

NN31545.1414

A 1414 I

maart 1983

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

VERKENNEND ONDERZOEK NAAR SOORT FUNDERINGEN, POLDERPEILVERLOOP,
GEBOUWZAKKING EN AANTASTING FUNDATIES IN WATERLAND

ing. H.M.J. Hermsen

ir. D. Boels

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking



22 JULI 1983

JSN 107188 - 01

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. AANGETROFFEN FUNDERINGEN	2
3. AANTASTING FUNDERINGS ELEMENTEN	7
3.1. Mechanisme van aantasting	7
3.2. Resultaten microscopisch houtonderzoek	10
3.3. Conclusies en bevindingen	13
4. LABORATORIUM EXPERIMENT MET PAALROT	16
4.1. Opzet	16
4.2. Resultaten	17
4.3. Conclusies	20
5. REDOXPOTENTIALEN IN NATUURLIJKE OMSTANDIGHEDEN	20
5.1. Algemeen	20
5.2. Resultaten	21
6. PRINCIPES VAN MAATREGELEN TER VOORKOMING OF TER BESTRIJDING VAN AANTASTING VAN FUNDERINGEN	23
6.1. Algemeen	23
6.2. Beperking zuurstof diffusie	23
6.3. Vergiftiging/verslechtering groeimilieu voor micro-organismen	25
7. LITERATUUR	27

1. INLEIDING

Op verzoek van de Landinrichtingsdienst en de Provincie Noord-Holland (Provinciale Waterstaat) voert het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding een onderzoek uit naar de samenhang tussen polderpeilverlaging en schade aan gebouwen.

Een van de schade-oorzaken kan zijn een teruggang in de sterkte van houten funderingselementen door microbiologische aantasting.

Het is aannemelijk dat deze aantastingen optreden in milieus die regelmatig gedurende kortere of langere tijd aeroob zijn. Om te kunnen vaststellen of schade van het hier bedoelde type zal optreden moet bekend zijn of er ter hoogte van de funderingselementen, aerobe situaties optreden. Inzicht is derhalve nodig in het verloop van de grondwaterspiegel, de mate van aerobie boven de grondwaterspiegel, de minimale condities voor microbiologische activiteiten en de hoogtes waarop funderingselementen in de bodem voorkomen.

Verkennde besprekingen met de Gemeentelijke Technische Dienst Kring Monnickendam, leerden dat van gebouwen die voor 1950 zijn gebouwd geen informatie beschikbaar is over de soort funderingen en aanleghoogtes. Daarom zijn van een aantal geselecteerde oude gebouwen deze gegevens door opgraving bepaald, tevens is daarbij de mate van aantasting beoordeeld door ir. H. van Uchelen.

Redox potentiaal metingen in het veld zijn uitgevoerd om de mate van anaerobie in de bodem boven de grondwaterspiegel te meten. Een laboratorium experiment is uitgevoerd om een indicatie te krijgen van groeisnelheden van micro-organismen en in de omstandigheden waaronder nog groei mogelijk is (redoxpotentiaal metingen).

Tot slot zijn nog een aantal principiële mogelijkheden geïnventariseerd om micro-biologische activiteiten te remmen of volledig te stoppen, dan wel te voorkomen.

2. AANGETROFFEN FUNDERINGEN

Met een aantal architectenbureau's en een ter plaatse van Broek in Waterland bekende aannemer zijn gesprekken gevoerd om aanwijzingen te krijgen van welke oude gebouwen funderingen zouden worden opgegraven. De geselecteerde gebouwen zijn in tabel 1 genoemd.

Tabel 1. Gebouwen waarvan funderingen zijn opgegraven

Plaats	Straat	Soort pand	Bouwperiode
Broek in Waterland	'Neeltje Pater'	hout, stenen voet	19e eeuw
"	Havenrak 23	hout, stenen voet	17e eeuw
"	Kerkplein 2	hout, stenen voet	17e eeuw
"	Molengouw 46	stolpboerderij	19e eeuw
Monnickendam	Wezenland 16	weeshuis, steen	midden 18e eeuw
Ilpendam		N.H. kerk, steen	deels 13e eeuw deels 16e eeuw

Van elk gebouw is door FUGRO de fundering opgemeten en in tekening gebracht. Voorts zijn hoogtemetingen verricht van de fundering en andere kenmerken van de panden ten opzichte van NAP. De resultaten zijn vastgelegd in het FUGRO rapport nr. C-6178.

In fig. 1 zijn de doorsneden van de aangetroffen fundaties schematisch weergegeven.

De houten huizen komen in de omgeving van Broek in Waterland voor. Meestal zijn het gedeelten van vroeger veel grotere woningen die om de een of andere reden deels zijn afgebroken. De huizen zijn gebouwd in de 16e, 17e en 18e eeuw. Vele zijn in de loop der jaren gerestaureerd.

Er is een onderscheid te maken in 1, 2 en 3-beuk bouwwerken (fig. 2). De 3-beuk vertoont overeenkomsten met de stolpboerderij. De stijlen worden zwaarder belast dan de buitenmuren, de fundering is vaak ook anders. De buitenmuren hebben oorspronkelijk een aanlegdiepte van 0,4 m -mv. In latere tijd en bij restauratie is de aanlegdiepte tot de vorstgrens verlaagd. De penanten waarop de stijlen rusten zijn dieper aangelegd en soms onderheid.

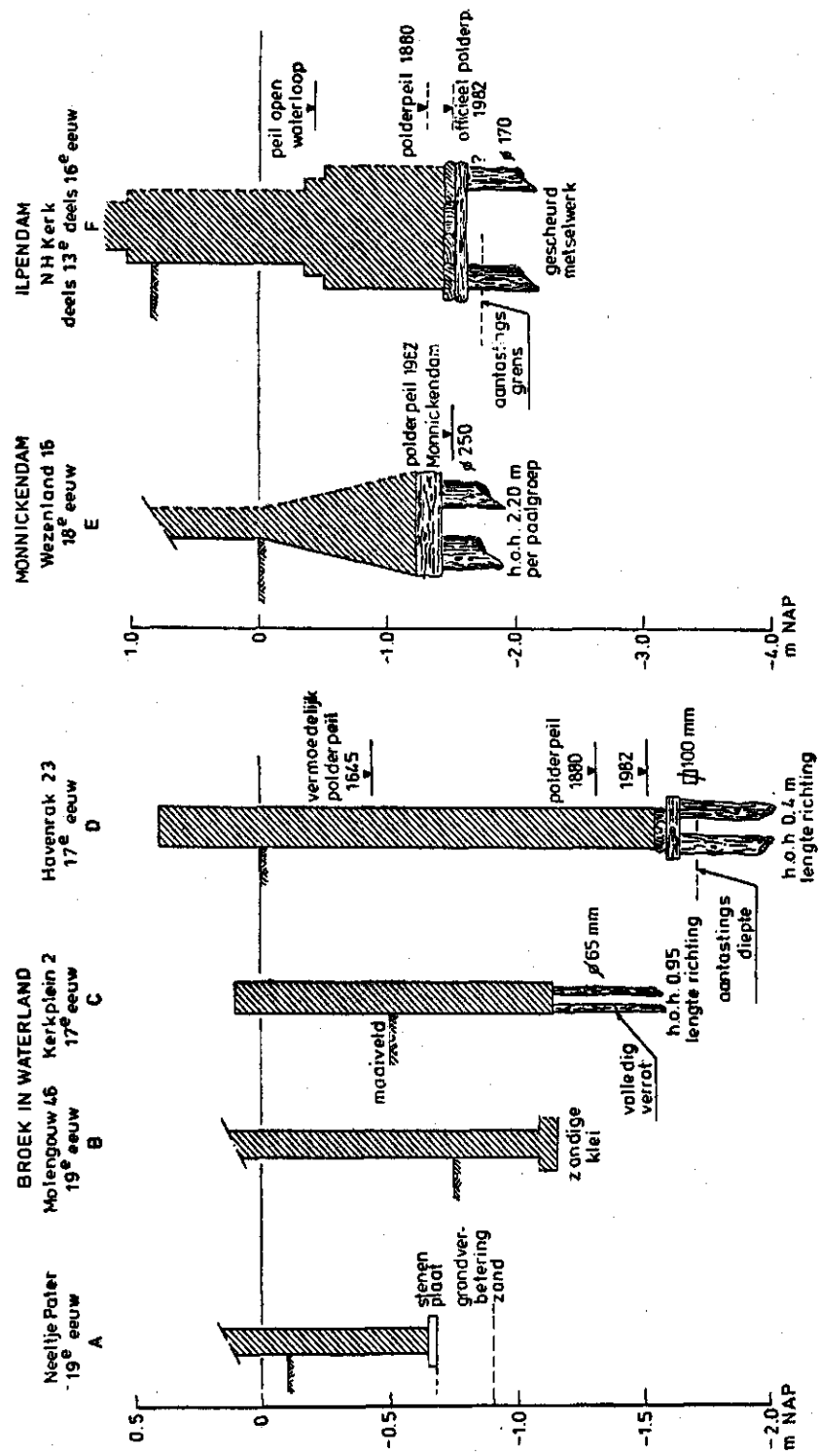
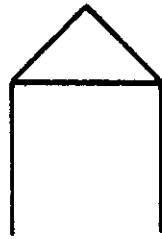
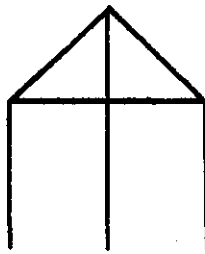


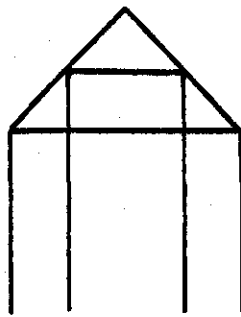
Fig. 1. Aangetroffen funderingen in Waterland



1 beuk



2 beuk



3 beuk

Fig. 2. Schematisch overzicht van 1, 2 en 3-beuk woningen

De schoorsteen, in steen uitgevoerd, is altijd onderheid. 'Rijkere' oude huizen zijn vaak onder de buitenmuren onderheid. Bij de 1-beuk huizen is dit ook vaak het geval.

Stolpboerderijen komen overal voor. Een groot deel van het gewicht van het bouwwerk wordt overgebracht door de stijlen van het vierkant op de penanten (of poeren) in de grond. Deze zijn op slecht draagkrachtige grond onderheid. De muren bezitten een strokenfundering en hebben soms een paalfundering.

Houten funderingen werden aangelegd op het zogenaamde zaagpeil. Als vuistregel voor dit peil wordt circa 0,25 m onder het plaatselijk peil aangehouden. In Waterland is het plaatselijk peil het polderpeil.

Dit peil is gedurende een reeks van jaren regelmatig verlaagd. In fig. 3 is het verloop van dit peil weergegeven. Ter vergelijking is ook het peilverloop van Zegveldbroek weergegeven. Het maaiveldsverloop van deze polder is eveneens weergegeven (SCHOTHORST, 1977).

De noodzaak van de peilverlaging ontstaat doordat aan maaiveld het veen oxideert door microbiologische activiteit. Het maaiveld daalt daardoor en de grond wordt allengs drasser. Om de grond blijvend voor de landbouw te kunnen gebruiken is regelmatige aanpassing van het polderpeil dan ook noodzakelijk gebleken.

Voor Waterland wordt aangenomen dat het peil in 1650 circa -0,45 m NAP was. Dit zou betekenen dat de aanleghoogtes van panden uit de 17e eeuw minstens -0,70 m NAP moeten zijn, uit de 18e eeuw minstens -1,10 m en uit de 19e eeuw minstens -1,45 m NAP moeten zijn geweest.

Het weeshuis in Monnickendam lijkt aan deze vuistregel te voldoen. Bij de overige panden blijkt de aanleghoogte dieper te zijn. Veiligheidsoverwegingen kunnen hiervoor redenen zijn geweest.

Bedacht dient echter te worden dat gebouwen in de loop der tijd ook zakken. Zakking kan worden nagegaan van gebouwen en kunstwerken waarin bouten als peilmerken zijn aangebracht. De hoogte van deze bouten wordt regelmatig gemeten. Voor het gebied Waterland heeft de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat te Delft een aantal objecten geselecteerd. Het hoogteverloop is in tabel 2 weergegeven.

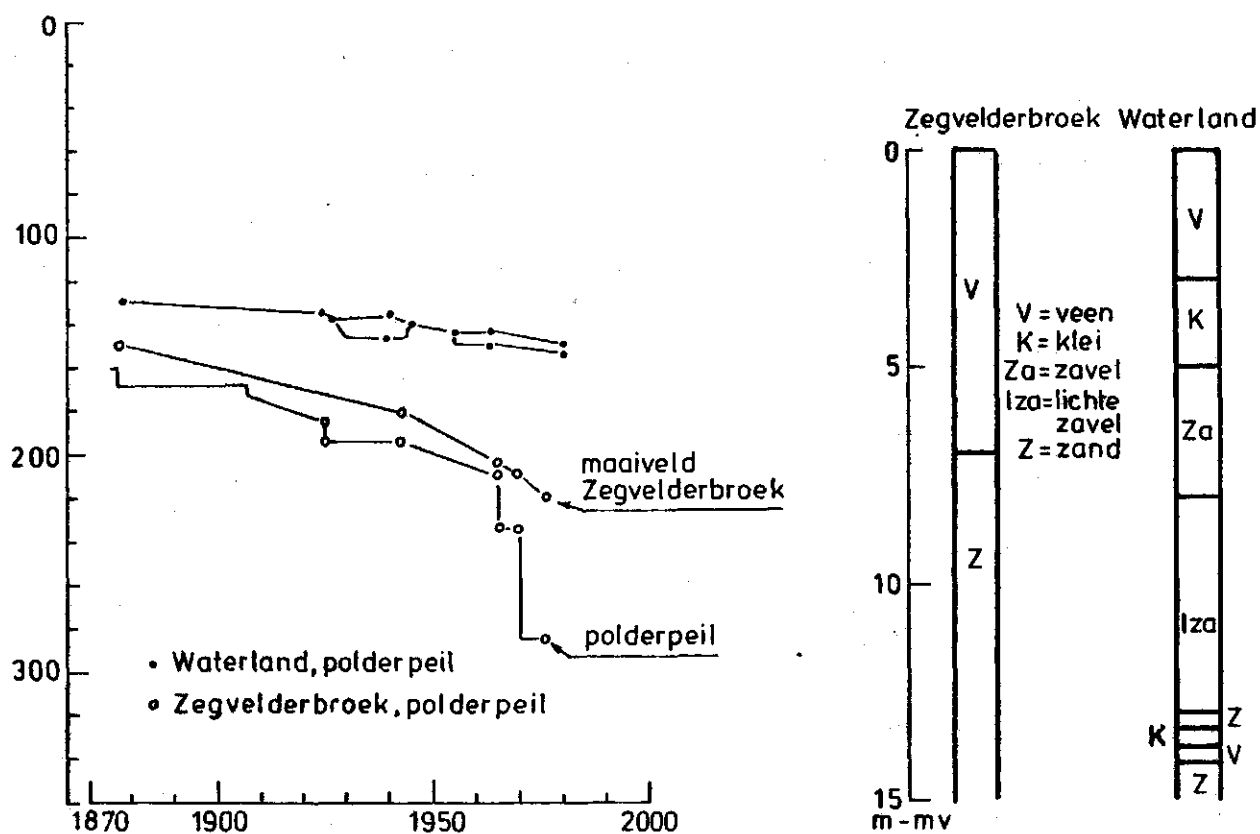


Fig. 3. Verloop van polderpeil in Waterland en Zegvelderbroek

Tabel 2. Zakking van enkele objecten in Waterland

Object MD-code	Omschrijving	Tijdsduur (jaren)	Zakking (mm)
025F0017	H.K. Marken (1933-1975)	42	34
025F0015	Toren H.K. Monnickendam, steunbeer ('33-'77)	44	43
025F0003	Huis, Dorpsweg 3, Holysloot (1928-1977)	49	14
025E0143	Werkplaats smederij, Dorpstr.59, Ilpendam (1938-1977)	49	49
025E0142	Huis, Havenpad 4, Ilpendam (1929-1977)	48	35
025E0125	Huis, Wagengouw 106, (vlakbij Broek in Waterland) (1928-1977)	49	33
025E0119	Boerderij Johanneshoeve, Belmermeer 5 ('28-'77)	49	nihil
025E0105	Huis Bloemendalergouw 71 (1928-1977) (tussen Ransdorp en Holysloot)	49	8
025E0103	Buikslotermeerdijk (1928-1977)	49	19
025E0012	vervallen, omg. Centr.Station A'dam (1876-1943)	67	28

Uit tabel 2 blijkt, dat er geen sprake is van zakking in de droogmakerij Belmermeer (object 025E0119). Echter wel in Waterland. Globaal genomen lijkt een polderpeilverlaging van circa 2,8 mm per jaar te resulteren in een gebouwzetting van circa 0,3 - 1,0 mm per jaar.

3. AANTASTING FUNDERINGS ELEMENTEN

3.1. Mechanisme van aantasting

Hout bestaat overwegend uit cellulose (40-60%), lignine (bij coniferen 27-33%, bij loofhout 22%) en overige koolhydraten (20%). Hout is in feite een groot aantal dode cellen. Cellen ontstaan in levend weefsel, waarin aanvankelijk de celwanden dun zijn en er zich in de cel nog het levend protoplasma bevindt. In het protoplasma worden stoffen gevormd die in de celwand de lignine of houtstof vormen. Op de celwanden worden lagen afgezet die vrijwel geen lignine bevatten. Deze zogenaamde secundaire en tertiaire lagen verlenen het hout zijn sterkte. De oorspronkelijke celwand met daarin het gevormde lignine omhult als het ware de later afgezette lagen cellulose en andere koolhydraten. In de cellen en in de intercellulaire holten afgezette kleur- en looistoffen verlenen oud hout zijn karakteristieke kleur en leveren waarschijnlijk een bijdrage aan de houtconservering. Tussen cellen onderling bevindt zich een zogenaamde middenlamel waarmee de cellen als het ware aan elkaar zijn gekit (fig. 4). Naarmate een cel groeit neemt de hoeveelheid protoplasma af. De houtcel gaat uiteindelijk dood.

Hout kan door microorganismen worden aangetast. Deze organismen kunnen slechts van buiten af in het hout dringen. De lignine in de primaire wand vormt echter een barriere tegen aantasting van de cellulose in de cel.

Afbraak (enzymatische-) van lignine is niet aangetoond. Wel blijkt uit onderzoek van LEVI en PRESTON (1966) dat sommige schimmels methonyl groepen ($-OCH_3$) van het lignine complex afhaken waardoor de structuur ervan verandert. Daardoor zouden de cellulose fibrillen (secundaire celwanden) beter kunnen worden aangetast door het enzym cellulase dat door andere binnendringende schimmels wordt geproduceerd.

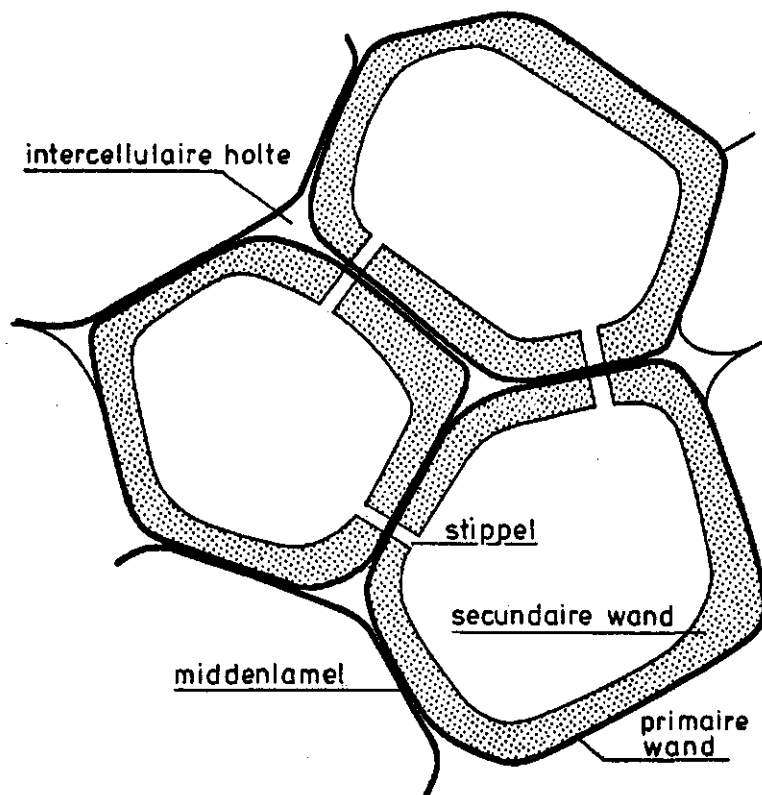


Fig. 4. Schematische dwarsdoorsnede door houtcellen

Een aantal schimmels en vooral de houtrotsoorten, produceren verschillende cellulose oplossende enzymen. De houtaantastende basidiomyceet Polyporus Versicolor blijkt er een vijftal verschillende enzymen met ieder hun specifieke werking, te produceren. Zo hydroliseert een van die enzymen, een β -glucosidase, overwegend oligosacchariden, een ander enzym is vooral actief tegen glucoside bindingen van polysaccharide ketens. Enzymen met een relatief gering molecuulgewicht splitsen de lange ketens van polysacchariden. Die met een relatief hoog molecuulgewicht breken oligosacchariden af tot glucose (PETTERSON, COWLING en PORATH, 1963; PETTERSON en PORATH, 1963).

Een uitvoerige bespreking van cellulose afbraak geeft REESE (1963). Lignine decompositie wordt besproken door FREUNDENBERG (1955), LAWSON en STILL (1957) en SCHUBERT en NORD (1957).

Aantasting van hout door bacteriën is aangetoond door LEESE (1950).

Voorts zij nog vermeld dat sommige schimmels de celinhoud aantasten. Dit gebeurt door zogenaamde blauwschimmels. Deze laatste doen de sterkte van hout niet noemenswaardig verminderen. Aantastingen die de cellulose doen verdwijnen hebben echter grote, nadelige invloed op de houtsterkte.

Naar hun voorkomen worden verschillende soorten rot onderscheiden.

Zo wordt een aantasting door Basidiomyceten (macro schimmels) die het hout een roodachtig bruine kleur geeft brown-rot genoemd. Bij deze soort rot komen vaak kringscheuren voor, zowel evenwijdig als loodrecht op de nerf richting. De structuur lijkt veel op verbrand hout. Sterk aangetast hout kan gemakkelijk met de hand tot poeder worden gewreven. De brown-rot schimmels tasten voornamelijk cellulose aan.

Een andere soort rot, eveneens veroorzaakt door Basidiomyceten, wordt naar zijn kleur white-rot genoemd. Aangetast hout is witter dan het niet aangetaste. Door white-rot aangetast hout is niet tot poeder te wrijven, maar valt daarbij echter in vezels uiteen. Schimmels van dit type tasten zowel lignine als cellulose aan.

Softrot wordt veroorzaakt door ascomyceten en de fungi-imperfecti (micro-schimmels). Bij deze soort rot wordt overwegend cellulose aangetast. Softrot komt meestal oppervlakkig voor en dan nog daar waar de groeivoorwaarden voor de basidiomyceten slecht zijn (SAVORY, 1954). Zacht hout, dat relatief een hoog lignine gehalte heeft wordt door softrot verwekkende organismen minder aangetast dan harde houtsoorten met relatief veel cellulose.

Houtrot, veroorzaakt door bacteriën lijkt veel op softrot die door schimmels is veroorzaakt. Men kan derhalve ook spreken van softrot door bacteriën.

Het al dan niet optreden van houtrot hangt af van de groeivoorwaarden voor de micro-organismen. De vochtcondities spelen een belangrijke rol. Zo wordt droog hout, met een vochtgehalte van 20% of minder niet aangetast. Evenmin vindt aantasting plaats bij heel hoog vochtgehalte.

De temperatuur is van belang. Minimum temperaturen waarbij groei nog mogelijk is liggen tussen 3 en 4°C. Optimale temperaturen liggen tussen 20 en 30°C, terwijl maximum temperaturen liggen tussen 28 en 40°C. Micro-organismen gaan buiten het temperatuurtraject waarin ze groeien, niet dood. Evenmin gebeurt dit wanneer hout te droog mocht worden.

Wanneer er onvoldoende zuurstof is zullen organische producten als alcohol en oxaalzuur ontstaan. Bij afwezigheid van zuurstof kan echter geen enkele schimmel groeien. Houtaantasting door softrot schimmels gebeurt vaak onder erg natte condities. In dit soort situaties, wordt de in water opgeloste zuurstof onttrokken. (KOLLMAN en Côte, 1968).

Bacteriën kunnen bij een nog lagere spanning werken (zie hoofdstuk redox potentiaal metingen). Het is niet onwaarschijnlijk dat deze organismen zuurstof verkrijgen door het reduceren van nitraten tot nitrieten.

Voor hun groei hebben schimmels een stikstof bron nodig. Hout bevat echter slechts 0,01 tot 0,03% stikstof, zodat uitbundige schimmelgroei op hout alleen daarom niet voorkomt. Toevoegen van stikstofverbindingen, bijvoorbeeld kunstmest, doet de groei van schimmels in dat geval versnellen. (EENKHOORN c.s., de Houtwereld, 9 september 1980).

De optimale pH ligt tussen de 4,5 en 5,5 zowel voor brown- als voor white-rot. Verhoging of verlaging van de pH zal de groei van de schimmels vertragen (KOLLMAN, 1968).

3.2. R e s u l t a t e n m i c r o s c o p i s c h h o u t - o n d e r z o e k

Kerkplein 2, Broek in Waterland

Dit pand heeft een gemetselde fundering waaronder een dubbele houten palenrij. Zowel de palen als het langshout zijn geheel verrot door bacteriën, later versneld door macroschimmels. In dit geval zijn door vergrote zuurstoftoetreding macroschimmels actief geweest (zie redox pot. metingen). Van de houten palen is geen draagkracht meer te verwachten.

Het metselwerk is in minder goede staat, doch door de grote flexibiliteit van zowel metselwerk als houtconstructie is er geen schade ontstaan door houtrot. De fundering is nu te classificeren als een fundering op staal.

Havenrak 23, Broek in Waterland

Deze rijke houten woning heeft een echte diepe gemetselde fundering op dubbele palenrij, voorzien van langshout. Het huis vertoont geen scheuren die wijzen op verzakkingen.

Het grenen stophout is aan de zijkanten zwaar aangetast door bacteriën wel tot 4 cm diepte. Op het oppervlak zitten wat macroschimmels maar die doen niet mee, microschimmels idem.

De paaltjes zijn oppervlakkig geheel verrot tot een diepte van 1 tot 1,5 cm. Daarbinnen nog vrij hard. Deze vierkant gezaagde paaltjes hebben vergeleken met een normale paal een relatief geringe doorsnede aan de kop, en zijn dus gevoelig voor aantasting. Daarentegen bevatten ze waarschijnlijk veel kernhout dat het wat langer volhoudt door ondoorlatendheid.

Het metselwerk is in verticale zin gebogen. Zo te zien zou de fundatie het onder gelijkblijvende omstandigheden nog wel een hele tijd uithouden. Tenzij de toestand van de andere palen veel slechter is.

Weeshuis, Monnickendam

Dit zware stenen gebouw heeft een fundering op houten palen en staat scheef. Waarschijnlijk zijn er veel verbouwingen gedaan. Palen staan in groepen van 2. Het langshout van eiken heeft oppervlakkige softrot tot een diepte van niet meer dan 1 cm. Daarbinnen is het volkomen gaaf. De elzenpalen zijn in slechte toestand. Een paal steekt boven de fundatie uit en is geheel verrot.

Het metselwerk is in slechte staat, houten palen zijn door het keshout en in de gemetselde fundering gedrukt. Constructief een slechte fundering en scheuren in de achtergevel.

N.H. Kerk, Ilpendam

Dit gebouw is eveneens een zwaar stenen gebouw op vuren palen waarover grenen kespen en langshout. De kespen zijn niet ingeknepen. De zijkant van het grenen l a n g s h o u t is vrij sterk aangetast, vooral het zomerhout. Een akelige eigenschap van grenen is dat het zomerhout in het spint veel eerder verrot is dan het voorjaarshout.

Dat gaat hier wel 3,5 cm diep. Er zit ook een macroschimmel in dat grenen spint, maar die is ouder dan de Kerk.

Bovenop is het langshout veel minder aangetast. Dit blijkt een overgang naar kernhout. Bovendien zit daar nog drukhout. Ook in de k e s p zit een oude macroschimmel, morsdood. Het voorjaarshout is hier 1 tot 2 cm rot, het zomerhout 2 tot 3 cm. Dit betreft het spint dat er grotendeels is afgezaagd.

De vurenpaal is oppervlakkig flink rot. Op 18 mm diepte zitten nog wat vrij gave tracheïden. Gerekend zou kunnen worden dat 15 mm van de buitenkant weg is. Dit is kennelijk geen probleem maar toch een grote aanslag op de doorsnede. Een volgende gelijke aanslag op de doorsnede is wel erg. Als de Kerk anderhalf maal zo oud is als nu zijn de palen niet best meer. Daarbij komt altijd nog het grote gevaar van plaatselijke ongunstige afwijkingen van deze steekproef.

Onder de steunberen blijken elzenpalen te zitten die met de koppen 10 cm hoger staan dan de vuren palen onder de langsgevel. Deze elzenpalen zijn ernstiger aangetast dan de vuren palen. Het hout is tot een diepte van 25 tot 30 mm rot waarbij op 20 mm diepte nog niet alle vezels weg zijn. Gerekend kan worden dat een schil van 20 mm zijn draagvermogen kwijt is. Dat is het geval over zeker 20 cm hoogte bij de kop. Dat is een zware aanslag. De veiligheid wordt wel sterk aangetast. Misschien is die hoog geweest. Het metselwerk is gescheurd.

Kerk, Watergang

Dit is een oude kerk met brede scheuren nabij de voorgevel. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door het plaatsen van een orgel en het daarbij slopen van metselwerk penanten. Het lijkt meer aannemelijk dat de fundatie van vuren palen ernstig aan het rotten is omdat ze reeds lang boven water staan.

Een paal aan de achtergevel lijkt nog vrij draagkrachtig en niet in gevaar door schimmelaantasting. De bast zit nog op de vuren paal. Microscopisch onderzoek toont aan dat de paal vroeger onder water omstreeks 1,5 cm diep door bacteriën is weggevreten. De bast inbegrepen. Er zitten veel harde zwarte afzettingen in de harsgangen.

Blijkbaar vormen deze met de achtergebleven lignine een barrière tegen organismen. De boel is oppervlakkig zo uitgevreten dat geen enkel organisme er nog aan wil beginnen. Ook oppervlakkig verkoolde palen vertonen iets dergelijks.

Dat neemt niet weg dat de paal vol met zuurstof zit en er volgens de microscoop hyphae van macroschimmels naar binnen dringen. De situatie vraagt om een explosie van macroschimmels, die de paal zeer snel kunnen verwoesten.

Neeltje Pater, Molengouw 46, Broek in Waterland

Beide panden hebben een fundering op staal.

Het pand aan de Molengouw 47 is een stolpboerderij met een oorspronkelijk houten opbouw. De fundering verkeert in redelijke staat, hoewel, zeker binnenshuis heel wat scheuren voorkomen. Het gebruik van te zware en te stijve bouwmaterialen bij een verbouwing is hiervan de oorzaak.

De betreffende huizen zijn vroeger zo gebouwd dat ze vrij grote (ongelijke) zettingen konden verdragen. Funderingen op staal zullen waarschijnlijk nauwelijks moeilijkheden opleveren bij een verlaging van het grondwater.

3.3. C o n c l u s i e s e n b e v i n d i n g e n

Conclusies

De gekozen objecten hadden een grote verscheidenheid in fundaties. Hierdoor is veel inzicht verkregen. Elk object leverde een nuttige bijdrage (zie tabel 3).

Het gebruikte fundatie hout was zonder uitzondering van goede kwaliteit. Het grenen en vurenhout was gezien de fijne jaarringen blijkbaar Noord-Europees. Het grenenhout bevatte soms macroschimmels die zijn binnengedrongen tijdens opslag. Maar dit heeft geen invloed gehad op de kwaliteit aangezien de schimmels niet veel verder zijn gekomen dan het parenchym (stralen en harsgangen) en de houtwanden niet hebben beschadigd.

Tabel 3. Samenvatting van resultaten van microscopisch onderzoek en inspectie van funderingen

	Neeltje Pater Broek in Waterl.	Havenrak 23 Broek in Waterl.	Kerkplein 2 Broek in Waterl.	Weeshuis Mannickendam	N.H. Kerk Ijpendam	Molengouw 46 Broek in Waterl.
Soort huis	houten gebouw op stenen voet (licht)	houten gebouw op stenen voet (zwaar)	houten gebouw op stenen voet (licht)	stenen gebouw	stenen gebouw	stolp boerderij hout met stenen voet
Leeftijd	midden 19e eeuw	17e eeuw	17e eeuw	midden 18e eeuw	uit deels 13e eeuw en deels 16e eeuw	19e eeuw
Type fundering	staal	dubbele houten palenrij, voor- zien van langs- hout	dubbele houten palenrij	dubbele houten palenrij	waarschijnlijk dubbele houten palenrij met langshout en kespen	staal
Entsoort		grenen stophout grenen paalcjes	vuren planken en palen	elzen palen eiken langshout	vuren en elzen palen, grenen langshout en kesp	
O-terkant funderingen Z-terkant hout	0,65 -NAP 1,49 -NAP	1,53 -NAP 1,49 -NAP	1,13 -NAP 1,49 -NAP	1,00 -NAP 1,51 -NAP	1,42 -NAP 1,32 - NAP	1,25 -NAP 1,50 en 1,56 -NAP
Open water peil	1,49 -NAP	1,49 -NAP	1,49 -NAP	1,51 -NAP	0,42 -NAP	1,50 en 1,56 -NAP
Grondwater d.d. 14-10-1982	-	1,17 -NAP	0,63 -NAP	25-10-'82 0,81 - NAP	14-10-'82 0,95 -NAP	
Ecogte maaiv.	ca. 0,10 -NAP	0,01 +NAP	0,50 -NAP	ca. NAP	0,83 + NAP	0,75 -NAP
Paalafstand	-	0,4 m.h. oh. in lengterichting	0,95 m.h. oh. in lengterichting	2,20 m	niet te meten	-
Paalafmeting	-	100 x 100 mm ² vierkant	65 mm rond	250 mm rond	170 mm rond	-
Maat van aantasting	gering	oppervlakkig stark angetast daarbinnen hard	zeer groot	eiken gering elzen sterk	grenen en vuren opp. vrij sterk elzen zeer sterk	gering
Soort aantasting	boomwortels	bacteriën	bacteriën + macro schimmels	softrot/waar- schijnlijk bacterie	bacterie	boomwortels
Schade	geen	geen	geen (zie tekst)	groot vnl.door constructiefouten	groot vnl.door scheurvorming in metselwerk	groot vnl.door constructiefouten

Gebleken is echter dat alle funderingen zijn aangetast. De aantasting is overwegend van bacteriële aard. De zeer lage redox potentiaal in het grondwater rond de funderingselementen maakt schimmeligroei kennelijk niet mogelijk. De hoge zuurgraad van de grond, pH is circa 7, remt waarschijnlijk ook de groei van macroschimmels. Het aantastingspatroon is steeds zodanig dat de mate van aantasting van boven naar beneden en van buiten naar binnen geringer wordt en uiteindelijk afwezig is. Aanwezigheid van zuurstof is kennelijk noodzakelijk voor het optreden van microbiologische aantasting.

De elzenpalen toegepast bij het Weeshuis van Monnickendam en onder de steunberen van de Kerk in Ilpendam bleken ernstig te zijn aangetast. Dit ligt niet aan defecten verkregen bij de opslag, maar aan inherente zwakte van deze houtsoort tegen zuurstof. Kennelijk zit dit in een zwakte van het lignine-cellulose complex, dat sterk kan verschillen in weerstand. Zelfs tussen zomer- en voorjaarshout, en in de enkele cel. Ook deze palen waren naar binnen en naar beneden, waar de redoxpotentiaal afneemt, veel minder aangetast.

Door de aantastingen is de draagkrachtige doorsnede van palen in deze regio vermoedelijk met 30 tot 50 procent afgenomen. Hout heeft een meestal grote reserve zodat een dergelijke rot niet direct funest is. Heipalen uit ongezaagd hout zijn in het algemeen betrekkelijk zwaar aan de kop door de natuurlijke vorm van de stam. Zelfs een flinke rot is niet direct een groot gevaar. Als het maar gestopt wordt. Bij gezaagde paaltjes is dat minder gunstig. Echter daar is het spinhout, dat sneller rot, hoogst waarschijnlijk verwijderd, en is grotendeels het kernhout overgebleven.

Behalve bij het Weeshuis in Monnickendam is nergens het draagvermogen in gevaar door het bezwijken van de kespen en het dragende langshout. Deze elementen vertonen nergens inknijping, hetgeen duidt op een conservatieve constructie.

Tot slot zij opgemerkt dat hoewel de steekproef klein is en verrassingen denkbaar zijn, het echter de vraag is of uitgebreider onderzoek meer inzichten zou verschaffen.

4. LABORATORIUM EXPERIMENT MET PAALROT

Een laboratorium experiment is opgezet om een indicatie te verkrijgen van:

- het vochtgehalte van hout waarbij aantasting optreedt
- de omstandigheden waaronder aantasting mogelijk is
- de invloed van de grondsoort op de aantastingsnelheid.

Het onderzoek heeft een verkennend karakter.

4.1. O p z e t

In overleg met J. Antheunisse van de vakgroep Microbiologie van de L.H., is gekozen voor een tweetal schimmels van het white-rot type: Trametes Versicolor en Stereum Rogosum. De belangrijkste eigenschappen zijn dat de optimal pH ligt tussen 4,5 en 5,5, de optimale temperatuur tussen 25 en 30°C, dat ze zowel cellulose als lignine aantasten en dat ze bij een relatief hoge zuurstofspanning werken. De groeisnelheid is groot en onderling is er geen sprake van concurrentie.

De schimmels zijn geënt op stukken vurenhouten palen van circa 0,7 m. Deze palen waren getrokken, niet aangetaste funderingspalen van circa 80 jaar oud en door bemiddeling van de gemeente Rotterdam verkregen.

De palen zijn geplaatst in containers. Op de bodem hiervan was een laag filtergrind gestort. Daarop zijn de stukken paal geplaatst. De palen zijn omstort met grond. Voor dit laatste is gebruikt (fig. 5):

- blokzijlzand, een fijnkorrelig zand, humusarm, arm aan voedings-elementen, pH 8,0 en hoog capillair geleidingsvermogen
- grof zand, humeus, pH 6,4
- potgrond, rijk aan voedings-elementen, pH 6,3.

Voordat enting met de schimmels is uitgevoerd, zijn de palen en de grond gesteriliseerd door bestraling op het proefbedrijf voor Voedselbepaling. Ter controle is een container niet bestraald. Tijdens de proef is de temperatuur constant op 25°C gehouden.

In de container is een permanente grondwaterspiegel gehandhaafd, zodanig dat circa 0,1 m paal onder de grondwaterspiegel staat. Een stuk paal van circa 0,1 m stak boven de grond uit.

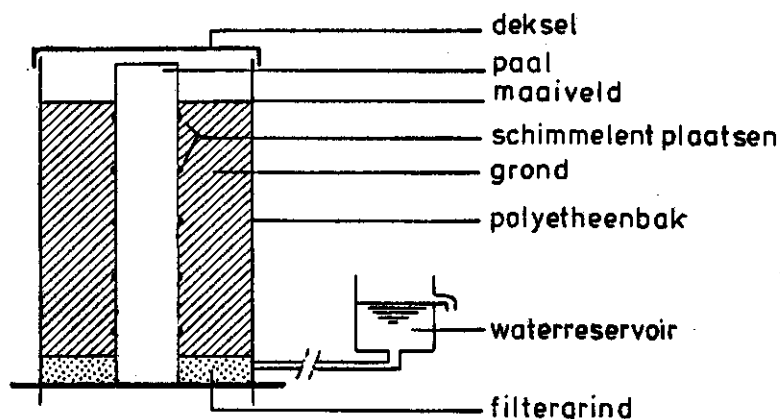


Fig. 5. Proefopstelling houtrot experiment

Na 1 jaar is op verschillende hoogtes in de grond de redox potentiaal gemeten, de aantasting beoordeeld, zijn de druksterktes en vochtgehalten bepaald.

4.2. R e s u l t a t e n

De mate van aantasting is visueel beoordeeld. De aantasting is te zien aan een bruin-zwartkleuring van het hout, terwijl het sponsachtig aanvoelt. Met een hard voorwerp kan zonder veel kracht uit te oefenen in het aangetaste hout worden gedrongen.

Gebleken is dat de aantasting niet uniform is verdeeld over het houtoppervlak. Plaatselijk is de indringingsdiepte van de schimmel groter.

De woekering op de palen die omstort zijn geweest met blokzijlzand en grof zand (palen 1 en 2, respectievelijk 3 en 4) is uiterst oppervlakkig gebleven. Plaatselijk is de aangetaste laag 2 mm. De aantasting is tot aan de grondwaterspiegel gegaan, hoewel de zone boven de grondwaterspiegel zeer anaeroob was blijkens de redox potentiaal meting (zie fig. 6).

De aantasting van palen die omstort waren met potgrond, was aantoonbaar groter. Plaatselijk is de dikte van de aangetaste laag 5 mm, gemiddeld circa 2 tot 3 mm.

Opvallend is, dat de vooraf niet gesteriliseerde paal in de container met potgrond, in zeer geringe mate is aangetast. De dikte van de aantasting is hooguit 1 mm. Kennelijk is hier sprake van concurrentie.

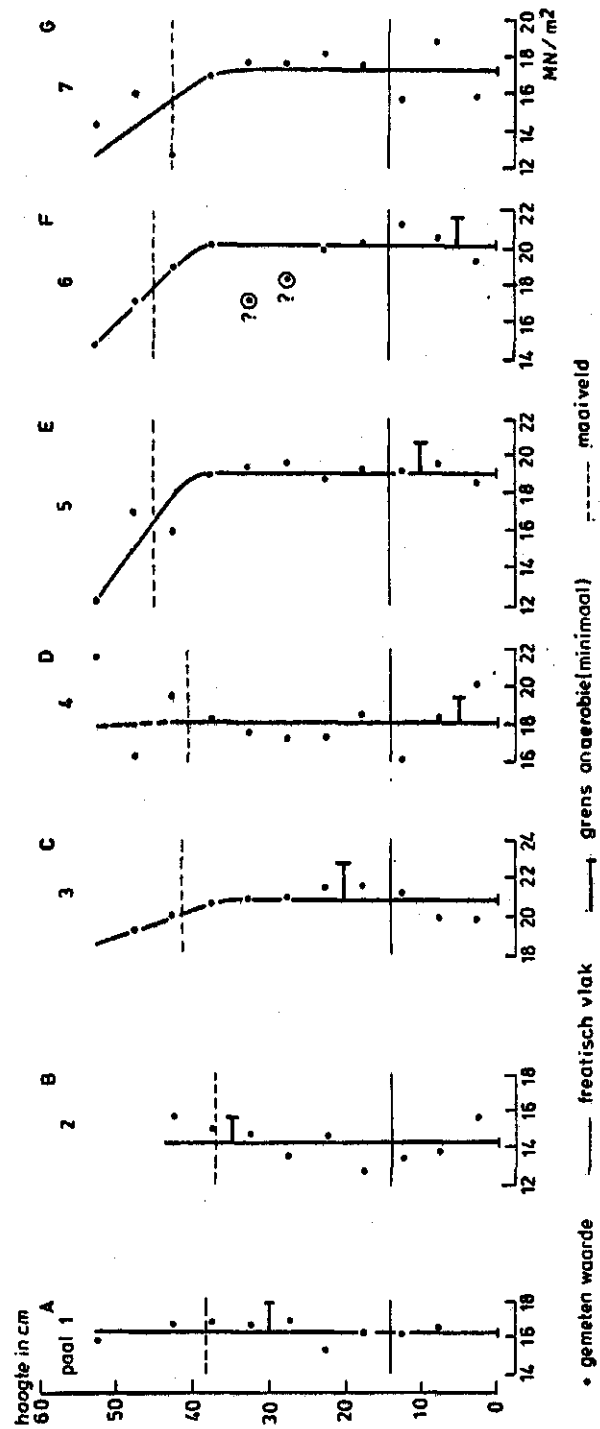


Fig. 6. Druksterkte van de palen

Grondsoort:	Fig.:
blokzijlzand	A, B
humeus grof zand	C, D
potgrond	E, F, G

grens aerob (boven) - anaerob (onder)

Opvallend is echter wel, dat er zich geen aerobe zone bevindt boven de grondwaterspiegel in de containers met potgrond.

De druksterkte is bepaald aan segmenten van schijven van 0,05 m dik. Het beschikbaar samendrukkingstoestel kan een maximale perskracht van 200 KN leveren, wat te gering bleek voor druksterktebepaling aan gehele schijven.

Uit de resultaten van de druksterktebepaling (fig. 6) blijkt, dat de (geringe) aantasting van de palen geen significante invloed heeft op de druksterkte. Wel is er een variatie in de druksterkte van de palen onderling.

Het vochtgehalte van het hout is tot slot bepaald (zie fig. 7).

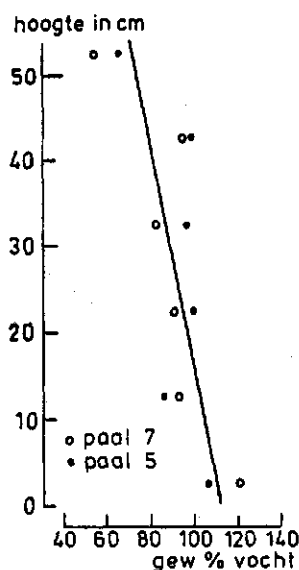


Fig. 7. Vochtgehalteverloop in enkele palen

Het blijkt, dat hout, dat permanent onder water staat een duidelijk hoger vochtgehalte heeft (circa 115%) dan hout boven de grondwaterspiegel (circa 90%). Dit zou er op kunnen duiden dat in hout een fractie zeer grote poriën voorkomen, die al bij geringe zuigspanning leeglopen en mogelijk voldoende groot zijn om hyfen van schimmels toegang tot het hout te verlenen.

4.3. C o n c l u s i e s

Geconcludeerd kan worden dat aantasting onder zeer marginale omstandigheden mogelijk is, echter onder de waterspiegel niet. De aanwezigheid van grond die rijk is aan voedingselementen lijkt de aantastingssnelheid te bevorderen. De relatief geremde schimmelgroei op de niet vooraf gesteriliseerde paal lijkt te duiden op concurrentie tussen verschillende organismen.

De snelheid waarmee de aantasting verloopt zal zeer waarschijnlijk groter zijn dan in de proef is bepaald. Immers de schimmels hebben een zekere tijd nodig om zich goed te ontwikkelen.

Uitgaande van een indringingsdiepte van 2 mm in 6 maanden, is de indringingssnelheid 0,3 mm per maand. In natuurlijke omstandigheden is de bodemtemperatuur echter lager dan in de proef (circa 10° lager), zodat daar de groei-snelheid geringer is. De groeisnelheid kan worden geschat op circa 0,2 mm per maand, dat hout boven de grondwaterspiegel staat.

5. REDOXPOTENTIALEN IN NATUURLIJKE OMSTANDIGHEDEN

5.1. A l g e m e e n

Redoxpotentialen geven inzicht in het verloop van oxidatie- en reductieprocessen. De zuurstofspanning in de bodem kan uit de redoxpotentiaal worden afgeleid.

Bij afbraak van bijvoorbeeld organisch materiaal komen elektronen vrij die door een zogenaamde acceptor worden opgenomen. Acceptoren zijn: O_2 , NO_3^- , Mn^{3+} , Fe^{2+} , SO_4^{2-} . Deze gaan bij steeds lagere redoxpotentialen over in hun gereduceerde vorm (SCHEFFER en SCHACHTSCHNABEL, 1976). Bij een redoxpotentiaal van 330 mV wordt aangenomen dat de zuurstofspanning nagenoeg tot 0 is gereduceerd (BREEUWSMA en HOEKS, 1972).

De zuurstofspanning wordt afgeleid uit de relatie (BAKKER, cursus Bodemkunde)

$$E = E_o + \frac{\alpha}{4} \log P_{O_2} - \alpha pH$$

$\alpha = 0,059$ volt

$E_o = 1,23$ " (voor O_2)

P_{O_2} = zuurstofspanning (bar)

In de bodem wordt de redoxpotential gemeten met platina-electroden.

Als referentie electrode is een AgCl - Cl electrode gebruikt. De meetwaarden zijn herleid tot potentialen ten opzichte van waterstofelectroden.

Bij het pand Kerkplein 2 in Broek in Waterland zijn op verschillende dieptes electroden aangebracht.

5.2. Resultaten

In fig. 8 is het verloop van de neerslag, de grondwaterspiegel en de grens tussen anaeroob- en anaeroob weergegeven.

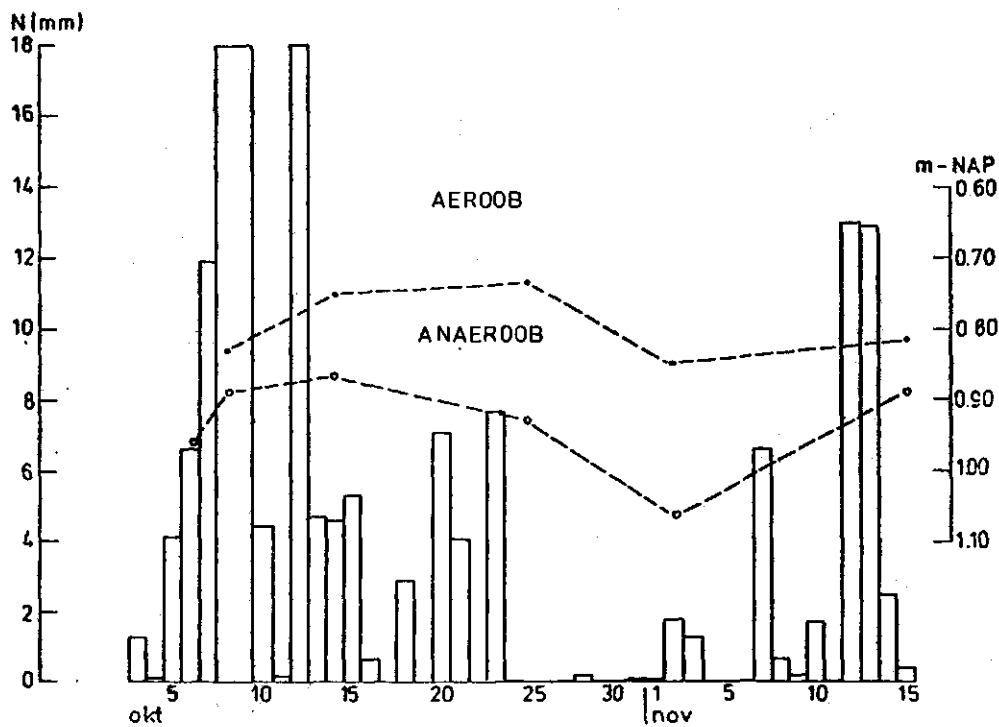


Fig. 8. Grondwaterstandsverloop en verloop van de grens tussen anaeroob en aerob

Bij een dalende grondwaterspiegel (stroomrichting opwaarts gericht) is de dikte van de aerobe zone circa 0,2 m. Bij een stijgende grondwaterspiegel (aanvoer aeroob water) neemt deze dikte af tot circa 0,07 m.

Gebleken is dat de redoxpotential nog (zij het zwak) afneemt onder de grondwaterspiegel (fig. 9).

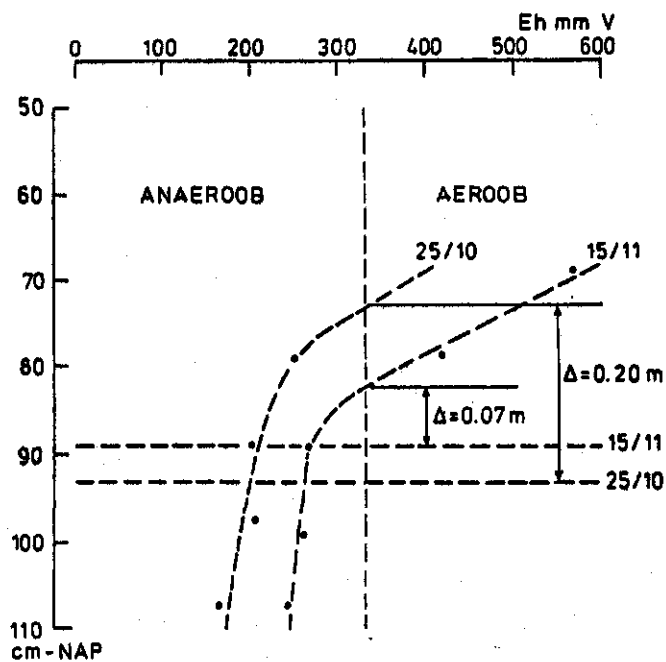


Fig. 9. Verloop redoxpotential met de diepte

Dit kan er op duiden dat daar nog oxidatie processen verlopen. Denitrificatie en reductie van andere elementen of verbindingen kunnen daar plaatsvinden mits een koolstofbron aanwezig is. Het is derhalve niet uitgesloten dat houtaantasting ook onder de grondwaterspiegel kan plaatsvinden. Voldoende evidentie bestaat hierover niet.

6. PRINCIPES VAN MAATREGELEN TER VOORKOMING OF TER BESTRIJDING VAN AANTASTING VAN FUNDERINGEN

6.1. A l g e m e e n

Funderingselementen van hout worden door micro-organismen aangetast zodra de groei omstandigheden beter zijn dan de minimumvoorwaarden. Maatregelen ter voorkoming van aantasting moeten derhalve tot doel hebben de groeivoorwaarden onder de minimumvoorwaarden te houden.

Een voorwaarde zou ook kunnen zijn dat in alleen die perioden maatregelen nodig zijn, waarin vergeleken met de situatie voor een polderpeilverlaging, de groeiomstandigheden voor micro-organismen zijn verbeterd. De maatregelen zouden minstens als resultaat op moeten leveren dat de huidige aantastingssnelheid niet wordt vergroot.

Maatregelen ter bestrijding van aantastingen kunnen inhouden het veranderen van de groeivoorwaarden in slechtere dan de minimaal noodzakelijke. Het wegnemen van het substraat (bijvoorbeeld door betonopzetters te gebruiken), substraatvergiftiging, remming van admenhaling, remmen van celdeling en remming van de eiwitsynthese zijn maatregelen om bestaande aantastingen tot staan te brengen of op zijn minst te vertragen (SCHLEGEL, 1974, FROBISHER et al. 19).

6.2. B e p e r k i n g z u u r s t o f d i f f u s i e

Houtaantasting gebeurt blijkens het hier verricht onderzoek in een aerob milieu. De zuurstof diffundeert door de bodem naar de houten funderingen. Nu is de diffusiesnelheid in water ongeveer een tienduizendste van die in stilstaande lucht.

Grond mag worden opgevat als een medium met poriën van uiteenlopende grootte. Hoe groter de fractie met luchtgevulde poriën is, des te groter is ook de diffusiesnelheid. In een met water gevulde grond is de diffusiesnelheid derhalve zeer gering.

De zuurstofdiffusiesnelheid in de bodem kan derhalve zeer laag worden gehouden door de grond tot iets boven de funderingen verzadigd te houden. Dit kan worden bereikt door

- a. te voorkomen dat er water wordt onttrokken
- b. water aan te voeren wanneer de grond ter plaatse van funderingen onverzadigd dreigt te worden.

Dit laatste is het geval wanneer de grondwaterstand enkele centimeters daalt onder het niveau van de bovenzijde van houten funderingselementen. Wateronttrekking door begroeiingen kan zeer groot zijn. Verdampingssnelheden van 3 tot 5 mm per dag bij laag blijvende begroeiingen zijn in de zomerperioden veel voorkomend. Bij hoog opgaande begroeiingen (bomen etc.) kan de potentiële verdamping oplopen tot 20 mm per dag (pers. mededeling ir. J.W. BAKKER).

In gebieden waar de over het gebied gemiddelde diepste grondwaterstand nu al komt tot op het funderingsniveau, zal deze grondwaterstand onder bomen aanzienlijk meer dalen. Het verwijderen van bomen die vlakbij gebouwen staan verdient dan ook aanbeveling.

Verwijdering van alle begroeiingen rond gebouwen is eveneens een mogelijkheid. Een grindbaan rond de gebouwen zou eventuele bezwaren tegen onbegroeide oppervlaktes kunnen ondervangen.

Wanneer echter water via wegzijging verdwijnt dan is slechts in enkele gevallen hiertegen iets te doen.

Afscherming met een mechanisch aangebrachte folie is denkbaar. Het pakket doorlatend materiaal waardoorheen de wegzijging plaatsvindt, mag dan niet dikker zijn dan circa 10 m en moet liggen op een nagenoeg ondoorlatende laag. Zo'n scherm wordt met een machine voor het aanleggen van horizontale bronnering aangelegd.*

Wateraanvoeren om te voorkomen dat de grond ter plaatse van de funderingen onverzadigd dreigt te raken is op enkele manieren denkbaar:

- aanvoer vanuit een sloot met hoog peil
- aanvoer via (tijdelijke) beregening
- aanvoer van neerslag bij afwezigheid van dakgoten
- aanvoer vanuit een infiltratie drain of goot.

*Mededeling Europijp b.v., Spijkenisse

Berekening lijkt een goedkope oplossing, vooral omdat deze slechts enkele weken per jaar nodig is. (In die periode dreigt de grondwaterstand onder het funderingsniveau te dalen).

De drainbuis bij de variant 'infiltratie vanuit een drain', dient ondiep te liggen. Er wordt met zuurstofhoudend water geïnfiltreerd. Tijdens de verblijfsduur van het water boven funderingsniveau, dient de aanwezige zuurstof verbruikt te worden.

Het waterverbruik per 100 m gebouwtrek zal circa $1,5 \text{ m}^3$ per dag zijn.

Als bezwaar tegen deze methoden kan worden aangevoerd dat het voor de bewoners van de gebouwen moeilijk is te bepalen wanneer water moet worden aangevoerd. Een grondwaterstandspeilbuis zou dit kunnen ondervangen. Voortdurende aanwezigheid van de bewoners in kritieke perioden is dan nog gewenst.

Het effect van infiltratie vanuit sloten met een hoog peil wordt in een aparte studie nader geanalyseerd.

In het voorgaande zijn maatregelen genoemd om de grond met water verzadigd te houden. Het principe was de poriën in de grond gevuld te houden met een materiaal dat een zeer geringe zuurstofdiffusie coëfficiënt bezat.

Op grofkorrelige gronden is het mogelijk de porositeit te verlagen met waterglas of monosolen. Om grond waterdicht te maken vindt dit middel zijn toepassing bij de bouw van kelders en tunnels. De kosten zijn circa $f 750,-$ per m^3 . Niet bekend is of dit middel ooit is gebruikt nabij houten palen ter vermindering van de zuurstofdiffusie.

6.3. Vergiftiging / verslechtering groei- milieu voor micro-organismen

Het aantal houtverduurzamingsmiddelen zijn legio. Deze zijn echter alleen op droog hout bruikbaar en daardoor onbruikbaar op funderingshout. In water oplosbare middelen zijn in principe bruikbaar. Goed is bijvoorbeeld penta chloorfenolaat, hoewel het gebruik ervan niet wordt aangeraden. Het gebruik van dit type middelen dient te zijn goedgekeurd door de Commissie Toelating Bestrijdings-

middelen (voorheen de Commissie Fytofarmacie). Methoden die zijn gebruikt bij het conserveren van scheepswrakken zijn omslachtig en duur.

Gebaseerd op resultaten van onderzoek en adviezen van HOEKS (19) is door Philips, Eindhoven een methode ontwikkeld om bij erg lage grondwaterstanden houten palen te beschermen met behulp van aardgas. Deze methode wordt al zo'n tien jaar met succes toegepast. Het principe berust hierop dat vanuit een aantal lekken een mengsel van stikstof met 15% aardgas de grond instroomt. Naast pure verdringing van zuurstof, wordt zuurstof verbruikt door methaan-bacteriën, die het aardgas oxideren.

Voor het realiseren van een anaerobe zone van 1 m dikte zijn lekken nodig op een onderlinge afstand van 3 m waaruit circa 2,5 liter gasmengsel per uur de grond instroomt. Per 100 m gebouw omtrek is per dag circa 1,9 m³ gasmengsel nodig. Goede controle en regelapparatuur is hiervoor nodig. Voor grote gebouwen is dit systeem bruikbaar.

7. LITERATUUR

- BAKKER, J.W., 1981. Cursus Bodemkunde, Deel 1, de Gasfase (in druk)
- EENKHOORN, W., J. DE JONG en A. WEVERS, 1976. Bescherming van
scheepsresten in de IJsselmeerpolders. Houtwereld 17, 19-25
- FREUNDENBERG, K., 1955. Modern methods of plant analysis. Vol. 3.
Springer Verlag Berlin
- FROBISHER, M., R.D. HINDSHELL, K.T. CRABTREE and C.R. GOODHEART.
Fundamentals of Microbiology. Saunders Company, London
- FUGRO, 1983. Rapport betreffende het funderingsonderzoek van panden
te Broek in Waterland en omgeving
- HOEKS, J., 1972. Rapport betreffende stikstofplan ten behoeve van
houten palen. Emmasingel. I.C.W. Wageningen
- KOLLMAN, F.E.P. and W.A. COTE, 1968. Principles of Wood, Science
and Technology, New York, 97-112
- LAWSON, L.R. and C.N. STILT, 1957, Tappi 40, 56A-80A
- LEVI, M.P. en R.D. PRESTON, 1966. A chemical and microscopic
examination of the action of the soft rot fungus chaetomium
globosum on beechwood (Fagus sylv.). Holzforschung 19: 138-190
- LEESE, J., 1950. Handbuch der Holzconservierung p. 81-82, Springer-
verlag, Berlin
- PETTERSON, G., E.B. COWLING and J. PORATH, 1963. Studies on cellulolytic
enzymes: I. Isolation of a low-molecular-weight cellulose from
Polyporus versicolor, Biochim. Biophys. Acta 67: 1-8
and J. PORATH, 1963. Studies on cellulolytic enzymes: II.
Multiplicity of cellulolytic enzymes of Polyporus versicolor.
Biochim. Biophys. Acta 67: 9-15
- REESE, E., 1963. Advances in Enzymic Hydrolysis of Cellulose and
Related Materials. Pergamon Press. New York
- SAVORY, J.G., 1954. Damage to wood caused by micro-organisms.
J. Gen. Appl. Microbiol. 17, 213-218
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHNABEL, 1976. Lehrbuch der Bodenkunde,
Stuttgart
- SCHLEGEL, H.G., 1974. Allgemeine Mikrobiologie Georg Thieme Verlag,
Stuttgart

SCHOTHORST, C.J., 1977. Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. *Geoderma*, 17, 265-291

SCHUBERT, W.J. and F.F. NORD, 1957. *Adv. Enzymol.* 18, 349-378