettingen, vooral als de bodem 'goed gepakt' is, dat wil zeggen dat de bodemdeeltjes dicht op elkaar zitten.²⁷⁸ Slappe klei en veen zijn zettingsgevoeliger.²⁷⁹ Zetting is heel beperkt omkeerbaar: alleen het laatste beetje zetting wordt door de elasticiteit van de bodem ongedaan gemaakt als een belasting wordt verwijderd. De rest is onomkeerbaar. Grond die al eens eerder is belast, is al samengedrukt en zet bij een volgende belasting minder en minder snel.²⁸⁰ Alleen wanneer de belasting groter wordt dan het gewicht van de belasting die de grond in het verleden al eens heeft gehad, treedt zetting opnieuw op totdat de eindzetting opnieuw is bereikt. Omdat dit gepaard gaat met het uitstromen van water kan dit proces van consolidatie in slecht doorlatende gronden (klei en veen) een lange tijd duren.²⁸¹ In

de grondmechanica wordt veelal uitgegaan van een periode van 30 jaar voordat de eindzetting bereikt is. Bij forse ophogingen wordt de eindzetting versneld door toepassing van de eerder genoemde verticale drainage.

Bouwverkeer en machines, zoals graafmachines, kranen, dumpers en vrachtwagens, veroorzaken belasting van tijdelijke aard. De belasting door de wielen moet echter niet worden onderschat; deze kan vele malen hoger zijn – vanwege de kleine contactoppervlakken – dan een ophoging van bijvoorbeeld enkele meters zand (afb. 5.13).²⁸² 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 echter ernstige verstoring ontstaan door insporing en verdichting (afb. 6.13).

Kwetsbaar voor zetting zijn vooral vindplaatsen met samendrukbare archeologische lagen, sporen, vondsten of omvangrijke constructies (afb. 5.14). Druk bij ophogingen zorgt echter voor minder aantasting van kleine archeologische resten dan eerder werd gevreesd.²⁸³ Veel belangrijker is dat bodemlagen en grondsporen (de stratigrafie van een vindplaats) kunnen vervormen en samendrukken.²⁸⁴ Vondstmateriaal kan zijwaarts verplaatsen, met zijn context. Naarmate het materiaal groter is, is de kans groter dat ook breuk optreedt. Deze effecten hebben verstrekkender gevolgen naarmate de stratigrafie fijner is. Vooral belasting die ongelijke (differentiële) zetting in de ondergrond veroorzaakt of horizontale vervorming en verplaatsing van archeologische lagen kan schadelijk zijn (afb. 5.14). In specifieke gevallen kan de relatie tussen artefact en omringende bodem verstoord raken. Bijvoorbeeld als stevige antropogene resten voorkomen in een slappe laag, zoals houten palen en stenen muurresten of scheepswrakken in Flevoland (die door afdekende kleilagen vervormd zijn). 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. Verder kan het extraheren van botanische resten uit samengedrukt materiaal een langduriger behandeling vergen.

²⁷⁸ Huisman & Ngan-Tillard 2019.

²⁷⁹ Zaadnoordijk & Wonink 1995.

²⁸⁰ Koster & Erkens 2017; Van Laarhoven 2017; Willemse 2017, par. 2.3.

²⁸¹ Roorda & Stöver 2016.

²⁸² Huisman & Ngan-Tillard 2019.

²⁸³ Potvliet 2015, 14; Huisman & Ngan-Tillard 2019; Hans Huisman (RCE), mond. meded.

²⁸⁴ Roorda & Stöver 2016, 46.

Funderen op staal

Een fundering ‘op staal’ betekent een fundering die direct op een draagkrachtige bodem is gezet, dus niet op palen of putten.²⁸⁵ Dit kan een ondiepe fundering zijn waarbij het gebouw of kunstwerk op een relatief groot contactoppervlak wordt gefundeerd, bijvoorbeeld op een plaatfundering of strokenfundering. Alleen soms wordt een gebouw door de muren gedragen, dus zonder verdere fundering. De muren staan dan op een dragende laag aan het maaiveld, in de regel een zeer stijve sterke klei of een zandlaag. Dit was in het verleden tot in de vorige eeuw een gebruikelijke wijze van bouwen.

Of een fundering op staal ook technisch mogelijk is, hangt af van de te realiseren bouwmasse, de gebruikte bouwmaterialen en de draagkracht van de bodem. Bouwwerken met een fundering op staal zijn kwetsbaar voor (tijdelijke) grondwaterpeilverlagingen waardoor verzakking optreedt. Dat betekent dat een fundering op staal in westelijk Nederland – met zijn vele veen- en kleibodems – alleen voor lichte constructies bruikbaar is. Zand is als ondergrond doorgaans wel geschikt. Een fundering op staal moet vorstvrij op een minimum diepte van 60-80 cm onder het maaiveld worden aangelegd. Een plaatfundering kan ondieper worden aangebracht, maar dan wel met een vorstrand die tot 60 cm diep reikt.

Vooraf bij (heel) ondiepe vindplaatsen waar de archeologische resten 80 cm of minder onder het maaiveld liggen, en bij zettingsgevoelige archeologische lagen, kunnen funderingen op staal en grondverbetering (indien uitgevoerd) verstorend zijn.²⁸⁶ De kans op echt schadelijke zetting en vervorming wordt kleiner naarmate de archeologische resten dieper in de ondergrond liggen. Bij ondiepe vindplaatsen op een stevige (zand)bodem is funderen op staal echter mogelijk. Ze verstoren minder dan funderingen op putten of palen, mits ze volledig boven het archeologische niveau aangelegd worden. Een niet te zware ophoging is dan wenselijk en een ophoging van 50 cm is doorgaans voldoende. Een dergelijk vlakdekkende belasting is nog mogelijk zonder de archeologische resten aan te tasten. Een voordeel voor toekomstig onderzoek is dat funderingen op staal makkelijker in hun geheel zonder nieuwe bodemverstoringen zijn te

verwijderen dan funderingen op putten of palen. Reden waarom archeologen de voorkeur geven aan funderingen op staal.

Zettingen en vervorming tijdens in- of uittrillen van damwanden en heipalen

Grondtrillingen door bouwwerkzaamheden ontstaan door het langsrijden van (zwaar) verkeer of door de werking van heistellingen (voor heipalen, damwanden, enz.).²⁸⁷ Trillingen zetten het mechanisme van bodemverweking (liquefactie) van waterverzadigde grond in werking of veroorzaken verdichting van de ondergrond. Uit het proefschrift van Meijers uit 2007 blijkt dat nabij damwanden de zetting/zakking van waterverzadigde slappe grond gemiddeld 10 cm bedraagt.²⁸⁸ Grotere zettingen van 50 tot 100 cm worden echter ook gemeld. Het plaatsen van damwanden heeft daardoor vergelijkbare effecten op het archeologisch bodemarchief als het plaatsen van heipalen: verstoring door doorboring, vermenging en vervorming van bodemlagen.

5.3.5 Wateronttrekking

Tijdens de bouw is het vaak nodig de grondwaterstand tijdelijk te verlagen voor een droge bouwput. Hiervoor wordt dan bronbemaling ingezet. De aanpassing van het grondwaterpeil (grondwaterdruk) kan kortdurend zijn. Als het bouwproject is afgelopen wordt de oude situatie weer ingesteld. Soms worden grond- en oppervlaktewaterniveaus als onderdeel van planontwikkeling echter permanent aangepast. Voorbeelden daarvan zijn het (blijvend) verlagen van slootpeilen, het graven van bekkens en het aanbrengen van drainage.

Het effect van bronbemaling en drooglegging reikt verder dan de bouwput; de verandering in de waterstand/grondwaterdruk houdt niet op bij de rand van de bouwput maar kan tot wel honderden meters afstand merkbaar zijn, afhankelijk van de lithologie (klei, zand) en bodemopbouw.²⁸⁹ Als er veranderingen optreden in de vochttoestand van de bodem heeft dat meestal direct invloed op de zuurstofbalans en de redox-toestand in de bodem. Het zal op de eerste plaats een snelle aantasting van onverkoelde organische resten (hout, leer, textiel, zaden,

²⁸⁵ Deze benaming betekent dus niet dat de fundering uit staal bestaat.

²⁸⁶ Roorda & Stöver 2016, 35.

²⁸⁷ www.kivi.nl/afdelingen/geotechniek/geonet/dossiers/trillingen; zie ook Head & Jardine 1992; Ardito 1994; Meijers 2007.

²⁸⁸ Meijers 2007.

²⁸⁹ Huisman et al. 2011a, par. 4.5 Dit wordt in de geotechniek tot de omgevingsbeïnvloeding gerekend



Afb. 5.15 Inbrengen van kunstharsen onder funderingen (beeld: productinformatieblad Uretek 2019).

pollen) tot gevolg hebben door verdroging en schimmelwerking (paragraaf 5.4.7).²⁹⁰

Botmateriaal ondergaat hetzelfde lot als de bodem kalkloos is, maar blijft in principe goed als de bodem kalkhoudend is. Verder zullen metalen uit zuurstofloze zones die plotseling in een zuurstofrijk milieu terecht komen gaan oxideren (roesten).²⁹¹ De wijze waarop (en de mate waarin) deze processen schadelijk zijn voor archeologische resten is onderwerp van onderzoek. Onbekend is bijvoorbeeld hoe lang een tijdelijke droogstand minimaal moet duren voordat onverkoold organisch materiaal aange-tast raakt.

5.3.6 Afdekking

Bouwactiviteiten kunnen op verschillende manieren leiden tot veranderingen in het vocht-regime in de bodem. In een niet-afgedekte bodem wordt het bodemvocht gereguleerd door infiltratie van neerslag (van boven) en kwel en capillaire stijging (van onder), en door verdamping en afstroming naar het oppervlaktewater. Doordat een goed doorluchte bodem (en neerslag) in de regel zuurstofrijk is en kwelwater vaak zuurstofarm, ontstaat in een niet-afgedekte bodem de vrij algemene zonerings- en

oxidatiekleuren ondiep in het profiel en reductiekleuren daaronder.²⁹² Door het afdekken van het maaiveld verandert een aantal van deze factoren. Er is onder een verharding nauwelijks of geen sprake meer van uitwisseling met de buitenlucht. Verder stroomt alle zuurstofrijke neerslag oppervlakkig af, vaak via regenkolken naar riolering of opvangbekkens.²⁹³ Het van de buitenwereld afgesloten bodemvocht stagneert daardoor onder de afdekking en kan in aanwezigheid van (lage concentraties) organische stof en ijzerverbindingen zuurstofloos worden en daardoor reductieverschijnselen veroorzaken. Verder zorgt het wegvallen van infiltrerend regenwater voor het hoger opkruipen (door capillaire werking) van (zuurstofloos) grondwater wat eveneens voor reductieverschijnselen zorgt.²⁹⁴ Het belangrijkste nadelige effect van de reductieverschijnselen onder de afdekking is dat de grijsblauwe reductiekleuren het contrast tussen grondsporen en archeologische lagen en de omliggende bodem vervaagt waardoor een deel van deze informatiebron onzichtbaar wordt. Voor het onzichtbaar worden van grondsporen geldt het volgende:²⁹⁵

1. grondsporen en/of archeologische lagen liggen voor de afdekking in een aerob bodemmilieu, maar komen door afdekking in een reducerend milieu terecht;
2. de grondsporen en/of archeologische lagen bevatten heel weinig onverkoelde organische stof of zijn arm aan vondsten, anders zijn grondsporen ook in een gereduceerde ('verblauwde') bodem nog steeds goed herkenbaar.
3. het is een irreversibel proces, dat wil zeggen dat de contrasten niet meer terugkeren als de verharding of het bouwwerk weggehaald wordt en er weer aerobe condities op het archeologische niveau ontstaan.²⁹⁶

5.3.7 Stabilisatie

Een slappe ondergrond kan worden verstevigd door het onder druk samen inbrengen van twee vloeistoffen, een kunstmatige harssoort en een uithardingsmiddel. Deze twee componenten worden met een injectiepistool in de bodem gespoten waar ze met elkaar reageren en er een dikke uitgeharde harslaag ontstaat (afb. 5.15).²⁹⁷

²⁹⁰ Van Waijjen 2001b, 28; Brinkkemper 2006.

²⁹¹ Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze processen: zie vooral Huisman *et al.* (2009).

²⁹² In het riviereengebied komen bijvoorbeeld zowel 'vergrijzingen en verblauwingen' (Huisman 2007; Huisman *et al.* 2011a) als 'verbruiningen' (Hiddink 2000) voor.

²⁹³ Zie bijvoorbeeld: Wang 2016.

²⁹⁴ Maas 2001.

²⁹⁵ Bertil van Os (RCE), mond. meded.

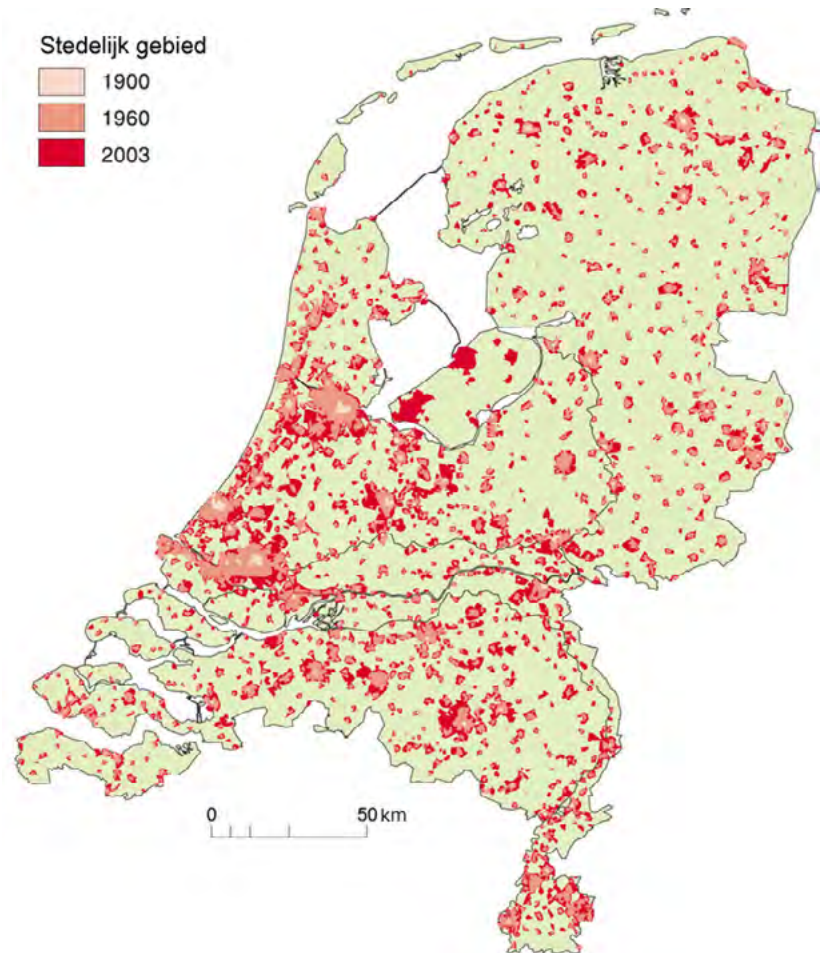
²⁹⁶ Irreversibel wil zeggen dat de oxidatiekleuren niet terugkeren of zo langzaam terugkeren dat ze niet van nut zijn bij een opgraving.

²⁹⁷ Bijvoorbeeld de brochure van Uretek (www.uretek.nl).

De benodigde dikte van deze harslaag is afhankelijk van het bodemtype en de berekende drukbelasting en kan decimeters tot meerdere meters bedragen. Sommige van deze kunstmatige harssoorten zetten tijdens de chemische reactie tussen de componenten uit (expanderen) waarbij enorme expansiekrachten in de bodem ontstaan die bouwwerken deels op kunnen tillen.

Deze methode van het injecteren van al dan niet expansieve chemische hars wordt onder andere gebruikt voor vloer- en funderingsherstel van woningen, voor het verstevigen (funderen) of opliften van kasvloeren en –paden, bedrijfsvloeren, kraanbanen, machinefundamenten, enz.²⁹⁸ Silicagel (waterglas) wordt in de bouw (maar ook wel bij archeologische opgravingen) gebruikt voor het (tijdelijk) onderbreken van de grondwaterdruk onder het werk om wateroverlast en opdrijven van bouwwerken te voorkomen.²⁹⁹

Bij expansieve harssoorten is vooral het wegdrukken van het grondvolume onregelmatig van vorm en de verdrukking dus ook. Bij het wegdrukken van zachte delen van de bodem – zoals veenlenzen en slappe zand- en kleilagen kan dat (in theorie althans, er zijn geen onderzoeksgegevens voorhanden) extreme vormen aannemen met grote gevolgen voor archeologische resten. Verder worden er zowel bij kunstharsen als bij silicagel opzettelijk al dan niet omvangrijke niet-waterdoorlatende platen in de ondergrond gevormd waardoor ook de vochtbalans wordt verstoord. Verder kunnen bij niet-expansieve toepassing van harsen en silicagel belangrijke delen van het archeologische bodemarchief ingekapseld raken waarmee ze voor toekomstig onderzoek onbereikbaar worden. Onbekend is in hoeverre kunsthars de poriënruimten opvult, zoals het geval is bij het injecteren van waterglas. Ook over de chemische interactie tussen ingebrachte kunstharsen en archeologische resten (zoals organische materialen) zijn geen gegevens gevonden.³⁰⁰



Afb. 5.16 Kaart van Nederland met daarop de ontwikkeling van stedelijke gebieden in de periode van 1900 tot en met 2003. Het westen van het land is het sterkst ontwikkeld en het stedelijk oppervlak tussen 1900 tot en met 2003 is zeer aanmerkelijk toegenomen.

5.4 Wijzigingen in de waterhuishouding

5.4.1 Inleiding

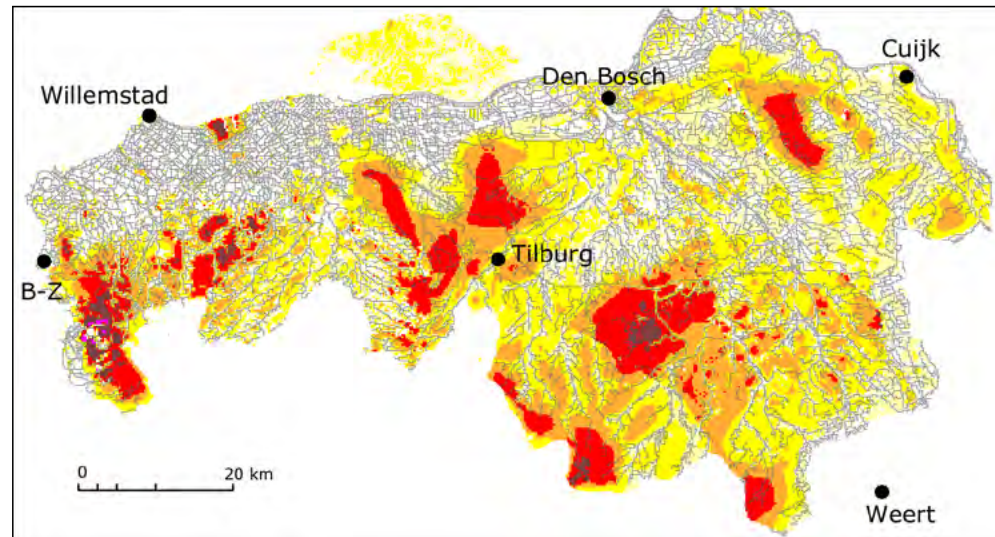
Bijna 16% van de archeologische rijksmonumenten ligt in gebieden met relatief hoge grondwaterstanden (GWT IV of lager, afb. 3.4, tabel 5.5) en bevat mogelijk waardevolle onverkoelde organische archeologische resten.³⁰¹ Of deze resten ook in de nabije toekomst bewaard blijven is grotendeels afhankelijk van de

²⁹⁸ Zie bijvoorbeeld www.uretek.nl (geraadpleegd 4 december 2019).

²⁹⁹ Zo werd bij de donkopgravingen in de Alblasserwaard (Hardinxveld-Giessendam, De Bruin) een één à twee meter dikke laag waterglas ingespoten om het water uit de diepte tegen te houden. Zo'n tien meter grond moest er op de silicagel blijven liggen, anders zou het water de ondoordringbare laag in zijn geheel omhoog hebben gedrukt.

³⁰⁰ Er is wel onderzoek gedaan naar de chemische interactie met de bodem en water; zie bijvoorbeeld het productinformatieblad Uretek-hars.

³⁰¹ Beukers *et al.* 2009.



Afb. 5.17 Berekende daling van de grondwaterstand in meters in Noord-Brabant tussen 1950 en 2010 door verandering in landgebruik en stijging van gewasopbrengsten (conservatief rekenscenario). Donkerbruin: daling 2 tot 1 m; rood: 1 tot 0,5 m; oranje: 0,5 tot 0,25 m; geel: 0,1 tot 0,25 m (bron: Witte *et al.* 2015).

grondwaterstanden binnen het rijksmonument en veranderingen daarin.³⁰² Sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw is de grondwaterstand in grote delen van Nederland met gemiddeld 20 tot 40 cm gedaald.³⁰³

Tabel 5.5 Voorkomende grondwatertrappen binnen de archeologische rijksmonumenten.

Grondwatertrap	Opp. (%)
VIII	4,6
VIIo/d	11,3
VII	18,9
VI	1,8
Va	4,4
V	10,7
IV	1,0
IIIa	1,4
III	5,0
II	2,9
I	0,2
W	5,4
Onbepaald	21,5

Tabel 5.5 Voorkomende grondwatertrappen binnen de archeologische rijksmonumenten naar relatieve oppervlakte (totaal 435.937 ha).

Grondwaterstanden kunnen door verschillende oorzaken veranderen.³⁰⁴ Grootschalige infrastructuurle werken zoals de aanleg van de Afsluitdijk en de drooglegging van Flevoland hebben de grondwatersituatie in het verleden grondig beïnvloed. Gehrels *et al.* (1994) schatten dat de inpoldering van Zuidelijk Flevoland een daling van de grondwaterstand heeft veroorzaakt van ongeveer 1 meter nabij de kust van het randmeer tot 50 cm op 14 km afstand richting het oude land. Veenenbos meldde al in 1951 dat sinds het droogleggen van de Noordoostpolder in 1941 in het weidegebied tussen Lemmer en Blokzijl ernstige verdrogingsverschijnselen optraden.³⁰⁵ Andere voorbeelden van grote infrastructuurle werken die de grondwaterstand hebben beïnvloed zijn de Maaswerken, de Deltawerken, De Ruimte voor de rivierprojecten (uitdiepen, geulen, natuurontwikkeling) en de aanpassing van kanalen zoals de Zuid-Willemsvaart.

Een belangrijke andere oorzaak van (grond) waterpeilverandering heeft te maken met de (gewenste) waterhuishouding in bebouwd en landelijk gebied.³⁰⁶ In bebouwd gebied zijn hoge grondwaterstanden ongewenst in verband met natte kruipruimtes en onderlopende kelders. In het landelijk gebied heeft vooral de landbouw profijt van een matige tot diepe drooglegging tot 60 cm -mv of meer. Die biedt een sterk

³⁰² Kostelijk 1986; Asmussen & Moree 1990; Van Heeringen & Theunissen 2006; Huisman 2009; Huisman *et al.* 2011a; De Beer 2019.

³⁰³ Wijmer 1990; Van der Gaast & Massop 2005; Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016

³⁰⁴ Van der Gaast & Massop 2005; Knotters & Jansen 2005; Werkgroep NHV 2016.

³⁰⁵ Veenenbos 1951.

³⁰⁶ Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016.

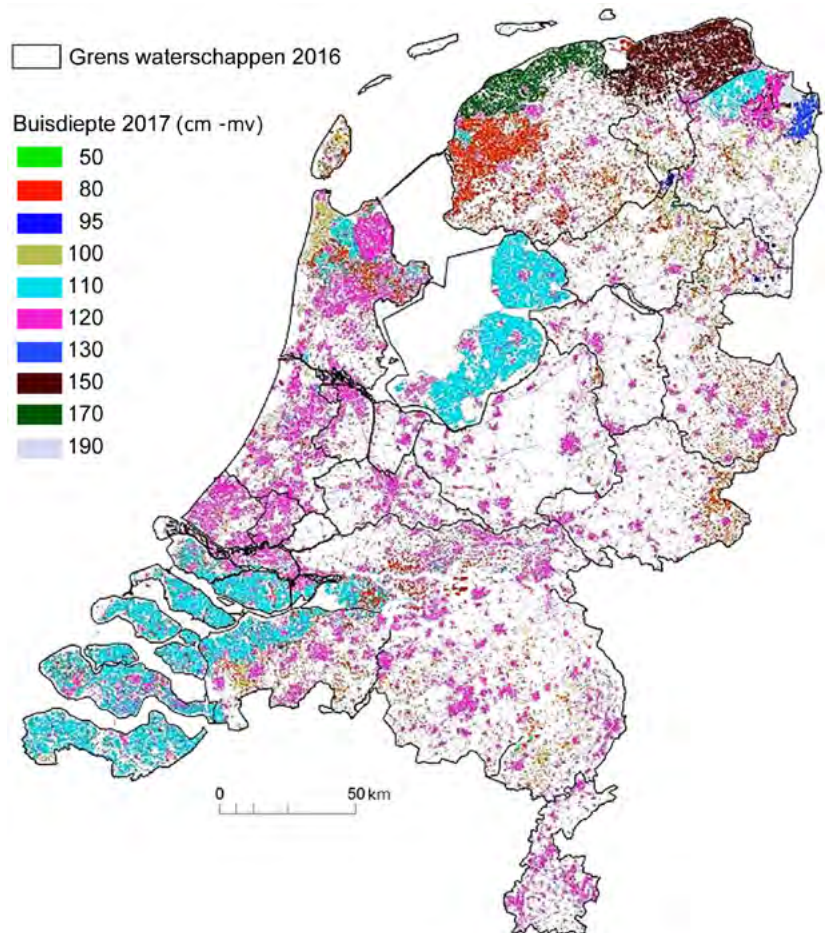
verbeterde draagkracht van de bodem wat leidt tot minder vertrapping door het vee en minder insporing door machines.

Op veel kleinere schaal wordt blijvend water aan de bodem onttrokken voor beregening of huishoudelijk gebruik. Industriële grondwateronttrekkingen of onttrekkingen voor drinkwater hebben vooral invloed op de stijghoogte van het diepere grondwater, met een (potentiële) grondwaterdaling (en extra zetting) tot gevolg.³⁰⁷

Ook de toename van het aandeel bos in natuurterreinen³⁰⁸ en de toename van het areaal bebouwd gebied ten koste van landbouwgrond (afb. 5.16) spelen een rol in de trend van algemene grondwaterstanddaling. Toename van bos en verruiging van natuurterreinen heeft op de hogere zandgronden bijvoorbeeld geleid tot meer verdamping, minder grondwateraanvulling en dus tot een verlaging van de grondwaterstand.³⁰⁹ Ook olopende neerslagtekorten als gevolg van klimaatverandering dragen bij aan minder grondwateraanvulling, een lagere grondwaterstand en een lager bodemvochtgehalte. Aangenomen wordt dat de grondwateraanvulling ook in stedelijk gebied lager is dan in landbouwgebied. De meeste neerslag verdwijnt via regenkolken en het rioelstelsel naar het oppervlaktewater of opvangbekkens en komt niet in de bodem terecht. Hierbij speelt ook de ontwatering van bebouwd gebied om gebouwen droog te houden een rol.³¹⁰ Van stedelijke uitbreiding gaat dus eveneens een grondwaterstandsverlagend effect uit.

5.4.2 Grondwaterstanddaling door landinrichting

In het kader van de mechanisering en schaalvergroting van de landbouw zijn vanaf de twintigste eeuw op grote schaal ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten uitgevoerd. Bij de ruilverkavelingen werden sloten en landweggetjes verlegd en andere afscheidingen tussen percelen opgeruimd, zoals heggen, houtwallen en bomenrijen. Nieuwe, grotere wegen en waterwegen kwamen ervoor in de plaats.³¹¹ De aanpassingen van het watersysteem betrof vooral het doorvoeren van peilverlagingen, het



Afb. 5.18 Buisdrainagekaart 2017 (bron: Massop & Schuiling 2017).

verbeteren van de af- en aanvoer van water van elders en beregening door het oppompen van grondwater.³¹²

Bij veel ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten werden de (hoofd-) waterlopen verruimd en het waterpeil in de winter verlaagd. De verbetering van het watersysteem bestond verder uit het verdiepen van de perceelssloten (veelal in combinatie met het dempen van sloten en greppels om perceelvergroting mogelijk te maken) en/of het aanleggen van buisdrainage.³¹³ In het vrij afwaterende deel van Nederland (dat wil zeggen: niet in de polders) heeft dit in de periode 1950-1985 tot een aanzienlijke verlaging van de grondwaterstand geleid (afb. 5.17). Zo daalde de gemiddelde grondwaterstand in midden Drenthe, grote delen van de Achterhoek en Noord-Limburg in de periode 1961-2004 met meer dan 40 cm.³¹⁴

³⁰⁷ Kremers & Van Geer, 2000; Van der Gaast & Massop 2005; Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016; Hoogewoud *et al.* 2016.

³⁰⁸ Witte *et al.* 2015.

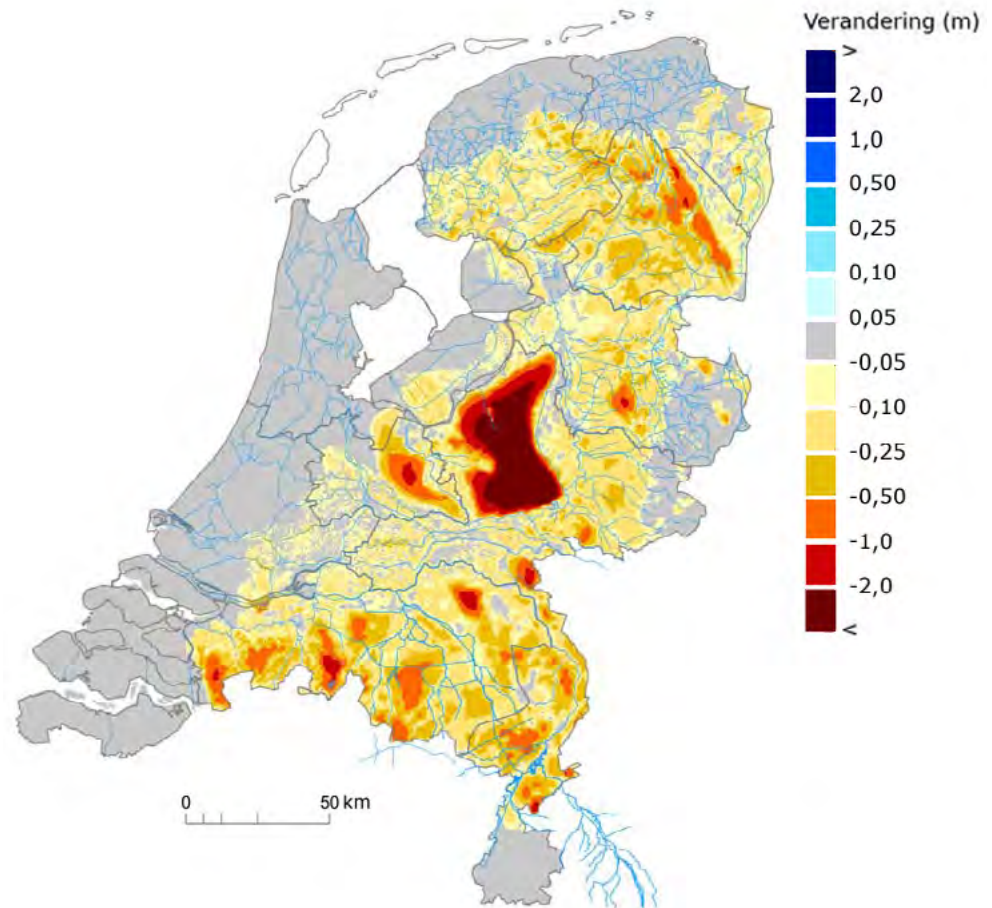
³⁰⁹ Witte *et al.* 2012; Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016.

³¹⁰ De Graaf *et al.* 2013; Jacobs *et al.* 2015; Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016.

³¹¹ Koomen, Maas & Weijschede 2007.

³¹² Rolf 1989; Maas & Von Asmuth 2004; Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016. Sinds het extreem droge jaar van 1976 is beregening sterk toegenomen, vooral in het zuidelijk en oostelijk zandgebied.

³¹³ Berekeningen door Van Bakel *et al.* (2008) laten zien dat aanleg van buisdrainage leidt tot een forse daling van de GHG (ca. 40 cm) en een veel geringere daling van de GLG (ca. 10 cm). Zie ook Braat *et al.* 1989; Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016.



Afb. 5.19 Berekende verandering in grondwaterstand voor het scenario 'diffuse wateronttrekking' van 1.800 miljoen kubieke meter water per jaar (bron: Hoogewoud *et al.* 2016).

Na 1985 zijn in diverse (landinrichtings-) gebieden waterhuishoudkundige werken uitgevoerd die een kleiner effect op de peilverlaging hebben gehad of zelfs hebben geleid tot een verhoging van de grondwaterstand. In algemene zin wordt echter gesteld dat de oorspronkelijk grondwatertrappen II en III sinds 1950 zijn overgegaan in overwegend klasse VI en deels IV (tabel 3.1).³¹⁵ De verschillen tussen deelgebieden en binnen de deelgebieden zijn echter groot.

5.4.3 Peilbesluiten en peilbeheer

Waterbeheer in het landelijk gebied valt grotendeels onder verantwoordelijkheid van de waterschappen en hoogheemraadschappen die verantwoordelijk zijn voor het peilbesluit. Deze organisaties zorgen er voor dat gebieden zo min mogelijk droogteschade of natschade ondergaan. In de meeste polders is zelfs sprake van actief peilbeheer zodat kan worden voldaan aan de afspraken met betrekking tot het (meestal agrarisch) landgebruik.

Onderdeel van peilbeheer is peilindexatie. Dit betekent dat met een bepaalde regelmaat, meestal om de tien jaar, een nieuw peilbesluit wordt genomen met als uitgangspunt dat de afgesproken drooglegging behouden blijft.³¹⁶ De wijze en momenten waarop peilbesluiten

³¹⁴ Knotters & Jansen 2005.

³¹⁵ Werkgroep achtergrondverlaging NHV 2016.

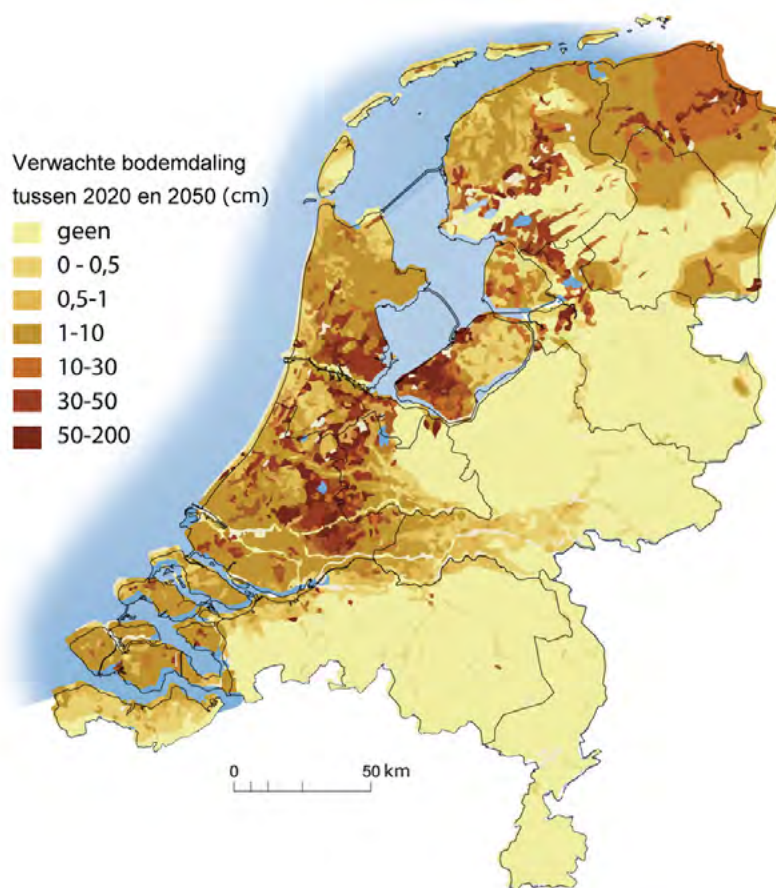
³¹⁶ Peilbesluiten worden door de waterschappen genomen per peilgebied of peilvak en zijn juridische documenten.

worden genomen verschillend. In de veenweidegebieden van West- en Noord-Nederland vindt aanpassing van polderpeilen aan maaiveldafvalingen meestal stapsgewijs plaats. Nadat het maaiveld ongeveer 10 centimeter is gezakt wordt een aangepast peilbesluit genomen door het waterschap, waarna het polderpeil in 2 jaar met stappen van 5 cm 10 centimeter lager wordt ingesteld. De polderpeilen volgen hier dus de bodemdaling om de drooglegging te handhaven. Na 1950 werd het peil extra verlaagd om de draagkracht van de grond te vergroten en agrarische landbewerking te vergemakkelijken.³¹⁷ Het Wetterskip Fryslân verwoordt dit bestaande beleid als 'peil volgt functie' waarbij 'functie' het agrarisch grondgebruik is.

Belangrijk is dat binnen de polders de grondwaterstanden grotendeels zullen zijn meegedaald met het polderpeil, waardoor de grondwaterstand in de afgelopen decennia kan zijn verlaagd met 30-50 cm. De uitstraling naar aangrenzende niet-polder gebieden (vrij afwaterend) heeft ook daar voor verlaging van grondwaterstanden gezorgd.

Stijghoogte

Een ander effect van de verlaging van het slootpeil (in de polders maar dus ook daarbuiten) is het effect daarvan op de stijghoogte van dieper grondwater. Verlagen van het waterpeil zorgt er namelijk voor dat het gewicht (druklast) van het oppervlaktewater op de ondergrond en op het 'diep grondwater' minder wordt. Dit diepere grondwater staat ook onder druk dus een lager gewicht van het oppervlaktewater zorgt voor het hoger opwellen (hydrologen spreken van hogere stijghoogte) van diep grondwater. Hetzelfde fenomeen van opwellend grondwater door drukontlasting ontstaat bij het graven van bouwkuipen of diepe (archeologische) werkputten wanneer een deel van het grondgewicht (lokaal) wordt weggenomen.³¹⁸ Drukontlasting door peilverlaging kan in kwelgebieden (maar dus ook in bouwkuipen en werkputten) leiden tot wellen en opbarsten van lagen. Het kan in de kustgebieden ook het zouter worden van het grondwater veroorzaken (verzilting; paragraaf 5.4.8).³¹⁹



Afb. 5.20 Verwachte bodemdaling in Nederland zonder beperkende maatregelen (bron: Deltares).

5.4.4 Verbeteren van de waterhuishouding op agrarische percelen

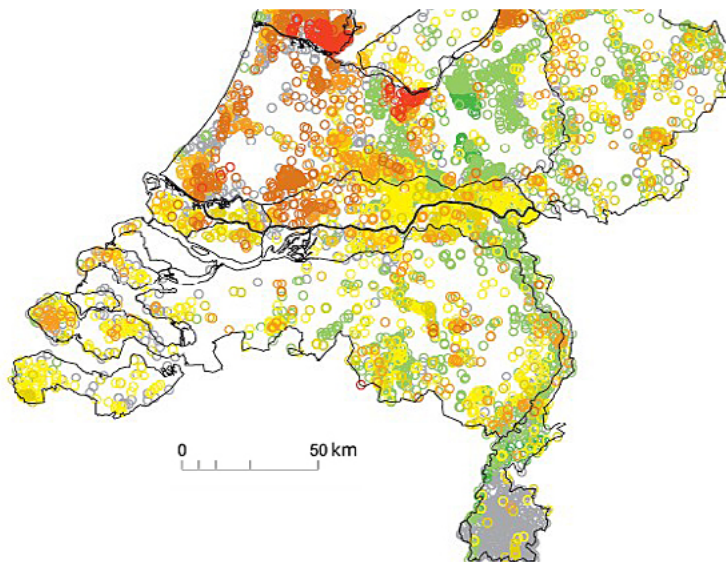
Al vroeg werd boerenland gedraineerd door een zogenaamd open drainagesysteem aan te leggen. Door slootvulling en grond van de randen van de percelen naar het midden te brengen en door de percelen naar binnen op te ploegen ontstonden 'kruinige' (opgebolde) akkers en werd de oppervlakteontwatering richting de sloten en greppels langs de randen verbeterd. In het noordelijk zeekleigebied ontstonden zo de min of meer vierkante, bolligende akkers, waarbij het hoogteverschil tussen rand en midden wel een meter kon bedragen. In het zuidwestelijk kleigebied en het rivierengebied ontstonden vooral lange smalle akkers, gescheiden door een greppel.³²⁰

³¹⁷ Willemse 2017.

³¹⁸ Het wegnemen van een deel van de waterdruk van het diepere grondwater is vaak een belangrijk doel van bronbemaling. Het gaat bij bronbemaling dan niet om het wegpompen van grondwater uit de omliggende bodemlagen, maar om het verlagen van de waterspanning die door het wegnemen van het gewicht van de verwijderde grond in het watervoerende pakket is toegenomen. Naast drukontlasting van het watervoerende pakket door bronnen kan ook een laag waterglas onder de bouwkuip worden aangebracht.

³¹⁹ Stuyt, Van Bakel & Massop 2011.

³²⁰ Bieleman 2008, 65-66.



grondwater-trap	gem. laagste grondwaterstand (cm)	gem. hoogste grondwaterstand (cm)	
I	< 50	-	Grote kans op organische resten in ondiep bereik. Gevoelig voor grondwaterstandsverlaging.
II	50 - 80	-	
III	80 - 120	< 40	Kans op organische resten in ondiep bereik. Gevoelig voor grondwaterstandsverlaging.
IV	80 - 120	> 40	
V	> 120	<40	
VI	> 120	40 -60	
VII	> 120	> 80	Hoogstwaarschijnlijk ondiep geen organische resten meer aanwezig.
VIII	>120	> 140	
○	onbekend		

Afb. 5.21 Kaart van grondwaterklassen op bekende archeologische terreinen in de zuidelijke helft van Nederland. Aangegeven is op welke terreinen de kans groot is om op geringe diepte organische resten te vinden (bron: Beukers 2009).

Tegen het einde van de negentiende eeuw en in het begin van de twintigste eeuw werden de greppels en sloten als hinderlijk ervaren voor de landbouwwerkzaamheden en werden ze vervangen door ondergrondse leidingen van kleibuizen, sinds 1960 vervangen door flexibele plastic buizen. Wanneer er geen storende lagen in de grond aanwezig zijn is de ideale draindiepte 20 centimeter onder de gewenste voorjaarsgrondwaterstand. De minimale diepte is 70 cm onder maaiveld omdat er anders beschadiging kan optreden door wioldruk en vorst.³²¹ Het aanbrengen van nieuwe drainage is nog steeds gaande. Tussen 2003 en 2010 is bijvoorbeeld het areaal landbouwgrond met drainage

toegenomen van 14 tot 33 procent wat de omvang van deze bodemingreep enigszins duidt (zie afb. 5.18).³²²

In bodems waar buisdrainage niet of beperkt werkt, worden maaiveldgreppels (soms in combinatie met buisdrainage) toegepast.³²³ Dit zijn bodems met geringe doorlatendheid, bijvoorbeeld komkleien of jonge zeelei, of met ondiepe grondwaterstanden, zoals in laagveengebieden. Maaiveldgreppels zijn verlagingen van het maaiveld die zijn aangelegd voor de afvoer van overtollige neerslag naar de kavelsloten. Maaiveldgreppels zijn vaak ondieper dan 0,5 m en staan niet op de topografische kaart aangegeven. Ze zijn wel goed zichtbaar in AHN-beelden en soms op luchtfoto's.

5.4.5 Grondwaterwinning/ wateronttrekking

De gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater in Nederland (paragraaf 5.4.3) is de afgelopen vijftig jaar met ruim 30 centimeter afgenomen.³²⁴ Die afname begon in het midden van de jaren vijftig en komt vrijwel overal voor. Belangrijkste oorzaak, naast een landbouwkundig effect, is de toename van de grondwaterwinning.³²⁵ Rond 1950 bedroeg de grondwaterwinning voor de *drinkwatervoorziening* circa 250 miljoen kubieke meter per jaar; rond 1998 was dat meer dan verdrievoudigd tot circa 800 miljoen kubieke meter per jaar (afb. 5.19). Grondwaterwinning voor *industriële doeleinden* bereikte in de jaren zeventig een piek (ca. 500 miljoen kubieke meter per jaar) maar is nu weer terug op het niveau van 1950 (ca. 200 miljoen kubieke meter per jaar).³²⁶

5.4.6 Bodemdaling door waterbeheer

Ongeveer een kwart van West- en Noord-Nederland bestaat uit veengronden. Deze veengronden hebben een dikte variërend van 0,4 m tot meer dan 8 m maar als gevolg van landgebruik en waterbeheer daalt het maaiveld al eeuwen tussen de 0,5 en 2 cm per jaar. In het stedelijk gebied verzakt de veenbodem door het samendrukken van de slappe ondergrond onder

³²¹ Ibid.

³²² Massop & Schuiling 2017; Lascaris 2019, 19.

³²³ Massop & Schuiling 2017, par. 3.7.

³²⁴ Kremers & Van Geer 2000.

³²⁵ Werkgroep NHV achtergrondverlaging 2016.

³²⁶ Voor de volledigheid dient te worden vermeld dat er natuurlijk een interactie bestaat tussen de daling van de grondwaterstand door verlaging van het oppervlaktewaterpeil en de daling van de stijghoogte van het diepe grondwater door de waterwinning.

de last van bebouwing en ophogingspakketten.³²⁷ In het landelijk gebied is deze bodemdaling nauw verweven met de verlaging van de grondwaterstand ten behoeve van de landbouw, en vooral de melkveehouderij.

De maaiveldaling van veenbodems varieert, maar het effect van het beleid van peilindexatie daarop is aanzienlijk.³²⁸ Rienks *et al.* (2004) berekenden voor veengebieden bij een drooglegging van 60 cm een bodemdaling van 0,3 m tot 0,6 m in de periode 1950-2000. In de Polder Mastenbroek (gemeente Kampen) bleek een grondwaterstands daling van 40 cm binnen 50 jaar te leiden tot een totale zakking van 20 cm.³²⁹ De Lange *et al.* (2012) berekenden voor Flevoland bodemdalingen door rijping van de kleibodem variërend van 40 tot 160 cm. Door klimaatverandering (met name warmere en drogere zomers) zal de geschatte dalingsnelheid in het westelijke veenweidegebied tot 2050 toenemen tot 0,3 tot 0,7 cm per jaar (afb. 5.20).³³⁰

Door variatie in bodemsamenstelling onder het veendek ontstaan door bodemdaling verschillen in maaiveldhoogten. Soms is zelfs sprake van reliëfinversie waarbij de ooit door veen afgedekte ruggen nu zichtbaar aan het maaiveld voorkomen. Deze vorm van toename van het reliëf is bijvoorbeeld te zien in de Krimpenerwaard, rond Bodegraven en Nieuwkoop en in Zuidelijke Flevoland (Eemstroomgebied).³³¹ Het gevolg is dat archeologische resten die hier ooit onder een beschermend veendek (of klei-op-veendek) lagen binnen het bereik van de ploeg zijn gekomen.

5.4.7 Gevolgen van verdroging voor rijksmonumenten

De ontwatering van slappe bodems zorgt voor bodemdalingen met variërend tussen 0,5 en 2,0 cm per jaar.³³² Omdat de meeste historische woningen en gebouwen uit de zestiende tot de twintigste eeuw los op deze ondergrond gefundeerd zijn, en dus mee zakken, is het waterpeil in veel historische binnensteden de afgelopen eeuwen al een halve meter verlaagd.³³³ Dit brengt echter risico's met zich mee voor panden (en infrastructuur) die wel op palen staan. Deze palen zijn bij de oudere bouwwerken meestal

van hout en houten paalkoppen kunnen droog komen te staan wat funderingsschade tot gevolg kan hebben.³³⁴

Een ander effect van grondwaterstanddaling en verdroging is dat onverkoelde organische resten (plantenresten, houten voorwerpen en constructies, textiel, leer, ecologische resten) niet goed bewaard blijven in bodems die aeroob zijn geworden (afb. 5.21).³³⁵ Anaerobe omstandigheden zijn cruciaal voor de conservering van onverkoelde organische resten omdat het de omzettingssnelheid door bodemleven met een factor 10-100 vertraagd.³³⁶ Op het moment dat (grond)waterstanden dalen, kan zuurstof dieper in de bodem doordringen waardoor de aanwezige onverkoelde organische resten worden aangetast en afgebroken door schimmels, bacteriën en ander bodemleven.³³⁷ Het verlagen van het waterpeil met 0,5 m ter hoogte van de vindplaats Limmen-Heiloo had bijvoorbeeld een toename van de bioturbatie tot gevolg, wat in een periode van zes jaar leidde tot 30% meer graafgangen in de slijplaten en een snelle afname van de kwaliteit van pollen en andere botanische resten.³³⁸

Bij dit proces van verdroging en afbraak van onverkoeld organisch materiaal speelt de samenstelling van de bodem, waterverzadiging en de consumptie van zuurstof door bodemleven een belangrijke rol. Uit veldstudies in het veenweidegebied Waterland (Noord-Holland) en bij het archeologische rijksmonument te Nieuw-Dordrecht (Drenthe, veenweg) is bijvoorbeeld gebleken dat ook in zeer droge zomers sommige veenbodems lang genoeg vochtig (en zuurstofarm) kunnen blijven om biologische afbraakprocessen tegen te houden.³³⁹ Verder is tijdens het ruilverkavelingsproject De Gouw (Noord-Holland) gebleken dat de capillaire aanzuiging van (meestal zuurstofloos) grondwater (afb. 5.22) in minerale bodems kan bijdragen aan de waterverzadiging. Waterverzadiging, of dit nou wordt veroorzaakt door capillair grondwater of infiltrerend zuurstofrijk regenwater heeft een belangrijk positief effect op de voor verdroging kwetsbare onverkoelde resten. Het beschikbare zuurstofgehalte van water is laag (minder dan 10 mg/l) en wordt zeer snel door micro-organismen geconsumeerd.³⁴⁰ Dit leidt in

³²⁷ Born *et al.* 2016.

³²⁸ Schothorst 1977. Vanwege de geconstateerde snelle bodemdalingen en het gegeven dat door veenoxidatie veel broeikasgassen worden uitgestoten is men vanaf ongeveer 2000 terughoudend geworden met het bijstellen van polderpeilen, met name in veenweidegebieden.

³²⁹ Schothorst 1967.

³³⁰ Born *et al.* 2016.

³³¹ Terwan, Guldemond & Menkveld 2000.

³³² Van den Akker *et al.* 2007.

³³³ Bijvoorbeeld in Gouda (Willemse 2017).

³³⁴ Klaassen 2005.

³³⁵ *Ibid.*; Huisman 2009.

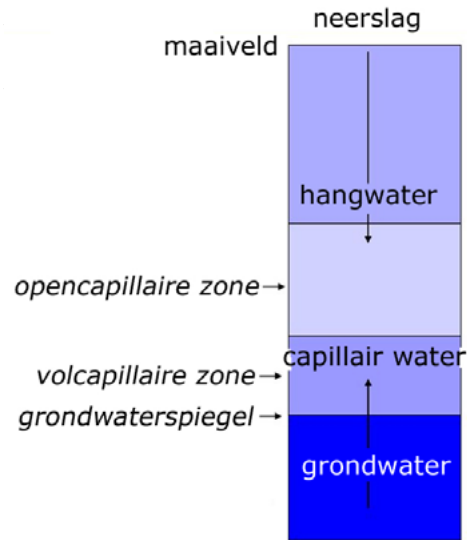
³³⁶ Huisman 2009; Bertil van Os (RCE), schrift. meded. Zie ook Caple & Dungworth 1996; Huisman *et al.* 2008; Historic England 2018.

³³⁷ Van Waijen 2001b; Brinkkemper 2006. Botmateriaal ondergaat hetzelfde lot als de bodem kalkloos is, maar blijft in principe goed als de bodem kalkhoudend is.

³³⁸ Molenaar, Exaltus & Van Waijen 2003.

³³⁹ Mond. meded. Carla Soonius (West Friesland) en Hans Huisman (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed); Huisman & Theunissen 2008.

³⁴⁰ Brock & Madigan 1991; Paulissen, Nijboer & Verdonchot 2002, 22, 35.



Afb. 5.22 Schematische weergaven van de begrippen hangwater, grondwater, capillaire opstijging, volcapillaire zone en opencapillaire zone. Zie verder de begrippenlijst.

Een bekend voorbeeld van dit effect zijn de lagen waaruit terpen/wierden (en sommige andere ophogingen zoals vliedbergen) zijn opgebouwd. Terplagen bestaan vaak uit gestapelde kleiige zodeplagen en ander bodemmateriaal. Bij stapeling of afdekken zal de hierin aanwezige organische stof, zoals wortels, onder vochtige omstandigheden door het bodemleven worden afgebroken waardoor al snel zuurstofloze omstandigheden zullen ontstaan. Verder

bevatten terplagen vaak 'afval' die rijk is aan organische resten en bodemvocht wat in combinatie met bodemleven eveneens lokaal tot reducerende omstandigheden leidt. In combinatie met bijvoorbeeld puin met mortelresten en bot of schelpresten die calciumcarbonaat bevatten, zorgt dit ervoor dat de archeologische lagen vanzelf een geschikt conserveringsmilieu vormen.

Een ander effect van detailontwatering van agrarische percelen is het inklinken van de bovenste bodemlagen in veenbodems en ongerijpte zeekleibodems.³⁴² Dit fenomeen is bijvoorbeeld waargenomen in Zeeland en Noord-Holland, maar vooral in Flevoland, waar de bodem nog steeds daalt door ontwatering en rijping.³⁴³ Ondiep gelegen archeologische resten die daaronder voorkomen, zoals scheepswrakken, kunnen daardoor binnen bereik van de ploeg komen te liggen. Verder zullen archeologische resten die binnen het bereik van grondwaterstandfluctuaties komen gevoelig zijn voor aantasting door de wisselende vochtgehalten. Dit leidt tot het herhaald uitdrogen en weer vochtig worden van archeologische materialen die vocht opnemen wat uitmondt in scheurvorming en vervorming.

Een ander degradatieproces dat verband houdt met grondwaterstanddaling en verdroging is corrosie. IJzerhoudende metalen uit anaerobe zones die plotseling in een aerob milieu terecht

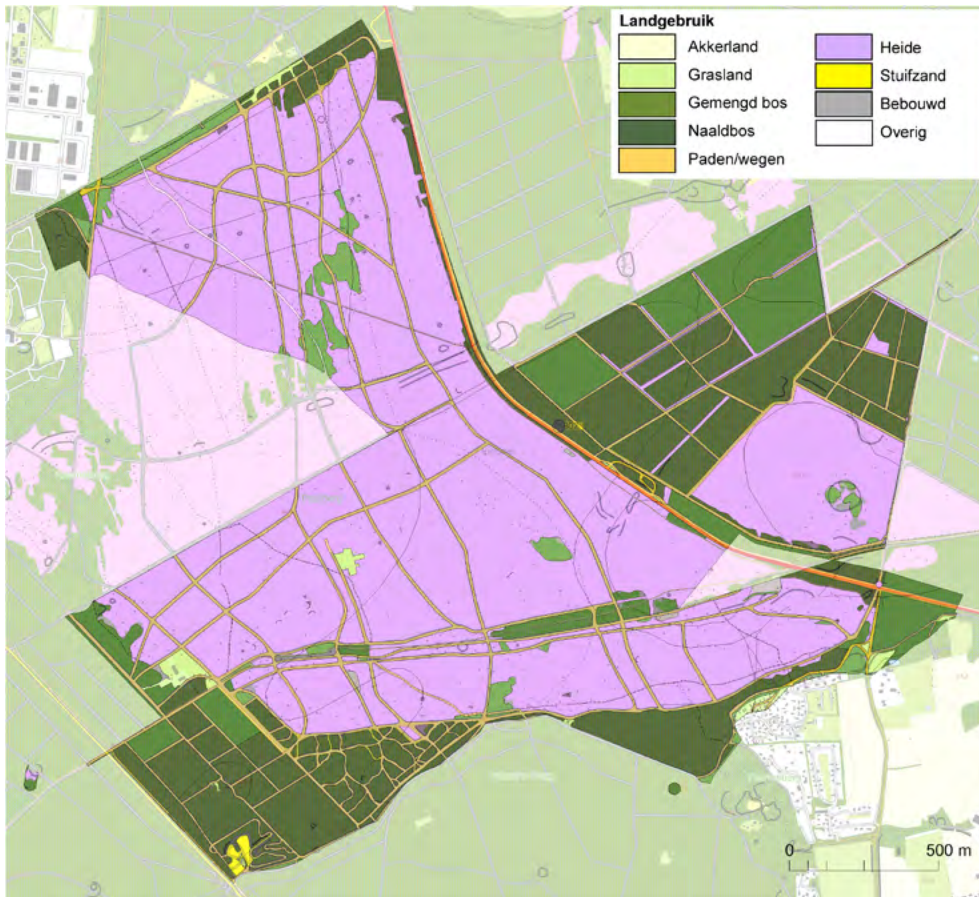
³⁴¹ Mauro 2001.

³⁴² Willemse 2017.

³⁴³ Vos & Van Heeringen 1997; Brandt, Van der Leeuw & Van Wijngaarden-Bakker 1984.



Afb. 5.23 Herstel van de historische loop van de Berkel nabij Almen (Gelderland), (foto: Waterschap Rijn en IJssel, 2014).



Afb. 5.24 Het archeologisch rijksmonument op de Ermelose Heide (rijksmonument 45.487).

komen zullen gaan roesten.³⁴⁴ In bodems waar van nature pyriet (FeS_2) voorkomt hebben verdroging en de indringing van zuurstof potentieel nog ingrijpendere effecten. Pyriet, wat in reducerende omstandigheden stabiel is, reageert namelijk met zuurstof.³⁴⁵ Hierbij ontstaat naast een aantal mineralen ook zwavelzuur (H_2SO_4). Verdrogende, pyriethoudende bodems kunnen daardoor sterk verzuren wat slecht is voor bijvoorbeeld ijzerhoudende metalen en bot. Als dergelijke bodems kalkrijk zijn (zoals niet ontkalkte Rijnafzettingen, of mariene afzettingen) verzuren ze niet, maar vormt zich gips (CaSO_4).³⁴⁶ Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze processen: zie Huisman *et al.* (2009).

Indirecte effecten

Het zijn bij de meeste beschermde vindplaatsen in West-Nederland vaak alleen de diepere niveaus met archeologische resten die min of meer permanent onder water staan. Er is echter een belangrijke andere reden waarom de relatief

ondiep gelegen 'natte' vindplaatsen gevoelig zijn voor degradatie door drooglegging.³⁴⁷ Gebieden die voorheen altijd te nat waren om voor iets anders te dienen dan voor weide- of hooiland, kunnen door de verhoogde draagkracht van de bodem namelijk worden omgezet in akkergrond, met alle gevolgen van dien voor de archeologische resten.

5.4.8 Verzilting van de bodem

Een veelvoorkomend probleem in Laag Nederland is, naast de verdroging, een te hoog zoutgehalte (chloridegehalte) in de bodem en het bodemwater.³⁴⁸ Dit zout kan zowel van onder als van boven komen.

Zout van onder speelt voornamelijk in gebieden nabij de kust. Hier is brak/zoutwater (zeewater) dicht onder het maaiveld aanwezig door zoute kwel en zoutwaterintrusie via riviermondingen.

³⁴⁴ Gerwin & Baumhauer (2000), Kars (1998) en Meeussen *et al.* (1997) onderzochten het effect van grondwaterstanddaling en andere bodemparameters op metaalcorrosie en -aantasting.

³⁴⁵ Werkgroep Pyriet 2002; Huisman 2009.

³⁴⁶ De vorming van gips kan ook schade veroorzaken aan archeologische resten; zie bijvoorbeeld Huisman *et al.* 2008.

³⁴⁷ Van Heeringen & Theunissen 2001a, 2001b; Van Heeringen & Theunissen 2002; Van Heeringen, Smit & Theunissen 2004; Corfield 2006; Theunissen & Van Heeringen 2006a.

³⁴⁸ Stuyt, Van Brakel & Massop 2011.

In het voorjaar en de zomermaanden kan de hierop drukkende zoetwaterlaag (die ontstaat in de winter) door verdamping en beregening dunner worden waardoor het dieper gelegen brak/zoutwater hoger in het bodemprofiel terecht komt. Deze vorm van verzilting van onder kan echter ook een gevolg zijn van de (diepe) onttrekking van zoetwater voor industrie en drinkwater (paragraaf 5.4.5).³⁴⁹

Het tweede aspect, zout van boven, speelt waar zout in het oppervlaktewater terecht komt. Wanneer oppervlaktewater in percelen wordt geïnfiltreerd of beregening met oppervlaktewater plaatsvindt treedt verzilting van de bodem op. Verzilting van het oppervlaktewater wordt veroorzaakt door diffuse kwel, wellen vanuit dieper grondwater en door invloeden vanaf zee.

Verzilting van de bodem kan in theorie zowel een nadelig effect als een voordelig effect hebben op archeologische resten. Zout zorgt ervoor dat het bodemwater meer geleidend wordt, wat het transport van elektrische ladingen vergemakkelijkt - een essentieel onderdeel van het corrosie proces.³⁵⁰ Zout in de bodem heeft dan (in theorie althans) een negatieve invloed op de aantasting van metaalsoorten zoals ijzer, lood, tin of zilver.³⁵¹ Het behoud van textiel echter - vooral zijde - wordt juist positief beïnvloed door het zoutgehalte.³⁵² Of er ook echt schadelijke effecten door verzilting kunnen ontstaan is onduidelijk.

5.5 Effecten van natuur- en bosbeheer

In natuur- en bosgebieden is het aantal menselijke activiteiten dat de bodem direct beïnvloedt vaak relatief klein. Kleine reliëfelementen zoals vee- en wildwallen, raatakkerstructuren en resten van schansen zijn hier door de lage ruimtelijke druk van de laatste decennia dan ook relatief goed bewaard gebleven. De grootste bedreigingen in het natuur- en bosbeheer zijn een gevolg van natuurontwikkeling, plagwerkzaamheden en wanneer bossen als productiebos worden beheerd.³⁵³

5.5.1 Natuurbouw en natuurbeheer

Natuurbouw

Het gaat bij natuurbouw (natuurontwikkeling) om het zodanig inrichten van gebieden dat gewenste ecosystemen zich kunnen ontwikkelen met een minimum aan menselijk ingrijpen.³⁵⁴ Natuurontwikkeling (natuurbouw) vindt zowel plaats op voormalige landbouwgrond als in bestaande natuurterreinen en gaat soms gepaard met veel grondverzet. Een voorbeeld van een natuurontwikkeling met veel grondverzet is hermeandering van beeklopen (afb. 5.23). Daarbij worden met de graafmachine meanders aangelegd in eertijds rechtgetrokken beken en vaak op plekken waar deze niet eerder gestroomd hebben. Soms worden dichtgegooid meanders weer open gegraven maar meestal is dat niet mogelijk. Hermeanderen van beeklopen wordt gewoonlijk gecombineerd met natuurontwikkeling.³⁵⁵

Het effect van deze natuurontwikkeling is, behalve door het graven van de meanders, dat ook het meandergedrag van de beek verstorend kan uitpakken voor eventueel aanwezige archeologische resten. Afhankelijk van de breedte van het stroomgebied ten opzichte van de breedte en diepte van de stroom kan namelijk tussen de 10% en 45% van de beekdalvlakte worden opgeruimd door het verplaatsen van de meanderbochten.³⁵⁶ Een groot ander probleem is de herverkaveling door landruil van aan de beek grenzende boeren, wat gepaard kan gaan met het dempen van sloten, egalisatie en aanleg van drainage. Verder heeft 'beekherstel' invloed op de waterhuishouding van omliggende percelen. Door bijvoorbeeld Bon (1963) is in het stroomgebied van de Lunterse Beek vastgesteld dat door de toentertijd gewenste verdieping van de beekbeddingen (ongeveer 50 à 60 cm) de gemiddelde grondwaterstand 20 cm lager werd, wat tot verdroging van de omliggende bodems heeft geleid.

Op veel plekken is het 'beekherstel' al gerealiseerd (afb. 5.23) maar ook de komende jaren wordt nog in 300 km aan gekanaliseerde beekmeanders gegraven waarbij in totaal meer dan 700 hectare grond op de schop gaat.³⁵⁷

³⁴⁹ Hoogewoud *et al.* 2016.

³⁵⁰ Scharff 1993.

³⁵¹ Huisman 2009, 134.

³⁵² Huisman 2009, 71 e.v.

³⁵³ Zie bijvoorbeeld Stobbelaar 2017;

Krikhaar 2017.

³⁵⁴ Bijvoorbeeld Lodts *et al.* 2005; Nijssen *et al.* 2011; Loeb *et al.* 2017; Jansen &

Grootjans 2019.

³⁵⁵ Verdonchot, Van der Wal & Van

Weeren 2011.

³⁵⁶ In: Lascaris 2019, 34. Maar zie ook

Candel 2020, 203 over het

meandergedrag.

³⁵⁷ *Ibid.*; Lascaris 2019, par. 3.9.



Afb. 5.25 Afplaggen van heideterreinen in de Hatertse en Overasseltse Vennen (rijksmonument 45.864; foto: José Schreurs).

Een andere vaak bij natuurontwikkeling toegepaste ingreep is het verlagen van het fosfaatgehalte in de bodem. Op voormalige landbouwgronden wordt daarvoor de (vermeste) bouwvoor afgegraven, soms in combinatie met ‘grondtransplantatie’ van elders.³⁵⁸ Op de pleistocene zandgronden kan dat leiden tot een vlakdekkend verlies aan artefacten en grondsporen in de bovenste 10-20 cm.³⁵⁹ Archeologische resten binnen de wettelijk beschermde terreinen in juist deze gebieden liggen dicht aan het oppervlak (paragraaf 3.5). Hierdoor is dit een zeer schadelijke ingreep. Archeologievriendelijkere alternatieven waarbij er geen materiaal wordt afgevoerd of verplaatst, zoals het uitmijnen van fosfaat, worden nog niet veel toegepast.³⁶⁰

Andere meer kleinschalige natuurbouwprojecten zijn de aanleg van poelen met natuurvriendelijke oevers door particuliere grondeigenaren. Deze vorm van ontgronden vindt soms ook grootschaliger plaats in het kader van natuurbouw.³⁶¹

Natuurbeheer

Voorbeelden van bodemingrepen in het kader van natuurbeheer zijn afplaggen, verwijderen van de strooisellaag door te chopperen, verdiepen/ontgronden, het rooien van bomen en struiken, het wegtrekken van boomopslag en het herstellen van verzuurde bodems door bekalken, toedienen van steenmeel enz.³⁶² Een

groot deel van de heideterreinen heeft bijvoorbeeld last van vergrassing en boomopslag, wat vooral het gevolg is van atmosferische depositie van voedingsstoffen (‘vermesting’).³⁶³ Om vergrassing/verruiging tegen te gaan is men hier en daar de verrijkte heidebodem gaan verschrallen door deze machinaal af te plaggen, af te schrappen of te chopperen waarbij de vegetatie en een deel van de bovenste humuslaag wordt verwijderd.

Afplaggen, afschrappen en chopperen van vergraste heidepercelen is in meer of mindere mate een vorm van grondverzet/ontgroning.³⁶⁴ Wanneer er, zoals vroeger gebruikelijk was, met licht materiaal wordt geplagd en de plaggen niet te diep worden uitgestoken, levert dat op het eerste gezicht weinig gevaren op voor archeologische objecten. Toch blijkt de diepte van de plagsteek moeilijker te controleren dan bij machinaal plaggen waarbij de zode (met zware machines) tot 15-20 cm diep worden weggesneden. Van Kimmenaede (1992) noemt de volgende effecten en (mogelijke) gevolgen van afplaggen:

- *aan het maaiveld zichtbare archeologische vindplaatsen*: het reliëf en de sporen worden afgetopt, de archeologische resten zijn onderhevig aan oxidatie, bioturbatie en erosie en verdwijnen;

³⁵⁸ Wubs *et al.* 2016.

³⁵⁹ Smit *et al.* 2007.

³⁶⁰ Timmermans, Eekeren & Bos 2010.

³⁶¹ Jansen & Grootjans 2019.

³⁶² Chopperen is het verwijderen van de vegetatie en een deel van de bovenste humuslaag. Het kan worden toegepast tot een humuslaag van 4 cm. De humuslaag wordt bij chopperen niet volledig verwijderd. Chopperen gebeurt met een robuuste klepelmaaiër waarbij de klepels een paar centimeter in de bodem gaan. Het choppermateriaal wordt direct opgezogen en afgevoerd.

³⁶³ CBS, PBL, RIVM & WUR 2019.

³⁶⁴ Bijvoorbeeld Loeb *et al.* 2017.



Afb. 5.26 Verstoring door recreatief grondgebruik; een verlaten starcaravanplaats op rijksmonument 45.798 Herike-Herikerberg (foto: Datema 2015).

- *terreinen met een zeer dunne A-horizont*: artefacten en grondsporen komen direct aan de oppervlakte te liggen. De oorspronkelijke artefactspreiding en –context gaan verloren door erosie (verplaatsing), sporen vervagen (verdroging, bioturbatie) en sporen eroderen (aftopping);
- *zware spoorvorming* op droge en natte bodems door machines: vooral vindplaatsen die geen (diepe) grondsporen hebben worden vernield; de oorspronkelijke artefactspreiding raakt verstoord (verplaatsing); de artefacten worden stukgereden (fragmentatie).

Bij een activiteit als *schrapen* wordt in principe met een kraan met gladde bak alleen de strooisellaag weggeschraapt en blijft de humuslaag van de minerale bodem achter. In de praktijk wordt vaak ook een deel van de minerale bodem verwijderd. *Chopperen* is het mechanisch verwijderen van de vegetatie en een deel van de bovenste centimeters van de humuslaag en is een maatregel tussen plaggen en maaien in.

Niet zelden zijn in het natuurbeheer nog andere maatregelen nodig omdat de natuur zich lang niet altijd als vanzelf in de gewenste richting ontwikkelt. Een veel voorkomende activiteit in open natuurterreinen die niet elk jaar gemaaid

worden is bijvoorbeeld het handmatig uittrekken van boomopslag.³⁶⁵ Dit gebeurt vooral in gebieden die beheerd worden met begrazing zoals heide, en mozaïeklandschappen met grasland, ruigten en struweel. Oudere bomen tot ongeveer 1,7 m worden verwijderd met een bosmaaier of worden machinaal met kluit en al uitgetrokken. Vooral het uittrekken (handmatig, met machines) van boomopslag leidt tot verstoring van ondiep gelegen grondsporen.³⁶⁶

Verruiging en vergrassing kan ook worden tegengegaan door het *klepelen* van de vegetatie waarbij houtopslag, andere planten en de wortels in de top van de minerale bodem kapotgemaakt, vermengd en vervolgens afgevoerd worden. Ook *klepelmaaien* wordt toegepast. Klepelmaaien is een grove wijze van maaien met een rondzwaaiende ketting en wordt bijvoorbeeld ingezet om houtige opslag boven maaiveld af te maaien. Hierbij is dus geen sprake van bodemroering. Daarnaast bestaat nog *harken*: het takhout wordt weggeharkt en de moslaag of dichte vegetatie- en strooisellaag wordt deels open getrokken. Dit wordt uitgevoerd met een rupskraan met een knijper en een stalen getande plaat (de 'kam') in de knijper.

Archeologische resten binnen de wettelijk beschermde terreinen in heideterreinen liggen, zoals eerder aangehaald, veelal dicht aan het oppervlak of zijn zichtbaar aan het maaiveld. Plaggen en schrapen zijn vanuit archeologisch oogpunt dan ook niet gewenst. Ook chopperen en klepelen kunnen leiden tot aantasting. Afgaan op deze in te zetten technieken is echter niet voldoende om inzicht te krijgen in de potentiële schade die de activiteit met zich meebrengt. Van belang is ook om te achterhalen wat de opdrachtgever en uitvoerders verstaan onder de begrippen 'minerale bodem' en 'de humuslaag'. Dat kan per persoon verschillen, waarbij de één het verwijderen van de losse organische stof op het maaiveld bedoelt en de ander de bovenste lagen van de oorspronkelijke podzolbodem.

³⁶⁵ Weeda, Ozinga & Jagers op Akkerhuis 2006; Jansen & Grootjans 2019.

³⁶⁶ Johnson 1998.



Afb. 5.27 Kerk met kerkhof op de terp Hegebeintum (rijksmonument 45.523).

5.5.2 Bosbeheer

Men zou denken dat de bodems in onze bossen minder intensief en op kleinere schaal worden bewerkt dan op akkerland, en dat de daarin gelegen archeologische rijksmonumenten minder risico op aantasting lopen dan elders. Toch vinden er, vooral op plaatsen waar commerciële bosbouw plaatsvindt, de nodige ingrepen plaats zoals het vellen van bomen, het uitslepen of uitrijden van hout, bodembewerking (graven, frezen, woelen), bewerken (klepelen) van takafval, plaggen en maaien.

Wanneer bijvoorbeeld een gekapt stuk bos (opnieuw) wordt beplant, bewerkt men dikwijls eerst de bodem van de kapvlakte. Eerst wordt de strooisellaag en ongeveer 5 cm van de daaronder liggende grond in stroken afgeplagd en gekeerd. Deze bewerking kan oppervlakkige beschadiging veroorzaken aan objecten die boven de grond liggen. Bomen worden daarna met de hand of machinaal geplant, in plantgaten van circa 25 cm diep en met tussenafstanden van 1 à 1,5 meter.³⁶⁷ Soms wordt een bosploeg ingezet of wordt door diepspitten de bodem losgewerkt. Hierbij kan vanzelfsprekend verstoring optreden

van het sporenniveau en verschillende soorten archeologische objecten. Verder vindt door de inzet van zware machines zoals harvesters en forwarders spoorvorming en verdichting van de bodem plaats (paragraaf 6.10).³⁶⁸ Bij productiebos met snel groeiende boomsoorten worden de bestanden al na 30 tot 40 jaar machinaal gerooid en weer herbebost, wat opnieuw met diepgaande bodemingrepen gepaard kan gaan.³⁶⁹

5.6 Overige bedreigende ingrepen

5.6.1 Ontgronden en delfstofwinning

Kenmerkend voor ontgroningen is de relatief grote omvang en vaak ook de grote diepte van de vergraving. Vooral bij de winning van oppervlaktedelfstoffen gaat het doorgaans om omvangrijke terreinen die tot meerdere meters diepte worden afgegraven. Op de zandgronden wordt soms eerst de teellaag inclusief eventueel daarin aanwezige archeologische vondsten afgegraven of weggeschoven, waarna een deel van het onderliggende zandpakket wordt ontgrond. Na ontgroning wordt de teellaag weer

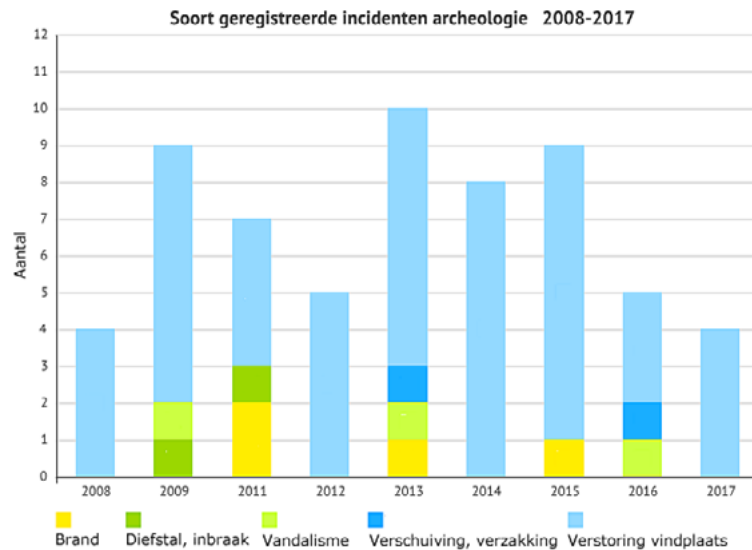
³⁶⁷ Er wordt ook met kleine boompluggen gewerkt. Zie bijvoorbeeld de studie van Roos & Neeffes 2006.

³⁶⁸ Lewis 1999; De Vos 2005.

³⁶⁹ Slechts een klein deel van onze bossen bestaat uit oud bos waar de verjonging op natuurlijke wijze heeft plaatsgevonden, en waar in de afgelopen decennia geen groundbewerking heeft plaatsgevonden (Rövekamp & Maes 2002).



Afb. 5.28 Graffiti op het hunebed D30 te Exloo, rijksmonument 467.493 (foto: erfgoedfoto.nl / Jos Stöver).



Afb. 5.29 Geregistreerde incidenten die betrekking hebben op archeologische rijksmonumenten in de periode 2008-2017 (bron: Database Incidenten Cultureel Erfgoed/Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed 2018).

teruggezet. Hierin resteren dan alleen verplaatste contextloze vondsten die dan – voor wat betreft hun archeologische informatie-waarde – ernstig aan belang hebben ingeboet. Delfstoffen zoals zand en grind zijn lang niet altijd de belangrijkste reden om een ontgraving uit te voeren. Ook vinden soms grootschalige ontgravingen plaats bij de aanleg van recreatieruimten, ten behoeve van

natuurontwikkeling en waterberging (paragraaf 5.5.1). Volgens de Ontgravingenwet is het wettelijk verboden om te ontgronden zonder vergunning.³⁷⁰ Het is evident dat ontgronden binnen een archeologisch rijksmonument vergunningplichtig is.

³⁷⁰ <http://wetten.overheid.nl/BWBR0002505/2016-07-01>.

5.6.2 Recreatiedruk

Recreatief medegebruik van archeologische rijksmonumenten kan leiden tot bodemerrosie veroorzaakt door voetgangers, ruiters of (fiets) verkeer. Het betreft soms spontane routes (olifantenpaadjes, wensroutes) naar deelgebieden die wel bezoekers aantrekken maar waarnaartoe geen paden bestaan. Ook kan erosie door betreding optreden bij knelpunten waar de doorstroming te beperkt is. Het meeste recreatieve gebruik door fietsers en wandelaars veroorzaakt echter alleen erosie aan het oppervlak van de grond en veroorzaakt daarom geen significante schade aan de rijksmonumenten zelf, hoewel de bodem aardig verdicht kan raken wat tot wateroverlast kan leiden. Op hellingen kan hierdoor in versterkte mate erosie optreden wat in ongunstige gevallen kan leiden tot de vorming van netwerken van erosiegeultjes ('rillerosie'). Bij ruiterpaden kan insporing en vertrappeling optreden.

In sommige gevallen is sprake van erosie en achteruitgang door achterstallig onderhoud (afb. 5.26). In sommige gevallen is sprake van schade door onnadenkend gedrag (wandelen en mountainbikepaden over grafheuvels en schansen, paragraaf 5.6.5).

5.6.3 Erfgoedbeheer

Ondeskundig handelen (zoals het machinaal wegtrekken van struiken en stronken) kan tot aantasting van het rijksmonument leiden. Verder houdt toegang tot archeologische rijksmonumenten voor het publiek veelal in dat er toegangswegen (wandelaars, fietsers, ruiters) en parkeerplaatsen worden aangelegd (paragraaf 5.6.2). Parkeerterreinen en toegangswegen worden echter in vrijwel alle gevallen aangelegd op plekken waar het niet tot schade kan leiden en vaak op een archeologiesparende wijze. Verder kan achterstallig onderhoud leiden tot een toename van vegetatieschade, beschadigingen van het wallichaam of heuveloppervlak, insporing, bodemverdichting, enz.

5.6.4 Funeraire activiteiten

Er wordt nog steeds binnen archeologische rijksmonumenten op kerkhoven en begraafplaatsen begraven, zoals op terpen en wierden. In sommige gevallen leidt dit tot aantasting van archeologische resten, bijvoorbeeld wanneer dieper wordt begraven dan vroeger gebruikelijk was of wanneer eerder lege delen voor dit doel worden gebruikt.³⁷¹ Behalve op kerkhoven en begraafplaatsen komt het ook voor dat er plannen worden ontwikkeld voor 'natuurbegraven' binnen archeologisch waardevolle gebieden. In Drenthe bijvoorbeeld is een natuurbegraafplaats gerealiseerd in een gebied met zeven prehistorische grafheuvels en het rijksbeschermde hunebed van Eext op een steenworp afstand. Ook op de wierde Wierum bij Adorp (Groningen) is in 2019 naast het oude kerkhof een natuurbegraafplaats ingericht, direct aangrenzend aan het archeologische rijksmonument (rijksmonument 45.059).

Het inrichten van een natuurbegraafplaats brengt naast het (machinale) grafdelven ook andere inrichtingswerkzaamheden met zich mee zoals de aanleg van parkeerplaatsen en routegeleiding voor bezoekers. Verder werken op veel begraafplaatsen vrijwilligers mee in het beheer. Ondeskundig handelen kan dan tot aantasting van het rijksmonument leiden en mogelijk zelfs schade aanrichten.

5.6.5 Incidenten en vandalisme

Archeologische rijksmonumenten worden soms het slachtoffer van vandalisme (afb. 5.28) of beschadigd door ander gedrag, dat weliswaar niet moedwillig is maar op zijn minst onnadenkend. Daaronder valt bijvoorbeeld het vuurtje stoken in de hunebedden, het opzettelijk fietsen met mountainbikes over wallen en grafheuvels, het ontstaan van olifantenpaadjes door ruiters of wandelaars, of het crossen met motoren over akkers.³⁷²

Het feit dat sommige archeologische rijksmonumenten duidelijk herkenbare en archeologisch rijke vindplaatsen zijn maakt ze helaas ook het

³⁷¹ Het gaat hier om zogenaamd 'bestaand gebruik' dat ook na de aanwijzing als archeologisch rijksmonument mag worden gecontinueerd. Dit geldt niet voor formeel gesloten kerkhoven en begraafplaatsen.

³⁷² Zie ook de publicatie 'EHBO hunebedden' (Van der Sanden *et al.* 2016).

doelwit van kwaadwillende schatgravers en detectoramateurs.³⁷³ Dat is binnen de terreinen van archeologische rijksmonumenten strikt verboden en een vorm van vandalisme en diefstal. Het gebruik van de metaaldetector en schop door 'schatzoekers' betekent bijvoorbeeld dat er vondsten op illegale wijze aan het rijksmonument worden onttrokken. Het leidt tot selectieve verarming van de vindplaats en door het graafwerk worden archeologische sporen soms voorgoed vernield. Tijdens het onderzoek op het Romeinse castellum Fectio is vastgesteld dat het aantal metaalvondsten van

koperhoudende legeringen en zilver ten opzichte van het aantal metaalvondsten van lood in de bovenste vondstlagen lager is dan in de diepere vondstlagen.³⁷⁴ Dit is een mogelijke aanwijzing dat tot een diepte van 30 cm -mv koperhoudende vondsten zijn verdwenen wat op selectieve verarming door illegale schatgraverij wijst.

In de periode 2008-2017 zijn in de Database Incidenten Cultureel Erfgoed 52 van dit soort incidenten met of bij archeologische rijksmonumenten geregistreerd (afb. 5.29).³⁷⁵

³⁷³ Van Os *et al.* 2014, 101; Lauwerier & De Kort 2012, 208.

³⁷⁴ Van Os *et al.* 2014, 101.

³⁷⁵ Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed 2018.

6 Fysieke instandhoudingsmaatregelen

6.1 Algemeen

Fysieke instandhoudingsmaatregelen zijn alle maatregelen die erop gericht zijn om de informatiewaarde en/of de belevingswaarde van een archeologisch rijksmonument in situ te behouden. Ze vormen samen met de vergunningplicht een belangrijk middel voor de duurzame instandhouding van het bodemarchief. Fysieke instandhoudingsmaatregelen vallen in de praktijk in tweeën uiteen: het beheer van het archeologische rijksmonumenten en het uitvoeren van eenmalige inrichtingsmaatregelen.

Onder *beheer* valt al het regulier uit te voeren onderhoud op een archeologisch rijksmonument om er voor te zorgen dat deze in goede staat blijft of wordt gebracht en, bij zichtbare archeologische rijksmonumenten, om er voor te zorgen dat ook de belevingswaarde op orde blijft. Deze taak valt meestal toe aan mensen die in de praktijk, op uitvoerend niveau, regelmatig binnen de terreinen met archeologische rijksmonumenten activiteiten uitvoeren. Dit kunnen land- en bosbouwers zijn, beheerders van (natuur) terreinen maar ook loonwerkers, aannemers, bouwers, opzichters, amateurarcheologen en vrijwilligers in het natuurbeheer.

Fysieke inrichtingsmaatregelen zijn concrete maatregelen die, eenmalig of vaker, waar noodzakelijk door of in opdracht van de eigenaar / grondgebruiker worden uitgevoerd op zijn terrein om verdere schade aan archeologische resten te voorkomen of te stoppen. Deze maatregelen zouden ertoe moeten leiden dat de informatiewaarde van het archeologische bodemarchief veilig wordt gesteld en niet in een snel tempo afneemt. Fysieke inrichtingsmaatregelen kunnen eenmalige inrichtingswerkzaamheden zijn (bijvoorbeeld het afdekken van een vindplaats), maar ook aanpassingen aan het regulier onderhoud (aanpassing van het beheermodel).



Afb. 6.1 Overleg rond 1890: Victor de Stuers en architect Pierre Cuypers in de ruïne van kasteel De Haar, Haarzuylens, vlak voordat de reconstructie van het grootste kasteel in Nederland begon (gebouwd rijksmonument 527.893).

6.2 Noodzaak voor beschermingsmaatregelen

6.2.1 De mate van bedreiging

Of fysieke beschermingsmaatregelen noodzakelijk en urgent zijn is samen met de kwetsbaarheid van de archeologische resten (paragraaf 3.5) afhankelijk van de ernst van de bedreiging en, vooral, de kans op informatieverlies (paragraaf 3.4). Verder speelt de verwachte effectiviteit van de maatregel op de korte en de langere termijn



Afb. 6.2 Terpafgraving Menameradiel.

en de omkeerbaarheid ervan een rol. De volgende afwegingen spelen een rol bij het bepalen van de noodzaak en urgentie:³⁷⁶

1. de aard, schaal en mate van acute fysieke bedreiging van het rijksmonument;
2. de kans op het ontstaan van ernstige schade, dat wil zeggen het snelle en onomkeerbare verlies van informatiebronnen waardoor kennisvragen op het niveau van het beschermde complex niet meer door archeologisch onderzoek beantwoord kunnen worden (paragraaf 3.4);
3. het vaststellen van reeds opgelopen schade en het voortduren van snelle aantasting.

Door Erfgoed Nederland (de opvolger van de Archeologische Monumentenwacht) wordt een praktische risico-indeling gehanteerd op basis van zichtbare bedreigingen. Deze systematiek wordt ook gehanteerd in de meest recente versie van het *Protocol Archeologische Monitor Landbodems*:³⁷⁷

- *niet tot nauwelijks bedreigd* zijn archeologische complexen waar het grondgebruik een zeer lage dynamiek kent, zoals weiland of hei met extensieve begrazing, bosgebieden waar geen

ingrepen plaatsvinden en waar geen recreatie is of wildschade optreedt, en terreinen waarvan de eigenaar door zijn handelen toont zich zeer bewust te zijn van de kwetsbaarheid van de archeologische resten;

- *enig risico* geldt voor archeologische complexen in terreinen die intensief gebruikt worden, zoals bebouwde erven, en in natuurterreinen waar periodiek ingrepen plaatsvinden. Enig risico wordt ook gevormd door toenemende doorworteling, een boom in slechte staat (windworp) en/of toenemende bioturbatie;
- *direct bedreigd* zijn complexen waar nieuwe of verdere verstoring op korte termijn te verwachten is, zoals het delven van grafkuilen op een kerkhof, het ontstaan van scheuren in hellingen/wallen/steilkanten of activiteiten van das, vos of ander wild in de directe nabijheid van het complex.

Wanneer er nauwelijks schouwing van archeologische rijksmonumenten plaatsvindt, is de mate van bedreiging niet goed in te schatten.

Schadelijke effecten van sluipende processen (zoals verdroging en veraarding als gevolg van ontoereikende aanvulling van grondwater bij droge zomers) verlopen bijvoorbeeld geleidelijk,

³⁷⁶ Zie bijvoorbeeld Van den Berg *et al.* 2010, 162; Van Os & Kosian 2011; Stewart 2013; Huisman & Van Os 2016.

³⁷⁷ Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed 2019, versie 4.7 (publicatiedatum 6-3-2019).

maar kunnen op een bepaald moment door een plotselinge handeling (systematisch onttrekken van oppervlaktewater voor beregening) escaleren tot een urgent probleem. Dit is de reden geweest voor het instellen van de periodieke monitoring van archeologische rijksmonumenten (paragraaf 1.2). Deze richt zich op de ontwikkeling van de fysieke staat van de archeologische rijksmonumenten, zowel waar het gaat om zichtbare rijksmonumenten als om (afgedekte) archeologie in de bodem.

6.2.2 De urgentie

Naast het bepalen van de mate van fysieke bedreiging wordt dus ook gekeken naar de urgentie van te nemen fysieke beschermingsmaatregelen. Daartoe wordt onderscheid gemaakt tussen:

- een directe bedreiging;
- een urgent probleem;
- een afgesloten incident.

Het verschil tussen een directe bedreiging of een urgent probleem is dat bij directe bedreiging nog géén sprake hoeft te zijn van een ernstige verstoring, maar dat de kans groot is dat schade zal optreden als maatregelen uitblijven. Bij een urgent probleem is sprake van een ernstige verstoring die in aard en omvang nog steeds toeneemt en daarom direct om een bepaalde vorm van bescherming vraagt. Van een afgesloten incident is sprake wanneer de verstoring al een feit is, maar de kans op herhaling of uitbreiding van de verstoring niet tot nauwelijks aanwezig.

Een onderhoudsbehoefte of de urgentie tot het nemen van beschermingsmaatregelen volgt na schouwing of monitoring van het archeologisch rijksmonument en de beoordeling met betrekking tot de fysieke staat. Deze onderhoudsbehoefte kan worden gekwalificeerd als:

1. *laag*, wanneer er geen gesignaleerde directe bedreigingen zijn;
2. *midden*, wanneer het onderhoud gebrekkig of achterstallig is maar er geen directe bedreiging wordt geconstateerd;
3. *hoog*, wanneer er geen of gebrekkig onderhoud is gepleegd of wanneer een directe fysieke bedreiging is geconstateerd;
4. *urgent*, wanneer sprake is van een ernstige verstoring die in aard en omvang nog steeds toeneemt en daarom direct om een bepaalde vorm van bescherming vraagt.

6.3 Welke fysieke beschermingsmaatregelen kunnen er genomen worden?

6.3.1 Doel en afwegingen

Het doel van fysieke beschermingsmaatregelen is het zo goed mogelijk in stand houden van de in de bodem bewaarde archeologische resten en de belevingswaarde van het rijksmonument en om schade aan het archeologisch rijksmonument (zoals bedoeld in paragraaf 3.4) te voorkomen of tegen te gaan. Meestal wordt gezocht naar een doelmatige maar sobere aanpak die zowel praktisch is als haalbaar en in samenwerking met de eigenaar en/of grondgebruiker tot stand komt. Binnen het pallet aan mogelijke instandhoudingsmaatregelen zijn verder variaties aan te geven, afhankelijk van de aard van de fysieke bedreiging in relatie tot de archeologische kenmerken van het terrein, het budget, de beschikbare mankracht en de visie van de terreineigenaar/terreinbeheerder.

Bij het zoeken naar een doelmatige maatregel is het van belang te beseffen dat bepaalde maatregelen niet eenzelfde uitwerking hebben op alle materiaalsoorten in de bodem. Soms werken ze zelfs tegen elkaar in. Zo kan het aanbrengen van een zuurbufferende stof, zoals kalk, een gunstige werking hebben op de conservering van botmateriaal of vlas, maar minder goed uitwerken voor bijvoorbeeld andere onverkoelde organische componenten van de vindplaats.³⁷⁸ Ook hoeven niet alle materiaalcategorieën en sporen een even grote informatiewaarde bezitten. Bij een duurzaam beheer van een goed geconserveerde nederzetting uit de ijzertijd op Voorne-Putten, waarvan de botanische resten recentelijk uitvoerig zijn bestudeerd, maar het botmateriaal niet, kan de kennislacune op de laatstgenoemde materiaalcategorie doorslaggevend zijn.³⁷⁹ Er kan

³⁷⁸ Huisman 2009.

³⁷⁹ Van Heeringen & Theunissen 2002.

Compensatie voor inkomstenderving

Sommige beschermingsmaatregelen zullen leiden tot inkomstenderving, bijvoorbeeld voor boeren wanneer akkerland wordt omgezet in extensief beheerd grasland, wanneer het terrein anders moet worden ingericht of wanneer er nieuw materiaal (zoals een ecoploeg) moet worden aangeschaft. Overleg hierover tussen overheid en eigenaar (en pachter) is noodzakelijk om na te gaan wat de wensen van beide partijen zijn en welke financiële regeling(en) eventueel getroffen kunnen worden. In sommige gevallen is wellicht subsidieverlening mogelijk vanuit de Uitvoeringsregeling Rechtstreekse Betalingen van het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid (Glb), in andere gevallen kan er een afkoopsom worden bepaald voor inkomstenderving en/of investeringskosten. Ook kan grond worden aangekocht en ondergebracht bij een andere terreinbeherende organisatie.

Een structurele oplossing of budget voor het compenseren van inkomstenderving is er op dit moment nog niet. In het verleden zijn bij grote gebiedsontwikkelingen (zoals ruilverkavelingen) archeologisch waardevolle terreinen die in gebruik waren voor agrarische productie overgedragen aan een natuurbeherende instantie, zoals is gebeurd met de grafheuvels nabij Zwaagdijk (Noord-Holland). Het ging bij die overdracht echter primair om de natuurwaarden van de terreinen; de archeologische vindplaatsen waren een gelukkige bijkomstigheid. Verder zijn er enkele proefprojecten geweest zoals Terpen Fryslân waar wel projectbudget was gereserveerd voor compensatieregelingen.

dan de keuze gemaakt worden de beheersmaatregelen op het behoud van het botmateriaal te richten.

Effectief een archeologisch rijksmonument in stand houden betekent dus dat er voldoende kennis moet zijn over de informatiewaarden en kwetsbaarheid van de archeologische resten zodat negatieve effecten van landgebruik en onderhoud worden geminimaliseerd en positieve effecten worden gemaximaliseerd. In dat opzicht kan ook het belang van afdoende voorlichting ter motivatie, begrip én ondersteuning voor het instandhoudingsbeleid niet genoeg benadrukt worden. Het valt te verwachten dat weinig terreinbeheerders, of dat nou boeren, bouwers of bestuurders zijn, vertrouwd zijn met de kwetsbaarheid van het archeologische erfgoed.

6.3.2 Vormen van instandhouding

Fysieke beschermingsmaatregelen kunnen eenvoudig en praktisch zijn (lage landschappelijke impact, lage kosten, weinig effect op bestaand grondgebruik) of bestaan uit eenmalige inrichtingsmaatregelen die al dan niet grootschalige, technische interventies vereisen en professionele expertise.

Een voorbeeld van praktisch beheer is het regelmatig maaien en het verwijderen van opslag op en nabij een grafheuvel. Kleinere eenmalig te

treffen maatregelen zijn het snelle herstel van beschadiging aan een wal of heuvel om de verdere erosie van de beschadiging tegen te gaan en wel zodanig dat verdere achteruitgang wordt voorkomen.³⁸⁰ Een ander voorbeeld is het plaatsen van een barrière, zoals een omheining, om wild en vee te weren van een vindplaats.³⁸¹

Sommige te treffen eenmalige inrichtingsmaatregelen zijn technischer en ingrijpender van aard. Zo zijn sommige scheepswrakken die voorkomen in de ingepolderde Zuiderzeebodem ingekuuld of afgedekt om zodoende een lokale biotoop te creëren met goede conserveringseigenschappen.³⁸² Verder zijn aan de oostkant van de UNESCO werelderfgoedplaats Schokland verschillende kavels uit het landbouwkundig gebruik genomen. Hiermee is een einde gekomen aan de schade door agrarische bodembewerking. Daarnaast zijn in 2003 waterhuishoudkundige maatregelen ten oosten van dit voormalige veeneiland genomen om het oppervlaktewaterpeil (en het grondwaterpeil) te verhogen.³⁸³ Daardoor is het gebied flink natter geworden en is de klink van klei en veraarding van veen afgeremd ten opzichte van de omliggende (landbouw)kavels.³⁸⁴ Hierdoor zakt het voormalige eiland Schokland minder snel weg en blijven de archeologische resten beter bewaard.

Deze voorbeelden zijn slechts een greep uit de vele vormen van fysieke instandhoudingsmaatregelen die getroffen kunnen worden om archeologische rijksmonumenten in goede staat

³⁸⁰ Baas & Raap 2006/2010, hoofdstuk 3: Cultuurhistorische beheermodellen. Zie ook Boosten & Penninkhof 2019.

³⁸¹ Dunwell & Trout 1999; English Heritage 2000.

³⁸² Bijvoorbeeld Speleers et al. 2016.

³⁸³ Smit et al. 2005.

³⁸⁴ Zie het rapport 'De Fysieke staat van het Werelderfgoed Schokland en omgeving in Nederland' (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en gemeente Noordoostpolder, in prep.).

te houden en bedreigingen weg te nemen. Uit de (internationale) literatuur komen de hieronder opgesomde (en vaak voor de hand liggende) fysieke maatregelen naar voren die al dan niet gecombineerd toegepast kunnen worden.³⁸⁵ Deze instandhoudingsmaatregelen kunnen worden onderverdeeld in maatregelen die schade voorkomen en maatregelen die gericht zijn op het herstellen van schade en het bestrijden van de oorzaken.

Voorkomen

1. *aangepast agrarisch grondgebruik* door bijvoorbeeld over te gaan op minder versturende vormen van agrarische bodembewerking of door het omzetten van archeologiegevoelige terreindelen van bouwland in grasland;
2. *aangepast bos- en natuurbeheer*, zoals gebruik van vaste dunningspaden in bossen en het voorkomen van insporing en bodemverdichting;
3. *aangepast waterbeheer*, zoals het nemen van hydrologische maatregelen om de grondwatersituatie te verbeteren en veraardingsprocessen tegen te gaan;
4. archeologiesparend *bouwen* op archeologische rijksmonumenten;
5. voorkomen van schade door aanlegwerkzaamheden;
6. *afdekken en/of inkuilen* van de vindplaats bijvoorbeeld in het geval er een dreiging van schade is door agrarisch grondgebruik, vanwege wildschade of door vandalisme (schatgraverij enz.);
7. *aangepast voertuig- en machinegebruik* ter voorkoming van insporing en bodemverdichting.

Herstellen en bestrijden

8. *erosiebestrijding* door het aanpassen van teeltwijzen/landbouwkundig beheer om (sluipende) erosie tegen te gaan;
9. *vegetatiebeheer*, zoals het verwijderen van bomen om verstoring door wortelwerking en windworp tegen te gaan of het aanbrengen van worteldoek of andere wortelwerende materialen;
10. *tegengaan van wildschade en schade door vee* door het afdekken van het terrein met gaas, uitrasteren van terreindelen of het plaatsen van een vast hek;
11. *recreatiebeheer*, zoals het aanpassen van routegeleiding en maatregelen gericht op het voorkomen van vandalisme.

6.4 Aangepast agrarisch grondgebruik

Intensief grondgebruik door de agrarische sector kan worden aangemerkt als één van de voornaamste bedreigingen voor de instandhouding van archeologische rijksmonumenten.³⁸⁶ In het kader van archeologievriendelijk beheer zijn in het ons omringende buitenland daarom verschillende alternatieven aangedragen om de druk op de bodem te verminderen.³⁸⁷ Deze variëren van het volledig stopzetten van welke vorm van bewerking dan ook ('no tillage'), het overstappen naar zogenaamde directe zaaimeethoden, het lokaal opheffen van bodembewerking rond een archeologiegevoelig deel van het terrein zoals een zichtbare archeologische structuur, tot het overstappen op de zogenaamde minimale bewerkingstechnieken.³⁸⁸ Ook ophogen of bezanden en het vermijden van (verdere) grondbewerking (door braaklegging, afrastering) behoren tot de mogelijkheden.

6.4.1 Directe inzaai en minimale bodembewerkingstechnieken

Bij niet-kerende grondbewerking, niet-ploegen en directe inzaai blijven de gewasresten van de tussenteelt (groenbedekker) of van de laatste oogst grotendeels aan de oppervlakte bewaard. Directe inzaai is de minst versturende bodembewerkingstechniek die toegepast kan worden op akkerland.³⁸⁹ Het is een vorm van akkerbouw zonder grondbewerking. Bij directe inzaai wordt het hoofdgewas met een speciale zaaimachine ingezaaid in de vegetatieresten van de vorige oogst of van de afgestorven groenbedekker zonder dat er zaaibedrijding plaatsvindt.³⁹⁰ Wel dienen er veel gewasbestrijdingsmiddelen gebruikt te worden om het onkruid en de stoppelresten te verdelen. Deze techniek kan onder meer gebruikt worden voor het cultiveren van grassen, graan, erwten en bonen, maar het succes hangt af van het type bodem.³⁹¹ Het nadeel is dat er alsnog bodemverdichting

³⁸⁵ Baas & Raap 2006/2010; Roorda & Stöver 2016; Boosten & Penninkhof 2019. Voorbeelden van fysieke maatregelen in het buitenland zijn beschreven in Thorne 1988; Shockley 2000; Crow & Moffat 2005; Rimmington 2004; Jones 2007; Stewart 2013; Aslan *et al.* 2018; Historic England 2016; Tjellden *et al.* 2016.

³⁸⁶ Trow, Holyoak & Byrnes 2010.

³⁸⁷ Duitsland: Kretschmer & Möndel 2015; Deutsche Bundesstiftung Umwelt 2011, 65 e.v.; Engeland: Russell 2003; Booth & Spandl 2009; Holyoak 2010; België: Louwagie *et al.* 2005. Zie ook ITADA 2006.

³⁸⁸ Mauro 2001; Oxford Archaeology 2002; English Heritage 2004; Terwan & Ringers 2004; ITADA 2006; Oxford Archaeology 2010, 11 e.v.; Landesdenkmalpflege Baden-Württemberg 2013; Kretschmer & Möndel 2015.

³⁸⁹ Oxford Archaeology 2002, 12; 2010; Kretschmer & Möndel 2015.

³⁹⁰ Gillijns *et al.* 2005: 32; Landesdenkmalpflege Baden-Württemberg 2013; www.pfluglos.de.

³⁹¹ Oxford Archaeology 2002, 12.

plaatsvindt en er decompactie maatregelen genomen moeten worden om gewasschade door wateroverlast te voorkomen (paragraaf 5.2.4).

Een vorm van minimale grondbewerking is ook het door Mauro (2001) vermelde ecoploegen. Door het toepassen van deze techniek probeert men het bodemleven meer bovenin te houden en de benutting van de nutriënten te verhogen.³⁹² Hiervoor is een speciale ploeg ontwikkeld die 15 tot 20 cm diep werkt en de grond goed kan keren. Het voordeel is dat er minder diep bewerkt wordt dan de bestaande bouwvoor. Ook wordt de bodem veel minder samengedrukt door de ploegschaar.³⁹³ Een nadeel is dat het onkruid op die manier moeilijker te bestrijden is en dat de gewasresten niet worden ondergewerkt. Een keuze voor deze bewerkingsmethode vraagt bovendien ook andere werktuigen en een aanpassing van de bedrijfspraktijk, zoals het bewerkingstijdstip.

Met name buitenlands onderzoek heeft laten zien dat graanopbrengsten op slemp- en/of droogtegevoelige gronden zeker niet minder hoeven te zijn indien de grondbewerking uitsluitend uit een zaaibedbereiding bestaat.³⁹⁴ Er zijn echter weinig Nederlandse gegevens over de technische mogelijkheden en de economische rentabiliteit van minimale bodembewerkings-technieken.³⁹⁵ Wel zijn er in Nederland veel publicaties verschenen onder de kop 'niet-kerende grondbewerking' (NKG).³⁹⁶ Niet-kerende grondbewerking stoelt op drie belangrijke basisprincipes: minimale grondbewerking, zoveel mogelijk bedekking van de bodem en een zo divers mogelijke vruchtwisseling. Er zijn verschillende vormen van niet-kerende bodembewerking mogelijk, gebaseerd op diepe of ondiepe bodembewerking waarbij het intensief keren of mengen van de grond vermeden wordt. De meest drastische maatregel is het eerder genoemde volledig achterwege laten van ploegen ('no-till', afb. 6.3).

³⁹² Ibid.; Kouwenhoven *et al.* 2002; Hanegraaf & De Visser 2003.

³⁹³ Oxford Archaeology 2002, 22. Dit is natuurlijk afhankelijk van het type landbouwvoertuig en de bodem.

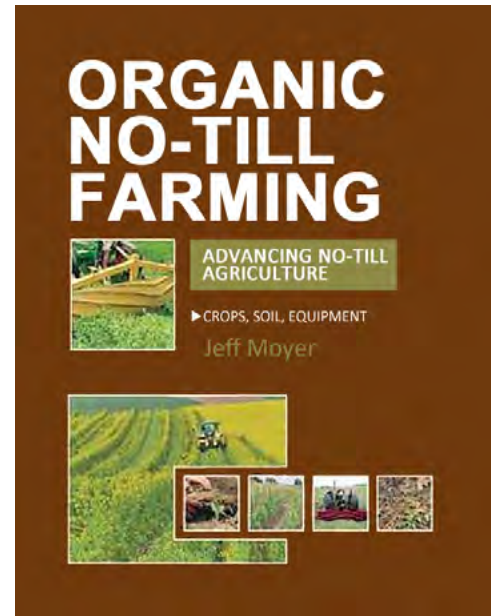
³⁹⁴ In het hoofdstuk over grondbewerking in het klassieke Handboek Bodemkunde van Nederland wordt al gemeld dat diepe grondbewerking niet per definitie opbrengstverhoging betekent (Schneider & Huinink 1990; hoofdstuk 12 in: Locher & De Bakker 1990).

³⁹⁵ Maar zie Kouwenhoven *et al.* 2002; Pulleman *et al.* 2003.

³⁹⁶ Zie bijvoorbeeld Van der Horst 2015.

³⁹⁷ Zie: Van der Heiden, Van Doesburg & Stöver 2017 en het artikel 'De ploegproef' in het tijdschrift van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed 1-2020.

³⁹⁸ Van Eerden 2004.



Afb. 6.3 No-till farming (beeld: Jeff Moyer).

6.4.2 Ophogen of bezanden

Als alternatief kan ook het akkerland opgehoogd worden zodat de archeologische resten niet meer aangeploegd worden. Ophogen van een graslandperceel dat omgezet werd in akkerland is onder andere toegepast op het archeologische rijksmonument Tjessens te Waaxens (Noard-East-Fryslân). De huidige gebruiker bracht in overleg met de gemeente en de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed een grondlaag van 30 centimeter op om ervoor te zorgen dat zijn ploeg de archeologische resten niet (meer) beschadigde. Het project wordt sindsdien gemonitord en tot nu toe zijn de resultaten van deze inrichtingsmaatregel bemoedigend.³⁹⁷ Eenzelfde inrichtingsmaatregel was één van de scenario's voor het fysiek beschermen van het archeologisch rijksmonument Aartswoud-De Hooge Weere.³⁹⁸ Daarbij werd als voorwaarde gesteld dat ophogen niet mocht leiden tot inkomsten-derving. Vanuit archeologisch oogpunt was het verder onwenselijk dat met de opgehoogde grond ook archeologische resten van elders werden aangevoerd. Het was ook onwenselijk dat de aangebrachte grondlaag zou leiden tot schadelijke zetting.

Een enigszins hiermee vergelijkbare maatregel is bezanden. Bij het bezanden wordt een laagje zand op de bestaande bovengrond aangebracht om de draagkracht van de bodem te verbeteren.³⁹⁹ Dit vermindert de impact van machinegebruik op bodemverdichting en werd in het verleden toegepast bij veengronden.

6.4.3 Braaklegging en afrastering

Een directe maatregel die genomen kan worden bij het constateren van aantasting van het rijksmonument (bijvoorbeeld wanneer vers vondstmateriaal naar de oppervlakte wordt geploegd) is braaklegging. Om het risico van onopzettelijk ploegen/bewerken binnen een schadegevoelige deel van de akker te minimaliseren kan dit deel van de akker ruim worden afgerasterd (afb. 6.4). Hiermee wordt een bufferzone rond het gevoelige deel van het rijksmonument gecreëerd. Het terrein binnen het raster komt dan braak te liggen maar deze braakligging kan contraproductief uitpakken wanneer sprake is van verhoogde erosiegevoeligheid (zoals op hellingen of bij stuifgevoelige bodems, paragraaf 6.11).

Het verlies van een deel van het teeltoppervlak leidt weliswaar tot economische schade, maar braakland ingezaaid met drachtplanten (met nectar en/of pollen) zijn in 2019 opgenomen in de 'lijst van toegestane invulling van ecologische aandachtsgebieden' en daarmee subsidiabel binnen het Subsiestelsel Natuur en Landschap (SNL). Een compensatieregeling kan ook werken om deze instandhoudingsmaatregel uit te kunnen voeren. Wanneer gekozen wordt voor braakligging dient wel voorkomen te worden dat het terrein binnen het afgerasterde gebied verruigt met struiken en boomopslag (paragraaf 4.2.4). Dit kan namelijk weer leiden tot faunaschade aan de bodem door konijnen en andere graaf dieren (paragraaf 4.2.3).

6.4.4 Graslandbeheer, omzetten in grasland

Grasland of grasweidebeheer wordt door de meeste archeologieprofessionals aangewezen als het meest geschikte bodemgebruikstype voor de instandhouding van archeologische rijksmonumenten (afb. 6.4).⁴⁰⁰ Als voordelen van grasland worden genoemd dat het risico van bodemerosie wordt verminderd, dat het gunstig is voor het bodemvochtgehalte en dat de noodzaak tot scheuren of ploegen minder groot is. Daarnaast is het risico van fysieke aantasting van ondergrondse resten en sporen door afname van het gebruik van zware en/of bodemversterkende machines een voordeel.⁴⁰¹ De laatste twee voordelen (minder bodembewerking, minder machinegangen) gelden in verminderde mate voor grasproductieland of grasteelt waarbij frequent scheuren of ploegen, het injecteren van mest en het meerjaarlijks maaien, alles met grote landbouwvoertuigen, wel aan de orde is.⁴⁰² Wel is de bouwvoor ook onder grasproductieland minder dik dan bij akkerbouw en veel van de bodemingrepen hebben op grasproductieland een beperkte inwerkingsdiepte.



Afb. 6.4 De vliedberg van 't Hof Blaemskinderen in 's-Heer Abtskerke (rijksmonument 45.203) is uitgespaard in een akkerperceel. Een solitaire lindeboom markeert de top van de berg. Door ploegen wordt de voet van de berg licht aangetast (foto: Aerophoto Eelde).

³⁹⁹ Heunks 1995, 21.

⁴⁰⁰ Darvill & Fulton 1998; Oxford Archaeology 2002, 2010; Molenaar et al. 2003, 50; Van Eerden 2004, 19-20, 25; English Heritage 2004; Rimmington 2004; Terwan & Ringers 2004; Baas & Raap 2006/2010.

⁴⁰¹ Oxford Archaeology 2010.

⁴⁰² Hanegraaf & De Visser 2003, 58.



Afb. 6.5 Houtoogst in het bos (foto: Oldebolhaar B.V.).

Terecht wordt vaak de vraag gesteld of omzetting van akkerland naar grasland wel een effectieve maatregel is uit oogpunt van archeologische bescherming. Is namelijk de schade aan het rijksmonument niet allang aangericht na jarenlang gebruik als bouwland? Tegen dit argument kan worden ingebracht dat er een tendens is naar steeds krachtiger en dieper ploegen met steeds zwaardere machines wat het risico op het voortdurend aftoppen en verdichten van de archeologische niveaus onder akkerland vergroot. De aantasting neemt zonder deze beschermingsmaatregelen dus toe. Bovendien gaat akkerbouw vaker gepaard met kilveren en egalisatiewerkzaamheden. Een risico is wel dat het graslandbeheer al snel de vorm kan aannemen van regulier beheer (met periodiek ondiep scheuren van de bodem, regelmatige bemesten en machinegangen) om de grasopbrengst op peil te houden. Deze vorm van grondgebruik is daarom alleen zinvol als er duidelijke voorwaarden zijn gesteld aan het graslandbeheer wanneer het gaat om de instandhouding van het archeologische rijksmonument.

Archeologische rijksmonumenten in landelijk gebied hebben het meest baat bij extensief graslandbeheer, gesteld dat de opbrengst niet geoptimaliseerd hoeft te worden (door ploegen, bemesten, egaliseren) vanuit bedrijfseconomisch oogpunt. Verder is het voor ondiep

gelegen archeologische resten met voor aerobe processen kwetsbare materiaalsoorten gewenst dat het graslandbeheer jaarrond een relatief hoge waterstand verdraagt. Belangrijk is verder dat er geen wijzigingen worden aangebracht in de begreppeling of andere vormen van detailontwatering. Bij terreinen met hoge grondwaterstanden moet in ieder geval geen verlaging van grondwaterstand en slootpeilen optreden. Begrazing van extensief beheerde graslanden vormt een verdere sleutelfactor bij het duurzaam instandhouden van archeologische terreinen omdat er door begrazing minder noodzaak bestaat tot machinaal maaien.⁴⁰³

6.5 Aangepast bos- en natuurbeheer

Uit een steekproef is gebleken dat vooral archeologische rijksmonumenten in bos- en heidegebied vragen om regelmatige schouwing en onderhoud.⁴⁰⁴ Ze liggen overwegend buiten het gezichtsveld van de eigenaar. Vaak is die meer gefocust op de aspecten productiebos of natuurbeheer. Daarnaast brengt het landgebruiktype 'bos' of 'natuur' het risico van recreatie- en faunaschade met zich mee. Vooral bosbouw kan verstorend zijn voor archeologische resten (zie paragraaf 5.5). De voor ondiep gelegen archeologische resten negatieve

⁴⁰³ English Heritage 2004.

⁴⁰⁴ Datema 2015, 19. De onderhoudsbehoefte geldt vooral voor herstel of onderhoud aan het heuveloppervlak van grafheuvels en een enkele motte of vliedberg.

bijeffecten van houtoogst kunnen gelukkig worden ingeperkt door kleine aanpassingen van de standaardtechnieken.⁴⁰⁵ Bij werkzaamheden op archeologische rijksmonumenten dient er waar mogelijk voldoende afstand van de kwetsbare terreindelen te worden bewaard om eventuele schade te voorkomen. Daarom is het op de eerste plaats belangrijk dat deze terreindelen in het terrein als zodanig herkenbaar zijn. Het afzetten van wallichamen of heuvels met veiligheidslint of het op een andere manier uitrusten of markeren van het beschermde monument is een praktische manier. Verder kan in bospercelen het gebruik van houtsnippers of takkenmatten insporing en bodemverdichting door bosbouwmachines en tractoren voorkomen.⁴⁰⁶ Het is een goedkope en hernieuwbare, biologisch afbreekbare toepassing van materialen die ruimschoots in een bos aanwezig zijn. Ook moet niet gereden worden op te natte bodems om verslemping en insporing te voorkomen. Potvliet (2015) en Jansen *et al.* (2018) stellen ter voorkoming van insporing en bodemverdichting voor:⁴⁰⁷

- dat het aanleggen en rijden over vaste dunningspaden en uitsleppaden de voorkeur geniet;⁴⁰⁸
- om op de dunningspaden en uitsleppaden takkenmatten aan te leggen;
- om houtoogstactiviteiten op zandbodems onder vochtige omstandigheden uit te voeren en werkzaamheden op leem- en kleibodems onder droge omstandigheden;
- machines (of trekdieren) te gebruiken met een lage contactdruk om insporing te minimaliseren (paragraaf 6.10);
- om bij het markeren van dunningspaden en uitsleppaden uniforme blesmarkeringen te gebruiken (het werken met uniforme blesmarkeringen schept duidelijkheid voor de beheerders en de aannemers);
- om de dunningspaden en uitsleppaden voor komende generaties vast te leggen met behulp van GPS en/of kaart. Aangezien het ecologisch en economisch voordelig is om dezelfde paden meerdere generaties te gebruiken, is het handig om deze paden vast te leggen op kaart en of GPS zodat deze na een kaalkap opnieuw gebruikt kunnen worden.

Voor het planten van bomen verdient het aanbeveling om te kiezen voor pleksgewijze aanplant met bijvoorbeeld een spade of plantbuis.⁴⁰⁹ Bij het vellen van bomen is het verder belangrijk het wortelgestel niet uit te graven (rooien). Boomstronken kunnen in situ aan natuurlijke rot worden overgelaten. Bij het vellen van een boom moet verder voorkomen worden dat de kruin niet in de richting van een archeologische vindplaats (zoals een grafheuvel) valt omdat deze met een enorme kracht op de grond valt en dan een behoorlijke bodemverstoring kan aanrichten. Wanneer dit niet te voorkomen is kan de vindplaats eerst afdoende afgeschermd worden. Bij voorkeur worden bomen rond en buiten de perimeter van de site als eerste geveld zodat die binnen de perimeter bij het vellen naar buiten kunnen vallen.

6.6 Aangepast waterbeheer

6.6.1 Waterverzadiging en conservering

De belangrijkste factor voor het conserveren van onverkoelde organische archeologische resten is het voorkomen van verdroging en het optreden van aerobe afbraakprocessen.⁴¹⁰ De waterhuishouding en dan met name stagnerend bodemwater rondom de archeologische resten is hierop van grote invloed.⁴¹¹ Dergelijke conserveringsomstandigheden worden bepaald door de diepteligging van de archeologische resten ten opzichte van het grondwaterpeil, de wijze waarop en de mate waarin capillaire aanzuiging van grondwater in ondieper gelegen bodemlagen optreedt en in stand blijft (afb. 5.22), en de relatie tussen grondwaterpeil, slootpeil en eventueel aanwezige drainage. Een hoog slootpeil betekent namelijk niet automatisch een hoog grondwaterpeil of een hoog bodemvochtgehalte. In perioden met een neerslagoverschot (oktober-maart) is binnen percelen vaak sprake van een opbollende (hogere) grondwaterspiegel richting het hart van het perceel ten opzichte van het slootpeil. In perioden met een neerslagtekort (april-september) is sprake van een holle (lagere) grondwaterspiegel.⁴¹²

⁴⁰⁵ Voor Engeland zie Jones *et al.* 2002: 49; Crow & Moffat 2004; Forestry Commission 2017; Duitsland: Sippel & Stiehl 2005; Nederland: Bosschap 2010; Potvliet 2015; Jansen *et al.* 2018; Boosten & Penninkhof 2019.

⁴⁰⁶ Potvliet 2015, 44.

⁴⁰⁷ Zie ook Boosten & Penninkhof 2019, 78.

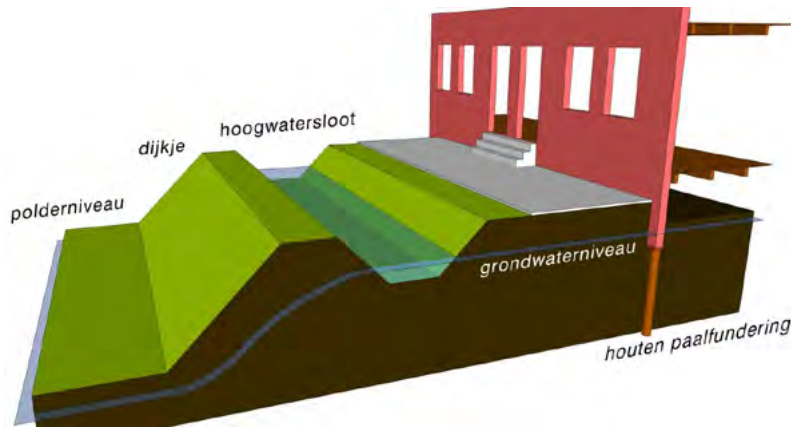
⁴⁰⁸ In het bosbeheer is er een toenemende trend om gebruik te maken van vaste uitsleppaden, waarbij er elke 20 tot 40 meter een pad ligt waar machines mogen rijden en waarbij de rest van de bosbodem niet meer bereid wordt. Bij het uitzetten van vaste uitsleppaden op archeologische rijksmonumenten is het van belang om rekening te houden met de kwetsbare terreindelen.

⁴⁰⁹ Boosten & Penninkhof 2019, 77.

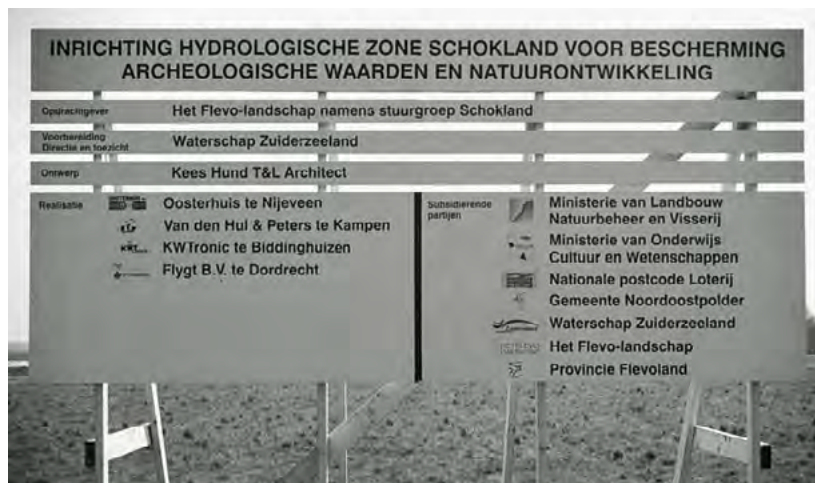
⁴¹⁰ Van Heeringen & Theunissen 2002; Huisman *et al.* 2008; 2009; Huisman & Mauro 2013.

⁴¹¹ Bijvoorbeeld Exaltus & Soenius 1997; Van Waijjen 2001a en b; Behm 2000; Van Eerden 2004.

⁴¹² Kostelijk 1986; Locher & De Bakker 1990, hoofdstukken 9, 10 en 11.



Afb. 6.6 De werking van een hoogwatersloot (beeld: Kenniscentrum Aanpak Funderingsproblematiek).



Afb. 6.7 Informatiebord bij Schokland, rijksmonument 46.033 (foto: Smit et al. 2015).

Uit de in paragraaf 5.4.7 genoemde voorbeelden blijkt dat de noodzaak tot het treffen van maatregelen tegen verdroging moet samengaan met een goed begrip van de lokale hydrologische en hydrochemische situatie. Hierbij leert de ervaring van de afgelopen jaren dat een kleine verandering in de grondwatersituatie of het bodemvochtgehalte in de capillaire zone kan leiden tot een grote verbetering voor het behoud in situ. Soms is echter alleen met ingrijpende maatregelen een verbetering van de bestaande situatie te bereiken.⁴¹³

⁴¹³ Exaltus & Soonius 1997; Van Heeringen, Smit & Theunissen 2002; Van Heeringen & Theunissen 2005; Smit, Mol & Van Heeringen 2005; Huisman & Mauro 2013.

⁴¹⁴ Van den Akker et al. 2010.

6.6.2 Beperken peilverlaging

Wanneer archeologische niveaus met onverkoelde organische resten ondiep in de bodem voorkomen is het op de eerste plaats zinvol om maatregelen te nemen die verlaging van het (grond)waterpeil tegengaan. Daar heeft een landbouwer echter alleen invloed op wanneer sprake is van onderbemaling en drainage. Het slootpeil/polderpeil zelf is een zaak van het waterschap of hoogheemraadschap. Verder moet worden bedacht dat ook bij een hoog slootpeil (30-40 cm onder maaiveldniveau) de grondwaterspiegel binnen de percelen in droge perioden nog steeds dalen tot wel 60 à 80 cm beneden maaiveld. Er is dan sprake van een 'hol' grondwaterpeil. Een peilverhoging is slechts beperkt effectief.

Het toepassen van technische oplossingen als onderwaterdrainages in veengronden lijkt op het optreden van bolle en holle grondwaterpeilen in respectievelijk natte en droge seizoenen een vertragend effect te hebben.⁴¹⁴ Deze vorm van drainage, waarbij de drains 20 cm onder het slootwaterpeil en 60 cm onder maaiveld liggen, fungeert in de zomer dan als infiltratiemethode richting het uitdrogende perceel. Met andere woorden: de holle grondwaterspiegel kan zo wellicht worden 'rechtgetrokken' en veenafbraak en klink kunnen worden beperkt. In de winter wordt de bolle grondwaterspiegel door drainage afgevlakt. Zo worden de soms extreme peilschommelingen in veengrond beperkt of zelfs ongedaan gemaakt. Het nadeel is verder dat onderwaterdrains alleen effectief zijn als de waterdoorlatendheid van de bodem groot genoeg is om de peilschommelingen te dempen.

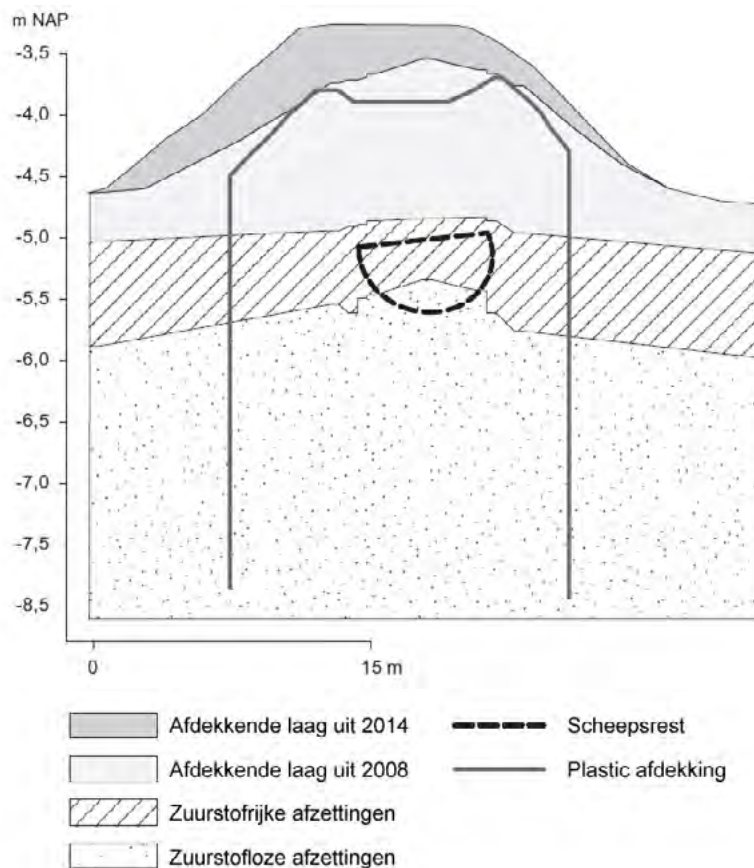
Vanwege het versturende effect op de bodem en de archeologische resten wat het aanleggen van drainage met zich meebrengt (paragraaf 5.2.6) is het de vraag of dit een wenselijke fysieke beschermingsmaatregel is tegen verdroging van archeologische resten. Onderwaterdrainage is verder een relatief nieuwe techniek waar geen ervaring mee is op rijksmonumenten.

6.6.3 Peilverhoging

Een verhoging van het polderpeil zal in veel gevallen een positieve invloed op de conserveringsomstandigheden van voor verdroging kwetsbare archeologische resten hebben. Door het waterpeil te verhogen zullen archeologische resten immers worden afgesloten van zuurstof zodat natuurlijke afbraakprocessen worden afgeremd of zelfs gestopt. Processen als klink en krimp zullen niet langer optreden. Het nadeel van deze maatregel is echter dat ook allerlei niet beschermde percelen hier de gevolgen van zullen ondervinden. Grondeigenaren zullen daar bezwaar tegen maken en verhogen van het polderpeil is daarom een weinig realistische oplossing.

Verhoging van slootwaterpeilen op veel kleinere schaal, bijvoorbeeld door het creëren van een (kleinschalige) hoogwatervoorziening rondom de vindplaats (inundatieschermen, stuwtjes, peilscheidingsdammen), is alleen zinvol als instandhoudingsmaatregel als daarmee daadwerkelijk betere conserveringsomstandigheden worden bereikt (afb. 6.6).⁴¹⁵ Naast de diepteligging van de kwetsbare archeologische resten speelt hier opnieuw de soms zwakke (en variabele) relatie tussen sloot- en grondwaterpeil een rol naast de praktische mogelijkheden voor peilverhoging. Wanneer het land agrarisch gebruikt moet kunnen blijven betekent dat verder dat het peil ten hoogste tot circa 30-40 cm beneden maaiveld kan worden opgezet. Datzelfde praktische bezwaar geldt voor het opheffen van een particuliere onderbemaling, als deze dieper maalt dan de blokbemaling.

Peilverhoging kan kleinschalig gebeuren door bijvoorbeeld het plaatsen van boerenstuwtjes voor het opzetten van slootpeilen.⁴¹⁶ Het kan echter ook grootschalig aangepakt worden. Ten oosten van Schokland zijn in 2003 bijvoorbeeld waterhuishoudkundige maatregelen getroffen om de freatische grondwaterstand te verhogen (afb. 6.7).⁴¹⁷ Dit is onder andere gedaan om de archeologische vindplaatsen aldaar beter te conserveren. De monitoringgegevens sinds 2000 tonen duidelijk aan dat in ieder geval de conserveringsomstandigheden van de organische



Afb. 6.8 Doorsnede van het ingepakte wrak aan de Paradijsvogelweg (bron: Speleers *et al.* 2016).

overblijfselen op vindplaats P14 en ook binnen een groot deel van de overige hydrologische zone – vooral het noordelijk deel – zijn verbeterd.⁴¹⁸

Een indirect (negatief) effect van peilverhoging is dat het een sluipende aantasting van archeologische resten kan introduceren.⁴¹⁹ Hogere grondwaterstanden leiden namelijk tot nattere standplaatsfactoren waardoor bijvoorbeeld een rietvegetatie of moerasbos kan ontstaan. De diepe en stevige doorworteling van rietstengels in de bodem leidt tot doorboring van archeologische lagen (paragraaf 4.4.4). Door de groei van bomen in een moerasbos zullen ook de wortels van de bomen de archeologische lagen in de bodem verstoren.⁴²⁰

Een zeer lokale vorm van hydrologisch beheer is het 'inpakken' van archeologische resten. Zo heeft de wetenschappelijke afdeling van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders een

⁴¹⁵ Ook als de om het rijksmonument gelegen percelen lager liggen kan een inundatiescherm, wal of peilscheidingsdam rondom de archeologische vindplaats aangelegd worden om het grondwaterpeil op peil te houden.

⁴¹⁶ Zie het 'Deltaplan agrarisch waterbeheer' <https://agrarischwaterbeheer.nl/content/boerenstuwen>.

⁴¹⁷ Smit, Mol & Van Heeringen 2005c.

⁴¹⁸ Huisman & Mauro 2013.

⁴¹⁹ Soonius, Bekius & Molenaar 2001.

⁴²⁰ Cox *et al.* 2001.



Afb. 6.9 Luchtfoto van de nieuwe woning met schuur te Anjum, gemeente Noardeast-Fryslân (foto: Jos Stöver / erfgoedfoto.nl, rijksmonument 45.901).

methode ontwikkeld voor het inkuilen en inpakken van scheepswrakken met plastic.⁴²¹ Het idee is dat verdamping en horizontale grondwaterstroming ter hoogte van de wrakken voorkomen kan worden door het afdekken van de wrakken met een grondlaag en het ‘inkuilen’ met plastic folie tot onder de grondwaterspiegel. Door deze maatregel kunnen scheepsresten beter in de bodem bewaard blijven (afb. 6.8).

6.6.4 Vegetatiebeheer als antiverdrogingsmaatregel

Uit onderzoek naar de fysieke maatregelen om de uitdroging van veen- en kleidijken te voorkomen is naar voren gekomen dat beplanting met een zo kort mogelijk gewas het meest effectief is.⁴²² Het ondiepe wortelstelsel onttrekt namelijk het minste bodemvocht voor verdamping en heeft daardoor een belangrijk positief effect op de verzadigingsgraad. Het kort houden van de wortelstelsels werkt het beste als de vegetatie door middel van begrazen/beweiden plaatsvindt. Uit de studie blijkt dat er alleen bij wekelijks maaien effecten op het bodemvochtgehalte waarneembaar zijn; minder vaak maaien

leverde nauwelijks een positief effect op voor de verzadigingsgraad. Wanneer gekozen wordt voor beweiding dient wel rekening te worden gehouden met vegetatieschade die door de beweiding onder droge omstandigheden wordt aangericht. Een verstoord vegetatiedek heeft namelijk een negatief effect op de verzadigingsgraad.

6.7 Archeologiesparend bouwen

Archeologiesparend bouwen, dus met behoud van archeologie in de bodem, is op archeologische rijksmonumenten beperkt mogelijk. Verschillende grondwerkzaamheden, zoals het aanleggen van bouwputten en funderingen op staal, verhardingen, het rondrijden met zwaar materieel of het toepassen van paalfunderingen en grondophogingen vormen namelijk risico's voor archeologische rijksmonumenten. Om te voorkomen dat een archeologisch rijksmonument door grondwerkzaamheden beschadigd raakt wordt aangeraden een bufferzone van tenminste 30 cm boven de top van de archeologische vindplaats aan te houden, waarin de grond bij voorkeur niet vergraven wordt

⁴²¹ Reinders 2006; Speleers et al. 2016.

⁴²² Oostindie et al. 2003.



Afb. 6.10 De wierde Weiwerd bij Delfzijl is sinds 1968 beschermd als archeologisch rijksmonument, maar lag pal onder de rook van een industriegebied. Het terpdorp moest hiervoor plaatsmaken en veel huizen werden daarom gesloopt. De industrie kwam er echter nooit en door slim herbestemmen zijn de archeologische resten nu veilig onder de grond bewaard gebleven (rijksmonument 45.306).

(paragraaf 6.4.2). Door een bufferzone aan te houden is behoud van de vindplaats ook op lange termijn verzekerd: toekomstige ontgravingen zoals het slopen en verwijderen van ondergrondse delen van bouwwerken kunnen dan worden uitgevoerd zonder de vindplaats te beschadigen.⁴²³

Soms kan er gebouwd worden op een fundering 'op staal' (paragraaf 6.7.2). Een mooi voorbeeld daarvan is de bouw van een nieuwe woning en garage op een verhoogde woonplaats te Anjum (rijksmonument 45.901, afb. 6.9). Voor de hout-skeletbouw werd een strokenfundering toegepast. Voor de garage volstond een plaatfundering.⁴²⁴ Soms kan er (voort)gebouwd worden op oude reeds bestaande funderingen. Bouwen op bestaande fundering wordt (nog) niet vaak toegepast maar is technisch wel mogelijk. Zo wordt in Voorburg op het ziekenhuisterrein (met in de ondergrond resten van de Romeinse stad Forum Hadriani) voor de nieuwbouw gebruik gemaakt van de oude fundering van het inmiddels gesloopte zusterhuis. Zie verder ook Van Os *et al.* 2016 over de (her)inrichting van het Utrechtse Domein.⁴²⁵

6.7.1 Voorkomen van schade door belasting

Bij heel ondiepe vindplaatsen waar de archeologische resten direct onder het maaiveld liggen, is bouwen zonder verstoring van de vindplaats alleen te realiseren door het maaiveld voldoende op te hogen (paragraaf 6.4.2). Vooral ondiepe vindplaatsen waar de archeologische resten minder dan 80 cm onder het maaiveld liggen, zijn gebaat bij een ophoging. Leidingen en funderingen op staal kunnen in de ophogingslaag worden aangelegd en verstoren daardoor de vindplaats minder of helemaal niet meer. Dat maakt ophogen in veel gevallen al een oplossing voor een vergravingsprobleem. Door zettingsonderzoek kan vastgesteld worden hoeveel ophoging mogelijk is zonder schadelijke vervormingen. Een vlakdekkende ophoging tot 50 cm blijkt doorgaans geen noemenswaardige zetting te veroorzaken en is ook voldoende om bodemverstoringen (zoals sleuven voor nutsleidingen) te voorkomen.⁴²⁶

⁴²³ Roorda & Stöver 2016, 15 e.v.

⁴²⁴ Roorda & Stöver 2016, 18-21.

⁴²⁵ <https://praktijkvoorbeelden.cultureelerfgoed.nl/praktijkvoorbeelden/weiwerd-wordt-brainwierde>.

⁴²⁶ Roorda & Stöver, 2016, 42 e.v.



Afb. 6.11 Locatie van een scheepswrak te Zeewolde, met markering. Het gaat om een karveel (visserschip) uit de tweede helft van de zestiende eeuw. De locatie is afgedekt met een extra grondlaag.

6.7.2 Bouwconstructies

De belasting van de bodem door het gewicht van een bouwwerk kan worden verminderd door een lichtere constructie te realiseren, bijvoorbeeld door lichtere bouwmaterialen toe te passen (zoals houtskeletbouw) of door minder bouwmassa te realiseren. 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 verstoring. Bij funderingen spreidt een plaatfundering de belasting beter dan een strokenfundering. Een plaatfundering met vorstrand kan bovendien ondiep worden aangelegd. Bij zettingsgevoelige bodems is fundering op staal vaak niet mogelijk en zal paalfundering noodzakelijk zijn. Dan zal eerst gekeken worden of het palenplan aangepast kan worden met als uitgangspunt 'zo weinig mogelijk palen'.⁴²⁷

⁴²⁷ Roorda & Stöver 2016, 23 e.v.

⁴²⁸ Anderson 1985; Thorne 1989; Bergstrand 2002; Stanley-Price & Burch 2004; Demas 2004; Reinders 2006; Speleers *et al.* 2016.

6.8 Voorkomen van schade door aanlegwerkzaamheden

Waar de bodem zoveel mogelijk moet worden ontzien (of wanneer sleufaanleg niet mogelijk is) worden leidingen en buizen steeds vaker aangebracht door gebruik te maken van gestuurde boringen. Dit wordt vooral toegepast onder wegen en waterwegen maar ook onder rijksmonumenten. Gestuurde boringen voor electriciteit of riolering gaan ook vaak ruim onder archeologische rijksmonumenten door. Verder kunnen kabels en leidingen zoveel mogelijk gebundeld in eenzelfde sleuf in bestaande leidingentracés worden aangelegd.

6.9 Afdekken en/of inkuilen van archeologische resten

De voornaamste reden voor het afdekken van archeologische resten is het voorkomen dat kwetsbare organische resten door groundbewatering worden aangetast en/of verdrogen (zoals scheepswrakken, afb. 6.11).⁴²⁸

Onderzoek naar de fysieke maatregelen om de uitdroging van veen- en kleidijken tegen te gaan heeft verder laten zien dat, naast een kortgehouden en ondiep wortelende vegetatiebedekking, ook een kleidek gunstig is voor het behoud van een hoog bodemvochtgehalte.⁴²⁹ Een mooi voorbeeld van deze maatregel is bijvoorbeeld de inrichting van het rijksmonument De Horn in Rijsburg (een Merovingisch grafveld). Het rijksmonument lag eerst in een kassengebied, maar is nu een openbaar park. Daarvoor is het rijksmonument eerst opgehoogd met gebiedseigen kalkhoudende klei en vervolgens als park ingericht.

Afdekken geschiedt vaak ook ter voorkoming van wortelwerking (paragraaf 6.12) of het voorkomen van wildschade door gravende (bodem) dieren (paragraaf 6.13). Dat kan met (licht) worteldoek, maar ook met zwaarder doek- of mat-achtig materiaal of door het aanbrengen van een beperkte ophoging. Zwaardere vormen van worteldoek zijn bedoeld om ingraven te voorkomen en om grond te verstevigen en bij elkaar te houden. Deze materialen worden doorgaans samengevat met de term 'geotextiel'.⁴³⁰ Vroeger werd ook wel gebruik gemaakt van gegalvaniseerd harmonicaags om het gewroet tegen te gaan. Op de bodem in en rondom de hunebedden zijn gasbetontegels geplaatst om illegale schatgraverij te voorkomen.

Om het risico op compressie/samendrukken van kwetsbare archeologische resten (artefacten, kwetsbare loopvlakken, enz.) te minimaliseren moet de afdekkende laag niet te zwaar worden (zie ook paragraaf 6.7.1).⁴³¹ Verder moet (altijd) rekening gehouden worden met mogelijke ongewenste effecten of neveneffecten.⁴³² Zo is de wijze waarop het ophogingsmateriaal wordt aangebracht belangrijk om bijvoorbeeld insporingschade en ongewenste bodemverdichting te voorkomen.

6.10 Aangepast voertuig- en machinegebruik

Belangrijk voor archeologische rijksmonumenten is op de eerste plaats dat er niet meer over het perceel gereden wordt dan



Afb. 6.12 Op archeologische rijksmonumenten kunnen alternatieve methoden om hout uit te slepen, zoals het gebruik van een paard of een bijtreklier, helpen om schade aan het erfgoed te minimaliseren of te voorkomen (foto: Boosten & Penninkhof 2019, 79).

noodzakelijk. Het doel van aangepast machinegebruik is daarna om de aantasting van het bodemarchief dat wordt veroorzaakt door insporing of door bodemverdichting te voorkomen door de druk die voertuigen en machines op de ondergrond uitoefenen te verlagen tot acceptabele en beheersbare niveaus.⁴³³ Daarvoor kunnen zowel indirecte als directe maatregelen worden genomen. Indirecte maatregelen zijn bijvoorbeeld het aanpassen van aan- en afvoer-routes of het kiezen voor uitvoeringsomstandigheden waarbij de bodem minder gevoelig is voor insporing of zetting. Vooral op de passagewegen

⁴²⁹ Oostindie *et al.* 2003.

⁴³⁰ Zie ook Hopkins & Shillam 2005.

⁴³¹ Roorda & Stöver 2016, 42. Zie ook Muller *et al.* 2014.

⁴³² Thorne 1989; Van Heeringen, Smit & Theunissen 2004, 49; Speleers *et al.* 2016. Zie ook Canti & Davis 1999, 776 en Huisman 2009.

⁴³³ Hanegraaf & De Visser 2003.



Afb. 6.13 Effect van banden en bandenspanning op de bodemopbouw in een testveld (foto: Jos Swagemakers 2011).

en in zeer natte condities kunnen diepe rijsporen voorkomen en raakt de grond verdicht.⁴³⁴ Directe maatregelen zijn bijvoorbeeld het (tijdelijk) aanbrengen van rijplaten of betonplaten of een andere vorm van grondbescherming of maatregelen die de directe druklast van de voertuigen en machines op de ondergrond vermindert. Steilkanten kunnen verder instorten of verzakken als zware landbouwmachines, bouw- of vrachtverkeer te dicht langs de steilkanten rijden. Een maatregel om schade te voorkomen is dan om voldoende afstand te bewaren van steilkanten.

Het wijzigen van de route betekent dat een bestaande route wordt afgesloten voor gebruik door het voertuig of dat deze periodiek wordt afgesloten om herstel mogelijk te maken. Voor het inrichten van bouwplaatsen kan gekozen worden voor tenminste twee toegangswegen die kunnen worden afgewisseld wanneer nodig of door uit te gaan van een brede strook waarbinnen de toegangsweg kan worden gewijzigd. Zodra er aanwijzingen zijn voor aantasting door insporing of anderszins (zie vorige paragraaf) moet de toegangsweg worden verplaatst.

Klei- en leembodems zijn zelf het meest vatbaar voor verstoringen door voertuigen wanneer de bovengrond met water verzadigd is. De druk tussen de bodemdeeltjes is dan laag waardoor de bodem 'verslapt' en gevoelig wordt voor insporing en bodemverdichting. Dat kan al na een stevige bui het geval zijn of door ontdooien van een deel van de bovengrond na een periode met vorst. De natte maanden oktober tot en met

maart zijn hiervoor het meest gevoelig. Wanneer het terrein gedurende deze periode beperkt bereiden wordt is insporingschade te voorkomen (zie ook afb. 5.8b). In dezelfde maanden is ook het natuurlijk herstel door hergroei van bijvoorbeeld de grasmat beperkt.

Aanpassen of afsluiten van aan- en afvoerroutes kan alleen wanneer er een realistisch alternatief bestaat. Als er weinig reële mogelijkheden zijn, bijvoorbeeld omdat de toegangsroutes beperkt zijn, kan gekozen worden voor voertuigen die ofwel fysiek lichter zijn dan de standaardmodellen of die de druklast van hun gewicht over een groter oppervlak kunnen spreiden, bijvoorbeeld door gebruik te maken van ladingverspreidende banden (zie hierna).⁴³⁵ Andere oplossingen zijn bijvoorbeeld de inzet van paarden, bijtrekieren of hooglieren voor het verslepen van geveld hout (afb. 6.12). Het werken met paarden past vooral goed bij kleinschalige vellingen.⁴³⁶

Insporing en verslemping en verdichting van de bodem kan worden beperkt door het aanpassen van de bandenspanning en bandbreedte.⁴³⁷ Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van twee zware voertuigen. Een vrachtwagen geladen tot 5 ton met een bandenspanning van 7 bar levert de grootste bodemdruk op. De druk op de bodem door een dorsmachine van 10 ton met een bandenspanning van 2 bar is de helft daarvan en een verdere reductie van de bandenspanning tot 1 bar levert nog een kwart vermindering van de bodemdruk op.⁴³⁸ Wel heeft het bodemvochtgehalte een belangrijke invloed op het effect van bandenspanning op bodemdruk, indringingsweerstand en insporing. Zo resulteert het verlagen van de bandenspanning (3 bar naar 1 bar) bij vochtige omstandigheden tot een verhoging van de bandenafdruk met éénvijfde, een verlaging van de insporing met één derde, en een verlaging van de bandenspanning de bodemdruk met één zesde.⁴³⁹ Bij droge omstandigheden is het effect op het minder insporen kleiner maar het effect op de bandenaafdruk en bodemdruk juist groter.⁴⁴⁰

De ondergrond waarop gereden wordt kan ook worden verstevigd. Een bekende maatregel is door gebruik te maken van (tijdelijke) rijplaten. Meer permanente en traditionele opties zijn open asfalt of grind maar er zijn ook alternatieven zoals granulaten of het aanbrengen van

⁴³⁴ Oxford Archaeology 2002.

⁴³⁵ Van Iterson & Hendrix 2006; Smits 2010; Oxford Archaeology 2010, appendix 1; D'Hose *et al.* 2017.

⁴³⁶ Boosten & Penninkhof 2019.

⁴³⁷ Hanegraaf & de Visser 2003, 27, 57; D'Hose *et al.* 2017; Van Iterson & Hendrix 2006.

⁴³⁸ Godwin *et al.* 2010.

⁴³⁹ D'Hose *et al.* 2017, 49.

⁴⁴⁰ *Ibid.*

bermtegels waar gras doorheen kan groeien. Een mogelijkheid is ook het verbeteren van de afvoer van overtollig bodemwater ter plaatse van de aan- en afvoerroutes. Al deze oplossingen vereisen echter een of andere vorm van grondverzet wat ten koste kan gaan van het rijksmonument. Een andere en eveneens meer permanente mogelijkheid die minder grondverzet vraagt is het in een brede baan inzaaien van grassoorten die beter tegen berijding opgewassen zijn. Onder de grasmat kan open geotextiel worden aangebracht ter verdere vergroting van de draagkracht.

- bijdragen tot de vorming van een goede aggregaatstructuur;
- de ruwheid van het bodemoppervlak vergroten;
- de bodem zo veel en zo lang mogelijk bedekt houden.

Een *goede aggregaatstructuur* biedt meer weerstand tegen de erosieve inslag van regendruppels, waardoor minder snel verslemping of korstvorming optreedt, en tegen de erosieve kracht van afstromend water waardoor bodemdeeltjes minder gemakkelijk worden meege-sleurd. Een *ruw oppervlak* zorgt ervoor dat het afstromend water wordt afgeremd en dankzij de oneffenheden kan er meer water worden vastgehouden, zodat het water meer tijd heeft om te infiltreren. Op die manier neemt het risico op bodemerosie af. Om een ruw bodemoppervlak te krijgen dient het zaaibed zo grof mogelijk te worden klaargelegd, oppervlakkige insporing dient te worden weggewerkt door een cultivator achter de wielen te monteren en de bodem dient na de oogst oppervlakkig te worden nabewerkt om verslemping op te heffen. Bij voorkeur wordt de bodem bewerkt onder droge omstandigheden, anders werkt men verdichting juist in de hand. Ook *gewassen en gewasresten* beschermen de bodem tegen rechtstreekse regendruppelin-slag en remmen het afstromende water af. Bovendien zorgen de toevoer van organisch materiaal en de wortelgroei voor meer biologisch leven, een betere bodemstructuur, meer infiltratie en een verhoogde weerstand van de bodem tegen verslemping en bodemerosie.

Een klassieke manier om de grond ruw te houden is contourbewerking. Bij contourwerken gebeurt het ploegen, eggen en zaaien parallel aan de helling.⁴⁴³ Contourbewerking is echter alleen toepasbaar op hellingen met een hellingpercentage lager dan 8%.⁴⁴⁴ Hoewel deze techniek erosieremmend werkt, wordt de fysieke impact door het ploegen (op de resten in de bodem, op aanwezig microreliëf) niet vermindert. Ook onderzaaien en dubbel inzaaien kunnen het risico op erosie van archeologische resten verminderen. Bij dubbel inzaaien wordt er twee keer gezaaid in de zone waar het water over de akker stroomt en regelmatig erosiegeulen ontstaan.⁴⁴⁵ Bij onderzaaien wordt er bijvoorbeeld gras als bodembedekker in een maïsveld gezaaid.

6.11 Erosiebestrijding

Bodemerosie kan niet altijd helemaal voorkomen worden. Vaak zal een anti-erosie maatregel een compromis zijn tussen wat fysisch noodzakelijk is, technisch uitvoerbaar en economisch haalbaar. Oplossingen om hellingerosie tegen te gaan zullen vaak ook direct ingrijpen op de agrarische bedrijfsvoering. Verder kunnen de noodzakelijke ingrepen buiten het archeologisch rijksmonument en hoger in het stroomgebied moeten worden uitgevoerd. Overleg met en medewerking van de betrokken landbouwers en eigenaars zijn dus cruciaal. De maatregel moet steeds een afdoende oplossing bieden voor het probleem, dat wil zeggen doelmatig zijn, maar de kosten moeten wel proportioneel blijven. Soms is bodemerosie vanuit natuurbelangen juist gewenst, zoals bij stuifzanden of soms in duingebieden het geval is.

6.11.1 Teeltechnische maatregelen tegen bodemerosie door water

In algemene zin geldt dat een dicht plantenkleed met een stevig doorwortelde zode (zoals grasvegetaties) de bodem doorgaans het beste tegen erosie beschermt, terwijl grondbewerking (met name ploegen) en (deels) braakliggende grond erosie versterkt (zie ook paragraaf 6.4.3 over braaklegging).⁴⁴¹ Bepalende factoren voor erosie door afspoeling zijn verder het hellingspercentage en de lengte van de helling. Teeltechnische maatregelen om bodemerosie te voorkomen zijn landbouwpraktijken die:⁴⁴²

⁴⁴¹ Bijvoorbeeld Geelen 2006; Hessel, Stolte & Riksen 2011.
⁴⁴² Hessel, Stolte & Riksen 2011; ALBON 2015.
⁴⁴³ Gillijns *et al.* 2005: 33; ALBON 2015.
⁴⁴⁴ *Ibid.*
⁴⁴⁵ Gillijns *et al.* 2005, 33.



Afb. 6.14 Grasstroken in Belgisch Limburg (foto: provincie Limburg.be).

Ook niet-kerende bodembewerking en no-till (paragraaf 6.4.1) kunnen bodemerosie heel sterk terugdringen. Dit werd de voorbije jaren in Vlaanderen overtuigend aangetoond, zowel via veldexperimenten (regensimulaties) als bij terreinwaarnemingen (erosiekartering). Gebleken is dat niet-kerende grondbewerking de erosie van percelen met meer dan 85% kan doen afnemen.⁴⁴⁶

6.11.2 Overige maatregelen om bodemerosie door water tegen te gaan

Grasbufferstroken en grasgangen

Grasbufferstroken en grasgangen (afb. 6.14) breken de kracht van het afstromende water en vangen een deel van het meegevoerde sediment op. Tegelijk wordt de bodem op de plaats van de grasbufferstrook of grasgang beschermd tegen

Anti-erosieregels in het Zuid-Limburgse heuvelland

Tot 2014 waren de (anti-)erosieregels in het Zuid-Limburgse heuvelland in een verordening van de Productschappen Akkerbouw en Tuinbouw opgenomen.⁴⁴⁷ Sinds de opheffing van de productschappen zijn de regels ongewijzigd overgenomen door het Ministerie van Economische Zaken. De regels zijn nu onderdeel van de voorwaarden van het gemeenschappelijk landbouwbeleid (GLB) om voor de hectare toeslag in aanmerking te komen.⁴⁴⁸ De erosieregels staan in artikel 3.1 lid b. en bijlage 4 paragraaf 4 van het GLB.

De Zuid-Limburgse erosieregels bepalen dat percelen met een helling van 2% of meer niet mogen worden beteeld met een erosiebevorderend gewas, behalve als niet-kerende grondbewerking (NKG) met een bodembedekkend gewas wordt toegepast. Dit is een gewas dat in het najaar direct na de oogst, maar uiterlijk 15 oktober (van het betreffende teeltjaar) wordt ingezaaid en als levend gewas of als licht dan wel niet ingewerkte gewasresten overwintert. Alleen bij uitzondering mag hiervan worden afgeweken wanneer maatregelen worden getroffen die minimaal een vergelijkbaar effect hebben als de NKG met een bodembedekking. De erosievoorschriften zijn van toepassing op tuinbouwgronden die geheel of gedeeltelijk zijn gelegen binnen het grondgebied van de provincie Limburg ten zuiden van de doorgaande wegen Sittard-Wehr (tot de grens Nederland-Duitsland) en Sittard - Urmond (tot de grens Nederland-België), met uitzondering van het winterbed van de Maas en het inundatiegebied van Geul en Gul. De erosieverordening bevat algemene voorschriften die uitgevoerd moeten worden op alle percelen binnen dit gebied, dus ook op 'vlakke' percelen. Andere algemene verplichtingen zijn:

- om een najaarsbewerking uit te voeren. Dit is niet verplicht bij de aanwezigheid van een (gras)ondergroei en meerjarige teelten;
- om de sporen van de trekkerwielen te wissen behalve als een bodembedekking wordt toegepast en in het voorjaar met de directzaaimethode worden ingezaaid;
- om percelen vanaf 18% helling in grasland te leggen of te houden;
- om erosie en wateroverlast direct te melden indien lijnvormige of vlakgewijze uitspoeling plaatsvindt dieper dan 12 centimeter.

Verder gelden in dit gebied de vigerende regels ter instandhouding van landschapselementen, inclusief heggen, greppels, bomenrijen, bomengroepen of geïsoleerde bomen, akkerranden en terrassen.

⁴⁴⁶ ALBON 2015, 23.

⁴⁴⁷ Verordening PT erosiebestrijding Zuid-Limburg 2013.

⁴⁴⁸ Uitvoeringsregeling rechtstreekse betalingen GLB.

erosie. Grasbufferstroken worden aangelegd dwars of schuin op de richting van het afstromende water. Grasgangen worden aangelegd in de richting van het afstromende water, meestal in een depressie waar het water zich van nature concentreert en de kans op geulvorming het grootst is. Het is belangrijk dat het ontstaan van erosiegeultjes direct langs zij de grasstroken worden tegengegaan en als dit zich toch voor doet moeten de erosiegeultjes worden weggewerkt.

Hagen, heggen, houtkanten en taluds

Ook hagen, heggen, houtkanten en taluds zijn zeer nuttig in de strijd tegen bodemerosie. Ze remmen het afstromende water af, houden sediment tegen en breken de hellingslengte. De aanwezigheid van een talud in het landschap zorgt er verder voor dat de hellingsgraad van het perceel afneemt. Ter hoogte en stroomafwaarts van dergelijke kleine landschapselementen is de kans op bodemerosie daardoor kleiner.

Dammen

Afstromend water en sediment kan ook tijdelijk opgevangen worden achter dammen.⁴⁴⁹

Dammen worden aangelegd op plaatsen in het landschap waar afstromend water zich concentreert. Dammen kunnen ook worden aangelegd om afstromend water en sediment te geleiden naar een lager gelegen opvangbekken (zie hier onder). Voor erosiebestrijding geldt de regel dat hoe hoger in het afstromingsgebied de dammen worden aangelegd en hoe dichter bij de bron het water wordt tegengehouden, hoe effectiever de maatregel zal zijn.

Dammen uit plantaardige materialen, zoals wilgentenen, strobalen, hakselhout of kokosbalen, zijn enkel geschikt voor afstromingsgebiedjes kleiner dan 5 hectare. Dit type dam wordt vaak geplaatst in grasgangen om het afstromende water bijkomend af te remmen. Andere voordelen van dammen uit plantaardige materialen zijn de lage kostprijs en de relatief eenvoudige plaatsing. Een minpunt is de vergankelijkheid van de dammen. Kokosdammen gaan 5 tot 8 jaar mee, wilgentenendammen slechts 3 jaar. Houthakseldammen moeten om de 2 à 3 jaar bijgevoerd worden. Dammen uit aarde hebben een veel langere levensduur dan dammen uit plantaardige materialen. Buiten maaien, vergen de dammen weinig onderhoud.

Waterretentiebekkens

Waterretentiebekkens zijn uitgegraven opvangsystemen voor water en sediment die buiten het bedreigde archeologisch rijksmonument kunnen worden aangelegd. Ook hier blijft het sediment achter en wordt het water geleidelijk via een knijpopening afgevoerd. Het water dat door de knijpopening stroomt, wordt rechtstreeks of via een buis naar een lager gelegen waterloop geleid. Waterretentiebekkens zijn relatief duur in aanleg en onderhoud. Regelmatig verwijderen van slib is nodig om een goede werking te garanderen.

6.11.3 Maatregelen tegen winderosie

Maatregelen om winderosie te voorkomen richten zich doorgaans op één of meerdere van de drie factoren die winderosie in de hand werken: een kale bodem, onvoldoende cohesie tussen zanddeeltjes en hoge windsnelheden aan het bodemoppervlak. Als oplossingsrichtingen worden dan ook genoemd:⁴⁵⁰

- het bedekt houden van de bodem;
- het verhogen van de cohesie tussen de bodemdeeltjes;
- het zoveel mogelijk afzwakken van het windveld.

Maatregelen zoals minimaal ploegen (NKG), gewasrotatie en het bedekt houden van de kale bodem zijn effectief voor akkerbouwpercelen. Het bedekt houden van de grond in de winterperiode kan hier bereikt worden met een wintergewas of groenbemester. Een ander systeem om op akkerbouwpercelen winderosie tegen te gaan is het opbrengen van een beschermingslaag, zoals papierpulp wat bijvoorbeeld in de bollen-teelt wordt toegepast tijdens de braakligging. De cohesie tussen de bodemdeeltjes kan worden vergroot door het verhogen van het organisch stofgehalte. Maatregelen zoals het plaatsen van windsingels of 'zandheggen' en het verbouwen van gewassen in stroken zijn op de eerste plaats bedoeld om het windveld af te zwakken. Voor de lange termijn is het verkleinen van de percelen, het aanbrengen van windsingels en het omzetten van akkerland in grasland een goede oplossing maar deze grijpen direct in op de agrarische bedrijfsvoering.⁴⁵¹

⁴⁴⁹ ALBON 2015, 29.

⁴⁵⁰ Wagelmans 2002; Hessel, Scholte & Riksen 2011, 31-33.



Afb. 6.15 Het terrein van de Hunenborg te Volthe, Overijssel was lange tijd moeilijk bereikbaar, slecht zichtbaar en daarom niet of nauwelijks beleefbaar voor bezoekers. Het terrein was begroeid geraakt met bomen en struikgewas en regelmatig voorkomende windworp was desastreus voor de archeologische resten. Om deze situatie te verbeteren is de afgelopen jaren een project uitgevoerd om de Hunenborg te ontsluiten voor een groter publiek in combinatie met maatregelen die een duurzaam behoud moeten garanderen, waaronder het kappen van de bomen en intensief maaibeheer. Het project is voorafgegaan door archeologisch onderzoek (rijksmonument 46.005, coupure door de wal, zie tevens afb. 4.7. Foto: RAAP).

6.11.4 Maatregelen tegen erosie van kunstmatige heuvels, wallen, terpen en wierden

Kunstmatige heuvels met een steil talud, zoals vliedbergen, hoge terpen/wierden met steil-kanten en hellingen van voormalige versterkingen zijn erg kwetsbaar voor bodemerosie en verzakking (en vertrapping) (afb. 4.4).⁴⁵² Het hellingprofiel vormt een belangrijk onderdeel van de belevingswaarde van een rijksmonument dus beschadiging kan al snel als schade worden gekwalificeerd.

Kleinschalige beschadigingen van (en eventuele ingraven in) de helling door vertrapping, verzakking of door graafactiviteiten van dieren kan snel tot meer substantiële erosie leiden. Vandaar ook dat men terughoudend moet zijn bij het verwijderen van beplanting op dergelijke wallen omdat de wortels stevigheid bieden. Herstel van de beschadigde helling is in eerste instantie belangrijk.⁴⁵³ Dit herstel van

beschadigingen en eventuele ingraven kan bestaan uit het invullen van de gaten met zand en plaggen (om verzakkingen te voorkomen) en het hier overheen aanbrengen van graszoden.⁴⁵⁴ Dat zand wordt van elders aangevoerd, zodat bij een eventuele opgraving later altijd te zien is wat er tot de oorspronkelijke heuvel heeft behoord en wat niet. De wierde Wierum bij Adorp (Groningen) is na verzakking op de wierde in 2006-2008 bijvoorbeeld aangevuld met baggerspecie uit het Starkenborghkanaal. Naast herstel van beschadigde hellingen kan er ook restauratie en reconstructie worden uitgevoerd. Voor werkzaamheden zoals het dichtgooien van ontstane kuilen op rijksmonumenten groter dan één kubieke meter is overigens een monumentenvergunning vereist.

Verzakken van bodemlagen op een helling kan worden voorkomen door de bovengrond/het maaiveld te verstevigen of door de ondergrond te stabiliseren.⁴⁵⁵ Verstevigen van de bovengrond heeft de voorkeur omdat er meestal geen bodemversturende ingrepen voor nodig zijn. De maatregel kan bestaan uit het aanbrengen van

⁴⁵¹ Zie verder ook Wagelmans 2002.

⁴⁵² Van Doesburg & Stöver 2018.

⁴⁵³ Berry & Brown 1994; Rimmington 2004.

⁴⁵⁴ Groenendijk & Meijering 2006.

open gaas, het inzaaien van steviger wortelende bodembedekkers of door het aanbrengen van een nieuwe toplaag in geërodeerde en erosiegevoelige zones. Ook het herstel van watergeleidende elementen boven aan de helling, zoals oude paden en heggen, kan hellingerosie voorkomen. Mocht dit het probleem niet oplossen dan kunnen ter versterking van de helling de volgende andere maatregelen worden genomen:⁴⁵⁶

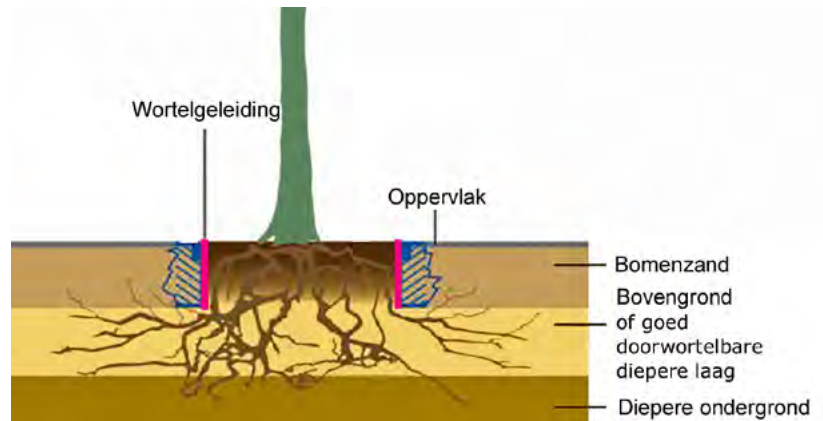
- aanleggen van drainagesleuven en watergeleiding om indringend regenwater in de helling tegen te gaan;
- inbrengen van wapening met parallelle of radiale palenrijen ('ground nailing');
- aanbrengen van open bermblokken ('geocells') op het oppervlak;
- plaatsen van steunberen/beschoeiing langs de basis van de helling.

Voor landweren of andere verdedigingswallen met omliggende grachten worden zowel de aarden wal als de sloot of gracht bedreigd door erosie: die maakt de wal minder hoog en dempt de watergang (zie ook Afb. 4.3).⁴⁵⁷ Bij grondwaterpeilverlaging kan verder de gracht droog komen te vallen en gaat de wal sterker inklinken of wegzakken in de ondergrond, die door uitdroging aan draagkracht verliest.

6.12 Vegetatiebeheer

6.12.1 Bomen

Staan er bomen op het terrein van het rijksmonument dan is het belangrijk dat regelmatig gecontroleerd wordt of die geen risico opleveren voor schade aan de archeologische resten.⁴⁵⁸ Maatregelen die genomen kunnen worden om schadelijke verstoringen door bomen te voorkomen (wortelwerking, windworp) bestaan uit het geleidelijk verwijderen van de bomen, regelmatig onderhoud aan de kruin, wortelgeleidingsmaatregelen of, in geval van windworp, het herstellen van de gaten in het oppervlak.⁴⁵⁹ Aan de stabiliteit van individuele bomen kan worden gewerkt door ze geleidelijk aan vrij te stellen. Ook kunnen boomtakken eventueel worden teruggesnoeid tot op de gesteltakken van de boom om de gevoeligheid voor windworp te



Afb.6.16 Wortelgeleiding (bron: Brouwers 2015).

vermindern. Ein alternatives ist es anpassen van de kroonhoogte.⁴⁶⁰ Vooral verlagen van de kroonhoogte vermindert de dreiging van windworp. Andere maatregelen die genomen kunnen worden om de risico's van windworp te minimaliseren zijn beschreven door onder andere Kuiper & Van Schooten (1985) en Crow & Moffat (2004).

Verwijderen van de zwaarste begroeiing is vaak de beste oplossing (afb. 6.15), maar niet altijd. Soms zorgt begroeiing er juist voor dat steil-kanten niet afkalven, zoals bij de motteversterking van Eys in Zuid-Limburg (rijksmonument 528.935). Ook een wegtrottende stronk kan een aantasting van de stabiliteit van de helling betekenen. Er zijn voorbeelden bekend waarbij het weghalen van de vegetatie (o.a. bomen) juist heeft geleid tot erosie van de wallichamen (zoals de terp Oostrum). Voordat een besluit tot verwijdering van de bomen kan worden genomen moet dus worden afgewogen of boomwortels een versterking vormen (van bijvoorbeeld hellingen) en juist erosie tegen-gaan, of dat wortelwerking en mogelijke windworp juist een fysieke bedreiging vormen.

Ook het verwijderen zelf kan aanzienlijke verstoring van het rijksmonument veroorzaken. Worden er bomen gekapt, dan moeten de stobben en het wortelsysteem bijvoorbeeld in de bodem achterblijven om verstoringen van het bodemarchief te voorkomen. Bij voorkeur wordt de stronk zo dicht mogelijk bij het maaiveld afgezaagd. De aanwezigheid van een stronk is namelijk aantrekkelijk voor allerlei gravend wild. Voor kapwerkzaamheden is gewoonlijk

⁴⁵⁵ Abramson *et al.* 2002; Postma 2010. Zie referenties in Van Doesburg & Stöver 2018. Zie ook Shockley 2000; Rimmington 2004; Stewart 2013, 93.

⁴⁵⁶ Ibid.

⁴⁵⁷ Rimmington 2004; Baas & Raap 2010, 1.139.

⁴⁵⁸ Van Ginkel & Groenewoudt 1990; Mauro 2001; Russell 2003; Van Eerden 2004; Baas & Raap 2006/2010; Boosten & Penninkhof 2019, 75.

⁴⁵⁹ Crow & Moffat, 2004; Baas & Raap 2006/2010, hoofdstuk 3; Cultuurhistorische beheermodellen.

⁴⁶⁰ Kuiper & Van Schooten 1985.



Afb. 6.17 Riet met stengel (foto: Midwest Herbaria onder CreativeCommons).

toestemming van de gemeente nodig en er moet rekening gehouden worden met de fauna- en florawet en/of de boswet.

6.12.2 Wortelwering en wortelgeleiding

De wortelstelsels van boomsoorten met een sterke uitzaaiing of woekerende planten kunnen een bedreiging gaan vormen als geen periodiek onderhoud plaatsvindt. Schade door wortelopdruk kan worden voorkomen door de

worteldelen met behulp van zogenaamde wortelgeleidingspanelen met geleidingsribben naar diepere lagen te leiden.⁴⁶¹ Aan de onderzijde van het paneel kunnen de wortels horizontaal verder groeien, waardoor de boom goed in de grond verankert en er geen schade aan de constructieresten ontstaat.⁴⁶²

Wanneer wortelwerking juist een risico kan gaan vormen voor diep gelegen archeologische resten kan als maatregel een wortelweringswand van geotextiel worden geplaatst (afb. 6.16).⁴⁶³ Zo'n wortelweringswand is glad en bestaat in de vorm van bijvoorbeeld worteldoek of HDPE-folie. De boomwortel stuit op de barrière en zal langs de gladde wand oppervlakkig verder groeien. Wortelwering wordt in bebouwd gebied gebruikt om een wortelvrije zone tot stand te brengen om bijvoorbeeld ondergrondse nutsfaciliteiten te beschermen tegen wortelgroei. De praktijk wijst uit dat als wortels in een goed doorwortelbare zone terechtkomen, deze ook op de gewenste diepte verder groeien. Wortelwering is onder meer toegepast op de Romeinse Limesweg in de Utrechtse Vinexwijk Leidsche Rijn. Hier werd geen verticale wortelweringswand toegepast maar een horizontale worteldoek aangebracht.

6.12.3 Voorkomen van opslag

Belangrijk is ook het voorkomen van opslag van bomen of struiken op archeologische rijksmonumenten en zeker de zichtbare rijksmonumenten.⁴⁶⁴ Tijdig onderhoud voorkomt dat jonge bomen alleen met grove middelen verwijderd moeten worden. Verwijdering of uitdunnen geschiedt meestal door de struiken zo dicht mogelijk aan het maaiveld af te zagen of te maaien waarbij het wortelstelsel (de kluit) ongemoeid moet blijven. Een vervolghandeling van de resterende struikdelen is daarna wel essentieel omdat snoeien de groeikracht kan vergroten en hergroei kan stimuleren. Ook het gebruik van voertuigen kan verstoring van de bodem veroorzaken door insporing en bodemverdichting en mag, indien nodig, alleen wanneer de grondomstandigheden dit toelaten, dus bij voorkeur niet op te natte of te droge grond (paragraaf 6.10). Het uittrekken van zaailingen of opslag is effectief maar

arbeidsintensief en betekent tevens het mee trekken van de wortelkluit wat bij herhaald gebruik een aanzienlijk deel van de bovenste bodemlaag kan beschadigen. Verwijderen van opslag moet dus oordeelkundig gebeuren, met de bedoeling de verdere aantasting te beperken.

Beweiding in het voorjaar en de vroege zomer door schapen of geiten kan ook worden gebruikt om de hergroei te verminderen en zaailingen te doden. Te intensieve begrazing kan echter ook negatieve gevolgen hebben voor het rijksmonument door het ontstaan van vertrappingssschade en erosie. Eventueel kan gebruik gemaakt worden van een worteldoek om teruggroei te voorkomen. Voor afdekken met worteldoek moet eenmalig een grote investering worden gedaan, de kosten voor het monitoren en eventueel verwijderen van uitgroei aan de randen in de vervolgjaren zijn laag.⁴⁶⁵

6.12.4 Rietbeheer

Wanneer riet in de volle grond staat in of rond open water dan is verwijdering een zeer moeilijke klus. Riet is een erg agressief gewas dat op veel verschillende dieptes kan groeien en daardoor moeilijk te controleren is (paragraaf 4.4.4).⁴⁶⁶ In voorkomende gevallen, maar alleen buiten het archeologische rijksmonument, is uitgraven of uittrekken (al dan niet met een graaf- of harkmachine) de makkelijkste manier. Die methode is dus voor archeologiegevoelige delen van een terrein niet geschikt. In principe kan het riet met een herbicide te lijf worden gegaan maar de meeste sproeistoffen zijn niet welkom in het natuurbeheer. Het meest effectief is het tegengaan van de verspreiding van riet. Dit kan worden bereikt door het riet voor de winter te maaien. Daardoor zijn de pluimen met zaden ook direct weg. Wel zal na een maaibeurt het jonge riet in het voorjaar gemakkelijker uit kunnen schieten. Staat het riet in het water dan helpt het door de rietstengels in het groeiseizoen meermaals te maaien onder het waterniveau. De holle pijpen van het riet zullen vollopen met water en daardoor afsterven. De plant zal hierdoor verzwakken en uiteindelijk afsterven. Verder zijn er experimenten gedaan met begrazing door diverse soorten, onder andere paarden, door de stichting Flevolandschap.

⁴⁶¹ Moffat, Bending & Dobson 1998; Greenmax 2016; Hendriks 2019.

⁴⁶² Wagar & Barker 1993.

⁴⁶³ Morgenroth 2008; Greenmax 2016.

⁴⁶⁴ Baas & Raap 2006/2010, hoofdstuk 3.

⁴⁶⁵ Zie ook Oldenburger *et al.* 2017.

⁴⁶⁶ Mauro 2001; Van Eerden 2004; Tjellden *et al.* 2016.



Afb. 6.18 Konijnen voor hun hol.

6.12.5 Exoten

Wat de meest geschikte bestrijdingsmethode is van woekerende diepwortelende (en dus ongewenste) exoten is onder andere onderzocht door Oldenburger *et al.* (2017). De kosten voor tweewekelijks maaien middels een combinatie van maaizuigen en handmatig maaien met bosmaaier of zeis en schapenbegrazing blijken hoog te zijn. De kosten voor maandelijks maaien met een maai/zuigcombinatie en stobbenbehandeling zijn laag. Voor afdekken (met bijvoorbeeld worteldoek of andere wortelwerende materialen) moet eenmalig een grote investering worden gedaan; de kosten voor het monitoren en eventueel verwijderen van stengels aan de randen in de vervoljaren daarna zijn laag. Afgraven en/of uittrekken van de gehele plant met wortelkruit en al lijkt tot goede resultaten te leiden maar deze methoden zijn ongeschikt voor archeologische rijksmonumenten.

6.13 Tegengaan van wildschade en bodemverstoringen door vee

6.13.1 Inleiding

Sommige vormen van natuurbeheer en landbouwbeheer op archeologische rijksmonumenten brengen een verhoging van de graafactiviteiten door dieren met zich mee.

Wanneer konijnen en ratten op het rijksmonument voorkomen wordt aangeraden om in eerste instantie de hollen te openen/toegankelijk te maken voor roofdieren.⁴⁶⁷ Uitrasteren of omheinen van het archeologiegevoelige deel van het rijksmonument is geschikt als methode om het gewroet van loslopende zwijnen of andere dieren die gaten in de aarde wroeten tegen te gaan.⁴⁶⁸ Voor beschermde diersoorten als de das is een zorgvuldige monitoring gewenst om het schadeniveau in de gaten te houden en wanneer nodig aangepaste beheersmaatregelen in te stellen. Om nieuwe verstoringen van archeologische rijksmonumenten door gravende dieren te voorkomen is het op de eerste plaats van belang om de oorzaak van hun aanwezigheid aan te pakken.⁴⁶⁹ Het leggen van gaas onder een gras- of plaggenzode voorkomt een herhaling van gatengraverij.⁴⁷⁰ Voor een uitgebreid overzicht van methoden ter voorkoming van wildschade zie de publicatie *Handreiking Faunaschade* 2009 en (per diersoort) de website *Faunaschade PreventieKit*.⁴⁷¹ Hieronder volgt een beknopte samenvatting.

6.13.2 Konijnen en dassen

Het stoppen van graafactiviteiten door konijnen op een archeologisch rijksmonument is niet eenvoudig. Verwijdering en uitsluiting zijn de twee beste manieren om konijnenpopulaties te bestrijden die een plaag vormen voor het rijksmonument.⁴⁷² Op de eerste plaats moet de verdere groei van de populatie gestopt worden. Hiertoe kunnen de hollen toegankelijk worden gemaakt voor predatoren. Andere manieren zijn het schieten van de konijnen, door het zetten van vallen⁴⁷³, door de hollen uit te roken, fretten in te zetten, giftig gas in te zetten, enz.⁴⁷⁴ Verder mag er geen immigratie vanuit naburige populaties plaatsvinden. Om die immigratie tegen te gaan kunnen netten worden gespannen of een gesloten omheining worden geplaatst.

Dassen zijn een beschermde diersoort en het vangen, verplaatsen of doden is verboden, behalve met een vergunning. Net als bij konijnen is het zoveel mogelijk wegnemen van geschikte leefplekken de beste manier om de vestiging van een dassenfamilie te voorkomen. Het verwijderen van struiken en varens vermindert

⁴⁶⁷ Russell 2003; Rimmington 2004, 65.

⁴⁶⁸ Boosten & Penninkhof 2019, 76.

⁴⁶⁹ Dunwell & Trout 1999, 8.

⁴⁷⁰ Baas & Raap 2006/2010, 3.87.

⁴⁷¹ Respectievelijk Oord 2009 en www.bijz2.nl/onderwerpen/faunazaken/faunaschade-preventiekit-fpk/.

⁴⁷² Dunwell & Trout 1999, 8; Rimmington 2004, 65.

⁴⁷³ Valstrikken en springvallen kunnen ertoe leiden dat onbedoeld ook andere dieren, inclusief huisdieren, worden gevangen.

⁴⁷⁴ Zie voor uitsluiting- en verwijderingsmethoden in een archeologische context: Rimmington 2004, 65-67. Fretten inzetten is door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed al een keer gesubsidieerd in het kader van de Subsidieregeling Instandhouding Monumenten.

bijvoorbeeld de dekking en de beschikbaarheid van geschikt strooisel voor de burcht. Dassen zijn verder zeer schuwe dieren dus het aanleggen van toegangspaden rondom het rijksmonument doet dassen afschrikken. In combinatie met het verbeteren van de leefomgeving buiten het rijksmonument kan dit een effectief middel zijn om graafschade door dassen te verminderen. Vanwege wetgeving is het noodzakelijk om advies in te winnen bij geschikte organisaties wanneer dassencontrole door verwijdering noodzakelijk is voor het tegengaan van bodemverstoringen op het terrein van een archeologisch rijksmonument.

6.13.3 Mollen en ratten

Voor het verwijderen van mollen die verstorend graafwerk verrichten op archeologische rijksmonumenten zijn vooral mollenklemmen of andere mollenfallen geschikt.⁴⁷⁵ Deze kunnen worden geplaatst zonder specialistische training. Het plaatsen geschiedt in de oppervlakkige tunnels. Meer graafwerk voor de plaatsing van de vallen is niet gewenst wanneer archeologische resten binnen het rijksmonument ondiep in de bodem voorkomen. Rondom archeologiegevoelige terreindelen kunnen molenvallen ook preventief worden ingezet om een bufferzone te creëren. Ook kan gebruik worden gemaakt van vergiftigde regenwormen. Mollen en woelratten mogen onder zeer strikte voorwaarden ook chemisch worden bestreden met aluminiumfosfide- en magnesiumfosfidetabletten. Daarvoor is het echter een licentie mollen- en woelrattenbestrijding verplicht.⁴⁷⁶ Ook voor het bestrijden van de graafactiviteiten van ratten en muskusratten werken de preventieve methoden gericht op uitsluiting of verjaging (en het klein houden van de populatie) het beste.⁴⁷⁷

6.13.4 Maatregelen tegen bodemverstoring door vee

Maatregelen om bodemverstoringen door vee op archeologische rijksmonumenten te voorkomen kan bestaan uit het verminderen van de



Afb. 6.19 Vertrapping van een dijkkrui door vee (foto: Deltares).



Afb. 6.20 Houten grondkeringen markeren de doorgang door een omwalling. Dit voorkomt bovendien dat de wallen afkalven. Een houten staketsel accentueert de wal.

begrazingsdruk, door schadelocaties te voorkomen of door reeds bestaande schadelocaties uit te rasteren en te herstellen⁴⁷⁸

Het doel van het verminderen of wegnemen van de begrazingsdruk op archeologische rijksmonumenten is om meer controle te krijgen op de verstorende aspecten van begrazing zoals erosie en vertrapping van de bodem en het microreliëf (afb. 6.19). Dit kan worden bereikt door het

⁴⁷⁵ Dunwell & Trout 1999, 9; Rimmington 2004, 62 e.v.

⁴⁷⁶ Zie verder www.bij12.nl/onderwerpen/faunazaken/faunaschade-preventiekit-fpk/module-woelmuisen-ratten-en-mollen/#2.3. Zie ook Rimmington 2004, 62 e.v.

⁴⁷⁷ Ibid. Dunwell & Trout 1999, 9.

⁴⁷⁸ Van der Heiden & Feiken 2018; Zie ook Crofts & Jefferson 1999, hoofdstuk 5.



Afb. 6.21 Dit bord moet het beklimmen van hunebedden tegengaan (foto: Hunebedcentrum).

aantal dieren per oppervlakte-eenheid te verminderen of door seizoensgebonden beperkingen voor begrazing overeen te komen (niet in het natte seizoen beweiden bijvoorbeeld). Dit is uiteraard afhankelijk van de lokale omstandigheden en mogelijkheden. Deze maatregelen kunnen ook worden toegepast in het natuurbeheer.⁴⁷⁹

Het plaatsen van permanente of tijdelijke afrastering is aan de orde op de locaties waar bodemschade een urgente vorm heeft aangenomen, bijvoorbeeld wanneer sprake is van zichtbare verstoring van ondiep gelegen archeologische niveaus of wanneer het aanzicht op het rijksmonument, of het bredere landschap (de beleving), aangetast is geraakt. Tijdelijke afrasteringen, zoals elektrische afrasteringen, kunnen worden gebruikt om het rijksmonument of delen van het rijksmonument af te schermen van begrazing terwijl het grasveld herstelt of opnieuw wordt ingezaaid. Voor permanente afrastering kan worden gekozen wanneer andere methoden het probleem niet hebben opgelost of als er geen praktisch alternatief is.

Een verdere maatregel kan zijn om de toegang tot het perceel, de aanloop naar een voerstation of watertrog of andere voorkeursroutes van het vee te veranderen door het loopspoor af te rasteren. Bij toegangshekken waar koeien langlopen om van het ene perceel naar het andere te lopen kunnen betonplaten worden aangebracht. Wanneer de mogelijkheden beperkt zijn kan de ondergrond van een vertrappingsgevoelig deel van het rijksmonument worden verstevigd door

grind of granulaat over waterdoorlatend geotextiel aan te brengen. Verder kunnen er alternatieve schaduwplekken of schuilplaatsen worden gecreëerd wanneer bestaande favoriete hangplekken tot bodemverstoring op het rijksmonument leidt. Het verwijderen van lage takken, het aanpassen van het kroonvlak of het wegnemen van wrijfposten (palen, muurtjes e.d.) kan voldoende zijn.

6.14 Recreatiebeheer

Methoden van beheer voor recreatief medegebruik van archeologische rijksmonumenten vallen in twee categorieën: het versterken van het bodemoppervlak (grasvegetaties, paden, enz.) tegen slijtage en het wijzigen of beïnvloeden van doorgangsroutes (de routegeleiding).

6.14.1 Versterken van het bodemoppervlak

Versterken van vegetatie en paden houdt in dat het oppervlak van het terrein beter bestand wordt gemaakt tegen slijtage door betreding. Dit kan bereikt worden door de soortensamenstelling van de graszode te wijzigen (met bijvoorbeeld Engels raaigras), door de groei-kracht van de graszode te verbeteren en door de afwatering (lokaal) te verbeteren om wateroverlast tegen te gaan of juist om droogtegevoelige plakken te

⁴⁷⁹ Rimmington 2004, 41 e.v.; Crofts & Jefferson 1999, hoofdstuk 5.



Afb. 6.22 De Burchtheuvel te Leiden (rijksmonument 532.258).

bewateren.⁴⁸⁰ Gebieden waar sprake is van ernstigere vormen van erosie kunnen worden afgedekt met zandzakken of aangevuld met zand en afgedekt door geotextiel om de grond op zijn plaats te houden terwijl de vegetatie zich herstelt. Ook kan gebruik gemaakt worden van zogenaamde halfverhardingen, zoals grind of leemgrind. Het soort materiaal dat kan worden gebruikt is afhankelijk van de specifieke kenmerken van de locatie en eventueel later te nemen maatregelen: houtsnippers of schors, grond, graszoden of aggragaten.

6.14.2 Wijzigen of beïnvloeden van paden en wegen

Ook (regelmatig of permanent) wijzigen of beïnvloeden van routes is een methode om schade door erosie en bodemverdichting tegen te gaan.

Permanente paden kunnen worden gebruikt om gebruikers in een specifieke richting weg te sturen van gevoelige locaties of er juist naartoe, bijvoorbeeld om de druk van wild op specifieke locaties van het rijksmonument te verminderen (paragraaf 6.12). Wanneer noodzakelijk kan een route worden verlegd of, wanneer het wandelpaden betreft, regelmatig aangepast worden door het verleggen van geleidetuwen, schrikdraad of houten oriëntatiepaaltjes. Ook kunnen routes worden gemaaid om een route te markeren. Seizoensgebonden sluiting van parkeerplaatsen of routes op kwetsbare momenten van het jaar is ook een optie om erosie te voorkomen. Voor parkeerplaatsen is het verstandig om als ondergrond een lucht- en waterdoorlatend granulaat of open tegels zoals bermblokken of grasbeton te gebruiken.

⁴⁸⁰ Zie ook Rimmington 2004, 11 e.v.

6.14.3 Antivandalisme

Om archeologische rijksmonumenten fysiek te beschermen tegen de illegale graver met metaaldetector en schop, kunnen de hiervoor gevoelige terreindelen worden afgedekt met worteldoek, gaas en grind.⁴⁸¹ Verder kunnen vandalismegevoelige locaties worden afgeschermd met een hekwerk of van andere barrières worden voorzien zoals open grondtegels op schadegevoelige bodems. Belangrijk is vaak wel dat een locatie publieksvriendelijk blijft. Er is altijd een spanningsveld tussen afschermen en toegankelijk houden van (delen van) archeologische rijksmonumenten. In 2018 startten Drents Landschap en het Hunebedcentrum daarom een publiekscampagne om het recreatief beklimmen van hunebedden tegen te gaan (afb. 6.21). De ‘EHBO hunebedden’ geeft een richtlijn wat te doen als men met schade aan hunebedden en/of het terrein daaromheen wordt geconfronteerd.⁴⁸²

6.15 Maatregelen van toepassing op enkele zichtbare complextypen

Zichtbare archeologische resten vormen thans de grootste categorie beschermde rijksmonumenten. Veel fysieke maatregelen die getroffen kunnen worden om schade aan deze categorie rijksmonumenten te voorkomen zijn in de voorgaande paragrafen behandeld. Voor fysieke maatregelen die getroffen kunnen worden ter instandhouding van kunstmatige heuvels en wallen zie bijvoorbeeld paragraaf 6.12 (vegetatiebeheer) en paragraaf 6.11.4 (maatregelen tegen erosie van kunstmatige heuvels, wallen, terpen en wierden). Hieronder worden een aantal complextypen behandeld waarop bepaalde specifieke maatregelen van toepassing zijn.⁴⁸³ Deels zijn deze maatregelen ook al eerder toegelicht maar vanwege het bijzondere karakter van deze complextypen worden ze hier samengevat.⁴⁸⁴

- kasteel-, klooster- en kerkterreinen, uithoven;
- ringwalburchten, vluchtburchten en motteheuvels;
- terpen/wierden;
- Celtic fields;

- aarden wallen, landweren en schansen;
- grafheuvels en urnenvelden.

6.15.1 Kasteel-, klooster- en kerkterreinen, uithoven

Kasteelterreinen in agrarische gebieden, zowel met onzichtbare maar vooral met zichtbare resten, hebben vaak te lijden van regulier gebruik, zoals periodiek ploegen, omspitten van de bodem en het weiden van vee en andere dieren.⁴⁸⁵ Door ploegen en spitten kunnen waardevolle lagen en sporen worden aangetast en door beweiding kunnen aanwezige steilkanten afkalven en graaf- en ligkuilen ontstaan zoals op de vliedberg van Westkerke op Tholen (rijksmonument 526.851) en Biggekerke (rijksmonumenten 46.135, 46.136, 46.138). Kasteelterreinen in bosgebieden hebben soms te lijden van aantasting door de aanwezige begroeiing. Boomwortels doen bodemverkleuringen vervagen en drukken metselwerk uit elkaar. Ook het omwaaien van bomen heeft vaak nadelige gevolgen. Wortelkluiten trekken in hun val delen van de bodem mee en verstoren hiermee de aanwezige bodemopbouw.

Voor een deel zijn de maatregelen die genomen kunnen worden om schade te voorkomen gelijk aan die van wallen (paragraaf 6.15.4) en grafheuvels (paragraaf 6.15.5): bomen worden zoveel mogelijk van funderingen en muurresten verwijderd, gaten en kuilen gedicht met ‘schone’ grond en afgedekt met plaggen, kwetsbare stukken gemarkeerd, paden en wegen omgelegd. Verwijderen van de zwaarste begroeiing is vaak de beste oplossing, maar niet altijd. Soms zorgt begroeiing er juist voor dat steilkanten niet afkalven, zoals bij de motteversterking van Eys in Zuid-Limburg (rijksmonument 528.935). Een oplossing voor kasteelterreinen die in agrarische gebieden liggen is het in gebruik nemen als grasland of het afzetten van kasteelheuvels zodat dieren hier niet op kunnen.

Een verschil met andere zichtbare elementen vormen de soms aanwezige grachtsystemen. Dichtgeslibde of geheel gedempte grachten kunnen op diepte worden gebracht en eventueel weer watervoerend worden gemaakt met inachtneming van de kwetsbare archeologische

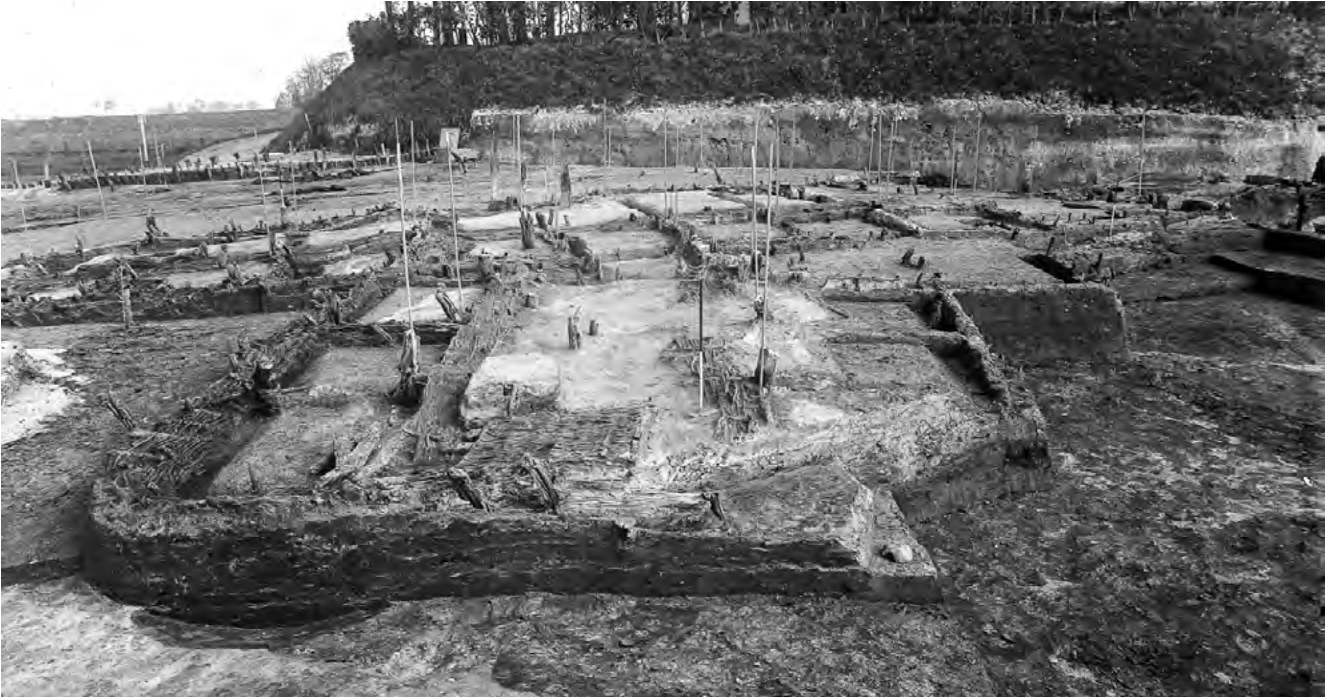
⁴⁸¹ Lauwerier & De Kort 2012.

⁴⁸² Van der Sanden *et al.* 2016.

⁴⁸³ Zie ook Berry & Brown 1994; Rimmington 2004.

⁴⁸⁴ Baas & Raap 2006/2018. Zie ook Boosten & Penninkhof 2019.

⁴⁸⁵ Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed 2012b.



Afb. 6.23 Deze houten resten van huizen uit de ijzertijd kwamen aan het licht tijdens de beroemde opgravingen van de Groninger wierde Ezinge door Van Giffen tussen 1923 en 1934 (foto: Rijksuniversiteit Groningen, Groninger Instituut voor Archeologie).

lagen. Terughoudendheid is namelijk geboden: hoewel een kasteelgracht ook in de middeleeuwen al regelmatig geschoond werd, kan de grachtvulling nog waardevolle archeologische resten bevatten, zoals gebruiksraadwerk, bouw materiaal of resten van houten beschoeiingen en bruggen.

6.15.2 Ringwalburchten, vluchtburchten en motteheuvels

De rijksbeschermden ringwalburchten (zoals de Hunneschans aan het Uddelermeer te Gelderland: afb. 2.8 of de Huneborg te Volten: afb. 4.7) kunnen worden onderhouden op de manier waarop dat ook met in het bos gelegen grafheuvels gebeurt. Om de zichtbaarheid van de wallen in stand te houden of te verbeteren wordt wel de ondergroei beheerd/verwijderd. Dit dient met beleid te gebeuren (paragraaf 6.12). Denk eerst goed na welk beeld je wilt creëren en wat de mogelijk nadelige gevolgen kunnen zijn. Wortelstelsels houden ook grond vast.

Van bedreigingen door landbouwmachines of wegeaanleg hebben de rijksbeschermden ringwalburchten en vluchtburchten niets te duchten. Ook voor de ringwalburchten geldt dat beschadigingen moeten worden opgevuld en afgedekt op de hierboven beschreven manier, en dat er maatregelen moeten worden genomen om nieuwe beschadigingen te voorkomen. Bij voorkeur lopen er geen paden en wegen over of op de wallen. Dit is echter niet overal te verwezenlijken (of te handhaven) en is afhankelijk van de bestaande padenstructuur en ontsluiting. Vandaar soms de keuze om het gecontroleerd toe te staan zoals op de ringwalburg op de Grebbeberg.

Voor het behoud van een motte is belangrijk dat de grasmat of kruidenvegetatie op de heuvel zijn stevigheid behoudt. Daarmee wordt beschadiging door erosie voorkomen (paragraaf 6.11.4). Voorkomen moet verder worden dat er nieuwe bomen op de verhoging gaan groeien: die veroorzaken door wortelwerking en (mogelijk door) windworp of verzakking beschadigingen aan de motteheuvel. Zo nu en dan zal de gracht weer gebaggerd moeten worden. Het is belangrijk dat daarbij niet te diep gegraven wordt:

⁴⁸⁶ In Baas & Raap 2006/2010 is een beheermodel opgesteld voor mottes waartoe ook de Zeeuwse bergjes gerekend mogen worden.

verstandiger is het om het wat vaker en minder diep te doen. Blijf daarbij altijd binnen de oorspronkelijke maten.⁴⁸⁶

6.15.3 Terpen/wierden

Terpen en wierden kunnen blootgesteld worden aan verschillende vormen van aantasting.⁴⁸⁷ Aan de ene kant komen deze voort uit grondwerkzaamheden in het kader van bouwactiviteiten (in het verleden en heden), herstelwerkzaamheden van beschadigde gebouwen, het dichten en graven van sloten, de aanleg van nutsvoorzieningen en begravingen. Daarnaast is er – vooral op onbebouwde percelen – sprake van sluipende aantasting. Het agrarische gebruik leidt tot aantasting van de terp en de terpzool omdat veel grondgebruikers denken dat activiteiten zoals (diep)ploegen, egaliseren en draineren onder ‘normaal agrarisch gebruik’ vallen en daardoor niet vergunningplichtig zijn (afb. 5.3). Ook verschillende natuurlijke processen leiden tot aantasting van de terpen/wierden, onder meer door verdroging, aantasting door omgewaaide bomen (windworp), erosie door water en vertrapping en verzakking van steilkanten (afb. 4.4).

De huidige vergunningplicht leidt tot op zekere hoogte tot duurzame instandhouding van terpen en wierden. Zo worden bij vergunningaanvragen voor rijksbeschermd monumenten bouwplannen regelmatig dusdanig aangepast, dat de archeologische resten gespaard blijven. Vaker echter is planaanpassing geen reële optie, bijvoorbeeld bij de bouw van ondergrondse installaties, zoals mestkelders of de aanleg van ondergrondse afvalcontainers. In dat geval wordt in de vergunning als voorschrift opgenomen dat de bouwwerkzaamheden voorafgegaan worden door een vorm van archeologisch onderzoek. Dit kan variëren van archeologische begeleiding tot een volwaardige opgraving.

Het beheer is veelal gericht op het instandhouden van de visueel landschappelijke kwaliteiten van de terp en de samenhang met cultuurhistorische landschapselementen in de omgeving.⁴⁸⁸ Belangrijk is het voorkomen van opslag door bomen op hellingen en het voorkomen van verzakkingen van steilkanten. Een

maatregel om schade te voorkomen is om voldoende afstand te bewaren van steilkanten bij het gebruik van agrarische percelen. Op en rond het kerkhof staan vaak bomen die onderhouden moeten worden. Kleine beschadigingen van het oppervlak kunnen aangevuld worden. Bij deze werkzaamheden is overleg vooraf met de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en met de betrokken gemeente noodzakelijk. Een ander gevaar voor terpen/wierden is diepe grondbewerking en verdroging van de terpzool. Terpzool- en steilkantenonderzoek heeft aangetoond dat ook ter plekke van grotendeels afgegraven terpen en wierden (afb. 6.2) nog waardevolle archeologische resten aanwezig zijn.⁴⁸⁹ Houten constructiedelen (afb. 6.23), bot en ijzerhoudende voorwerpen raken aangetast onder aerobe omstandigheden (paragraaf 5.4.7). Diepe groundbewerking ter plaatse van kwetsbare terpzolen kan voorkomen worden door het omzetten van akkerland in grasland (paragraaf 6.4.4), of het aanbrengen van een grondlaag (paragraaf 6.4.2.).⁴⁹⁰

6.15.4 Celtic fields

Om het microreliëf van Celtic fields (raatakker-systemen) te behouden is zorgvuldig onderhoud nodig. Gezien de kwetsbaarheid van het microreliëf voor (geleidelijke) grondverplaatsing zijn de meeste vormen van groundbewerking uiterst schadelijk voor deze archeologische rijksmonumenten. Dit geldt om dezelfde reden ook voor vershraling- en plagwerkzaamheden. Het beste voor het Celtic fields is om het terrein in een extensieve vorm van graslandbeheer te behouden of in heidebeheer. Voormalig akkerland kan met een grasmengsel worden ingezaaid en beweid met schapen. Schapen (en in mindere mate geiten) vertrappen de grasmat op de wallen niet en door hun graasgedrag en verspreide ontlasting komt er minder vervuiling voor dan met beweiding van runderen of paarden. Bomen en struiken op de wallen zijn ongewenst. De wortels en omvallende bomen kunnen de wallen aantasten en struiken trekken gravend wild aan. Denk echter goed na of, en op welke wijze, ingrijpen in de vegetatie als instandhoudingsmaatregel moet worden uitgevoerd en of dit geen nadelige bijeffecten creëert. Op niet-lemige zandgronden ontstaan soms

⁴⁸⁷ Van Doesburg & Stöver 2018.

⁴⁸⁸ Ibid.; Baas & Raap 2010, 3-185.

⁴⁸⁹ Postma 2010; Van Doesburg & Stöver 2018, 42.

⁴⁹⁰ Abrahamse 2000. Een paar wierden zijn afgedekt met uitgebaggerde grond uit het Reitdiep (wierde Englum in 2002-2006) en uit het Starckenborghkanaal (wierde Wierum bij Adorp in 2006-2008); dit is gedaan na verzakkingen op de wierde.

kleine verstuiwingen op plaatsen waar de vegetatie beschadigd is. Deze kunnen dan met plaggen afgedekt worden om de grond weer vast te leggen.

- het aanbrengen van een damwand in de wal (en greppel) om het profiel te behouden, bijvoorbeeld op een plek waar de wal wordt doorsneden door een pad of weg (afb. 6.20)

6.15.5 Aarden wallen, landweren en schansen

Aarden wallen die onderdeel vormen van een archeologisch rijksmonument zijn voortdurend onderhevig aan erosie door wind, water, recreanten, wild of beheerswerkzaamheden (houtoogst). Zie bijvoorbeeld afbeelding 4.3 (paragraaf 4.2.2). De kern van het instandhoudingsbeleid is dat de wal op hoogte wordt gehouden en, in het geval van een schans of landweer, de gracht op diepte waarbij kwetsbare archeologische lagen worden ontzien. Voorbeelden van maatregelen die schade kunnen voorkomen zijn:⁴⁹¹

- het voorkomen van rijschade door beheersvoertuigen of het aanwijzen van één dunningspad waar een wal mag worden bereiden (bijvoorbeeld met een harvester), zodat niet de hele wal beschadigd raakt;
- bewaren van voldoende afstand bij het bewerken (ploegen) van bouwland dat grenst aan wallen (en greppels)(afb. 6.4);
- voorkomen van bodemverstoringen door wroetende zwijnen door het plaatsen van een raster of door afschot (paragraaf 6.13);
- voorkomen van betreding door recreanten of bodemverstoring door mountainbikers door het zoneren van recreatieroutes en het aanbieden van aantrekkelijke alternatieve mountainbikeroutes (paragraaf 6.14).

Voorbeelden van maatregelen gericht op het herstellen van schade en het bestrijden van de oorzaken:

- het verwijderen van bomen en struiken op de wal (maar zie eerder en paragraaf 6.12);
- het verwijderen van tak- en top hout op of in de buurt van de wal;
- het dichthouden van de kroonlaag boven de wal, zodat er geen opslag/zaailingen op de wal komen (en de wal mogelijk bedekt blijft met mos);

6.15.6 Grafheuvels en urnenvelden

Dieren kunnen beschadigingen veroorzaken aan grafheuvels en urnenvelden door vraat of door het graven van gangenstelsels en holen.⁴⁹²

Frequente betreding van de grafheuvel is eveneens een bedreiging, bijvoorbeeld door wandelaars, omdat er recreatieve paden voor mountainbikers (of andere fietsers) vlak langs lopen, door ruiters en door motorcrossers. Verder vormen ook bosbouw- en landbouwwerkzaamheden, maar ook natuurontwikkeling en plagwerkzaamheden, een bedreiging voor dit type kwetsbare objecten.⁴⁹³ Grafheuvels en urnenvelden zijn verder vaak begroeid, soms ook met dikke bomen. Dit is nadelig voor het bodemarchief: door de groei van de wortels en het gevaar bestaat dat de boom wanneer die omwaait een groot deel van de heuvel meeneemt. Is de vegetatiebedekking op de heuvel slecht, dan zal erosie optreden.

Om verdere erosie vanuit reeds geconstateerde beschadigen tegen te gaan kan de beschadiging hersteld worden om verdere achteruitgang te voorkomen.⁴⁹⁴ Kleine beschadigingen van het heuvellichaam (kleiner dan 1 kubieke meter) zoals konijnengaten of graafwerk door honden kunnen worden opgevuld. Het leggen van gaas onder de gras- of plaggenzode voorkomt een herhaling van gatengraverij. Om ander wild (vooral zwijnen) te weren van grafheuvels en urnenvelden kan ook een barrière zoals een omheining geplaatst worden.⁴⁹⁵ Delen van grafheuvels die verloren zijn gegaan kunnen weer aangevuld worden. Voor werkzaamheden zoals het dichtgooien van ontstane kuilen groter dan één kubieke meter is wel een monumentenvergunning vereist. Verder moet gedacht worden aan het wegmaaien of wegzagen van boomopslag (zonder de stobben) om beschadiging door wortelwerking of windworp tegen te

⁴⁹¹ Baas & Raap 2006/2010, 3-139; Boosten, van Benthem, Jansen & Maes 2011. Zie ook Jansen & Van Benthem 2005.

⁴⁹² Baas & Raap 2010, 3-85.

⁴⁹³ Zie bijvoorbeeld Van der Heiden & Feiken 2018.

⁴⁹⁴ Baas & Raap 2006/2010, hoofdstuk 3: Cultuurhistorische beheermodellen. De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed heeft richtlijnen opgesteld voor restauratie en beheer van grafheuvels.

⁴⁹⁵ Dunwell & Trout 1999; English Heritage 2000.

gaan en om de zichtbaarheid (de belevingswaarde) van het rijksmonument op peil te houden.

Omdat de soms nog net zichtbare heuvels van een urnenveld kleiner en lager zijn dan 'gewone' grafheuvels zijn ze nog kwetsbaarder voor afplaggen, afschrappen, chopperen, ploegen en bos- en natuurbeheer (paragraaf 5.5). Het afplaggen, afschrappen of chopperen of het bewerken (ploegen enz.) van de bodems van de archeologie-gevoelige delen van het terrein moet achterwege blijven omdat een deel van het reliëf afgetopt raakt en de oppervlakte (en mogelijk artefacten en sporen) gevoelig wordt

voor erosie en andere vormen van aantasting. Maaien vormt hier een goed alternatief. Bij het verwijderen van ongewenste bomen op een urnenveld moeten de stobben blijven staan; het rooien van het wortelstelsel zou flinke bodemverstoringen met zich mee kunnen brengen. Ook berijden met zware machines zullen het kleine reliëfverschil of de ondiep gelegen sporen van het urnenveld op den duur doen verdwijnen wat ten enen male moet worden voorkomen.

Maiiwerkzaamheden op en rond het urnenveld (of de grafheuvel) moeten verricht worden met licht materieel: een bosmaaier of een eenassige trekker met dubbele banden en maaibalk.

Archeologische rijksmonumenten zijn terreinen met archeologische resten die zo bijzonder zijn als bron voor de kennis over ons verleden, dat we deze voor toekomstige generaties willen behouden. Ze bevatten informatie die ons kan leren hoe mensen woonden, hun doden begroeven, handel dreven, voorwerpen fabriceerden, conflicten uitvochten en aan hun voedsel kwamen. Het zijn in onze tijd ook locaties waar men zich kan verwonderen of waar wordt herdacht. Net als alles zijn ook archeologische resten op rijksmonumenten, ondanks de vaak al lange aanwezigheid hiervan in de bodem en de rijksbescherming, onderhevig aan verval. Dit bedreigt de gaafheid van het rijksmonument en de aanwezige sporen, en beïnvloedt de conservering van de verschillende vondstmaterialen, zoals vuursteen, bot, metaal, zaden en keramische producten.

Niet elke bodemverstoring moet opgevat worden als schade die voorkomen of gestopt moet worden. Er zijn gradaties in de aard en ernst van de schade aan te wijzen. Schade kan lokaal optreden (door windworp) maar ook een aantal percelen betreffen (zoals bij bodemerrosie). En verder dienen sommige vormen van schade zich acuut aan (het inzakken van een steilkant) terwijl andere heel geleidelijk ontstaan (verdroging). Van schade is sprake wanneer de fysieke kwaliteit van archeologische resten van (een deel van) het rijksmonument achteruitgaat. Schade kan tot informatieverlies leiden als de herkenbaarheid van informatiedragers (grondsporen, lagen of vondsten), hun betekenis of hun onderlinge samenhang verloren gaan, waardoor kennisvragen op het niveau van het beschermde complex niet meer door onderzoek beantwoord kunnen worden. Informatieverlies is dus een ernstig gevolg van schade en als informatieverlies (of de dreiging daarvan) zich voordoet, of binnen afzienbare tijd ontstaat is het treffen van fysieke beschermingsmaatregelen noodzakelijk. Indien er op dat moment geen reële opties voor het treffen van fysieke beschermingsmaatregelen bestaan, kan opgraven een alternatieve optie zijn om te voorkomen dat de informatiewaarde van het beschermde rijksmonument verder achteruitgaat of verloren gaat. Het accent bij archeologische rijksmonumenten ligt echter op duurzame instandhouding / behoud in de bodem.

In deze publicatie wordt een overzicht gegeven van de thans bekende fysieke dreigingen die ernstige vormen van schade aan de archeologische rijksmonumenten op land kunnen veroorzaken. Ook wordt antwoord gegeven op de vraag wat we kunnen doen om de risico's van deze fysieke dreigingen in te perken of tot stilstand te brengen. Belangrijk daarbij is de constatering dat het vergunningenbeleid voor rijksmonumenten al een deel van de schade door bouwwerkzaamheden of diepere bodemingrepen, hetzij door planaanpassing, hetzij doordat het niet wordt toegelaten, voorkomt of beperkt. De vergunningplicht kent echter ook beperkingen. Degradatie van het rijksmonument door natuurlijke processen worden hierdoor niet gestopt: er is immers geen verstoorder aan te wijzen. En met uitzondering van bouwwerkzaamheden ontstaat bij veel grondwerkzaamheden in het (agrarisch) buitengebied de schade aan archeologische rijksmonumenten sluipenderwijs, buiten het zicht van een vergunningverlener en zonder dat er een gereguleerde vorm van toezicht op bestaat.

7.1 Fysieke bedreigingen

7.1.1 Hoofdpijnen

Uit deze studie blijkt dat wanneer het gaat over het risico op schade aan archeologische rijksmonumenten de fysieke bedreigingen zijn onder te brengen in vier groepen:

1. *Fysieke bedreigingen die niet schadelijk blijken te zijn:* Tot deze categorie behoren een aantal processen en condities die in het verleden als schadelijk voor archeologische resten werden gezien maar die door voortschrijdend inzicht in de praktijk niet schadelijk blijken te zijn. Hieronder vallen allerlei chemische processen zoals bemesting en verzuring van de bodem, verzilting en de toetreding van zuurstofrijk grondwater en zuurstofrijk regenwater in een waterverzadigde bodem.
2. *Niet meer of weinig schadelijke bedreigingen voor de archeologie:* Hieronder vallen de langzame transformatieprocessen die al ingezet

werden toen de locatie door bewoners / gebruikers verlaten werd, en die nog steeds plaatsvinden. Een voorbeeld daarvan is bioturbatie, de omwerking van de zuurstofrijke bodemlagen door bodemleven. Ondanks het feit dat het proces van bioturbatie soms al vele tientallen eeuwen actief is, zijn er (bij opgravingen) nog steeds archeologische resten en grondsporen te vinden onder de bouwvoor of graszode. Ook ontwatering, betreding en bewerking van grond (door wild, vee, paarden, mens en lichte voertuigen) heeft vaak al gedurende eeuwen plaatsgevonden, waardoor de bovenste bodemlaag overal in enige mate is vertrapt, verdicht en bewerkt.

Een fysieke bedreiging die ook tot deze categorie gerekend mag worden is de grootschalige peilverlaging door waterschappen die vanaf de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw zijn doorgevoerd ten behoeve van de landbouw. In veel gevallen is het schadelijke effect van de verdroging op onverkoold organisch materiaal al decennialang aan de gang en is er sprake van reeds opgelopen schade. Vanwege de risico's die verdere peilverlaging met zich meebrengt op het vlak van verzilting, verdroging, bodemdaling en emissie van broeikasgassen wordt verwacht dat deze maatregel in de toekomst niet meer, of in veel mindere mate, toegepast zal worden. Niet zeker is of het verlies aan informatiewaarde door verdroging al gestopt is en daarom kunnen instandhoudingsmaatregelen in sommige gevallen toch nog steeds gewenst zijn. Op het archeologisch rijksmonument Aartswoud is bijvoorbeeld niet bekend of de organische resten in de diepste delen van het archeologisch monument nog aanwezig zijn of ook al zijn aangetast.

3. *Fysieke bedreigingen waarvan het schadelijk effect onzeker is, maar wel wordt vermoed:* Een voorbeeld daarvan is het ontstaan van reducerende bodemomstandigheden onder ophogingen en afdekkingen en het vervagen van grondsporen en bodemlagen ('verblauwing'). De vraag is of dit proces al dan niet omkeerbaar is. Een ander voorbeeld is het herhaald ploegen/omwerken

van de teellaag en oogstwerkzaamheden. In hoeverre leidt dit tot verplaatsing van grond/maaiveld daling en het sluipenderwijs aftoppen van archeologische niveaus direct onder de bouwvoor?

4. *Vastgesteld schadelijke fysieke bedreigingen:* Tot deze groep worden de al dan niet doelbewuste en voor het rijksmonument schadelijke ingrepen door de mens gerekend, zoals ontgravingen en ontgrondingen, egalisatiewerkzaamheden, diepe (agrarische) bodembewerking en veel bouwactiviteiten (paragraaf 7.1.2). Dit zijn alle vergunningplichtige activiteiten. Ook natuurlijke processen zoals bodemerrosie, graafactiviteiten van dieren, het woekeren van bomen en struiken of het optreden van droogteschade zijn als schadelijk aan te merken wanneer deze tot een versnelde aantasting van het beschermde complex als geheel leiden. Alleen voor deze vierde categorie fysieke bedreigingen is het zinvol om te onderzoeken of (en in welke vorm) het haalbaar is om fysieke beschermingsmaatregelen in te stellen, of dat behoud van de archeologische resten alleen ex situ (door middel van opgraving) gerealiseerd kan worden.

7.1.2 Schadelijke processen en ingrepen

Tot de categorie vastgestelde schadelijke ingrepen worden gerekend de ingrepen in de bodem op archeologische rijksmonumenten die samenhangen met:

- agrarische grondbewerkingen die leiden tot (sluipende) aantasting van het archeologische niveau;
- bouwactiviteiten, inrichtingswerkzaamheden en aanleg van infrastructuur;
- aanleg en beheer van (nieuwe) natuur;
- bosbouw;
- waterbeheer (oppervlakte- en grondwaterbeheer).

Tot de vastgesteld schadelijke natuurlijke processen worden gerekend:

- aantasting van archeologische resten door helling- en akkererosie;
- de versnelde aantasting van rijksmonumenten door woekerende planten en gravende landdieren;
- de versnelde aantasting van droogtegevoelige rijksmonumenten als gevolg van neerslagtekorten.

Agrarisch grondgebruik

Een belangrijke categorie potentieel verstorende activiteiten in het landelijk gebied komt voort uit agrarisch grondgebruik zoals het wegnemen van bodemverdichtingen en de behoefte aan detail-ontwatering of egalisatie (paragraaf 5.2 en 5.4). Door fysieke groundbewerkingen gaan grondsporen en stratigrafie verloren samen met de daarmee geassocieerde artefacten en andere resten. Ook de jaarlijkse hoofdgroundbewerkingen en oogstwerkzaamheden kunnen (in potentie) tot geleidelijke schade aan het monument leiden. Door het geleidelijk verplaatsen van teeltgrond door herhaald ploegen, egaliseren of door decompactiewerkzaamheden komt langzaam een verdieping van de bouwvoor tot stand en herhaald ploegen in enigszins geaciditeerde terreinen kan leiden tot een langzame nivellering van het lokale reliëf. Hierdoor kan de top van het archeologische niveau in de loop van de tijd steeds verder in de bouwvoor verdwijnen. Als artefacten hierin bewaard blijven verliezen ze hun context en relaties onderling en met de (eveneens verstoorte) grondsporen. Verder worden ze blootgesteld aan een snel verval door mechanische en biologische processen waardoor de fysieke kwaliteit van de artefacten verslechtert.

Bouwactiviteiten, inrichtingswerkzaamheden en aanleg van infrastructuur

Belangrijke andere schaderisico's voor archeologische resten komen voort uit bouwactiviteiten en inrichtingsmaatregelen (water, groen, infrastructuur). Gedurende het bouwproces, tijdens het woon- en bouwrijp maken en de feitelijke bouw, maar ook na de bouw als het bouwterrein wordt ingericht, vinden diverse ingrepen plaats die een risico vormen voor een archeologische vindplaats (paragraaf 5.3). Zo gaan bouwactiviteiten en de aanleg van bovengrondse en ondergrondse infrastructuur gepaard met graafactiviteiten voor de aanleg van bouwputten, bestrating en sleuven voor kabels en

(pijp)leidingen. Ook inrichtingswerkzaamheden zoals het aanpassen of graven van sloten en weteringen en het aanleggen van groenvoorzieningen leiden tot schaderisico's.

Ontgraving heeft als gevolg de fysieke verstoring van een vindplaats, waarbij sporen en stratigrafie worden vernietigd en artefacten verplaatst of beschadigd.

Funderingspalen en damwanden doorboren archeologische lagen en veroorzaken daardoor in meer of mindere mate schade. Het *aanbrengen van ophogingen* kan leiden tot het vervormen en samendrukken van bodemlagen en grondsporen.

Aanleg en beheer van natuurgebieden

Voorbeelden van voor archeologie schadelijke ingrepen in het kader van aanleg en beheer van (nieuwe) natuurgebieden zijn het afplaggen en afschrappen of, in mindere mate, het chopperen of het klepelen van vergraste heidepercelen (paragraaf 5.5). Daarbij kunnen Celtic fields, urnenvelden, grafheuvels en sporen van wallen en oude wegen worden beroofd van hun reliëf, raakt de oorspronkelijke artefactspreading verstoord (verplaatsing) en worden artefacten en grondsporen stukgereden (fragmentatie).

Andere schadelijke activiteiten in het kader van natuurbeheer zijn het verdiepen van de bodem voor het creëren van plasdras situaties en het rooien van bomen en struiken, inclusief kluit. Ogenscheinlijk minder ingrijpend, maar op termijn mogelijk toch schadelijk, zijn onderhoudmaatregelen zoals het (handmatig of machinaal) wegtrekken ('plukken') van boomopslag of machinaal maaien. Verder treedt door berijding met (zwaardere) machines verdichting en insporing op van de bodem en kunnen artefacten stukgereden worden en verplaatst raken en worden grondsporen en archeologische lagen verstoord. Dit is wel afhankelijk van de vochtcondities en de plaatselijke grondsoort.

Bosbouw

Bij productiebos (bosbouw) met snel groeiende boomsoorten worden de bestanden al na 30 tot 40 jaar machinaal gerooid en weer herbebest, wat met diepgaande bodemingrepen gepaard kan gaan (paragraaf 5.5.2). Hierbij kan vanzelfsprekend schade ontstaan aan verschillende

soorten archeologische objecten door fragmentatie en doorboring van artefacten, verstoring van grondsporen en nivellering van reliëfarme archeologische landschapselementen aan het maaiveld. Ook door berijding met (zwaardere) bosbouwmachines kan schade optreden aan archeologische resten in de vorm van fragmentatie en verplaatsing van artefacten en de verstoring van lagen en grondsporen door verdichting en insporing. Ook hiervoor geldt dat dit afhankelijk is van de vochtcondities en de plaatselijke grondsoort.

Waterbeheer

Waterbeheer richt zich op de (gewenste) waterhuishouding in zowel bebouwd als in landelijk gebied (paragraaf 5.4). In bebouwd gebied zijn hoge grondwaterstanden ongewenst in verband met natte kruipruimtes, onderlopende kelders en de verminderde afvoercapaciteit tijdens neerslagpieken. Ook de landbouw heeft profijt van een matige tot diepe drooglegging wat tot een sterk verbeterde draagkracht van de bodem voor machines leidt. Grootschalige infrastructuure werken zoals de aanleg van waterkeringen, verleggen van dijken, het graven van grote watergangen en beekherstel kunnen eveneens de grondwatersituatie grondig beïnvloeden. Op kleinere schaal wordt blijvend water aan de bodem onttrokken voor industrieel gebruik wat eveneens tot grondwaterstanddaling leidt. Sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw is door een combinatie van deze factoren de gemiddeld hoogste grondwaterstand in grote delen van Nederland daardoor met 20 tot 40 cm gedaald. Verlaging van de grondwaterstand – door aanpassingen van het peilbeheer – kan leiden tot grootschalige aantasting van onverkoelde organische resten (door het ontstaan van aerobe bodemomstandigheden), metalen voorwerpen (door corrosie) en zetting van de bodems.

Natuurlijke processen

Tot de natuurlijke processen die schadelijk kunnen zijn voor archeologische rijksmonumenten moet in de eerste plaats *bodemerosie* worden gerekend (paragraaf 4.2.1). Vooral bij het bewerken van akkers op hellingen van 2% of meer kan door verspoeling van bodemdeeltjes een netto hellingafwaartse verplaatsing van bodemmateriaal en artefacten optreden. Door verlies van bodemmateriaal komen ook de achtergebleven archeologische resten

sluipenderwijs of versneld binnen het bereik van de ploeg. Bij voortschrijdende erosie gaat een vindplaats dan door beide processen gestaag verloren. Op steilere hellingen kunnen waterverzadigde bodemlagen zelfs in hun geheel afglijden. Dit is een vorm van ‘plotselinge’ of incidentele bodemerosie. Wanneer vindplaatsen in de concave hellingvoet liggen, zoals een aantal Romeinse villa’s vindt depositie van colluvium plaats waardoor ze afgedekt (en beschermd) worden.

Ook planten en dieren kunnen het bodemarchief aantasten (paragraaf 4.3 en 4.4). Voorbeelden daarvan zijn het ontstaan van uitgebreide gangenstelsels ter hoogte van kleinere rijksmonumenten zoals grafheuvels, ondergraving van steilkanten of hellingen door gravende dieren, omwroeten van de hellingprofielen van zichtbare archeologische landschapselementen, verdroging van de bodem door diepwortelende en woekerende struiken, enz.

Als laatste moet het effect van klimaatverandering op het water in de bodem genoemd worden. Neerslagtekorten in het voorjaar en in de zomermaanden dragen bij aan een verminderde grondwateraanvulling, een lagere grondwaterstand en een lager bodemvochtgehalte. Bodems met ondiep gelegen en droogtegevoelige archeologische resten worden ook door dit proces bedreigd.

7.2 De grootste bedreigingen

Onderzoek in ons land en in de ons omringende landen Engeland, Duitsland en België laat zien dat het risico op onherstelbare aantasting van archeologische vindplaatsen het grootst is onder akkerland, in heideterreinen en in productiebos. Landgebruiktypen akkerland, grasland en ‘natuur’ vormen samen bijna 81% van het oppervlak van het huidige rijksmonumentenbestand; op 1 januari 2018 bestond ruim 9% van de archeologische rijksmonumenten uit akkerland, bijna 37% uit agrarisch grasland terwijl ruim 35% van de archeologische rijksmonumenten werd beheerd als natuurterrein (afb. 2.5). Vooral zichtbare en ondiep gelegen vindplaatsen in agrarisch beheer of in natuurbeheer hebben het meeste last van sluipende vormen van degradatie.

Oppervlakkige groundbewerking leidt overigens niet bij alle archeologische rijksmonumenten tot schade aan het beschermde bodemarchief. Vandaar dat voor de meeste archeologisch rijksmonumenten een richtlijn is vastgesteld die aangeeft welke ingrepen tot welke diepte zonder vergunning uitgevoerd kunnen worden. Veel grondwerkzaamheden in agrarisch gebied (met uitzondering van bouwwerkzaamheden) en in natuurterreinen die wel dieper gaan dan de vrijstellingsdiepte worden echter zonder (monumenten)vergunning uitgevoerd. In agrarisch gebied wordt vrijwel uitsluitend een vergunning aangevraagd voor bouwwerkzaamheden dus sluipende aantasting kan plaatsvinden buiten het zicht van een vergunningverlener en zonder dat er een gereguleerde vorm van toezicht op bestaat.

Hetzelfde risico op sluipende degradatie van kwetsbaar archeologisch erfgoed geldt voor het peilbeheer in zowel landelijk als stedelijk gebied. Peilverlaging door bemaling van het oppervlaktewater of door grondwateronttrekking is niet vergunningplichtig omdat deze activiteit (bemaling) buiten het archeologisch rijksmonument wordt uitgevoerd.

Ook in de in toenemende mate verstedelijkende omgeving waarbinnen archeologische rijksmonumenten voorkomen is sprake van potentieel verstorende activiteiten. Deze zijn meestal het gevolg van bouwactiviteiten en de aanleg van bovengrondse en ondergrondse infrastructuur. Veel van die activiteiten zijn voor archeologische rijksmonumenten vergunningplichtig waardoor maatregelen genomen kunnen worden om de schade te beperken of weg te nemen.

7.3 Grootste bedreigingen en typen rijksmonument

De kans dat het bodemarchief beschadigd raakt door grondroerende activiteiten en door inwerking van de atmosfeer (erosie, aerobe processen) is vele malen groter voor ondiep gelegen vindplaatsen en zichtbare archeologische resten (terpen/wierden, grafheuvels, enz.) dan voor afgedekte en dieper gelegen vindplaatsen. Bijna 55% van het oppervlak aan rijksbeschermde archeologische vindplaatsen betreft

zichtbare rijksmonumenten (4.062 hectare). Daarnaast komen binnen ruim 38% van het oppervlak aan archeologische rijksmonumenten (2.845 hectare) archeologische resten voor die ondieper dan 50 cm onder het maaiveld liggen. Deze twee categorieën archeologische rijksmonumenten zijn daarom het meest onderhevig aan, of gevoelig voor, fysieke bedreigingen. Bij elkaar vormen ze ook (in aantal en naar oppervlakte) de grootste groep archeologische resten die in Nederland rijksbescherming geniet.

Het risico op schade aan de buitenkant van *zichtbare archeologische rijksmonumenten* wordt als veel kleiner ingeschat dan het risico op schade aan niet-zichtbare archeologische rijksmonumenten die optreedt onder het bouwland, mede omdat de aantasting hier vaak sluipenderwijs verloopt. Van de zichtbare archeologische rijksmonumenten wordt ruim 5% van het oppervlak ingenomen door akkerland (205 hectare) en 22% wordt beheerd als (agrarisch) grasland (895 hectare). Grotendeels betreft dit agrarisch landgebruik van terpen/wierden in Noord-Nederland. 63% van de zichtbare archeologische rijksmonumenten wordt beheerd als natuurterrein (bos, heide, zandverstuivingen). De overige 10% bestaat uit bebouwing en uit wegen en paden.

Van het oppervlak aan archeologische rijksmonumenten met archeologische resten in de *ondiepe ondergrond* is 42% in agrarisch gebruik (1.427 hectare), wordt 49% beheerd als natuurterrein (1.680 hectare) en bestaat 9% uit bebouwing en uit wegen en paden. Vooral op percelen met archeologische resten in de ondiepe ondergrond is sprake van een verhoogd risico op het sluipenderwijs ontstaan van schade.

7.4 Schade tot stilstand brengen of voorkomen

7.4.1 Agrarisch beheer, natuurbeheer en bosbouw

Om te komen tot een archeologievriendelijker beheer van *agrarische gronden* zijn verschillende alternatieven voor de reguliere agrarische groundbewerking aangedragen. Deze alternatieve

vormen van bodemgebruik worden vaak samen-gevat met het containerbegrip ‘niet-kerende grondbewerking’ of NKG. NKG varieert van het voorafgaand aan inzaai volledig stopzetten van welke vorm van bewerking dan ook (‘no tillage’) tot het overgaan op of kiezen voor minimale bewerkingstechnieken. Archeologievriendelijk is ook het lokaal braakleggen van grond op en rond een schadegevoelig deel van het terrein, of door over te stappen op extensief graslandbe-heer. Ook aangepast agrarisch grondgebruik en aangepaste teelten zoals natte landbouw in het veenweidegebied kunnen bijdragen aan de instandhouding van, in dit geval droogtegevoe-lige, archeologische resten.

In de bosbouw kan als maatregel worden inge-steld om archeologiegevoelige terreindelen duidelijk herkenbaar uit te rasteren of af te zetten met veiligheidslint. Verder kunnen aanlegwerkzaamheden en oogstwerkzaam-heden het beste over vaste dunningspaden en uitsleppaden worden uitgevoerd. Om insporing en bodemverdichting te voorkomen is het raad-zaam om houtoogst activiteiten op zandbodems onder vochtige omstandigheden uit te voeren en werkzaamheden op leem- en kleibodems onder droge omstandigheden. Bij het vellen van bomen is het belangrijk het wortelstelsel niet uit te graven (rooien).

Begrazing en afbranden zijn te verkiezen als methode gericht op het versralen van bodems en het tegengaan van opslag in natuurterreinen. Afgaan op de in te zetten technieken is verder niet voldoende om inzicht te krijgen in de poten-tiele schade die de activiteit met zich meebrengt. Van belang is om ook te achterhalen wat de opdrachtgever en uitvoerder verstaan onder ‘minerale bodem’ en ‘de humuslaag’. Dat kan per persoon verschillen, waarbij de één het verwijderen van de losse organische stof op het maaiveld bedoelt en de ander de bovenste lagen van de oorspronkelijke podzolbodem.

Verder wordt voor alle sectoren (infra, bouw, agro) aangeraden om machines en voertuigen te gebruiken met een lage contactdruk om inspo-ring en bodemverdichting te minimaliseren en zo het risico op schade voor archeologische resten te verkleinen.

7.4.2 Bouwactiviteiten en inrichtingswerkzaamheden

Bouwactiviteiten en inrichtingswerkzaamheden vinden overal plaats, dus zowel in stedelijk als in landelijk gebied. De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed is als vergunningverlener echter terughoudend met het toestaan van schadelijke ruimtelijke planontwikkeling op archeologische rijksmonumenten. De erfgoed-waarde heeft prioriteit en als verstoring onont-koombaar is worden hoge eisen gesteld aan planaanpassing. Als dat onvoldoende mogelijk is worden hoge eisen gesteld aan archeologisch onderzoek. Beide vragen om maatwerk, want de meest geschikte oplossing is afhankelijk van het type vindplaats, de plaatselijke bodemeigen-schappen en het te realiseren bouwwerk.

7.4.3 Waterbeheer en grondwaterbeheer

Fysieke maatregelen om de risico’s van verdro-ging en corrosie weg te nemen richten zich in de eerste plaats op het herstellen of verhogen van het bodemvochtgehalte binnen de betreffende percelen. Opzetten van (sloot)waterpeilen *rondom* een terrein als maatregel is alleen zinvol als daarmee daadwerkelijk betere conserve-ringsomstandigheden in de vorm van een hoog bodemvochtgehalte en een laag zuurstofgehalte in de bodems *binnen* het terrein wordt bereikt. Er is namelijk soms sprake van een zwakke en/of variabele relatie tussen sloot- en grondwaterpeil en bodemvochtgehalte. Ook zijn de praktische mogelijkheden voor peilverhoging soms beperkt. Indien doelmatig en gewenst kan het (lokaal) beïnvloeden van het slootwaterpeil bereikt worden door het plaatsen van (boeren) stuwtjes, peilscheidingsdammen rondom of door gebruik te maken van (inundatie)schermen. Ook kan water aangevoerd worden om een toereikend peil te bereiken. Deze technieken zijn ook toepasbaar wanneer van nature of door beheer de om het rijksmonument gelegen percelen lager liggen. Peilverhoging kan klein-schalig maar ook grootschalig aangepakt worden.

Naast peilverhoging kan ook de capillaire werking van de bodem (het omhoog kruipen van grondwater tussen de bodemdeeltjes) beïnvloedt worden door het aanbrengen van grondlagen op het rijksmonument. Verder kan de verdamping van bodemwater tegen worden gegaan door het afdekken van de vindplaats met goed vochtvasthoudende grond of geotextiel. Ook kortgehouden grasvegetaties met (daardoor) ondiepe wortelstelsels dragen bij aan het handhaven van een hoog bodemvochtgehalte vanwege de verminderde verdamping die dan optreedt.

7.5 Kennislacunes

7.5.1 Agrarisch grondgebruik en natuurbeheer

De gevolgen van agrarisch grondgebruik voor archeologische resten en de fysieke maatregelen om schade te voorkomen zijn de afgelopen jaren onderwerp geweest van onderzoek, zowel in Nederland maar vooral ook in het buitenland. Deze onderzoeken hebben zich echter met name gericht op de mechanische effecten van grondbewerking, drukbelasting en bodemverdichting op archeologische resten in de bovenste bodemlagen. Minder aandacht is geweest voor andere sluipende vormen van aantasting door agrarisch landgebruik, zoals het geleidelijk aftoppen van afgedekte archeologische vindplaatsen in reliëf- en akkerterreinen door verplaatsing van akkermateriaal (door kilveren, ploegen, cultiveren enz.) of door het afplaggen of chopperen van natuurterreinen. Dit proces van geleidelijke aftopping speelt gezien de ondiepe ligging van veel afgedekte archeologische resten en het dominante landgebruik op archeologische rijksmonumenten in potentie een grote rol. Verder kan tuinbouw in kassen van invloed zijn op het bodemvochtgehalte en het proces van oxidatie en reductie. De vragen zijn:

- onder welke omstandigheden kan het telkens keren, woelen, decompacteren en glad maken van de bouwvoor leiden tot het langzaam steeds verder aftoppen van het onderliggende archeologische niveau? Hoe snel gaat dit proces? Welke alternatieve

grondbewerkingsmethoden of fysieke maatregelen kunnen worden ingezet om dit te voorkomen?

- wat is het effect van tuinbouw in kassen zonder verharde vloeren op het bodemvochtgehalte en de grondwaterstand onder kassen? Is het bodemarchief binnen een kas onderhevig aan meer verdroging dan in de buitenlucht (geen regenwater, wel verdamping)? Wat zijn de gevolgen daarvan voor onverkoolde organische resten en metalen?

7.5.2 De gebouwde omgeving

De afgelopen jaren is er veel aandacht geweest voor het effect van verschillende bouwtechnieken en aanlegwijzen op het archeologisch bodemarchief en de verschillende manieren van ‘archeologiesparend’ bouwen (paragraaf 6.7). Toch staan er nog altijd vragen open over de (mogelijke) schadelijke effecten van verschillende bouwtechnieken:

- wat is het effect van gROUTEN en injecteren onder grote druk van vloeibaar beton, (expansieve) hars en silicagel in een bodem bestaande uit (antropogene) lagen?
- wat is het effect van bodemcompartimentering op het bodemarchief van een overbouwde vindplaats?
- wat is het effect van uittrillen of uittrekken van damwanden en funderingspalen op archeologische resten?

Er zijn verder verschillende omstandigheden bekend waarbij sprake is van het *verdwijnen of slechter zichtbaar worden van grondsporen*. Er zijn aanwijzingen dat deze processen het gevolg zijn van veranderingen in de redoxtoestand van de bodem en van de aanwezigheid van organisch stof en bepaalde typen ijzerverbindingen. Degradatie van grondsporen in bijvoorbeeld zandbodems is wel bekend uit ervaring (bijvoorbeeld verbleking van sporen in de Brabantse zandgronden), maar veel onderzoek naar de processen en schadelijke effecten is nog niet naar gedaan. De belangrijkste vraag met betrekking tot grondsporen is onder welke omstandigheden de sporen goed zichtbaar zijn en blijven:

- wat is de invloed van veranderende bodemomstandigheden (vochtgehalte, uitloging) op de zichtbaarheid van grondsporen?
- in welke bodems en onder welke omstandigheden treedt 'verblauwing' van grondsporen op waardoor deze vervagen en onzichtbaar worden?
- is er een minimaal oppervlak van ophoging of verharding nodig voordat verblauwing optreedt en zo ja, wat is dat?
- is verblauwing een onomkeerbaar proces of omkeerbaar? Indien omkeerbaar: hoe lang duurt het voordat grondsporen weer herkenbaar worden?
- wat kan gezegd worden over de degradatiesnelheid van onverkoold plantaardig en dierlijk materiaal als gevolg van verdroging?
- wat is de invloed van de factoren textuur (zand, klei, löss) en grondgebruik (akker, grasland, natuur) daarop?
- welke factoren verklaren de verschillen in conserveringscapaciteit en degradatiesnelheid tussen verschillende soorten plantaardige resten (hout, zaden, vezels e.d.)?

7.5.3 Waterbeheer

Ook het verhogen van het grondwaterpeil en het beïnvloeden van het bodemvochtgehalte rondom voor aerobe omstandigheden kwetsbare archeologische resten wordt als fysieke beschermingsmaatregel toegepast. Een voorbeeld daarvan is het inkuilen van scheepswrakken op het land, het beïnvloeden van slootwaterpeilen, het plaatsen van infiltratievoorzieningen en het aanbrengen van peilscheidingsdammen. Van veel van deze maatregelen wordt geen kennis verzameld over wat het specifieke effect is op het bodemwatersysteem rondom de archeologische resten. Aangezien het verhogen van het grondwaterpeil en het beïnvloeden van het bodemvochtgehalte als fysieke beschermingsmaatregel vaak wordt toegepast is meer kennis over de conserverende werking van het bodemwater en het bodemwatersysteem wenselijk:

- wat is de relatie tussen grondwaterpeil en oppervlaktewaterpeil en het conserverend vermogen van de volcapillaire zone en de zone met hangwater?
- hoe snel na het verlagen van het oppervlaktewater treedt verlaging van het grondwaterpeil en het ontstaan van aerobe omstandigheden op? Welke factoren spelen daarbij een rol?
- hoe lang duurt een (tijdelijke) grondwaterpeilverlaging minimaal voordat peilverlaging leidt tot verdroging en schadelijke effecten voor archeologische resten (metalen en organische resten)? Welke factoren spelen daarbij een rol?

7.5.4 Wortelwerking

De mate waarin wortelwerking schade kan aanrichten aan archeologische resten is lang niet altijd duidelijk en meestal onzichtbaar. Menig archeologisch vlak in Nederland wordt gesierd door de getuigenissen van eeuwenlange wortelwerking, maar desondanks is nog altijd sprake van een zekere mate van 'leesbaarheid' van sporen en artefactenspreidingen. De schade die planten veroorzaken aan archeologische resten lijkt dus beperkt. Wortelwerking kan echter weldegelijk tot aantasting (en sommige gevallen ook schade) aan het archeologisch bodemarchief leiden wanneer deze versneld plaatsvindt. Voorbeelden van versnelde aantasting zijn incidentele windworp van bomen, invasieve diep wortelende soorten op een rijksmonument, wortelopdruk van constructies en lagen, enz. Vragen die nog beantwoord moeten worden zijn:

- welke voor de Nederlandse situatie relevante plantensoorten hebben lange, penetrerende wortelstokken. Hoe diep reikt hun schadelijke werking en wat is het mogelijke informatieverlies?
- hoe groot is het effect van boomwortels op de bodemvochtigheid en op archeologische resten?
- welke fysieke maatregelen kunnen het beste worden genomen om schadelijke wildgroei van bomen, struiken, helofyten, snelgroeiende diepwortelende exoten en andere woekeraars te voorkomen? Onder welke omstandigheden werken deze maatregelen het beste, wanneer werken ze niet, en wanneer werken ze contraproductief?

7.6 Tot besluit

Nederland kent een rijk archeologisch bodemarchief. Het is vaak de enige bron voor de kennis over de lange voorgeschiedenis van ons land en zijn bewoners. Een deel van dit archeologisch erfgoed is zichtbaar. Het gaat bijvoorbeeld om hunebedden, terpen en wierden, grafheuvels, vliedbergen en kasteelruïnes. En hoewel zeker niet alle zichtbare archeologische vindplaatsen tot het rijksmonumentenbestand behoren, zijn ze wel zeer goed vertegenwoordigd in het bestand. Een kleiner deel van de archeologische rijksmonumenten is onzichtbaar en de aanwezigheid daarvan is nauwelijks tastbaar. De betekenis en waarde hiervan wordt pas zichtbaar door wetenschappelijk onderzoek en door het narratief dat op basis hiervan ontstaat.

De bescherming van beide categorieën archeologische rijksmonumenten is gericht op het bewaren van archeologische resten als kennisbron over ons verleden. Het behoud in de bodem is de strategie die is gekozen om dat mogelijk te maken. Echter niet alleen de bodem herbergt een schat aan archeologische informatie. De zichtbare rijksmonumenten zoals de hunebedden, terpen en grafheuvels vormen tevens belangrijke cultuurhistorische identiteitsdragers. Zo zijn de terpen en wierden belangrijke beeldmerken van het Noord-Nederlandse kustgebied en maken hier deel uit van de streekidentiteit.

De bescherming van vooral de zichtbare rijksmonumenten is onomstreden in de maatschappij. Soms is echter sprake van een tegenstelling tussen het algemene belang en het belang van de eigenaar en/of gebruiker. Daar waar een eigenaar van een gebouwd rijksmonument veelal een zeker gebruiksgenot ontleent aan zijn bezit, levert een archeologisch rijksmonument de eigenaar/ gebruiker in vrijwel alle gevallen niets op. Integendeel, de beschermde status grijpt vaak in op zijn/haar gebruiksmogelijkheden en maakt nieuwe ontwikkelingen ter plekke soms onmogelijk of kostbaar. Het effectief in stand houden van een archeologisch rijksmonument is daarom alleen mogelijk als de verschillende belangen en risicofactoren tegen elkaar worden afgewogen en indien

noodzakelijk naar passende instandhoudingsmaatregelen wordt gezocht. Verder moet er voldoende kennis zijn over de informatiewaarden en kwetsbaarheid van de archeologische resten zodat negatieve effecten van landgebruik en onderhoud worden geminimaliseerd en positieve effecten worden gemaximaliseerd.

Door de fysieke kwaliteit van rijksmonumenten structureel periodiek te monitoren kan de minister (die een verantwoordelijkheid heeft omdat hij het rijksmonument ooit heeft aangegeven) besluiten tot het treffen van instandhoudingsmaatregelen om het rijksmonument te behouden als de fysieke staat van het rijksmonument te zeer is achteruitgegaan of achteruitgaat. En als fysieke bescherming niet mogelijk is, is het laatste redmiddel het opgraven van (delen van) het rijksmonument. Naast het monitoren van de fysieke staat van de rijksmonumenten dient echter ook de bestaande kennis over wat als schadelijk voor archeologische resten moet worden gezien continu tegen het licht te worden gehouden en indien nodig aangepast.

Daar waar ontwikkelingen op een rijksmonument niet te vermijden zijn kan gedegen onderzoek naar archeologievriendelijke alternatieven worden gevraagd aan de vergunningaanvrager. Niet alle ingrepen op een archeologisch rijksmonument zijn echter vergunningplichtig en waar ingrepen dat wel zijn worden vergunningen lang niet altijd aangevraagd. In dat opzicht kan ook het belang van afdoende voorlichting ter motivatie, begrip én ondersteuning voor het instandhoudingsbeleid niet genoeg benadrukt worden. Weinig terreinbeheerders, of dat nou boeren, bouwers of bestuurders zijn, zijn vertrouwd met de kwetsbaarheid van het archeologische erfgoed.

Belangrijk is dat de instandhouding van archeologische rijksmonumenten van alle partijen wederzijds begrip vraagt voor elkaars wensen, eisen en standpunten zodat eenieder zich medeverantwoordelijk kan gaan voelen voor het behoud van dit nationale erfgoed. Deze publicatie wil aan deze kennisdeling en aan dit wederzijdse begrip bijdragen.

- Abrahamse, J.**, 2000: Baggerspecie op dijk en wierde, *Noorderbreedte* 24 (5), 4-7.
- Abramson, L.W., T.S. Lee, S. Sharma & G.M. Boyce** 2002: Slope stability and stabilization methods, second edition, New York.
- Akker, J.J.H. van den**, 2007: *Maai- veld daling en verdwijnende veengronden*, Wageningen.
- Akker, J.J.H. van den, F. de Vries, G.D. Vermeulen, M.J.D. Hack-ten Broeke & T. Schouten** 2013: *Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart*, Wageningen (Alterra-rapport 2409).
- Akker, J.J.H. van den, R. Hendriks, I. Hoving & M. Pleijter** 2010: Toepassing van onderwaterdrains in veenweidegebieden: Effecten op maai- veld daling, broeikasgasemissies en het water, *Landschap* 27, 136-149.
- Alba, S. de, M. Lindstrom, T.E. Schumacher & D.D. Malo** 2004: Soil landscape evolution due to soil redistribution by tillage: A new conceptual model of soil catena evolution in agricultural landscapes, *Catena* 58, 77-100.
- ALBON**, 2015: Erosie in Vlaanderen: Samen werk maken van erosiebestrijding (derde druk), Brussel.
- Altieri, A. & S. Ricci** 1997: Calcium uptake in mosses and its role in stone biodeterioration, *International Biodeterioration & Biodegradation* 40, 201-204.
- Ampe C.**, 1999: Onderzoek van duinbodems langsheen de Vlaamse en Noord-Franse kust met bijzondere aandacht voor de ecosysteemdynamiek en natuurbeheer. Niet-gepubliceerde PhD-thesis, Universiteit Gent.
- Andersen, S.T.**, 1986: Palaeoecological studies of terrestrial soils, in: B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Chichester, 165-77.
- Anderson, D.**, 1985: Reburial: is it reasonable? *Archaeology* 38, 48-51.
- Arjaans, J.**, 1990: Terpaafgravingen in Friesland, *Historisch-geografisch tijdschrift* 8 (2), 54-62.
- Aslan, Z., S. Court, J.M. Teutonico & J. Thompson (eds.)** 2018: Protective Shelters for Archaeological Sites, Proceedings of a symposium at Herculaneum, Italy, 23-27 September 2013, Rome.
- Asmussen, P.S.G., & J.M. Moree** 1990: *De gevolgen van polderpeilverlaging voor de conserveringstoestand van archeologische vindplaatsen op Voorne- Putten*, Rotterdam (BOOR rapporten 5).
- Atkinson, R.J.C.**, 1957: Worms and weathering, *Antiquity* 31, 219-233.
- Baas, F. & E. Raap (red.)** 2010: *Handboek cultuurhistorisch beheer*, De Bilt.
- Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. Van Boekel & I.G.A.M. Noij** 2008: *Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting*, Wageningen.
- Bakker, H. de & J. Schelling** 1989: Systeem voor de bodem- classificatie voor Nederland: de hogere niveaus, tweede druk bewerkt door J. Brus en C. van Wallenburg, Wageningen.
- Barton N.**, 1992: *Hengistbury Head, Dorset, 2: the later Upper Palaeolithic and early Mesolithic Sites*, Oxford (Oxford University School of Archaeology Monograph 34).
- Bassett J.R. & McDaniel A.R.** 1967: Trafficability of four loess soils, *Soil Science Society of America Proceedings* 31, 115-117.
- Bazelmans, J., B. de Vries & M. Brus** 2008: Monumenten van Romeins Nederland. Beschermingsagenda archeologie 2008, Amersfoort/Zwolle.
- Beer, J. de**, 2019: In-situ preservation and management of waterlogged urban archaeological sites: Strategies based on the case Bryggen in Bergen, Norway, PhD-thesis Free University Amsterdam, Amsterdam.
- Behm, H.**, 2000: Zum Verhältnis von Kulturtechnik und Bodendenkmalpflege, *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 41, 13-18.
- Behm, H., A. Bräuning, F. Ende, K. Hartsch, W.-A. Schmidt, A. Schob, M. Strobel, F. Ueberfuhr, R. Vogt, J. Voss, & Th. Westphalen** 2011: *Archäologie und Landwirtschaft*, Osnabrück.
- Beije, H.M.**, 1986: *Onderzoek naar de effecten van militaire oefeningen op bodem, vegetatie en fauna*. Rapport 16. Samenvattend rapport, Leersum/Wageningen (RIN-rapport 86/6).
- Berg, M.M. van den, D.J. Huisman, H. Kars, H. van Haaster & J. Kool** 2011: Assessing in-situ preservation of archaeological wetland sites by chemical analysis of botanical remains and micromorphology, in: T. Bloemers, H. Kars, A. van der Valk & M. Wijnen (red.), *The cultural landscape & heritage paradox, protection and development of the Dutch archaeological-historical landscape and its European dimension*, Amsterdam, 161 - 176.
- Berg, M.**, 2016: *Alle beesten van de bodem*, Den Haag.
- Bergstrand, T.**, 2002: In-situ preservation and reburial, in: P. Hoffmann, J.A. Spriggs, T. Grant, C. Cook & A. Recht (eds.), *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm 2001*. International Council of Museums, Committee for conservation, Druckerei Ditzen GmbH & Co. KG, Bremerhaven, 155-166.

- Berry, A.Q. & I.W. Brown** (eds.), 1994: *Erosion on archaeological earthworks: Its prevention, control, and repair*, London (Conservation and management of archaeological sites 1 (1-4).
- Beukers, E. (red.)** 2009: Erfgoedbalans 2009: Archeologie, monumenten en cultuurlandschap in Nederland, Amersfoort.
- Biddle, P.G.**, 1998: Tree root damage to buildings: causes, diagnosis and remedy, Wantage.
- Bie, M. de, M. Van Gils & D. De Wilde** 2008: A pain in the plough zone: On the value and decline of Final Palaeolithic and Mesolithic sites in the Campine region (Belgium), in: Meylemans, E.J. Poesen & I. in 't Ven (eds.), *The Archaeology of Erosion, the Erosion of Archaeology, Proceedings of the Brussels Conference, april 28-30 2008*, Brussels (Relicta Monografieën 9), 37-54.
- Bieleman, J.**, 2008: Boeren in Nederland. Geschiedenis van de landbouw 1500-2000, Amsterdam.
- Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau D. & J.J. Brun** 2013: A review of earth-worm impact on soil function and ecosystem services, *European Journal of Soil Science* 64, 161-182.
- Boels, D., & L. Havinga** 1974: *Verdichting en bouwvoorverschraling door ploegen en afschuiven bij verschillende vochtgehalten*, Wageningen (Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding Nota 785).
- Boosten, M. & J. Penninkhof** 2019: Erfgoed in het bosbeheer: handleiding voor het integreren van erfgoedwaarden in het beheer, Wageningen.
- Boosten, M., P. Jansen, M. van Benthem & B. Maes** 2011: *Boswallen: handreikingen voor het beheer*, Wageningen.
- Booth, P. & K. Spandl (eds.)** 2009: *Trials to identify soil cultivation practices to minimise the impact on archaeological sites*, Oxford (Oxford archaeology 148).
- Born, G.J. van den, F. Kragt, D. Henkens, B. Rijken, B. van Bommel & S. van der Sluis** 2016: *Dalende bodems, stijgende kosten: Mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied*, Den Haag (PBL-publicatienummer 1064).
- Boschop, M.** 2010: Gedragscode bosbeheer 2010-2015 inclusief aanvullingen naar aanleiding van de tussenuitspraak d.d. 23 augustus 2012, Driebergen.
- Bouwmeester, H.M.P., J.E. Abrahamse & A.M. Blom** 2019: Verstoringen in stedelijk gebied, in M. Lascaris (red.), *Archeologie en verstoring door bodembewerkingen: Evaluatie van de effecten van grondbewerking in agrarisch en stedelijk gebied en het onderzoek daarnaar*, Amersfoort (Rapportage archeologische monumentenzorg 257), 37-44.
- Braat, L., K.L.G. Groen, A.R. van Amstel & A.C. Garritsen**, 1989: *Verdroging van natuur en landschap in Nederland het technisch rapport*, Den Haag.
- Brandenburgh, C.R. & J. de Bruin** 2016: Met de voeten in het water. Archeologisch onderzoek aan de oostzijde van Castellum Matilo te Leiden, Leiden.
- Brandt, R.W., S.E. van der Leeuw & L.H. van Wijngaarden-Bakker** 1984: Transformations in a Dutch estuary: Research in a wet landscape, *World Archaeology* 16, 1-17.
- Breimer, J.N.W. & C. Sueur** 2014: *Mag het een onsje minder zijn? Rapportage bodemverstoringsonderzoek in de gemeenten Eersel, Teylingen, Midden-Drenthe, Neder-Betuwe en Peel en Maas, Voorburg (A=M Publicaties 2014-06).*
- Brinkkemper, O.**, 2006: Study of the preservation quality of archaeological sites using botanical macroremains, *Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek* 46, 303-14.
- Brock, T.D. & M.T. Madigan** 1991: *Biology of microorganisms*, London.
- Broeke, E.M. ten**, 2012: *Verstoringsdiepteonderzoek gemeente Peel en Maas*, Doetinchem (Econsultancy rapport 12.021.140).
- Brussaard L. & S. Slager** 1986: The influence of soil bulk density and soil moisture on the habitat selection of the dung beetle *Typhaeus typhoeus* in the Netherlands, *Biology and Fertility of Soils* 2, 51-58.
- Brussaard L.**, 1985: Back-filling of burrows by the scarab beetles *Lethrus apterus* and *Typhaeus typhoeus* (Coleoptera, Geotrupidae), *Pedobiologia* 28, 327-332.
- Brussaard, L., & L. Runia** 1984: Recent and ancient traces of scarab beetle activity in sandy soils of the Netherlands, *Geoderma* 34, 229-250.
- Bubel, S.**, 2003: Detecting the effects of faunaturbation: A close look at te prehistoric sites of Meeuwen, Meer 6 and Brecht-Moordenaarsven 2, *Notae Praehistoricae* 23, 39-44.
- Canadell J., R.B. Jackson, J.B. Ehleringer, H.A. Mooney, O.E. Sala & E.D. Schulze** 1996: Review maximum rooting depth of vegetation types at the global scale, *Oecologia* 108, 583-595.

- Candel, K.H.J.**, 2020: *Ahead of the curve: Channel pattern formation of low-energy rivers*, PhD-thesis Wageningen University, Wageningen.
- Canti, M.G. & M. Davis** 1999: Tests and guidelines for the suitability of sands to be used in archaeological site reburial, *Journal of Archaeological Science* 26, 775-781.
- Canti, M.G.**, 2003: Earthworm activity and archaeological stratigraphy: A review of products and processes, *Journal of Archaeological Science* 30, 135-148.
- Caple C.**, 2004: Towards a benign reburial context: the chemistry of the burial environment, *Conservation and Management of Archaeological Sites* 6, 155-165.
- Caple, C. & D. Dungworth** 1996: *Waterlogged anoxic archaeological burial environments*, Durham (Archaeological conservation and Research Reports 22/98).
- Caple, C. (ed.)**, 2016: *Preservation of Archaeological Remains In-Situ: A Reader*, New York.
- Carson, M.A. & M.J. Kirkby** 1972: *Hillslope Form and Process*, Cambridge.
- Casparie, W., B. van Geel, A. Hanraets, E. Jansma & E. Stuijts** 2004: De veenweg van Nieuw-Dordrecht: onvoltooid en niet gebruikt. *Nieuwe Drentse volksalmanak: historisch jaarboek voor Drenthe* 2004, 114-141.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer, & J. Stolp** 1995: *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften, D: interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik*, Wageningen.
- Centraal Bureau voor de Statistiek**, 2016: *Mutatiereeks Bodemgebruik 1996-2012*, Den Haag.
- Centraal Bureau voor de Statistiek**, 2017: *Mutatiereeks Bodemgebruik 1996-2015*, Den Haag.
- CBS, PBL, RIVM & WUR** 2019: *Vermesting en verzuring: oorzaken en effecten* (indicator 0178, versie 09, 6 september 2019), Den Haag/Bilthoven/Wageningen (www.clo.nl).
- Cerdà, A., A.C. Imeson & J. Poesen** 2007: Soil water erosion in rural areas, *Catena* 71, 191-266.
- Chapin, F.S., P.A. Matson & H.A. Mooney** 2002: *Principles of terrestrial ecosystem ecology*, New York.
- Chardon, W.J.**, 2008: *Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling*, Wageningen (Alterra-rapport 1683).
- Clark, R.H. & A.J. Schofield** 1991: By experiment and calibration. An integrated approach to archaeology of the ploughsoil, in: A.J. Schofield (ed.), *Interpreting artefact scatters. Contributions to ploughzone archaeology*, Oxford (Oxbow Monograph 4), 93-105.
- Colpa, J.G. & B.O. van Zanten** 2006: Mossen op de Nederlandse hunebedden in 2004/2005. *Buxbaumiella* 75, 34-50.
- Corfield, M., P. Henton, T. Nixon & M. Pollard (eds.)** 1998: Preserving archaeological remains in situ, Proceedings of the Conference of 1st-3rd April 1996, Bradford.
- Corfield, M.C.**, 2006: Monitoring desiccation in wetland archaeological sites: A review of recent work in the Netherlands, *Conservation and management of archaeological sites* 7, 183-191.
- Coutts, M.P.**, 1989: Factors affecting the direction of growth of tree roots, *Annales des sciences forestières* 46, 277-287.
- Cox, M., C. Earwood, E.B.G. Jones, J. Jones, V. Straker, M. Robinson, M Tibbett & S. West** 2001: An assessment of the impact of trees upon archaeology within a relict wetland, *Journal of Archaeological Science* 28, 1069-1084.
- Crofts, A. & R.G. Jefferson** 1999: *The lowland grassland management handbook, second edition*, London/Newark/Jubeiha.
- Crombé, P.**, 1993: Tree-fall features on final Palaeolithic and Mesolithic sites situated on sandy soils: how to deal with it, *Helinium* XXII, 50-66.
- Crow, P., & A.J. Moffat** 2004: *Trees and forestry on archaeological sites in the UK: a review document*, Bristol.
- Crow, P., & A.J. Moffat** 2005: *The management of the archaeological resource in UK wooded landscapes: An environmental perspective, Conservation and management of archaeological sites* 7, 103-116.
- Crow, P.**, 2005: *The influence of soils and species on tree root depth*, Edinburgh (Forestry commission information note, November 2005).
- D'Hose, T., R. Lidong, W. Cornelis & G. Ruyschaert** 2017: *Effect van bandenspanning en bodemvochtgehalte op bodemverdichting en gewasgroei*, Merelbeke (ILVO-mededeling 230).
- Dain-Owens, A., M. Kibblewhite, M. Hann & R. Godwin** 2013: The risk of harm to archaeological artefacts in soil from dynamic subsurface pressures generated by agricultural operations: experimental studies, *Archaeometry* 55, 1175-1186.
- Darvill, T. & A.K. Fulton** 1998: *MARS. The monuments at risk survey of England, 1995, main report*, Bournemouth/London.
- Darwin, Ch.**, 1881: *The formation of vegetable moulds, through the action of worms, with observations on their habits*, London, John Murray.

- Datema, R.R.**, 2015: *Steekproef naar de staat van archeologische rijksmonumenten: Wettelijk beschermde monumenten in bezit van kleine particuliere eigenaren en niet in agrarisch gebruik*, Amersfoort (ADC-rapport 4002).
- Demas, M.**, 2004: Site unseen: the case for reburial of archaeological sites, *Conservation and management of archaeological sites* 6, 137–154.
- Deru, J., N. van Eekeren & H. de Boer** 2010: *Beworteling van grasland: een literatuurstudie: Nutriëntenopname in relatie tot bewortelingsdiepte en –intensiteit: Factoren en potentiële maatregelen die de beworteling beïnvloeden*, Wageningen (Louis Bolk Instituut Publicatienummer 2010-018 LbV).
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt**, 2011: *Archäologie und Landwirtschaft*. Osnabrück.
- Diggelen, R. van, H. Bergsma, R.J. Bijlsma, R. Bobbink, A. van den Burg, J. Sevink, H.N. Siebel, H. Siepel, J. Vogels, W. de Vries & M. Weijters** 2019: Steenmeel en natuurherstel: een gelukkige relatie of een risicovolle combinatie? *Vakblad Natuur Bos Landschap* 155, 20–23.
- Dijkstra, H., J.F. Coetier & M.A. van der Haar** 1997: *Veranderend cultuurlandschap: Signalering van landschapsveranderingen van 1900 tot 1990 voor de Natuurverkenning 1997*, Wageningen (SC-DLO rapport 554).
- Dillon, A.**, 2007: Current research about the cow as a geomorphic agent: An update to Trimble and Mendel, *Geography* 8, 10–14.
- Dobinson, C. & S. Denison**, 1995: *Metal Detecting and Archaeology in England*, London.
- Doesburg, J. van, & J. Stöver**, 2018: *Terpen en wierden: verleden, heden en toekomst. De omgang met rijksbeschermde terpen en wierden in de archeologische monumentenzorg*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 251).
- Doesburg, J. van, M. de Boer, J. Deeben, B.J. Groenewoudt & T. de Groot (red.)** 2007: *Essen in zicht: essen en plaggendecken in Nederland: onderzoek en beleid*, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 34).
- Doesburg, J. van, M. van der Heiden & J. Stöver** 2019: *Akkeren op de terp: onderzoek naar de effecten van teeltwisseling op de terp van Oosterbeintum (gem. Noardeast Fryslân)*, Amersfoort (Beknopte Rapportage Archeologische Monumentenzorg 32).
- Douterelo, I., R. Goulder & M. Lillie** 2010: Soil microbial community response to land-management and depth, related to the degradation of organic matter in English wetlands: implications for the in-situ preservation of archaeological remains, *Applied Soil Ecology* 44, 219–227.
- Dunnell, R.C. & J.F. Simek** 1995: Artefact size and plow-zone processes, *Journal of Field Archaeology* 22, 305–319.
- Dunwell, A.J. & R.C. Trout** 1999: *Burrowing animals and archaeology*, Edingburg (Historic Scotland technical advice note 16).
- Eerden, M., & R. van Heeringen** 2000: Archeologische monumenten in agrarisch gebruik: Toegepast onderzoek naar duurzaam behoud, *Archeobrief* 15, 10–11.
- Eerden, R. van (red.)** 2004a: *Met Zorg Vereeuwigd. Project behoud en beheer archeologische vindplaatsen Groetpolder – De Gouw (Kop van Noord Holland en West-Friesland)*, Haarlem/Amersfoort.
- Eerden, R.A. van**, 2004b: *Behoud en beheer van archeologische vindplaatsen in het Oer-IJ-gebied*, Haarlem.
- Eghball, B.**, 2002: Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications, *Agronomy Journal* 94, 128–135.
- Emonds, J.**, 2011: *Emonds peil-gestuurd drainagesysteem*, Boekel.
- English Heritage**, 2000: *Badgers on historic sites*, Swindon (English Heritage Landscape Advice Note 16).
- English Heritage**, 2004: *Farming the historic landscape: Caring for archaeological sites in grassland*, Swindon.
- English Heritage**, 2010: *Waterlogged wood-guidelines on the recording, sampling, conservation and curation of waterlogged wood*, Swindon.
- Exaltus, R.P. & C.M. Soonius** 1997: *Bescherming antropogeen waardevolle terreinen t.b.v. de uitvoering Bijdragenregeling Bodembeschermingsgebieden: Eindverslag Deelproject Waterland, monitoring 1994–1996*, Amsterdam (RAAP-rapport 189).
- Forestry Commission**, 2017: *The UK Forestry Standard (fourth edition)*, Edinburgh.
- French, C.**, 2003: *Geoarchaeology in action: Studies in soil micromorphology and landscape evolution*, London/New York.
- Gaast, J. van der & H.Th.L. Massop** 2005: De verdroging in beeld met historische en actuele grondwatertrappen op basis van karteerbare kenmerken, *H2O* 14/14, 43–46.
- Geelen, P.M.T.M.**, 2006: *Handboek erosiebestrijding. Interregproject erosiebestrijding*, Hasselt.

- Gehrels, J.C., F.C. van Geer & J.J. de Vries** 1994: Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modelling in an area with shallow to deep unsaturated zones, *Journal of Hydrology* 157, 105-138.
- Gerwin, W. & R. Baumhauer** 2000: Effect of soil parameters on the corrosion of archaeological metal find, *Geoderma* 96, 63-80.
- Ginkel, E.J. van & B.J. Groenewoudt** 1990: *Archeologische landschapselementen: Bescherming, beheer, restauratie*, Utrecht.
- Gobat J.-M., M. Aragno & W. Matthey** 1998: *Le Sol vivant, Bases de pédologie, Biologie des sols*, Lausanne.
- Godwin, R.J, M.L. Dresser, D.W.K. Blackburn, M.J. Hann & A.P. Dain-Owens** 2010: Sub-soil Pressures Resulting from Tillage Implements and Vehicle Loads, Appendix 1, in: P. Booth & K. Spandl (eds.), *Trials to identify soil cultivation practices to minimise the impact on archaeological sites*, Oxford.
- Graaf, R.E. de, B. Roeffen, T. Den Ouden & B. Souwer** 2013: *Studie naar de huidige en toekomstige waterbehoefte van stedelijke gebieden*, Delft.
- Greathouse, G.A., F. Bryson & C.J. Wessel** 1954: Chemical and physical agents of deterioration, in: G.A. Greathouse & C.J. Wessel (eds.), *Deterioration of materials: causes and prevent techniques*, New York, 71-174.
- Greenmax**, 2016: Wortelopdruk en schade aan leidingen voorkomen. Het gebruik van wortelwering en wortelgeleiding, *Stad & Groen* 5, 88-89.
- Groenendijk, H.A., & J. Meijering** 2006: Afgegraven en weer aangevuld. Herstel van Groninger wierden, dijken en essen, *Historisch jaarboek Groningen* 6, 26-40.
- Groenendijk, M.**, 2009: *Archeologievriendelijk bouwen op de Koningshof te Gouda: Een evaluatie van de archeologievriendelijke aanpak*, Gouda.
- Grontmij**, 2015: *Onderzoek instandhouding archeologische rijksmonumenten 'kleine' eigenaren*, Houten.
- Groot, T. de & J.-M.A.W. Morel** 2007: *Het schip uit de Romeinse tijd De Meern 4 nabij boerderij de Balijsche, Leidsche Rijn, gemeente Utrecht*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 147).
- Groot, T. de**, 2006: *Roman villae in the loess area of the Dutch Province of Limburg*, Berichten van de Rijksdienst voor Oudheidkundig Bodemonderzoek 46, 275-302.
- Groot, T. de, A. Koekelkoren, M. Lobbes & B.I. Smit** 2011: Effecten van vrijstellingen voor archeologisch erfgoed, deel III in: R.C.G.M. Lauwerier, T. de Groot, B.J.H. van Os en L. Theunissen (red.), *Vragen over Malta*, Amersfoort (Rapportage archeologische monumentenzorg 196), 85-165.
- Haaff, G. van**, 2006: Veertig jaar wettelijke bescherming van archeologische monumenten, in: P.A.M. Zoetbrood, C.A.M. van Rooijen, R.C.G.M. Lauwerier, G. van Haaff & E. van As (red.), *Uit Balans: Wordingsgeschiedenis en analyse van het bestand van wettelijk beschermde archeologische monumenten*, Amersfoort, 17-25.
- Haan, B.J. de, J.D. van Dam, W.J. Willems, M.W. van Schijndel, S.M. Sluis, G.J. van Born & J.J.M. van Grinsven** 2009: *Emissiearm bemesten geëvalueerd*, Den Haag (Planbureau voor de leefomgeving 64).
- Haldenby, D. & J.D. Richards** 2010: Charting the effect of plough damage using metal detected assemblages, *Antiquity* 84 (326), 1151-1162.
- Hanegraaf, M.C. & M. de Visser (red.)** 2003: *Naar een betere bodemkwaliteit op zandgrond*, Lelystad (Praktijkrapport Rundvee 50).
- Havinga, A.J.**, 1967: Palynology and pollen preservation, *Review of Palaeobotany and Palynology* 2, 81-98.
- Havinga, A.J.**, 1971: An experimental investigation into the decay of pollen and spores in various soil types, in: J. Brooks, P.R. Grant, M. Muir, P. van Gijssel & G. Shaw (eds.), *Sporopollenin: Proceedings of a Symposium held at the Geology Department, Imperial College, London, 23-25 September 1970*, London/New York, 446-479.
- Havinga, A.J.**, 1984: A 20-year experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types, *Pollen et Spores* 26, 541-557.
- Head, J.M. & F.M. Jardine** 1992: *Ground-borne Vibrations Arising from Piling*, London.
- Heckrath, G., U. Halekoh, J. Djurhuus & G. Govers** 2006: The effect of tillage direction on soil redistribution by mouldboard ploughing on complex slopes, *Soil and Tillage Research* 88, 225-241.
- Heeres, G.**, 2014: *Sediment erosion at archaeological sites in Limburg, The Netherlands*, Master thesis, Wageningen.
- Heeringen, R.M. van & E.M. Theunissen (eds.)** 2002: *Desiccation of the archaeological landscape at Voorne Putten*, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 25).
- Heeringen, R.M. van & E.M. Theunissen (red.)** 2001a: *Kwaliteitsbepalend onderzoek ten behoeve van duurzaam behoud van neolithische terreinen in West-Friesland en de Kop van Noord-Holland*, Amersfoort (Nederlandse archeologische rapportages 21).
- Heeringen, R.M. van & E.M. Theunissen** 2001b: Repeated water table lowering in the Dutch delta. a major challenge to the archaeological heritage management of pre- and protohistoric wetlands, in: B. Purdy (ed.), *Enduring Records. the environmental and cultural heritage of wetlands*, Oxford, 271-276.

- Heeringen, R.M. van & E.M. Theunissen** 2006: The threat of dessication. Recent work on the in situ monitoring of archaeological wetland sites in The Netherlands, in: L. Dyson, E. Heppell & M. Peiters (eds.), *Archaeological evaluation of wetlands in the Planarch area of North West Europe*, Maidstone, 64-71.
- Heeringen, R.M. van, F. van Kregten & I.M. Roorda** 2003: *Over de instandhouding van het beschermde monument 'Polder Het Grootslag': het effect van wettelijke bescherming op de kwaliteit van het bodemarchief*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 114).
- Heeringen, R.M., van & E.M. Theunissen** 2005: Wetlands. A vulnerable archaeological resource. Recent work on the in situ monitoring of archaeological sites in the Netherlands, in: Fansa, M. (ed.), *Kulturlandschaft Marsch. Natur-Geschichte, Gegenwart*, Oldenburg (Schriftenreihe des Landesmuseums für Natur und Mensch 33), 95-105.
- Heeringen, R.M. van, A. Smit & E.M. Theunissen** 2004: *Archeologie in de toekomst: nulmeting van de fysieke kwaliteit van het archeologisch monument in de Broekpolder, gemeenten Heemskerke en Beverwijk*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 107).
- Heiden, M. van der, J. van Doesburg & J. Stöver** 2017: *Aarde op de terp. Booronderzoek en veldkartering op de terp Tjessens (gemeente Waaxens) in het kader van ophoging*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 240).
- Heiden, M. van der & H. Feiken (red.)** 2018: *Een grafheuvelandschap nader bekeken: geofysisch en validerend boor- en proefputtenonderzoek van het rijksmonument Wervershoof-Eendenkooi (gemeente Medemblik)*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 252).
- Hendriks, W.**, 2019: Wat veroorzaakt wortelopdruk? *Boomzorg* 2, 44-45.
- Hessel, R., J. Stolte & M. Riksen** 2011: *Huidige maatregelen tegen water- en winderosie in Nederland*, Wageningen (Alterra-rapport 2131).
- Heunks, E.**, 1995: *Bedreigingen van het bodemarchief door landbouwkundige bodemtechnische ingrepen: Een oriëntatie*, Amsterdam (RAAP-rapport 100).
- Hiddink, H.A.**, 2000: *Archeologisch onderzoek in de Maasbroekse Blokken te Boxmeer 2. De opgravingscampagne van 1998*, Amersfoort (Rapportage archeologische monumentenzorg 76).
- Hinchcliffe J. & R.T. Schadla-Hall** 1980: *The past under the plough: Papers presented at the seminar on plough damage and archaeology held at Salisbury February 1977*, London.
- Historic England**, 2016: *Preserving archaeological remains: Decision-taking for sites under development*, Swindon.
- Historic England**, 2018: *Waterlogged organic artefacts: guidelines on their recovery, analysis and conservation*, Swindon.
- Historic England**, 2019: *Piling and Archaeology: Guidance and Good Practice*, Swindon.
- Holyoak, V.**, 2010: Mitigation Impossible? Practical Approaches to managing archaeology in arable farming systems, *EAC Occasional Paper* 4, 135-140.
- Hoogewoud, J., D. Hendriks, M. Visser & W. de Lange** 2016: *Verkenning effecten van winning aanvullende strategische drinkwatervoorraden op het freatisch grondwater*, Utrecht (Deltares 1.220.726-000-BGS-0010, 26 april 2016, definitief).
- Hopkins, D.W. & L-L Shillam** 2005: Do geotextiles affect soil biological activity in the reburial environment? *Conservation and management of archaeological sites* 7, 83-88.
- Hopkins, D.W.**, 2004: Relevance of soil biology and fertility research to archaeological preservation by reburial, *Conservation and management of archaeological sites* 6, 167-175.
- Horst, A. van der** 2015: Bodemleven is de nieuwe ploeg: de techniek van de niet-kerende grondbewerking, *Landbouwmechanisatie april* 2015, 14-18.
- Huisman, D.J. & B.J.H. van Os** 2016: Relax, don't do it: a future for archaeological monitoring, in: V.M. van der Haas & P.A.C. Schut (eds.), *The Valetta Convention: twenty years after: benefits, problems, challenges*, Brussels (Europae Archaeologia Consilium (EAC) occasional paper 9), 121-132.
- Huisman, D.J. & D. Ngan-Tillard** 2019: Archeologie onder druk: Is behoud in situ mogelijk onder ophogingen? *Archeologie in Nederland* 3 (1), 2-25.
- Huisman, D.J. & E.M. Theunissen** 2008: Too good to be true? The unexpectedly good condition of the Nieuw-Dordrecht Neolithic trackway and its implications, in: H. Kars & R.M. van Heeringen (eds.), *Preserving archaeological remains in situ: Proceedings of the 3rd conference 7-9 December 2006*, Amsterdam (Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 10), 15-28.
- Huisman, D.J. & G. Mauro** 2013: *Schokland UNESCO World Heritage Site 3rd monitoring round*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 207).

- Huisman, D.J. & J.W. de Kort (red.)** 2017: *Kelmond-Beekerveld (gemeente Beek); erosieonderzoek in het kader van TOPsites*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 237).
- Huisman, D.J. (ed.)**, 2009: *Degradation of archaeological remains*, Den Haag.
- Huisman, D.J.**, 2007: How redox-induced soil colour changes mask soil features; cases from alluvial soils in the Netherlands, *Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek* 46, 315-327.
- Huisman, D.J., 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** 2011: *De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen*, Amersfoort (webpublicatie Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed).
- Huisman, D.J., J. van Doesburg, A. Muller & J. Stöver** 2009: *De (on)mogelijkheden van archeologie vriendelijk bouwen op terpen/wierden. Onderzoek (2007) naar de effecten van heien op de wierden Kenwerd Oldehove en Groot Wetsinge*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 174).
- Huisman, D.J., M. van der Heiden (red.)** 2017: *Erosie onderzoek op de Grote Houw Oost in het kader van TOPsites*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 238).
- Huisman, D.J., M.R. Manders, E.I. Kretschmar, R.K.W.M. Klaassen & N. Lamersdorf**, 2008: Burial conditions and wood degradation at archaeological sites in the Netherlands, *International Biodeterioration & Biodegradation* 61, 33-44.
- Hunt, A.M.W.**, 2017: *The Oxford handbook of archaeological ceramic analysis*, Oxford.
- ITADA** 2006: *Erstellung und Überprüfung einer regionalen Datensammlung zur reduzierten Bodenbearbeitung (Alternativen zum Pflug)*, Colmar (Abschlussbericht Projekt 01).
- Iterson, G. van & A. Hendrix** 2006: Insporing door banden beperken. Bandenspanning versus bodemverdichting, *Boom in business* 2006, 46-47.
- Jacobs, C., J. Elbers, R. Brolsma, O. Hartogensis, E. Moors, M.T. Rodríguez-Carretero Márquez & B. van Hove** 2015: Assessment of evaporative water loss from Dutch cities, *Building and Environment* 83, 27-38.
- James, B.R. & R.J. Bartlett** 2000: Redox Phenomena, in: Sunner, M. E (ed.), *Handbook of Soil Science*, Boca Raton, 169-194.
- Jans, M.M.E.**, 2005: *Histological characterisation of the degradation of archaeological bone*, PhD-thesis Vrije Universiteit, Amsterdam (Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 5).
- Jans, M.M.E.**, 2008: Microbial bioerosion of bone - a review, in: Wisshak, M., Tapanila, L. (eds.), *Current developments in bioerosion*, Berlin, 397-413.
- Jansen, A. & A. Grootjans (red.)** 2019: *Hoogvenen: Landschapsecologie, behoud, beheer & herstel*, Noordboek.
- Jansen, P. & M. van Benthem** 2005: *Historische bouselementen: Geschiedenis, herkenning en beheer*, Wageningen.
- Jansen, P., M. Boosten, M. Cassaert, J. Cornelis, E. Thomassen & M. Winnock** 2018: *Praktijkboek bosbeheer*. Wageningen.
- Johnson, G.**, 1998: *Archaeology and forestry in Ireland*, Kilkenny.
- Jones K.L., Harlow D. & Gosling D.** 2002: *Caring for archaeological sites: New Zealand guidelines. Draft for discussion*, March 2002, Wellington.
- Jones, K.L.**, 2007: *Caring for archaeological sites: Practical guidelines for protecting and managing archaeological sites in New Zealand*, Wellington.
- Karkanas, P.**, 2010: Preservation of anthropogenic materials under different geochemical processes: a mineralogical approach, *Quaternary International* 214, 63-69.
- Kars, E.A.K., & H. Kars (eds.)** 2002: *The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological heritage*, Brussel/Amersfoort (EU-project ENV4-CT98-0712).
- Kars, H. & R.M. van Heeringen (eds.)** 2008: *Preserving archaeological remains in situ, Proceedings of the 3rd conference - 9 December 2006*, Amsterdam (Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 10).
- Kars, H. & Smit, A.** 2003: *Handleiding fysiek behoud archeologisch erfgoed. Degradatiemechanismen in sporen en materialen. Monitoring van de conditie van het bodemarchief*, Amsterdam (Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 1).
- Kars, H.**, 1998: Preserving our in situ archaeological heritage: a challenge to the geochemical engineer, *Journal of Geochemical Exploration* 62, 139-147.
- Kasbergen, F.J.H.**, 2016: *Archeologische begeleiding en monitoring 'PAS Project Zeepeduinen, Deelgebied IV'*, Burgh-Haamstede, Gemeente Schouwen-Duiveland, Heinenoord (SOB Research Project 2243-1409).

- Kendall, Ch., A.M. Eriksen, I. Kontopoulos, M.J. Collins & G. Turner-Walker** 2018: Diagenesis of archaeological bone and tooth, *Palaeogeography palaeoclimatology palaeoecology* 491, 21-37.
- Kimmenaede, O.H.A.J. van,** 1992: *Heide en archeologie. De invloed van het plaggen van heide-terreinen op het archeologisch bodemarchief*, Amsterdam (RAAP-rapport 61).
- Kinnell, P.I.A.,** 2013: Erosion by water: erosivity and erodibility, in: S.E. Jorgensen (ed.), *Encyclopedia of environmental management*, New York, 980-990.
- Klaassen, R.K.W.M.,** 2005: *BACPOLES: Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation poles and archaeological sites*, Brussels (EU-project EVK4-2001-00043).
- Klaassen, R.K.W.M.,** 2007: Velocity of bacterial decay in wooden foundation piles, in: D.J. Huisman & K. Strætkvern (eds.), *Proceedings of the 2007 Conference on Waterlogged Organic Archaeological Material (WOAM)*, Amsterdam, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 37), 69 – 78.
- Klaassen, R.K.W.M., R.A. Eaton & N. Lamersdorf** 2008: Bacterial Wood Decay. Survey and Results of EU Project BACPOLES, *Journal of Biodeterioration and Biodegradation* 61, 1-2.
- Knotters, M. & P.C. Jansen** 2005: Honderd jaar verdroging in kaart, *Stromingen* 11, 19-32.
- Knotters, M., D. Walvoort, F. Brouwer, L. Stuyt & J. Okx** 2018: Landsdekkende, actuele informatie over grondwater-trappen digitaal beschikbaar, H2O-online.
- Kooi, P.B.,** 1974: De orkaan van 13 november 1973 en het ontstaan van hoefijzervormige grondsporen, *Helinium* 14, 57-65.
- Kool, J., M. van den Berg, H. Huisman, H. van Haaster, R. van Heeringen, O. Brinkkemper, H. Kars & P. Buurman** 2005: *Biomarkers in archaeology: The degradation of botanical remains and loss/preservation of chemical information: abstract for the International Meeting on Organic Geochemistry*, Bradford.
- Koomen, A.J.M. & R.P. Exaltus** 2003: *De vervlakking van Nederland*, Wageningen (Alterra-Rapport 740).
- Koomen, A.J.M., G.J. Maas & T.J. Weijsschede** 2007: *Veranderingen in lijnvormige cultuurhistorische landschapselectementen: resultaten van een steekproef over de periode 1900-2003*, Wageningen (Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu rapport 34).
- Korff, M.,** 2009: *Deformations and damage to buildings adjacent to deep excavations in soft soil*, Utrecht/Delft (Deltares-project 1001307-004-GEO-0002).
- Kortlang, F.,** 1987: *Landschapsonderzoek, archeologie: De Dommelvallei: Een archeologische inventarisatie, I: methode, resultaten en planologische aspecten*, 's-Hertogenbosch.
- Kostelijk, N.,** 1986: *Peilverlaging in "Waterland" in relatie tot archeologische vondsten*, Haarlem (Landinrichtingsdienst Noord-Holland rapport nr. 86-17-NK).
- Koster, K., & G. Erkens** 2017: Sonderingen en bodemdaling in venige delta's en kustgebieden, *Geo.brief* 42, 9-11.
- Kouwenhoven, J.K., U.D. Perdok, J. Boer & G.J.M. Oomen** 2002: Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands, *Soil and Tillage Research* 65, 125-139.
- Kremers, A.H.M. & F.C. van Geer** 2000: *Trendontwikkeling grondwater 2000: Analyseperiode 1955-2000*, Utrecht (TNO-rapport NITG 00-184-B).
- Kretschmer, I. & A. Möndel** 2015: Bodenarchäologie und Landwirtschaft - Wege zur integrativen Nutzung, *Archäologische Denkmäler in landwirtschaftlichen Nutzflächen Teil 1, Landinfo* 1, 9-13.
- Krikhaar, N.,** 2017: Natuurbeschermen met mensen, *Vakblad groen* 73, 8-15.
- Kuhn, H. & M. Lau (eds.)** 2015: *Energiewende und Archäologie*, Osnabrück.
- Kuiper, L.C. & J.P. van Schooten,** 1985: Dynamische aspecten van windworp, *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 57, 130-133.
- Kutschera L., E. Lichtenegger & M. Sobotik** 2009: *Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemässiger Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues: 7. Band*, Frankfurt am Main.
- Kwaad, F.J.P.M., M. van der Zijp & P.M. van Dijk** 1998: Soil conservation and maize cropping systems on sloping loess soils in the Netherlands, *Soil and Tillage Research* 46 (1-2), 13-21.
- Kwaad, F.P.J.M., A.P.J. de Roo & V. Jetten** 2006: Soil erosion in Europe: The Netherlands, in: J. Boerdman & J. Poesen (eds.), *Soil erosion in Europe*, Chichester, 413-426.
- Laarhoven, S. van,** 2017: *Influence of loading history on subsurface architecture and subsidence potential for the historical city of Gouda, the Netherlands*, Master Thesis, Universiteit van Utrecht, Utrecht.
- Lancaster, N.,** 2009: Aeolian features and processes, in: R. Young & L. Norby (eds.), *Geological monitoring, Colorado*, 1-25.
- Landesdenkmalpflege Baden-Württemberg,** 2013: *Archäologie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft: Wege zur integrativen Nutzung von Bodendenkmälern in der Kulturlandschaft*, Esslingen am Neckar.

- Langohr R.**, 1990: L'homme et les processus d'érosion des sols limoneux de Belgique et du Nord-Ouest de la France, in: *Crédit communal / Musée des Beaux Arts de Valenciennes, Les Celtes en France du Nord et en Belgique, VIe-ler siècle avant J.-C.*, Bruxelles, 211-222.
- Langohr R. & P. Crombé**, 1999: Valkuilen voor archeologen, *Natuur & techniek* 67, 78-85.
- Langohr R.**, 1993: Types of tree windthrow: their impact on the environment and their importance for the understanding of archaeological excavation data, *Helinium* 33, 36-49.
- Lascaris, M.A.**, 2019: *Archeologie en verstoring door bodembewerkingen: Evaluatie van de effecten van grondbewerking in agrarisch en stedelijk gebied en het onderzoek daarnaar*, Amersfoort (Rapportage archeologische monumentenzorg 257).
- Lauwerier, R.C.G.M. & J.W. de Kort** 2012: *Merovingers in een villa 2: Romeinse villa en Merovingisch grafveld Borgharen – Pasestraat Onderzoek 2012*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 222).
- Lee, K.E.**, 1985: *Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use*, New York.
- Leskovar, T. & V. Bosiljkov** 2016: Laboratory research on the effects of heavy equipment compaction on the in-situ preserved archaeological remains, *Conservation Management of Archaeological Sites* 18, 40-58.
- Leuzinger, U., J. Sidell & T. Williams (eds.)** 2016: *The 5th international conference on Preserving Archaeological Remains In Situ (PARIS5): 12-17 April 2015*, Kreuzlingen (Conservation and management of archaeological sites Special issue 18).
- Lewis H.**, 1999: *The characterisation and interpretation of ancient tillage practices through soil micromorphology: a methodological study*: PhD-thesis, University of Cambridge, Cambridge.
- Lieshout, J.W. van**, 1956: *De beworteling van een aantal landbouwgewassen, 's-Gravenhage* (Verslagen landbouwkundige onderzoekingen 62.16).
- Limbrey, S.**, 1975: *Soil science and archaeology*, New York.
- Locher, W.P. & H. de Bakker (red.)** 1990: *Bodemkunde van Nederland: Leer- en handboek op hoger onderwijsniveau, 's-Hertogenbosch*.
- Lodts, M., H. Heyman, L. De Loose & M. Hens** 2005: Inrichtingsinstrumenten, in: M. Dumortier (red.), *Natuurrapport 2005: Toestand van de natuur in Vlaanderen: cijfers voor het beleid*, Brussel (Mededelingen van het instituut voor natuurbehoud 24), 391-403.
- Loeb, R., A. van der Bij, R. Bobbink, J. Frouz, J. Vogels, P. Benetková & R. van Diggelen** 2017: *Ontwikkeling van droge heischrale graslanden op voormalige landbouwgronden: eindrapportage fase 2*, Driebergen/Zeist (O+BN rapport 2017/OBN216-DZ).
- Louwagie, G., G. Noens & Y. Devos** 2005: *Onderzoek van het bodemmilieu in functie van het fysisch-chemisch kwantificeren van de effecten van grondgebruik en beheer op archeologische bodemsporen in Vlaanderen*, Brussel/Gent.
- Maas, C. & J.R. von Asmuth** 2004: *Tijdreeksanalyse grondwaterstanden 1975-2002: Effectiviteit van het stand-still beleid van de Provincie Limburg*, Nieuwegein.
- Maas, K.**, 2001: Kwelvensters onder gebouwen en in het vrije veld, *Stromingen* 7, 15-32.
- Massop, H.Th.L. & C. Schuiling** 2017: *Buisdrainagekaart 2017: Update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmeitellingen van 2012*, Wageningen (Alterra-rapport 2700).
- Matthiesen, H. & D. Gregory (eds.)** 2012: *Preserving archaeological remains in situ*, Proceedings of the fourth international conference, *Special edition of the Journal of Conservation and management of archaeological sites* 14.
- Mattsson, E., A.G. Nord, K. Tronner, M. Fjaestad, A. Lagerlof, I. Ullen & G.CH. Borg** 1996: *Deterioration of archaeological material in soil: Results on bronze artefacts*, Stockholm (Konserveringstekniska Studier 10).
- Mauro, G.**, 2001: Inrichting en beheer, in: Van Heeringen R.M. & E.M. Theunissen (eds.), *Kwaliteitsbepalend onderzoek ten behoeve van duurzaam behoud van neolithische terreinen in West-Friesland en de Kop van Noord-Holland*, 1: Waardstelling, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 21), 253-267.
- Meeussen J.C.L., G. Boer, R.P. Exaltus & H. Kars**, 1997: *Effects of soil acidification and declining groundwater tables on the decay of buried archaeological features*, Amersfoort (Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek 42), 475-491.
- Meeussen, J.C.L. & R.P. Exaltus** 1994: *Invloed van verzuring en verdroging op grondsporen*, Amersfoort (Interne Rapporten ROB 12).
- Meijers, P.**, 2007: *Settlement during vibratory sheet piling*. PhD-thesis Technische Universiteit Delft, Delft.
- Meuwissen, M.**, 2012: *Aardappels of archeologie? Effecten van landgebruik op verstoring van gestratificeerde bodemlagen*, Wageningen.
- Meylemans, E., B. Vanmontfort & A. Van Rompaey** 2008: The evaluation of archaeological sites using LIDAR and erosion/sedimentation modelling, in: Meylemans, E.J. Poesen & I. in 't Ven (eds.), *The archaeology of erosion, the erosion of archaeology: Proceedings of the Brussels Conference, april 28-30 2008*, Brussel (Relicta Monografieën 9), 23-36.

- Minkjan, P., H. Baas, F. Parmentier, E. Raap, M. van Woerkom, M. van der Velden, H. Renes, P. Veen & F. Bouwman** 2010: *Handboek cultuurhistorisch beheer*, De Bilt.
- Moffat, A.J., N.A.D. Bending & M.C. Dobson** 1998: *Barriers against tree roots: an experimental investigation*, Farnham (Arboriculture research and information note 141/98/ERB).
- Molenaar S., R.P. Exaltus & M.C.A. van Waijen** 2003: *Bescherming bodemarchief ruilverkavelingsgebied Limmen-Heiloo, Provincie Noord-Holland. Eindrapport monitoringonderzoek 1994-2001*, Amsterdam (RAAP-Rapport 856).
- Moor, J. de, E. Kars & W. de Groot** 2018: Archeologische monitoring van huisplaatsen in De Onlanden, in: J.A.W. Nicolay (red.), *Huisplaatsen in De Onlanden: De geschiedenis van een Drents veenweidegebied deel II*, Groningen (Groningen archaeological studies 34), 715-732.
- Morgenroth, J.**, 2008: A review of root barrier research, *Arboriculture & Urban Forestry* 34, 84-88.
- Müller, A., H. van Meerten, R. Brinkgreve & D. Ngan-Tillard** 2014: *Flevoland Kennisontwikkeling Programma Archeologie Hanzelijn: Mogelijkheden tot in-situ conservering van begraven 345 archeologische landschappen: Deelonderzoek 2B: De invloed van tijdelijke en permanente afdekkingen of ophoging op maaiveld op de conservering van archeologische vindplaatsen in de ondergrond*, Delft.
- Muysen, W. van, K. van Oost & G. Govers** 2006: Soil translocation resulting from multiple passes of tillage under normal field operating conditions, *Soil Tillage Research* 87, 218-230.
- Nieuwhof, A. & P.C. Vos** 2018: New data from terp excavations on sea-level index points and salt marsh sedimentation rates in the eastern part of the Dutch Wadden Sea, *Netherlands Journal of Geosciences*, 97(1-2), 31-43.
- Nijssen M., M. Riksen, L. Sparrius, R. Bijlsma, A. Van den Burg, H. van Dobben, P. Jungerius, R. Ketner-Oostra, A. Kooiman, L. Kuiters, C. van Swaay, C. van Turnhout & R. de Waal** 2011: *Onderzoek naar effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden, Driebergen (O+BN rapport 144)*.
- Nixon, T. (ed.)**, 2004: *Preserving Archaeological Wood Remains in situ: Proceedings of the 2nd Conference, 12th-14th September 2001*, London.
- Nixon, T.**, 1998: Practically preserved: observations on the impact of construction on urban archaeological deposits, in: M. Corfield, P. Hinton, T. Nixon and M. Pollard (eds.), *Preserving Archaeological Remains in situ: Proceedings of the Conference of 1st-3rd April 1996*, London, 39-46.
- Noble, G., P. Lamont & E. Masson-Maclean** 2019: Assessing the ploughzone: The impact of cultivation on artefact survival and the cost/benefits of topsoil stripping prior to excavation, *Journal of Archaeological Science Reports* 23, 549-558.
- Nord, A.G., I. Ullen, K. Tronner, J. Sjustedt & H. Runesson** 2000: *The Deterioration of Archaeological Metal Artefacts in Soil*, Stockholm.
- Nord, A.G., E. Matsson & K. Tronner 2005: **Factors influencing the long-term corrosion of bronze artefacts in soil**, *Protection of Metals* 41 (4), 309-316.
- Nuhoglu, Y., E. Oguz, H. Uslu, A. Ozbek, B. Ipekoglu, I. Ocak & I. Hasenekoglu** 2006: The accelerating effects of the microorganisms on biodeterioration of stone monuments under air pollution and continental-cold climatic conditions in Erzurum, Turkey, *Science of the Total Environment* 364, 272-283.
- Oldenburger, J., J. Penninkhof, C. de Groot & F. Voncken** 2017: *Praktijkproef bestrijding duizendknoop. Resultaten en kostenefficiëntie van zeven bestrijdingsmethoden voor duizendknoop en varianten daarop*, Wageningen.
- Oord, J.G.**, 2009: *Handreiking Faunashade*, Dordrecht.
- Oostindie, K., J.G. Wesseling, R.F.A. Hendriks, C.J. Ritsema & J.J.H. van den Akker** 2003: *Effecten van beheersmaatregelen op vochtgehalten bij uitdrogende veendijken*, Wageningen (Alterra referaat 523.9518).
- Os, B.J.H van & M. Kosian** 2011: Sluipende degradatie van het archeologisch erfgoed, deel II, in: R.C.G.M. Lauwerier, T. de Groot, B.J.H. van Os en L. Theunissen (red.), *Vragen over Malta*, Amersfoort (Rapportage archeologische monumentenzorg 196), 41-84.
- Os, B.J.H. van, T. de Groot, M. van der Heiden, J.W. de Kort, N.D. Kerkhoven & J. Schreurs** 2014: *Romeins brons bedreigd? Een eerste onderzoek naar degradatie van het bodemarchief van het Romeinse castellum Fectio*, Amersfoort (Rapporten Archeologische Monumentenzorg 219).
- Oxford Archaeology**, 2002: *The management of archaeological sites in arable landscapes*, Oxford/Reading (BD1701 / CSG15).

- Oxford Archaeology**, 2010: *Trials to identify soil cultivation practices to minimize the impact on archaeological sites*, London
- Paulissen, M.P.C.P., R.C. Nijboer & P.F.M. Verdonshot** 2007: *Grondwater in perspectief: een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland*, Wageningen (Alterra-rapport 1447).
- Pendleton, C.**, 1999: Distributions and land use: the effects of arable agriculture, in: C.F. Pendleton (ed.), *Bronze Age metalwork in Northern East Anglia: A study of its distribution and interpretation*, Oxford (BAR British Series 279).
- Pennington, W.**, 1996: Limnic sediments and the taphonomy of lateglacial pollen assemblages, *Quaternary Science Reviews* 15, 501-520.
- Pfiffner, L.**, 2017: *Regenwormen: architecten van vruchtbare grond, hun belang en aanbevelingen voor de landbouw*, Frick (Brochure Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Nederlandse editie).
- Poesen, J.**, 1993: Gully typology and gully control measures in the European loess belt, in: S. Wicherek (ed.), *Farm land erosion in temperate plains environments and hills*, Edinburgh, 221-239.
- Pol-Dasselaar, A. van den, M. de Haan & B. Philipson** 2013: *Beweiding in Nederland*, Wageningen (Alterra-rapport 687).
- Pollard, A.M., L. Wilson, A.S. Wilson, A.J. Hall & R. Shield** 2004: Assessing the influence of agrochemicals on the rate of copper corrosion in the vadose zone of arable land: Part 1: Field experiments, *Conservation and management of archaeological sites* 6, 363-375.
- Postma, D.**, 2010: De opgraving en toekomstige bescherming van een steilkant, in: J. Nicolay (red.), *Terpbevoling in oostelijk Friesland: Twee opgravingen in het voormalige kweldergebied van Oostergo, Groningen* (Groninger Archaeological Studies 10), 32-62.
- Potvliet, G.**, 2015: *Impact van gemechaniseerde houtoogst op de bosbodem & effecten van het werken met dunningspaden*, Ede
- Prickett, N.J.**, 1985: Site damage and destruction in a rural New Zealand landscape, *New Zealand Journal of Archaeology* 7, 61-76.
- Provincie Zeeland**, 2017: *Gebiedsanalyse Kop van Schouwen: Document PAS-analyse Herstelmaatregelen voor Kop van Schouwen, Provincie Zeeland*, Middelburg.
- Pulleman, M., A. Jongmans, J. Marinissen & J. Bouma** 2003: Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands, *Soil Use and Management* 19, 157-165.
- Quine, C.P., M.P. Coutts, B.A. Gardiner & D.G. Pyatt** 1995: *Forests and Wind: Management to minimise damage*, London (Forestry Commission Bulletin 114).
- Raad voor het Landelijk Gebied**, 1988: *Overloed en schaarste: water als geld: advies over de gevolgen van klimaat*, Den Haag
- Reich, D.**, 2018: *Who we are and how we got here: Ancient DNA and the new science of the human past*, London.
- Reinders, R.**, 2006: Scheepswrakken van Flevoland op de tocht, in: A. Vos & J. van der Vliet (red.), *Natuurlijke processen als verstoorder, archeologisch erfgoed in situ bedreigd door een verstoorder die niet betaalt*, Amsterdam, 27-33.
- Retallack, G.J.**, 1984: Completeness of the rock and fossil record: some estimates using fossil soils, *Paleobiology* 10, 59-78.
- Reuler, H. van, G.D. Vermeulen, J. Spruijt, D.J.M. van Balen, M.P.M. Derkx, G. Heijerman, A.H.M.C. Baltissen & J.J. de Haan** 2014: *Inventarisatie van reguliere teelt-handelingen in de landbouw in Nederland: de invloed ervan op de bodem in verband met de consequenties voor de archeologische resten*, Wageningen.
- Reynolds, P.J. & R.T. Schadla Hall** 1985: Measurement of plough damage and the effects of ploughing on archaeological material, *Directorate of Ancient Monuments and Historic Buildings* 3, 114-122.
- Reynolds, P.J.**, 1987: Fragmentation of pottery in the ploughsoil, *Butser Ancient Farm Yearbook* 1987, 1-14.
- Reynolds, P.J.**, 1989: The ploughzone and prehistoric pottery, *British Archaeological Magazine* 12, 24-26.
- Richards, J.**, 1985: Scouring the Surface: approaches to the ploughzone in the Stonehenge Environs, *Archaeological Reviews Cambridge* 4, 27-42.
- Rienks, W.A., A.L. Gerritsen, W.J.H. Meulenkamp, F.G.W.A. Ottburg, E.P.A.G. Schouwenberg, J.J.H. van den Akker & R.F.A. Hendriks** 2004: *Veenweidegebied in Fryslân: de effecten van vier peilstrategieën*, Wageningen (Alterra-rapport 989).
- Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten** 2008: *Algen, mossen en korstmossen*, Amersfoort (Brochure Techniek 16).
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed & gemeente Noordoostpolder** 2019: *De Fysieke staat van het Werelderfgoed Schokland en omgeving in Nederland*, Amersfoort/Emmeloord.
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed**, 2012a: *Beleidsnotitie behandelen vergunningaanvragen archeologische rijksmonumenten*, Amersfoort.
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed**, 2012b: *Een toekomst voort kasteelruïnes. Handreiking voor de instandhouding van archeologische kasteelterreinen en kasteelruïnes*, Amersfoort.

- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed**, 2018: *Database Incidenten Cultureel Erfgoed* (DICE), Amersfoort. (<https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/veilig-erfgoed>, datum 8 juni 2018).
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed**, 2019: *Protocol Archeologische Monitor (landbodem)* versie 4.7, Amersfoort.
- Rimmington, N.J.**, 2004: *Managing earthwork monuments: A guidance manual for the care of archaeological earthworks under grassland management*, A Heritage Laboratory Project funded by the European Union's Raphael Programme, n.p.
- Rolf, H.L.M.**, 1989: *Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: analyse periode 1950-1986*, Den Haag.
- Roorda, I. & J. Stöver** 2016: *Handreiking Archeologievriendelijk bouwen*, Amersfoort (webpublicatie Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed).
- Roos, A. & J. Neeffes** 2006: *Bureaustudie bosboderverstoring in boswachterij het Speulderbos: toelichting op de gegevensbestanden en de methodiek*, Wageningen.
- Rövekamp, C. & N. Maes** 2002: *Inheemse bomen en struiken op de Veluwe: Autochtone genenbronnen en oude bosplaatsen*: WCL Veluwe, Utrecht/Millingen a/d Rijn.
- Ruark, G.A., D.L. Mader & T.A. Tatter** 1982: The influence of soil compaction and aeration on the growth and vigor of trees: A literature review, *Arboricultural Journal* 6, 251.
- Russell N.**, 2003: *Archaeology and Farming: A guide to the care and management of archaeological sites*, Gloucestershire.
- Sanden, W. van der, J. Wolf, T. Bezuijen & J. Stöver** 2016: *EHBO Hunebedden*, Amersfoort/Assen (brochure Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Provincie Drenthe 4 april 2016).
- Scharff, W.**, 1993: *Gefährdung archäologischer Funde durch immissionsbedingte Bodenversauerung*, Esslingen am Neckar.
- Schiffer, M.B.**, 1996: *Formation processes of the archaeological record*, Salt Lake City.
- Schneider, C.B.H. & J.T. Huinink** 1990: *Bouwvoorbodembekende en grondbewerking*, in: W.P. Locher & H. de Bakker (red.), *Bodembekende van Nederland. Leer- en handboek op hoger onderwijsniveau*, 's-Hertogenbosch.
- Schokking, F.**, 1993: *Maaiveldsdalingen in veenweidegebieden in de provincie Friesland*, Haarlem.
- Scholte Lubberink, H., J. Hielkema, E. Verhelst & N.W. Willemse** 2017: *Op het snijvlak van lang vervlogen tijden: Een halve eeuw archeologisch onderzoek op de Varsener Es te Varsen, gemeente Ommen, Deventer* (Publicaties Archeologisch Depot Overijssel 7).
- Schothorst, C.J.**, 1967a: *Klink van veengrond na diepere ontwatering*, Wageningen.
- Schothorst, C.J.**, 1967b: *Bepaling van de componenten van de zakking na grondwaterstands daling*, *Landbouwkundig Tijdschrift* 79, 402-411.
- Schothorst, C.J.**, 1977: *Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands*, *Geoderma* 17, 265-291.
- Schüring, J., H.D. Schulz, W.R. Fisher, J. Bötcher & W.H.M. Duijnisveld** 2004: *Redox: Fundamentals, processes and applications*, Berlin.
- Schuylenborgh, J., S. Slager & A.G. Jongmans** 1970: *On soil genesis in temperate humid climate VIII: The formation of an Udalfic Entrochrept*, *Netherlands Journal of Agricultural Science* 18, 207-214.
- Scully, J.C.**, 1990: *The fundamentals of corrosion: third edition*, Exeter.
- Seynaeve, L.**, 1999: *Bodemverlies bij het rooien van witloofwortels*, *De aardrijkskunde* 3, 3-9.
- Shockley, D.**, 2000: *Manual of earthwork management at Petersburg National Battlefield*, Washington D.C.
- Sippel, K. & U. Stiehl** 2005: *Archäologie im Wald: Erkennen und Schützen von Bodendenkmälern*, Kassel
- Smit, A., G. Mol & R.M. van Heeringen** 2005: *Natte voeten voor Schokland: Inrichting hydrologische zone. Archeologische monitoring 2003-2004: Een evaluatie van de waterhuishoudkundige maatregelen*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 124).
- Smit, A., I.M. Lubbers, K.B. Zwart & D. Brunt** 2007: *Duurzaamheidsanalyse van bodemgebruik in natuurgebieden*, Wageningen (Alterra-report 1626).
- Smit, A., R.M. van Heeringen & E.M. Theunissen (red.)** 2006: *Standaard Archeologische Monitoring (SAM): Richtlijnen voor het non-destructief beschrijven en volgen van de fysieke kwaliteit van archeologische vindplaatsen*, Gouda.
- Smit, B.I., J. Bazelmans, T. de Groot, D. Schmutzart, M. Linssen, J. Bouwmeester, J. Jongma, A. Klomp, L. Theunissen, M. ter Schegget, J. Schreurs & M. Verschuur** 2019: *In situ 2100: De betekenis en vormgeving van de bescherming van archeologische vindplaatsen*, Amersfoort (Rapportage Verkenning Archeologie).
- Smit, B.I., J. Deeben, J. van Doesburg, E. Rensink, M. ter Schegget & E.M. Theunissen (red.)** 2013: *Beschermingsprogramma archeologie 2013: selectievoorstel voor 28 nieuwe rijksmonumenten*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 213).
- Smits, M.**, 2010: *Banden en bandenspanning*, *Tuin en Park Techniek* 2010, 39-40.

- Söhne, W.**, 1953: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen, *Grundlagen der Landtechnik* 5, 49-63.
- Soonius, C.M., D. Bekius & S. Molenaar** 2001: *Streekplan Noord-Holland Zuid Provincie Noord-Holland: een archeologisch bureauonderzoek*, Amsterdam (RAAP-rapport 709).
- Spandl, K., C. Champness, M.L. Dresser, M.J. Hann & R.J. Godwin** 2009: Studying the effects of different cultivation systems on flat archaeological sites and ways to monitor depths of disturbance, Appendix 3, in: P. Booth & K. Spandl (eds.), *Trials to identify soil cultivation practices to minimise the impact on archaeological sites*, Oxford (Oxford archaeology 148).
- Speleers, B.P., B. van Os, I. Roorda, G. Schreurs & D.J. Huisman** 2016: Wrap a wreck! In situ conservation of a ship on land suffering from fungal decay, *Conservation and management of archaeological sites* 18, 230-239.
- Stanley-Price, N. & R. Burch** 2004: Special issue on site reburial, *Conservation and management of archaeological sites* 6 (3-4).
- Stein, J.K.**, 1983: Earthworm activity: a source of potential disturbance of archaeological sediments, *American Antiquity* 48, 277-289.
- Stewart, J.** 2013: The stabilization and protection of archaeological sites from natural processes, in: Z. Aslan (ed.), *Conservation of cultural heritage in the Arab region: Issues in the conservation and management of heritage sites. ICCROM and Sharjah: ATHAR Programme* (Conservation of Cultural Heritage in the Arab Region), 91-99.
- Stobbelaar, D.-J.**, 2017: De rol van natuur in duurzame ontwikkeling, *Vakblad groen* 73, 4-7.
- Stone, E.L. & Kalisz, P.J.** 1991: On the maximum extent of tree roots, *Forest Ecology and Management* 46, 59-102.
- Strætkvern, K. & Huisman, D.J. (eds.)** 2009: *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Amsterdam 2007*, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten 37).
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel & H.T.L. Massop** 2011: *Basic survey zout en joint fact finding effecten van zout: naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland*, Wageningen (Alterra-rapport 2200).
- Sukkel, W. & M. Pulleman** 2016: Bodemverbeterende landbouw. *Leve(n)de bodem kwartaal* 3 2016, 21-28.
- Sullivan A.P. & W.F. Dibble** 2014: Site formation processes, in: C. Smith C. (ed.), *Encyclopedia of global archaeology*, New York, 6687-6701.
- Sunner, M.E. (ed.)**, 2000: *Handbook of soil science*, Boca Raton, Florida.
- Swain, H.**, 1988: Pottery survival in the field: some initial results of experiments in frost shattering, *Scottish Archaeological Review* 5, 87-89.
- Terwan, P. & L. Ringers** 2004: *Beschermingspakketten voor archeologische vindplaatsen in boerenland: Verkenning voor het Oer-IJgebied in opdracht van de provincie Noord-Holland*, Utrecht/Purmerend.
- Terwan, P., A. Guldemond & W. Menkveld** 2000: *Water in Waterland: Feiten en meningen over waterpeilen en waterberging en voorstellen voor toekomstig beleid*, Purmerend.
- Theunissen, E.M., & R.M. van Heeringen** 2006: *Archaeological Monitoring in the Former Oer IJ Estuary. A Pilot Study on the Preservation Capacity of a Late Prehistoric Landscape*, Amersfoort (Nederlandse Archeologische Rapporten).
- Thorne, R.M.**, 1988: *Guidelines for the organization of archaeological site stabilization projects. A modelled approach*, Vicksburg MS (US Army Technical Report EL-88-8).
- Thorne, R.M.**, 1989: *Intentional site burial: a technique to protect against natural or mechanical loss*, Washington D.C. (Archaeological Assistance Program Technical Brief 5).
- Timmermans, B.G.H., N. van Eekeren & M. Bos** 2010: *Fosfaat uitmijnen op natuurpercelen met gras/klaver en kalibemesting: Handreiking voor de praktijk*, Driebergen.
- Tjellidén, A.K.E., S.M. Kristiansen, H. Matthiesen & O. Pedersen** 2015: Impact of roots and rhizomes on wetland archaeology: a review, *Conservation and management of archaeological sites* 17, 370-391.
- Tomescu, A.M.F.**, 2000: Evaluation of Holocene pollen records from the Romanian Plain, *Review of Palaeobotany and Palynology* 109, 219-233.
- Trimble, S.W. & A.C. Mendel** 1995: The cow as a geomorphic agent: A critical review, *Geomorphology* 13, 233-253.
- Trow, S. & V. Holyoak** 2008: The erosion of archaeology: the impact of ploughing in England, in: Meylemans, E.J. Poesen & I. in 't Ven (eds.), *The Archaeology of Erosion, the Erosion of Archaeology: Proceedings of the Brussels Conference, april 28-30 2008*, Brussel (Relicta Monografieën 9), 55-62.

- Trow, S.**, 2004: Saving sites from the plough, *The Institute of Field Archaeologists yearbook and directory 2004*, 37-38.
- Trow, S.**, 2010: Ripping up history: sordid motives or cultivating solutions? Plough damage and archaeology: a perspective from England, *EAC Occasional Paper 4*, 129-135.
- Trow, S., V. Holyoak & E. Byrnes** 2010: *Heritage management of farmed and forested landscapes in Europe*, Brussel (EAC occasional paper 4).
- Tymann, I.D.**, 1996: Romeinse munten uit Vechten, *Oudheidkundige Mededelingen Rijksmuseum van Oudheden Leiden* 76, 139-152.
- Valckx J., G. Govers, M. Hermy & B. Muys** 2009: *Dieper graven naar het belang van regenwormen in duurzaam akkerbeheer: een toolkit voor ecologische erosiecontrole*, Leuven.
- Valk, L. van der, S.M. Arens, A. Koomen & M.A.J. Bakker** 2013: *Verkenning herstelbaarheid duindynamiek Westduinen (Schouwen)*, Den Haag (Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken Rapport nr. 2013/OBN184-DK).
- Veenenbos, J.S.**, 1951: Verdrogingsverschijnselen in het randgebied van de Noordoostpolder, *Boor en spade* 4, 129-138.
- Verdonschot, P., B. van der Wal & B.-J. van Weeren** 2011: *Beekdalbreed hermeanderen: maximaal ecologisch rendement*, Amersfoort.
- Videla, H.A.**, 2001: Microbially induced corrosion: an updated overview, *International Biodeterioration & Biodegradation* 48, 176-201.
- Villa P. & Courtin J.** 1983: The interpretation of stratified sites: a view from underground, *Journal of Archaeological Science* 10, 267-281.
- Vos A. & J. van der Vliet**, 2006: *Natuurlijke processen als verstoorder, archeologisch erfgoed in situ bedreigd door een verstoorder die niet betaalt*, Amsterdam.
- Vos B. de**, 2005: *Bodemcompactie en de invloed op de natuurlijke verjonging van beuk in het Zoniënbos: Januari 2005, Geraardsbergen (IBW.Bb R 2005.004)*.
- Vos, P.C. & R.M. Van Heeringen** 1997: Holocene geology and occupation history of the Province of Zeeland, in: M.M. Fischer (red.), *Holocene evolution of Zeeland (SW Netherlands)*, Den Haag (Mededelingen TNO 59), 5-109.
- Vries, W. de**, 2008: *Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid*, Wageningen (Alterra-rapport 1699).
- Wagar, J.A. & P.A. Barker** 1993: Effectiveness of three barrier materials for stopping regenerating roots of established trees, *Journal of Arboriculture* 19, 332-338.
- Wagelmans, M.**, 2002: *Ontwikkeling van beleid ter bestrijding van winderosie*, Groningen (Bioclear B.V.).
- Wagner, D., F. Dakoronia, C. Ferguson, W.R. Fischer, H. Kars, & H.J.M. Meijers** 1997: Soil archive: Classification in terms of impacts of conservability of archaeological heritage, in: I.D. MacLeod, S.L. Pennec, & L. Robbiola (eds.), *Proceedings of the international conference on Metals conservation "Metal 95", Semur en Auxois*, 121-126.
- Wagner, P.**, 1992: De bedreiging van archeologische bodemvondsten door landbouw en bosbouw, in: *Speurwerk: Archeologische Monumentenzorg in de Euregio Maas-Rijn*, Bonn.
- Waijjen, M.C.A. van**, 2001a: *Conserving van pollen in een aantal archeologische monumenten nabij Waterland (Noord-Holland): De zevende en laatste monitoringronde*, Zaandam (Biaxiaal 116).
- Waijjen, M.C.A. van**, 2001b: *Conserving van pollen in een aantal archeologische monumenten nabij Limmen (Noord-Holland): De zesde en laatste monitoringronde*, Zaandam (Biaxiaal 123).
- Ward, I., B. Smith & R. Lawley 2009: **Mapping the archaeological soil archive of sand and gravel mineral reserves in Britain**, *Geoarchaeology* 24, 1-21.
- Warscheid, Th. & J. Braams**, 2000: Biodeterioration of stone: a review, *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, 343-363.
- Weeda, E.J., W.A. Ozinga & G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis** 2006: *Diversiteit hoog houden: Bouwstenen voor een geïntegreerd natuurbeheer*, Wageningen (Alterra-rapport 1418).
- Weiss, G.**, 2015: Wind- und Solarparks in der Kulturlandschaft, in: H. Kuhn & M. Lau (eds.), *Energiewende und Archäologie*, Osnabrück, 72-79.
- Werkgroep achtergrondverlaging NHV**, 2016: *Zicht op Achtergrondverlaging*, Wageningen.
- Werkgroep Pyriet**, 2002: *Pyriet: Bundel met informatie verzameld door de Werkgroep Pyriet*, Zwartebroek.
- Wijmer, S.**, 1990: *Grondwater beneden peil. Verdroging in Nederland*, Den Haag.
- Wilkinson, K., A. Tyler, D. Davidson & I. Grieve** 2006: Quantifying the threat to archaeological sites from the erosion of cultivated soil, *Antiquity* 80, 658-670.
- Wilkinson, M.T., P.J. Richards & G.S. Humphreys** 2009: Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation, *Earth-Science Reviews* 97, 257-272.
- Willems, W.J.H.**, 2008: Archaeological resource management and preservation, *Geoarchaeological and bioarchaeological studies* 10, 283-289.

- Willemse, N.W.**, 2015: *Versnippering van een vindplaats*, Ongepubliceerd manuscript voor het project 'Archeologievriendelijk bouwen' van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (Roorda & Stöver 2016), Weesp.
- Willemse, N.W.**, 2017: *Stedelijke ontwikkeling en bodemdaling in en rondom Gouda: Een synthese van drie onderzoeken naar de relatie tussen (stedelijke) ontwikkelingen en bodemdaling*, Gouda/Amersfoort.
- Willemse, N.W.**, 2019: *Optimale strategieën voor de veldtoetsing van bodembewerkingsdiepten op agrarische percelen: Een theoretische en praktische verkenning*, Weesp (RAAP-rapport 3705).
- Williams, J. & M. Corfield** 2002: Construction impacts on in-situ preservation of archaeological sites and artefacts, in: R. Kozłowski (ed.), *Proceedings of the 5th European Commission Conference on Research for Protection, conservation and Enhancement of Cultural Heritage*, Cracow, Poland, 276-279.
- Winteraeken, H.J. & W.P. Spaan** 2010: A new approach to soil erosion and runoff in South Limburg, The Netherlands, *Land degradation and development* 21, 1-7.
- Witte, J.P.M., J. Runhaar, R. van Ek, D.C.J. van der Hoek, R.P. Bartholomeus, O. Batelaan, P.M. van Bodegom, M.J. Wassen & S.E.A.T.M. van der Zee** 2012: An ecohydrological sketch of climate change impacts on water and natural ecosystems for the Netherlands: bridging the gap between science and society, *Hydrology and earth system science* 16, 3945-3957.
- Witte, J.P.M., W.J. Zaadnoordijk, D.G. Cirkel, I. Leunk & H.F.M. Aarts** 2015: *Grondwateraanvulling en achtergrondverlaging in de provincie Noord-Brabant*, Nieuwegein.
- Wood, W.R. & D.L. Johnson** 1978: A survey of disturbance processes in archaeological site formation, in: M.B. Schiffer (ed.), *Advances in archaeological method and theory* 1, New York, 315-381.
- Wubs, E.R.J., W.H. van der Putten, M. Bosch & T.M. Bezemer** 2016: Natuurherstel door grondtransplantatie: Landschap, *Tijdschrift voor Milieukunde* 33, 11-14.
- Wymenga, E., J. Latour, N. Beemster, D. Bos, N. Bosma, J. Haverkamp, R. Hendriks, G.J. Roerink, G.J. Kasper, J. Roelsma, S. Scholten, P. Wiersma & E. van der Zee** 2015: *Terugkerende muizenplagen in Nederland: Inventarisatie, sturende factoren en beheersing*, Feanwâlden/Wageningen/Leeuwarden/Winschoten (A&W-rapport 2123).
- Zaadnoordijk W.J. & P. Wonink** 1995: Zettingen bij grootschalige ingrepen in de grondwaterstroming, *Stromingen* 1, 17-27.
- Zee, F. van der, R. Bobbink, R. Loeb, M. Wallis de Vries, G. Oostermeijer, S. Luijten & M. de Graaf** 2017: *Naar een actieplan heischrale graslanden: Hoe behouden en herstellen we heischrale graslanden in Nederland?* Wageningen (Alterra-rapport 2812).
- Zoetbrood, P.A.M., C.A.M. van Rooijen, R.C.G.M. Lauwerier, G. van Haaff & E. van As** 2006: *Uit Balans: Wordingsgeschiedenis en analyse van het bestand van wettelijk beschermde archeologische monumenten*, Amersfoort.
- Zwart, K.B., J.J.H. van den Akker, D.W. Bussink, M.J.O.M. de Haas, R.Y. van der Weide, J.G.M. Paauw, W. Saathoff, D. Goense & A.J. Doornbos** 2011: *Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt*, Wageningen (Alterra-rapport 2177).

De betekenissen van onderstaande termen zijn grotendeels afkomstig van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, of anders waar vermeld. Er is niet naar gestreefd de meest gezaghebbende bron te citeren. De vermelde verklaringen en definities in deze publicatie zijn dan ook alleen bedoeld ter oriëntatie.

(An)aerob

In af-/aanwezigheid van lucht (zuurstof).

(Archeologisch) bodemarchief

begrip waarmee bedoeld wordt dat deel van de bodem waarin de sporen (vondsten, bodemsporen, bodemlagen) van menselijke bewoning en omgevingsbeïnvloeding (dus inclusief ecologische resten, sedimentlagen, enz.) zijn achtergebleven. Er is niet altijd sprake van een (meta) stabiele toestand van conservering in dieper gelegen bodemlagen. Ook de agrarische bodembewerkingslagen of ondiepe stadsbodems worden vanwege het archeologische materiaal dat hierin circuleert tot het bodemarchief.

(Archeologische) Monitoring

Het meten en waarnemen van de fysieke conditie van een monument op bepaalde, vooraf vastgestelde aspecten met daartoe geëigende middelen en gedurende een afgesproken periode, met als doel inzicht te verwerven in het fysieke degradatieproces van archeologische monumenten en de effectiviteit van de getroffen maatregelen daartegen.

(Archeologische) vindplaats

Zie archeologisch monument.

Achteruitgang

(van kwaliteit of informatiewaarde) Zie degradatie.

Afwatering

De afvoer van het water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt van het afwateringsgebied.

AMK-terrein

Een behoudenswaardig archeologisch monument dat is opgenomen op een archeologische beleidskaart en veelal planologisch beschermd is (via het bestemmingsplan).

Anorganische resten

Archeologische overblijfselen uit anorganische materialen, bijvoorbeeld metalen, steen en aardewerk.

Antropogeen

Door mensen gemaakt of beïnvloedt.

Aquifer

Watervoerend pakket/bodemlaag die water goed doorlaat.

Archeologisch monument

Terrein dat deel uitmaakt van cultureel erfgoed vanwege de daar aanwezige overblijfselen, voorwerpen of andere sporen van menselijke aanwezigheid in het verleden, met inbegrip van die overblijfselen, voorwerpen en sporen.

Archeologisch rijksmonument

Een archeologisch monument dat is ingeschreven in het rijksmonumentenregister.

Bedreiging (mate van)

Er is in het Protocol Archeologische Monitor (landbodems) versie 4.7 een indeling gemaakt op basis van zichtbare bedreigingen niet tot nauwelijks bedreigd, enig risico of directe bedreiging. Zie verder paragraaf 6.2.

Bedreiging (type)

Een ingreep of natuurlijk proces dat mogelijk leidt tot aantasting van de archeologische resten van (een deel van) het rijksmonument. Een bedreiging kan tot schade leiden.

Beheer

Het treffen van regulier uit te voeren maatregelen op een archeologische monument om er voor te zorgen dat deze in goede staat wordt gebracht of blijft. Beheer is gericht op het behoud van de informatiewaarde en/of belevingswaarde. Het gaat dus om onderhoud.

Beheersmaatregel

Alle regulier te treffen maatregelen op een archeologisch monument om er voor te zorgen dat deze in goede staat wordt gebracht of blijft. Deze maatregel is gericht op het behoud van de informatiewaarde en/of belevingswaarde.

Behouden

Alle maatregelen die gericht zijn om informatie-waarde of belevingswaarde van een archeologisch monument in situ te behouden. Het behoud van de informatie waarde kan echter zowel in situ als ex situ plaatsvinden.

Belevingswaarde

De mate waarin een archeologische vindplaats gewaardeerd wordt om haar schoonheid of als een herinnering aan het verleden.

Biocide

Een mengsel dat één of meer werkzame stoffen bevat, bestemd of aangewend om een schadelijk organisme te vernietigen, af te schrikken, onschadelijk te maken, de effecten daarvan te voorkomen of het op andere wijze langs chemische of biologische weg te bestrijden en dat geen gewasbeschermingsmiddel is (Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden 2007).

Bioturbatie

Het fysiek omwerken/verstoren/vergraven van bodems en sedimenten door dieren of planten. Dit begrip omvat zowel het omwerken van bodems door inname en ontlasting van sedimentkorrels door bodemdieren (wormen) als het ontstaan van graafgangen (mollen) en wortelgangen in het sediment.

Bodemcompartimentering

(van een vindplaats) is een proces in het landschap waarbij de bodems van eerder aaneengesloten archeologische terreinen in de loop van de tijd in kleinere stukken (compartimenten) worden verdeeld. Dit kan het gevolg zijn van grootschalige bouwprojecten met een grote intensiteit en dichtheid van bouwwerken. Maar ook versnijding door verkeerinfrastructuur (verkeer, spoor, water), herverkaveling van agrarisch land (sloten) of aanleg van ondergrondse nutsvoorzieningen kan tot bodemcompartimentering leiden. Belangrijk zijn de fysieke gevolgen voor archeologische terreinen vanwege de eventuele effecten op de (bodem)waterhuishouding en de aansluiting van vindplaatsstratigrafie.

Bodemmilieu

Omstandigheden in de bodem die van invloed zijn op de fysieke toestand van (archeologische) materialen en stoffen in de bodem.

Bodemvariatie

Ruimtelijke variatie van bodemeigenschappen zoals korrelgrootteverdeling, humusgehalte, vochtgehalte, minerale bestanddelen en bodembioïologie.

Bodemvocht

Water dat zich in de onverzadigde zone van de bodem bevindt.

Bouwwerk

Elke constructie van enige omvang van hout, steen, metaal of ander materiaal, die op de plaats van bestemming hetzij direct hetzij indirect met de grond verbonden is, hetzij direct of indirect steun vindt in of op de grond, bedoeld om ter plaatse te functioneren (definitie van 'bouwwerk' in artikel 1.1, eerste lid, van de Modelbouwverordening VNG 1992). Voorbeelden daarvan zijn woongebouwen, kantoorgebouwen, trafo's, windmolens, bruggen, gemalen en andere kunstwerken. Bouwwerken komen zowel binnen als buiten de bebouwde kom voor. Dat laatste wordt ook wel landelijk gebied genoemd.

Capillaire zone

Laag boven het grondwaterspiegel waarin door capillaire (vochtaanzuigende) werking van de poriën een opwaartse waterbeweging is.

Chopperen

Het mechanisch verwijderen van de vegetatie en een deel van de bovenste humuslaag. Het kan worden toegepast tot een humuslaag van 4 cm. Het is een maatregel tussen maaien en plaggen in. De humuslaag wordt bij chopperen niet volledig verwijderd. Het choppermateriaal wordt direct opgezogen en afgevoerd.

Complex

Een verzameling in tijd en ruimte geassocieerde vondsten en/of grondsporen.

Complextype

Interpretatie van een specifieke vondst en/of grondspoor of een groep daarvan, geeft aan in welke systeemcontext (complex) een vondst of grondspoor heeft gefunctioneerd.

Conserveren

Het behandelen van een object en/of zijn omgeving, zodanig dat het natuurlijk verval zo minimaal mogelijk is. Bij deze behandeling is de maximale reversibiliteit het uitgangspunt.

Consolidatie

Het maximaal vertragen of tot stilstand komen van een degradatieproces.

Consolideren

Het treffen van inrichtings- en/of beheersmaatregelen om degradatie zoveel mogelijk te vertragen.

Cultivator

Niet kerend grondbewerkingswerktuig met tanden voor het losmaken van grond. De werkingsdiepte verschilt. Voor de oppervlakkig werkende cultivatoren zie onder triltandcultivator. Dieper werkende vaste-tand cultivatoren (ook woeler, diepwoeler, ondergronder of decompactor genoemd) worden gebruikt om verdichte lagen in de bodem los te maken. Als het bij deze verdichte laag om de ploegzool (zie daar) gaat, blijft de maximale werkingsdiepte gewoonlijk beperkt tot een diepte van 20 tot 40 cm.

Cultuurlaag

Een cultuurlaag ook wel archeologische laag genoemd is een verschijnsel dat met name voor komt in nederzettingsterreinen in holoceen Nederland. Deze laag is ontstaan door vermenigving van bewoningsresten (aardewerk, hout en ander organisch materiaal, in verbrand en onverbrande vorm) met het substraat van het loopvlak. Onder de cultuurlaag is het sporen-niveau meestal goed bewaard gebleven. In een gutsboor is deze te herkennen als een humeuze laag, waarin houtskoolpartikels aanwezig zijn.

Degradatie

(ook verval of achteruitgang) Kwaliteitsverlies van het materiaal of de grondsporen als gevolg van een verandering van de fysische, biologische en chemische eigenschappen van de omgeving.

Diepploeg

Zwaar uitgevoerde kerende ploeg voor een bewerking dieper dan de bouwvoor. De ploegdiepte wordt aangepast aan lokale omstandigheden (wens van de grondgebruiker, diepte storende lagen e.d.) en bedraagt (in uitzonderlijke gevallen) wel twee meter.

Diepspitten

Handmatig diep omspitten. Dit gebeurde onder meer als werkverschaffing in de jaren dertig van de vorige eeuw tijdens de heideontginning maar ook op de Brabantse akkers was diepspitten lange tijd een gangbare manier om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden.

Diepwoeler

(decompactor) Zie onder cultivator.

Differentiële grondbelasting

Verschillen in druk op bepaald niveau in de bodem als gevolg van een bovenliggend grondpakket dat geen constante dikte of gewicht heeft.

Dozer

Vakterm voor bulldozer.

Drainage

Uitstroming van grondwater in drains en/of in het oppervlaktewater.

Drooglegging

Het hoogteverschil tussen het waterpeil in een watergang en het maaiveld.

Dynamisch peilbeheer

Bij dynamisch peilbeheer gaat het vooral om (min of meer) continu anticiperen op de actuele weersomstandigheden en de weersverwachting. Daardoor kan de ingebouwde extra veiligheidsmarge, die bij statisch peilbeheer aanwezig is, worden gereduceerd. Dynamische peilbeheer is dus vooral bedoeld om (extra) berging in het watersysteem te maximaliseren. Het draagt bij aan de berging van water in het watersysteem en dus aan de veiligheid. Op basis van verwachte neerslag wordt de waterstand door het gemaal verlaagd tot een bepaald afgesproken minimum peil, wel zodanig dat sloten niet gaan droogvallen. Bij voorspelde droge periode wordt de waterstand opgezet of aangevuld tot een bepaald afgesproken maximum.

Eg

Een eg bestaat uit een houten (vroeger) of stalen raamwerk met korte circa 7 cm lange tanden die ondiepe voren trekken in de grond. Met een eg wordt de akker klaar gemaakt om in te zaaien. Deze bodembewerking gaat gewoonlijk niet dieper dan de bouwvoor.

Eigenaar

Een natuurlijk persoon of rechtspersoon die het recht van eigendom of een ander zakelijk recht heeft op een archeologisch monument.

Erfpacht

Is een zakelijk recht dat de erfpachter de bevoegdheid geeft iemand anders onroerende zaak (terrein) te gebruiken waarbij de pacht niet eindigt als de verpachter sterft.

Erfpachter

Is een persoon die een onroerende zaak (terrein) in erfpacht heeft.

Erfverpachter

Is de persoon die een onroerende zaak (terrein) in erfpacht geeft aan een erfpachter.

Erosie

Verzamelnaam voor processen die het aardoppervlak aantasten en los materiaal afvoeren. Dit vindt voornamelijk plaats door wind, ijs en stromend water.

Evaporatie

Verdamping van interceptiewater en vanuit de bodem.

Evapotranspiratie

Rekenkundige som van de evaporatie en de transpiratie.

Freatisch niveau

(= grondwaterstand) Het niveau waarop de waterspiegel zich instelt in een boorgat.

Freatisch vlak

(= grondwaterspiegel) Denkbeeldig vlak door de grondwaterstanden van alle puntlocaties van een terrein waarvan de hoogte alleen afhangt van de stijghoogte van de waterkolom

Freatisch grondwater

Vrij grondwater waarin de stijghoogte alleen afhangt van de hoogte van de waterkolom en dat aan de bovenzijde begrensd wordt door een freatisch vlak in een relatief goed doorlatende laag boven een eerste slecht of niet doorlatende laag.

Frees

Een frees wordt gebruikt voor het bewerken van de grond. In tegenstelling tot ploegen vindt er geen kerende grondbewerking plaats, maar wel wordt de grond door elkaar geroerd.

Fysiek beschermen

Het treffen van maatregelen die dienen tot het behoud van archeologische monumenten in situ als bron van kennis en beleving.

Fysieke bescherming

Samenspel van alle maatregelen die dienen tot het behoud van archeologische monumenten in situ als bron van kennis en beleving.

Fysieke maatregelen

Concrete maatregelen die door de eigenaar / grondgebruiker worden uitgevoerd op zijn terrein om schade aan archeologische resten te voorkomen of te stoppen. Dat kunnen eenmalige inrichtingswerkzaamheden zijn, maar ook onderhoudswerkzaamheden (zie beheer).

Gemiddeld Hoogste Grondwater (GHG)

Gemiddelde van HG₃ over een aaneengesloten periode van tenminste 8 jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden.

Gemiddeld Laagste Grondwater (GLG)

Gemiddelde van LG₃ over een aaneengesloten periode van tenminste 8 jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden.

Gewasbeschermingsmiddel

Mengsel met één of meer werkzame stoffen bestemd om te worden gebruikt om planten of plantaardige producten te beschermen tegen alle schadelijke organismen of de werking daarvan te voorkomen; levensprocessen van planten te beïnvloeden, voor zover het niet gaat om voedende stoffen; plantaardige producten te bewaren; ongewenste planten te doden; delen van planten te vernietigen of een ongewenste groei van planten te remmen of te voorkomen. Zie ook: biocide (Wgb 2007).

Grondgebruiker

Een persoon die een terrein in gebruik heeft maar geen eigenaar daarvan hoeft te zijn.

Grondwater

Water beneden het grondoppervlak en beneden de grondwaterspiegel.

Grondwaterspiegel

Zie freatisch vlak.

Grondwaterstand

Zie freatisch niveau.

Grondwatertrap (Gt)

Klasse-indeling van een over een reeks van jaren gemiddelde verloop van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Elke grondwatertrap is een combinatie van een bepaald traject voor de gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) beneden maaiveld. Deze worden gedefinieerd als het rekenkundig gemiddelde van de hoogste drie (HG3), resp. laagste drie (LG3) grondwaterstanden per hydrologisch jaar (1 april – 31 maart) over een reeks van tenminste acht achtereenvolgende jaren. Zie verder tabel 3.1.

Hangwater

Water dat in de poriën van de bovenste bodemlagen wordt vastgehouden en dat niet in contact staat met het grondwater. Het kan wel door een tijdelijk hoge grondwaterstand zijn veroorzaakt. Meestal is het hangwater aangevoerd door regen.

Herinneringswaarde

De herinnering die een archeologisch monument oproept over het verleden.

HG3

Het gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar worden gemeten, uitgaande van een halfmaandelijkse meetfrequentie.

Hydrologie

Wetenschap over het voorkomen, het bewegen en de samenstelling van water op en onder het landoppervlak (MER).

Hydrologisch jaar

Een hydrologisch jaar loopt van 1 april tot 31 maart.

Instandhouden

Alle maatregelen die gericht zijn om de informatiewaarde en/of de belevingswaarde van een archeologisch monument in situ te behouden.

Informatieverlies

Het verlies van archeologische informatie doordat de herkenbaarheid, betekenis of onderlinge samenhang van grondsporen, vondsten en lagen (informatiedragers) in de bodem verloren gaat, waardoor bepaalde aspecten van het verleden niet meer kunnen worden achterhaald. Bedreiging en schade kunnen lokaal/op kleine schaal optreden en hoeven niet, maar kunnen wel, tot informatieverlies leiden.

Informatiewaarde

De betekenis van een archeologisch monument als bron van kennis over het verleden. De informatiewaarde wordt bepaald door de mate waarin een onderzoek op het archeologisch monument een bijdrage kan leveren aan nieuwe kennisvorming over het verleden.

Inrichting

Het treffen van eenmalige maatregelen om (verdere) aantasting van de informatiewaarde van een archeologisch monument te voorkomen of beleving te versterken of te herstellen.

Inrichtingsmaatregel

Alle eenmalig te treffen beschermingsmaatregelen om (verdere) aantasting van de informatiewaarde van een archeologische monument te voorkomen of de beleving te versterken of te herstellen.

Instrument

Een middel.

Integraal waterbeheer

Samenhangend beleid en beheer dat de verschillende overheidsorganen met strategische taken en beheerstaken op het gebied van het waterbeheer voeren in het perspectief van de watersysteembenadering. Hierbij wordt rekening gehouden met zowel de interne functionele samenhang (relaties tussen kwantiteit- en kwaliteitsaspecten van het oppervlakte- en grondwater) als de externe functionele samenhang (de relaties tussen waterbeheer en andere beleidsterreinen als milieubeheer, ruimtelijke ordening en natuurbeheer).

Interceptie

Achterblijven van een deel van de neerslag, als waterfilm of in de vorm van druppels op de vegetatie en/of op voorwerpen.

Inzijging

Het in de bodem wegzakken van het hemelwater.

Kilveren

Met een kilverbak of egalisatiebord in dunne lagen afschaven en opbrengen van de grond om deze vlak te maken. De kilverbak is vaak voorzien van elektronische hulpmiddelen voor een tot op centimeterniveau nauwkeurige hoogtebewerking. Kilveren kan tot gevolg hebben dat het (historisch ontstane) microreliëf van een akker geheel verloren gaat.

Klepelen

Bij klepelen wordt de vegetatie in tegenstelling tot maaien niet afgesneden maar afgeslagen en gekneust met behulp van roterende klepels. Het geklepelde materiaal blijft liggen, wat leidt tot voedselverrijking van de bodem en een laag van halfverteerde plantenresten die tegengaat dat zaden ontkiemen. Zie ook klepelmaaien.

Klepelmaaien

Een klepelmaaier hakt de begroeiing fijn met behulp van roterende klepels of draaiende stalen cilinders. De klepelmaaier kan ook hoog opgaand gewas maaien en heeft geen last van obstakels zoals dikke takken of afval.

Klink

Klink is de volumevermindering als gevolg van rijping van grond. Het proces van rijping veroorzaakt een maaiveldaling. Klink treedt op na het droogvallen van onder water afgezet sediment. Onder water bevat sediment geen tot weinig samenhang, mede veroorzaakt door een verzaanding met water. Na het droogvallen wordt water onttrokken aan het sediment, waardoor een volumevermindering optreedt en samenhang tussen afzonderlijke korrels/aggregaten ontstaat (fysische rijping). De mate van samenhang is afhankelijk van de bodemsoort; bij zand is deze vrijwel afwezig, terwijl bij klei en veen deze relatief groot is. Omdat ook zetting een maaiveldaling veroorzaakt wordt in de praktijk klink en zetting gecombineerd gebruikt terwijl het in feite twee afzonderlijke processen zijn. Klink en zetting zijn theoretische eeuwig doorlopende processen, die echter na verloop van jaren naar een asymptotische waarde lopen. Veelal wordt daarom uitgegaan van een periode van 100 jaar voor klink en 30 jaar voor zettingen.

Kluitenbak

Grijpmechanisme aan graafmachine waarmee een boom in zijn geheel met kluit en al uitgegraven kan worden.

Krimp

Daling van het grondoppervlak door uitdroging van de grond. Vergelijk: rijping, zetting en klink.

Kwel

Naar boven gerichte waterbeweging, resulterende in het uitstroomen van grondwater aan het maaiveld, via drains, via opwellen of via capillaire werking.

Landbouw

Bestuursrecht (agrarisch recht) omschrijft landbouw als: akkerbouw, weidebouw, veehouderij, pluimveehouderij, tuinbouw, de teelt van vriendhout en riet en elke andere tak van bodemcultuur, alsmede - voor de toepassing van enkele wetsartikelen - bosbouw.

LG3

Het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar (z.d.) worden gemeten, uitgaande van een halfmaandelijke meetfrequentie.

Maatregel

Een handeling of ingreep.

Mengploegen

Bij mengploegen werkt men met een keerblad of rister die grondlagen kan mengen. Het bodemprofiel wordt in z'n geheel op z'n kant gezet.

Mengrotor

Machines met een roterend schoepenrad waarmee de grond tot op een diepte van 80-125 cm grof wordt vermengd. Gewoonlijk ontstaat na deze behandeling een gebroekte structuur waarin de oorspronkelijke bodemlagen nog herkenbaar zijn. Deze machines zijn in het verleden vooral gebruikt bij de ontginning van de IJsselmeerpolders en veenkoloniën. Tegenwoordig worden ze soms nog ingezet bij het opheffen van bodemverdichting.

Mengwoeler

Werktuig met een of meer zware, brede tanden voor het tot relatief grote diepte losmaken en mengen van ondergrond en bouwvoor.

Metastabiel

Een metastabiel evenwicht is een toestand die door een kleine wijziging van de omstandigheden verstoord kan worden.

Mineralisatie

Proces waarbij organische verbindingen (plantenresten, afgevallen bladeren, dierresten) in of op de bodem door micro-organismen worden omgezet in anorganische (minerale) verbindingen (zoals nitraat, koolstofdioxide).

Mitigeren

Het verzachten of matigen van ingrepen of effecten.

Monitoren

Het doen van een monitoring.

Monument

Alle gebouwde en aangelegde monumenten ongeacht of deze beschermd zijn.

Natuurlijke degradatie

Kwaliteitsverlies van het materiaal of de grondsporen als gevolg van een verandering van de fysische en chemische eigenschappen van de omgeving door natuurlijke processen of door menselijk handelen in het verleden.

NEBO50

Landsdekkende Nederlandse Bodemkaart, schaal 1:50.000 (vigerende versie PEDOK).

Neerslagoverschot

(= nuttige neerslag, = natuurlijke grondwateraanvulling) Verschil tussen neerslag (minus interceptie) en evapotranspiratie. Indien de evapotranspiratie groter is dan de neerslag dan wordt het verschil aangeduid als neerslagtekort.

Niet-kerende grondbewerkingen (NKG)

Bij niet-kerende grondbewerking wordt de grond niet geploegd, maar enkel losgewerkt waardoor minder verdichte lagen ontstaan, erosie wordt tegengegaan en de bodem onder de bouwvoor niet verder verstoord wordt (als alles goed gaat). Het toepassen van NKG is in Nederland een relatief recente ontwikkeling.

Non-destructief onderzoek

Onderzoek aan een archeologische vindplaats waarbij de vindplaats slechts minimaal verstoord wordt, bijvoorbeeld het nemen van monsters ten behoeve van micromorfologisch onderzoek uit een (brede) gutsboring.

Ondergronder

Pennen onder een ploeg voor het breken van de ploegzool aan de onderzijde van de bouwvoor. Daarnaast worden ook diepwoelers met slechts één ploegelement wel ondergronder genoemd. Deze hebben een aanmerkelijk groter dieptebereik dan de ondergronders onder en ploeg.

Ontwatering

De afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainagebuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen.

Opencapillaire zone

Zone in de bodem boven het niveau van de grondwaterstand, waarin de meeste ruimtes tussen de bodemdeeltjes niet volledig met vocht zijn gevuld door de aanzuigende (capillaire) werking. Alleen in de kleinste ruimte bevindt zich water.

Oxidatie-reductiegrens

Diepte waarop de oxidatie-reductiezone overgaat in de reductiezone in m t.o.v. NAP. Onder deze grens is nog geen zuurstof de bodem binnengedrongen. Boven deze grens heeft wel oxidatie plaats gevonden, hetgeen te zien is aan het voorkomen van oranje/bruine roestvlekken in het sediment (geoxideerde resten). In de reductiezone komen oxidatieverschijnselen niet voor, maar kan wel sprake zijn van sulfides, pyriet, vivianiet en groene roest

Pacht

Een zakelijk recht dat de erfpachter de bevoegdheid geeft iemand anders onroerende zaak (terrein) te gebruiken.

Pachter

De persoon die een onroerende zaak (terrein) in pacht heeft.

PDOK

Publieke Dienstverlening Op de Kaart. Dit is een platform voor het ontsluiten van geodatasets van Nederlandse overheden (www.pdok.nl).

Peilbesluit

Formele vastlegging door waterschap en provincie van de na te streven waterpeilen.

Peilvak

Een gebied waarin één en hetzelfde waterpeil wordt nagestreefd. In het WBPz ook peilgebieden genoemd (CHO).

pH

(=zuurgraad) Grootheid die aangeeft of een waterige oplossing zuur (< 7), basisch (> 7) of neutraal (= 7) is.

Ploegzool

Dat is de verdichting onder in de bouwvoor die kan ontstaan door het telkens op dezelfde diepte ploegen. Een verdichte ploegzool is nadelig voor de gewassen. Vaak wordt deze laag ieder paar jaar gebroken met een cultivator, diepwoeler of decompactator.

Redoxpotentiaal (Eh)

Grootheid waarmee wordt aangegeven in welke mate elektronen beschikbaar zijn voor redoxreacties. Of anders gezegd een maat voor de kracht waarmee het grondwater bijvoorbeeld organische stof kan oxideren.

Redoxreactie

Reactie waarbij elektronenoverdracht plaatsvindt tussen twee of meer stoffen. Het deelproces waarbij de ene stof zijn elektronen ontvangt wordt reductie genoemd; het deelproces waarbij de andere stof elektronen afstaat oxidatie.

Restauratie

Het geheel van handelingen aan een beschadigd of gedeeltelijk verloren gegaan bouwkundig of archeologisch relict of object met het doel deze terug te brengen in een vooraf gedefinieerde toestand.

Restaureren

Het herstellen van een beschadigd of gedeeltelijk verloren gegaan bouwkundig of archeologisch relict of object met het doel deze terug te brengen in een vooraf gedefinieerde toestand.

Restwaarde

Zie informatiewaarde.

Retentie

Vertraging van het massatransport van stoffen in de bodem ten opzichte van de stroomsnelheid van water.

Rijksmonument

Een monument of archeologisch monument dat is ingeschreven in het rijksmonumentenregister. Een archeologisch rijksmonument kan uit meerdere AMK-terreinen bestaan.

Rijping

Bij de klink moet ook de term 'rijping' worden betrokken. Klink is in feite alleen volumevermindering, oftewel de maaiveldaling hetgeen het gevolg is van de rijping van de grond. Deze rijping kan worden onderverdeeld in fysische rijping (het uittreden van niet-gebonden water tussen de korrels); chemische rijping (de omzettingprocessen, die optreden door de blootstelling aan lucht, waarbij tevens aan of in de korrels gebonden water vrijkomt. Tevens worden daarbij organische stoffen geoxideerd, waardoor bijvoorbeeld veengrond zeer sterk in volume afneemt); biologische rijping (de processen die optreden als gevolg van het ontstaan van biologisch leven in de grond, bioturbatie, het onttrekken van water door vegetatie).

Schade

Aantasting van de fysieke kwaliteit (gaafheid en conservering) van archeologische resten van (een deel van) het rijksmonument. Schade kan tot informatieverlies leiden.

Schoonheid

De esthetisch-landschappelijke waarde van een archeologisch monument, die vooral in zichtbaarheid tot uiting komt.

Schouwen

Het periodiek visueel, dan wel met eenvoudige hulpmiddelen, waarnemen van de conditie van een archeologisch monument.

Spitmachine

Twee typen 1. krukasspitmachine. Kerende en mengende incidentele bodembewerking als alternatief voor ploegen. Gaat gewoonlijk niet dieper dan de bouwvoor (25-30 cm). Door middel van een spittende beweging wordt de grond opengebroken. 2. roterende spitmachine of roterende spitfrees. Mengende en deels kerende incidentele bodembewerking met draaiende spitbladen zonder spittende beweging. Als alternatief voor ploegen. Gewoonlijk niet dieper dan de bouwvoor.

Stijghoogte

Het niveau tot waar het water in een peilbuis stijgt. In het geval van freatisch water komt de stijghoogte overeen met de grondwaterstand.

Streefpeil

Het na te streven oppervlaktewaterpeil bij bepaalde vastgestelde situaties.

Stroomgebied

Gebied dat afwatert op eenzelfde oppervlaktewater.

Sulfidegehalte archeologisch niveau

De aanwezigheid van sulfides op het niveau waar zich de sporen en/of vondsten bevinden die gerekend kunnen worden tot het complex. De aanwezigheid van sulfide kan vastgesteld worden als een zwavelgeur (rotte-eierengeur) en dient onder de redox-grens bepaald te worden door middel van een 10% HCL oplossing.

Sulfidegrens

Minimale diepte in m t.o.v. NAP waarop de bodem sulfides bevat. Deze grens kan vastgesteld worden als een zwavelgeur (rotte-eierengeur) en kan onder de redox-grens bepaald worden door middel van een 10% HCL oplossing.

Tafonomie

Studie van het lot van organismen na hun dood.

Tandeg

Een eg met lange tanden voor diepere grondbewerking dan met de gewone eg.

Taxa

(enkelvoud: taxon) Groepen organismes die geacht worden onderscheiden eenheden te vormen, zoals soorten of families. Meestal hebben taxa namen.

Teeltlaag

Bovenste 10-15 cm van de bouwvoor waarin de meeste gewassen wortelen. Gewoonlijk intensief bewerkt en geheel gehomogeniseerd.

Transpiratie

Verdamping van water uit levende organismen.

Tritandcultivator

Cultivator met verende kromme tanden. Deze bodembewerking gaat gewoonlijk niet dieper dan de teeltlaag.

Tuinbouw

Het op commerciële basis op intensieve wijze telen van groenten, paddenstoelen, fruit, bloemen, planten, bomen, bollen of zaden. Zowel op de volle grond als in kassen. Hieronder valt dus ook fruitteelt en teelt van bomen.

Verdroging (natuur)

Alle onbedoelde effecten als gevolg van de daling van de grondwaterstand op bos, natuur en landschap, zowel als gevolg van vochttekort als van mineralisatie en verandering in de invloed van kwel en neerslag. Een gebied met een natuurfunctie wordt ook als verdroogd aangemerkt als ter compensatie van een te lage grondwaterstand water van onvoldoende kwaliteit moet worden aangevoerd. Met verdrogingsbestrijding wordt bedoeld de activiteiten die ten doel hebben deze verdroging tegen te gaan.

Versnippering

(van een vindplaats) is een proces in het landschap waarbij eerder aaneengesloten archeologische terreinen of cultuurhistorische structuren in de loop van de tijd in kleinere stukken worden verdeeld. Dit kan het gevolg zijn van grootschalige bouwprojecten met een grote intensiteit en dichtheid van bouwwerken (zie ook: bodemcompartimentering). Belangrijk is dat versnippering naast de fysieke gevolgen (voor archeologische terreinen) vaak ook juridische consequenties heeft. Dat geldt met name voor de versnippering van een aaneengesloten areaal in kleine kavels met verschillende eigenaren.

Verstorende vegetatie

Vegetatie die door wortelwerking tot verstoring van de archeologie leidt of zal gaan leiden. Betreft bomen, struiken en halofyten zoals riet.

Visuele inspectie

Het visueel, dan wel met eenvoudige hulpmiddelen, waarnemen van de conditie van een archeologisch monument.

Volcapillaire zone

Zone in de bodem direct boven het niveau van de grondwaterstand, waarin bijna alle ruimtes tussen de bodemdeeltjes met vocht zijn gevuld door de aanzuigende (capillaire) werking.

Waterbalans

De vergelijking van de hoeveelheden water betrokken bij toevoer, afvoer, onttrekking en verandering in berging over een bepaalde periode en binnen een gegeven gebied.

Waterconservering

Het beperken of voorkomen van waterafvoer teneinde in droge perioden watertekorten te beperken of te voorkomen.

Woeler

Werktuig met een of meer werkende delen waarmee de grond onder de bouwvoor wordt losgemaakt, vaak bestaande uit lange tanden aan een balk die door de grond getrokken worden.

Wortelopdruk

Het opdrukken of wegdrücken van oppervlakteverharding, muurwerk of andere constructiedelen en lagen aan of in de bodem door de diktegroei van wortels waardoor schade kan ontstaan.

Zetting

Zetting is het proces dat grond samendrukt als gevolg van belasting. Door de belasting worden water en lucht uit de poriën geperst. Deze belasting kan zowel een ophoging zijn, als een bouwwerk. Omdat ook klink een maaiveld daling veroorzaakt worden in de praktijk klink en zetting gecombineerd gebruikt terwijl het in feite twee afzonderlijke processen zijn. Klink en zetting zijn theoretisch eeuwig doorgaande processen, die echter na verloop van jaren naar een asymptotische waarde lopen. Veelal wordt daarom uitgegaan van een periode van 100 jaar voor klink en 30 jaar voor zettingen.



In 'Beschermd maar Kwetsbaar' wordt een overzicht gegeven van de fysieke bedreigingen die schade aan de archeologische rijksmonumenten op land kunnen veroorzaken. Ook wordt antwoord gegeven op de vraag wat we verstaan onder 'schade' en wat we kunnen doen om de risico's van deze fysieke dreigingen in te perken. De laatste jaren is daar veel onderzoek naar gedaan en er is veel praktische kennis verzameld. Een naslagwerk en bronnenoverzicht met informatie over fysieke bedreigingen en instandhoudingsmaatregelen was er echter nog niet en de verschillende publicaties zijn niet zonder meer makkelijk te vinden. Deze publicatie ontsluit een deel van deze kennis en biedt daarnaast aanknopingspunten voor verdieping en verder lezen.

Dit wetenschappelijke rapport is bestemd voor archeologen, andere professionals en liefhebbers die zich bezighouden met archeologie.

Met kennis en advies geeft de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed de toekomst een verleden.