Onderzoeksrapport: Houtanalyses fundering landhoofden Brug 327 te Amsterdam

Rapportcode: 18.0064 – deel 1/5 **Datum:** 28 februari 2018

[redacted]

Dit rapport heeft 15 bladen. Het is eigendom van de opdrachtgever, die gerechtigd is dit rapport integraal te publiceren. Gedeeltelijke publicatie, ook door de eigenaar, is slechts toegestaan na schriftelijke toestemming van [redacted]

Opdrachtgever: [redacted]

Bijlage: 6

Projectnummer: 18.0064

Auteurs: [redacted]

[redacted]

1 Inleiding

Datum opdracht:	23 januari 2018.
Vraagstelling:	Wat is de aard en oorzaak van de aantasting, wat is het verlies aan gezond / dragend hout, wat is de te verwachten aantastingsuitbreiding in de komende 25 jaar, onderzoek uitgevoerd volgens SKH-BGS 007 Bepaling van microbiologische houtaantasting (zie voor document: [redacted]).
Herkomst monsters:	Uit het funderingshout van de landhoofden van Brug 327 te Amsterdam, MW1.1 t/m MW1.3 en MO1.1 t/m MO1.3.
Projectcode opdrachtgever:	18p006.

2 Materiaal

bouwjaar en leeftijd woning:	1903 (volgens opdrachtgever) dus 115 jaar oud.
Datum monstername:	22 januari 2018 (volgens opdrachtgever).
Datum monsterontvangst:	23 januari 2018.
Aantal, lengte, afmeting monster:	Zie tabel 4.1.
Wijze van aanleveren:	Boorkernen Ø 10 mm in buisjes met water.
Wijze opslag:	Bij temperatuur van ±4°C.
Datum analyse:	8-15 februari 2018.

3 Methode

Monstervoorbereiding / dataverzameling: zie SKH-BGS 007 en Bijlage 1.

4 Resultaten

4.1 Monsterbeoordeling

Tabel 4.1. *Codering, monsterkwaliteit, visuele beoordeling en jaarringen van de monsters.*

Monster			Algemeen			Jaarringen			
Code		Lengte	Samenhang	Kleur*	Wan /	Breedte gem. [mm]		Aantal	
Gegeven	[redacted]	[mm]			buitenkant	juveniel	volwassen	totaal	aangetast
327MW1.1	W1.1	156	Goed	Zwart/lichtgrijs	ja	-	2,1	61	39
327MW1.2	W1.2	157	Goed	55 mm donkergrijs, rest geen	Ja	-	2,9	39	39
327MW1.3	W1.3	147	Goed	22 mm geen, 34 mm grijs, rest geen	Ja	3,8	1,7	52	31
327MO1.1	O1.1	140	Goed	22 mm lichtgrijs, rest zwart	Ja	-	3,2	31	31
327MO1.2	O1.2	171	Goed	Zwart	Ja	4,8	1,8	39	39
327MO1.3	O1.3	145	Goed	Afwisselend zwart en geen	Ja	7,1	1,9	48	32

*typische kleurafwijkingen worden beschreven.

4.2 Houtsoort, spintaandeel, aantasting

Houtsoortbeschrijving: zie Bijlage 2.

Monster W1.1 (grenen, lengte tot aan het hart 130 mm)
In de buitenste 25 mm werd ernstige bacteriële aantasting van het erosietype (EB) waargenomen. Hierna werd in 37 mm matige EB-aantasting gevonden, gevolgd door 3 mm weinig EB-aantasting. De rest van het monster was vrij van aantasting. In het aangetaste hout werden schimmeldraden waargenomen.

De buitenste 65 mm was spint, de rest was kernhout.

Monster W1.2 (grenen, lengte tot aan het hart 96 mm)
In de buitenste 36 mm werd ernstige EB-aantasting waargenomen. Hierna werd in 35 mm matige EB-aantasting gevonden. De rest van het monster was weinig aangetast door EB. In het hele monster werden (blauw)schimmeldraden waargenomen.

Het monster bestond geheel uit spint.

Monster W1.3 (grenen, lengte tot aan het hart 90 mm)
In de buitenste 22 mm werd ernstige EB-aantasting waargenomen. Hierna werd in 3 mm matige EB-aantasting gevonden, gevolgd door 3 mm weinig EB-aantasting. De rest van het monster was vrij van aantasting. In het aangetaste hout werden schimmeldraden waargenomen.

De buitenste 28 mm was spint, de rest was kernhout.

Monster O1.1 (grenen, lengte tot aan het hart 110 mm)
In de buitenste 28 mm werd ernstige EB-aantasting waargenomen. Hierna werd in 5 mm matige EB-aantasting gevonden. De rest van het monster was weinig aangetast door EB. In het hele monster werden schimmeldraden waargenomen.

Het monster was geheel spint.

Monster O1.2 (grenen, lengte tot aan het hart 68 mm)
In de buitenste 11 mm werd ernstige aantasting door EB en bruinrot waargenomen. Hierna werd in 11 mm ernstige EB-aantasting gevonden, gevolgd door 10 mm matige EB-aantasting. De rest van het monster was vrij van aantasting. In het hele monster werden schimmeldraden waargenomen.

Het monster was geheel spint.

Monster O1.3 (grenen, lengte tot aan het hart 105 mm)
In de buitenste 11 mm werd ernstige aantasting door EB en bruinrot waargenomen. Hierna werd in 22 mm matige EB-aantasting gevonden, gevolgd door 6 mm weinig EB-aantasting. De rest van het monster was vrij van aantasting. In de buitenste 54 mm werden schimmeldraden waargenomen.

De buitenste 54 mm was spint, de rest was kernhout.

4.3 Gradiënt in vocht, volumieke massa en druksterkte

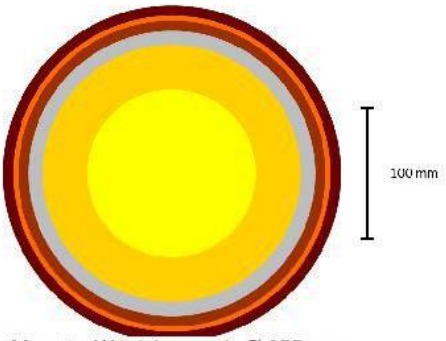
Voor toelichting op tabel 4.2 zie Bijlage 3.

***Tabel 4.2**. Gradiënt van dichtheid (volumieke massa (VM) bij 0% vochtgehalte; ratio tussen droge massa en nat volume (SG)), vochtgehalte (bij aanlevering (VG); theoretisch maximale vochtgehalte (TMV)) en druksterkte (DS). Zie verder bijlage 3.*

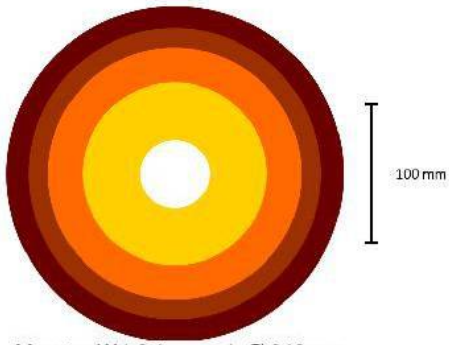
Monster	Afmeting	Dichtheid [kg/m^3]		Vochtgehalte (%)		DS
	segment [mm]	SG	VM	VG	TMV	[N/mm^2]
W1.1a* (s)	8	**153**	**306**	**509**	590	**1,1**
W1.1b* (s)	4	**321**	**378**	**229**	247	**7,8**
W1.1c* (s)	8	**220**	**250**	**382**	390	**2,7**
W1.1d (s)	11	-	-	-	-	-
W1.1e (s)	16	438	525	163	163	12,4
W1.1f (s)	19	455	540	149	155	13,6
W1.1g (s/k)	16	490	578	97	139	19,6
W1.1h (k)	16	481	557	99	143	19,4
W1.1i (k)	18	408	469	130	180	15,5
W1.1j (k)	16	463	539	135	151	15,0
W1.2a* (s)	16	**174**	**308**	**519**	510	**1,0**
W1.2b* (s)	14	**222**	**326**	**371**	385	**2,9**
W1.2c* (s)	6	**322**	**345**	**242**	246	**7,1**
W1.2d (s)	19	354	409	213	217	8,7
W1.2e* (s)	16	**412**	**486**	**174**	178	**11,4**
W1.2f (s)	14	383	440	189	196	10,4
W1.2g (s)	11	420	486	154	173	13,2
W1.3a (s)	22	260	325	317	320	4,2
W1.3b (s)	16	467	534	105	149	18,6
W1.3c (k)	18	405	456	105	182	18,6
W1.3d (k)	16	398	431	100	186	19,2
W1.3e (k)	18	380	407	107	198	18,4
O1.1a* (s)	3	**400**	**556**	**170**	185	**11,8**
O1.1b* (s)	10	**239**	**290**	**370**	354	**2,9**
O1.1c* (s)	9	**427**	**486**	**166**	169	**12,2**
O1.1d (s)	17	429	500	167	168	12,1
O1.1e* (s)	13	**378**	**407**	**200**	200	**9,6**
O1.1f* (s)	18	**390**	**423**	**188**	191	**10,4**
O1.1g* (s)	22	**410**	**444**	**169**	179	**11,9**
O1.1h* (s)	18	**574**	**583**	**106**	109	**18,5**
O1.2a* (s)	3	**222**	**250**	**350**	385	**3,4**
O1.2b* (s)	8	**259**	**382**	**305**	321	**4,6**
O1.2c* (s)	11	**316**	**365**	**248**	251	**6,8**
O1.2d* (s)	10	**361**	**413**	**208**	212	**9,1**
O1.2e* (s)	13	**458**	**493**	**118**	153	**16,9**
O1.2f (s)	24	938	1010	32	42	30,8
O1.3a (s)	11	339	416	231	230	7,7
O1.3b (s)	14	374	441	196	202	9,8
O1.3c (s)	15	374	430	175	202	11,4
O1.3d (s)	14	399	447	93	186	20,1
O1.3e (k)	14	359	404	102	213	18,9
O1.3f (k)	12	317	357	113	250	17,6
O1.3g (k)	25	316	355	180	251	11,0

*Zie bijlage 3 voor opmerking over segmentgrootte.

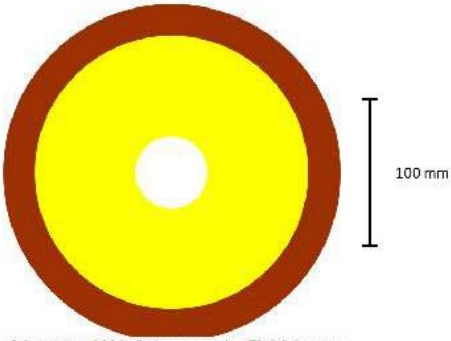
Gezien de aanwezigheid van schimmelaantasting in de monsters o1.2 en o1.3 zijn de afgeleide druksterktes in de segmenten met schimmelaantasting niet betrouwbaar (het model is gebaseerd op aantasting door bacteriën).
De druksterktes uit tabel 4.2 zijn hieronder visueel weergegeven. Een toelichting over het gebruik van druksterkte bij constructieberekeningen is weergegeven in Bijlage 4.



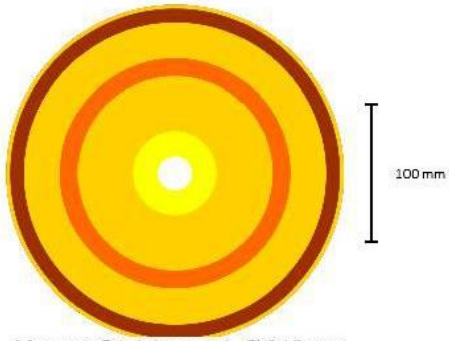
Monster W1.1 (grenen), Ø 255 mm



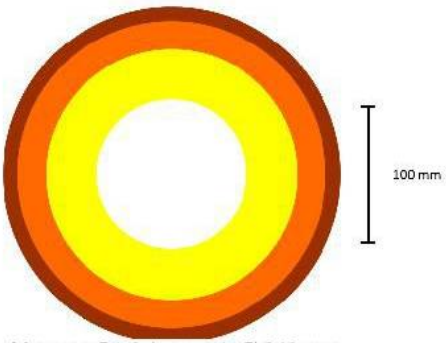
Monster W1.2 (grenen), Ø 242 mm



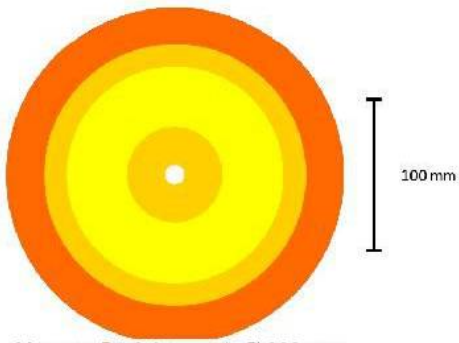
Monster W1.3 (grenen), Ø 229 mm



Monster O1.1 (grenen), Ø 245 mm



Monster O1.2 (grenen), Ø 248 mm



Monster O1.3 (grenen), Ø 223 mm

Paaldiameters (opgave opdrachtgever)

Legenda

	< 2,5 N/mm²
	2,5 - 6,25 N/mm²
	6,25 - 10 N/mm²
	10 - 15 N/mm²
	> 15 N/mm²
	niet bepaald
	niet beschikbaar

4.4 Beoordeling datakwaliteit

Op basis van de afwegingen uit Bijlage 5 en op basis van de referentiedatabase (relatie mate van aantasting – volumieke massa / vochtgehalte) wordt het gevonden anatomische aantastingspatroon bevestigd.

5 Discussie en Interpretatie

Oorzaak:	In alle monsters: bacteriële aantasting ontstaan onder water, in de monsters O1.2 en O1.3 in combinatie met schimmelaantasting ontstaan door uitdroging als gevolg van droogstand.
Omvang:	Diepte ernstige bacteriële aantasting monster W1.1, W1.2, W1.3, O1.1, O1.2, O1.3: respectievelijk 25, 36, 22, 28, 22 en 11 mm.
Activiteit:	Bacteriële aantasting actief in alle monsters.
Uitbreiding:	Sterk door bacteriën aangetaste schil tot maximaal respectievelijk 30, 43, 27, 34, 27 en 13 mm. Rondom de palen O1.2 en O1.3 heeft droogstand plaatsgevonden. Indien droogstand voor blijft komen zou een uitbreiding verwacht kunnen worden van de sterk aangetaste schil met respectievelijk maximaal 25 mm per jaar tot aan de kernhoutgrens daarna met 1,7 mm / jaar.

Voor het bepalen van de dragende diameter bij het omslagpunt wordt gebruikgemaakt van de diepte van sterke bacteriële aantasting aan de paalkop. Daar deze diepte in de palen O1.2 en O1.3 door een combinatie van bacteriën en schimmels is veroorzaakt, is een inschatting nodig van wat de diepte van de sterk aangetaste schil bij deze palen zou zijn indien er geen droogstand had plaats gevonden. Gezien het aantastingsbeeld zou zonder droogstand een zelfde dikte van de sterk aangetaste schil zijn ontstaan.

In Bijlage 6 staat de achtergrond van de uitbreiding van de aantasting omschreven.

6 Conclusie

Alle palen zijn grenen en de monsters zijn in een buitenste schil van respectievelijk 25, 36, 22, 28, 22 en 11 mm sterk aangetast door bacteriën. Deze aantasting is onder het grondwaterniveau tot stand gekomen. De monsters O1.2 en O1.3 zijn ook aangetast door schimmels. Deze schimmelaantasting is ontstaan tijdens perioden met droogstand waarbij het hout uitgedroogd is.

Uitgaande van niet wezenlijk veranderende omstandigheden rondom het funderingshout met voldoende waterdekking op de paalkoppen, is de verwachting dat in de komende 25 jaar de sterk aangetaste schil zich in de monsters W1.1, W1.2, W1.3, O1.1, O1.2, O1.3 kan uitbreiden tot respectievelijk 30, 43, 27, 34, 27 en 13 mm. Indien droogstand voor blijft komen zou een uitbreiding verwacht kunnen worden van de sterk aangetaste schil met respectievelijk maximaal 25 mm per jaar in het spint en met 1,7 mm/jaar in het kernhout..

7 Literatuur

Beoordelingsgrondslag SKH-BGS 007 Bepaling van microbiologische houtaantasting. Uitgave SKH. Inclusief alle daarin aangeduide literatuur.

Eurocode 5 - Ontwerp en berekening van houtconstructies: EN 1995-1-1 Algemeen - Gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen; EN 1995-1-2 Algemeen - Ontwerp en berekening van constructies bij brand; EN 1995-2 Bruggen.

[redacted] 2004. Systematische Erfassung und Dokumentation der mikroanatomischen Merkmale der Nadelhölzes aus der Klasse Pinatae. Dissertation Technische Universität München.

[redacted] 1995. Modificatiefactor vochtgehalte en duurbelasting. Technische Houtdocumentatie A 4/2 – 010210, Centrum Hout, Almere.

[redacted] 1978. Houtsoorten, informatie voor de praktijk. Houtinstituut TNO, Delft.

WVS_065 Microscopisch onderzoek aan funderingshout (intern SHR-document).

[redacted] 1998. Juvenile wood in forest trees. [redacted] New York.

Bijlage 1: Microscopisch onderzoek

Voorafgaand aan het microscopische onderzoek zijn de monsters visueel beoordeeld. Daarna zijn met behulp van het microtoom radiale en/of kopse coupes gesneden met een dikte van 20-30 µm en een oppervlakte van circa 0,5-1 cm^2. De coupes zijn aangekleurd om mogelijke aantasting beter zichtbaar te maken. Onder de lichtmicroscoop (met en zonder gepolariseerd licht) zijn de coupes vervolgens onderzocht op de aanwezigheid van houtaantasters en is het houtanatomische patroon bekeken.

Vijf patronen van aantasting kunnen worden onderscheiden. Deze patronen worden veroorzaakt door de volgende micro-organismen:

- erosiebacteriën (EB);
- tunnelvormende bacteriën (TB);
- softrotschimmels;
- witrotschimmels;
- bruinrotschimmels.

In aanvulling op het patroon van aantasting wordt het hout gecontroleerd op de aanwezigheid van aantasters en andere houtkoloniserende micro-organismen:

- dikke bruine hyfe van blauwschimmel;
- dunne transparante hyfe van houtaantastende schimmel (wit-, bruin- en softrot veroorzakers);
- sporen van diverse micro-organismen;
- algen;
- andere insluitsels van organische herkomst.

Bij de classificering van de mate van aantasting wordt de indeling gehanteerd volgens [redacted] (2008) waarbij de volgende klassen worden gebruikt: totale verwoesting, ernstige aantasting, matige aantasting, weinig aantasting en gezond hout. In de discussie worden de begrippen *totale verwoesting* en *ernstige aantasting* samengevat onder het begrip *sterke aantasting*.

Bijlage 2: Houtsoortbeschrijving en spintbepaling

Herkenning van de houtsoort is gedaan op basis van de anatomische structuur.

In de monsters is de houtstructuur zoals die van grenen waargenomen:

Naaldhout met heterogene stralen met vensterstippels (kruisvlak), radiale en axiale harskanalen, tracheïden met eenrijige hofstippels.

Bij grenen is het spint op basis van aankleuring onderscheiden van het kernhout.

Bijlage 3: Gradiënt vocht, volumieke massa, druksterkte

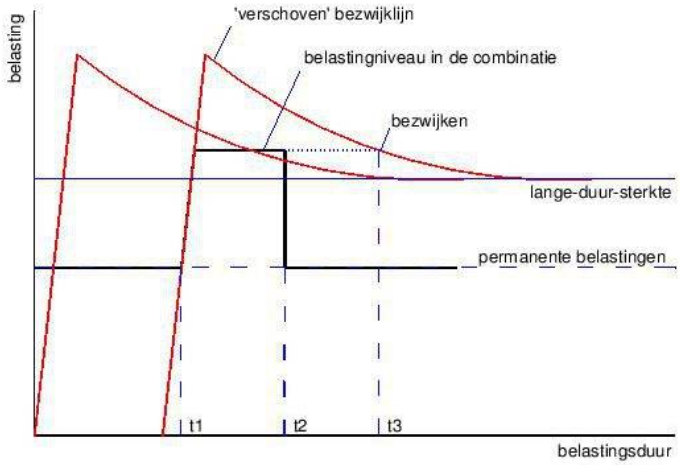
Tabel 4.2 bevat de waardes van de submonsters beginnend met de buitenzijde (bastzijde) en eindigend met de binnenzijde (kernkant), indien van toepassing is spint of kernhout aangegeven met **een "s" of "k"**. **Wanneer aangegeven met een "*" zijn de** submonsters te klein (< 1 cm^3) waardoor de waarden slechts indicatief zijn. Is het verschil in vochtgehalte tussen de gemeten waarde en het theoretisch maximum negatief, dan wijst dit op een meetonnauwkeurigheid. De weinig betrouwbare waarden zijn vet weergegeven in de tabel.

Bijlage 4: Toelichting op het gebruik van druksterkte zoals hier bepaald

(2008) heeft aangetoond dat op basis van het houtvochtgehalte een redelijke schatting kan worden gemaakt van de druksterkte parallel aan de vezelrichting voor gezond of door bacteriën aangetast grenen en eiken en op dit model zijn de druksterktes uit tabel 4.2 gebaseerd. Het gaat hierbij dan om de zogenaamde *korte duursterkte*. Het grenen model wordt ook voor andere naaldhoutsoorten gebruikt bij gebrek aan specifieke modellen voor vuren en dennen. De ingeschatte druksterktes voor zowel vuren als dennen moeten om die reden met enige voorzichtigheid worden beschouwd.
Ter referentie van de waarden in tabel 4.2 kan gesteld worden dat gezond grenen hout, dat vers beproefd wordt (vochtgehalte 50 – 120%), een *korte duursterkte* van circa 22 N/mm^2 heeft. Bij vers vuren hout is dat circa 20 N/mm^2. Het eerst gevormde, zogenaamde juveniele, hout dat in de kern van de stam zit kan een wat lagere druksterkte hebben (1978 en 1998), waardoor een lagere druksterkte in de kern van de paal als natuurlijk moet worden beschouwd.

De karakteristieke waarden (5% laagste waarden uit een verzameling) voor de *korte-duur-sterkte* staan opgesomd in de EN 338 (sterkteklassen). Binnen een constructieberekening wordt met verschillende belastingduur rekening gehouden (permanent, lang, gemiddeld en kort). Rekening houdend met belastingduur en vochtgehalte wordt de karakteristieke waarde met de zogenaamde modificatiefactor omgezet naar een rekenwaarde. Hierbij wordt ook een materiaalfactor toegepast welke een veiligheidsborging is in verband met de variabiliteit: hout (vergelijk het homogene beton met een factor van 1): $f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} k_{\mathrm{mod}}$

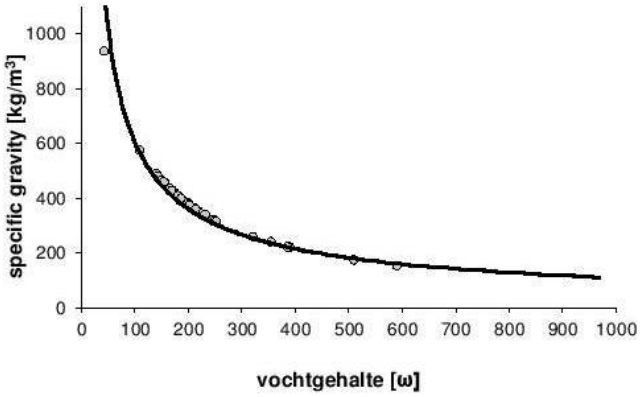
(waar f_d = rekenwaarde, f_k = karakteristieke waarde, γ_m = materiaalfactor (= 1,3) en k_{mod} = modificatiefactor (afhankelijk van belastingstijd en vochtgehalte = 0,5). De bepalende belastingcombinatie voor funderingspalen is meestal lang en de *lange-duur-sterkte* zoals weergegeven in figuur 4.1 mag niet worden overschreden. Verder zijn funderingspalen altijd waterverzadigd en de rekenwaarde voor deze situatie kan bepaald worden volgens de Nederlandse bijlage uit de EUROCODE 5 (EN 1995): $f_{c,0,d}$ = 9,9 N/mm^2 waarin : $f_{c,0,d}$ = rekenwaarde druksterkte parallel aan de vezelrichting.



Figuur 4.1 *Relatie tussen belasting en de belastingsduur op hout (vrij naar [redacted] 1995). Een permanente belasting die lager is dan de lange-duur-sterkte leidt niet tot bezwijken. Wanneer een belastingscombinatie (permanent en veranderlijk) kortstondig (t_1 – t_2) wordt verhoogd tot boven de lange-duur-sterkte maar onder de korte-duursterkte (maximale belasting) zal geen bezwijking of houtschade optreden. Is de belasting langdurig boven de lange-duursterkte dan zal op t_3 schade en bezwijking optreden.*

Bijlage 5: Referentiewaarden

Omdat aan kleine monsterdelen wordt gewerkt, kunnen alleen absolute uitspraken gedaan worden over de aantasting wanneer alle gemeten waarden in één lijn liggen. Voor tabel 4.2 zijn al controleaspecten opgenomen (zie Bijlage 3). Alle waarden uit tabel 4.2 worden ook als punten opgenomen in grafiek B5.1. De lijn in deze grafiek geeft bij volledig waterverzadigd hout de verhouding weer tussen het vochtgehalte en de dichtheid. Waterverzadigd hout ligt op de lijn en niet-waterverzadigd hout ligt onder de lijn in deze grafiek. Hout dat niet-waterverzadigd is duidt op gezond of weinig aangetast hout waarbij de gezonde houtstructuur lucht kan insluiten. (Beginnende) aantasting komt als eerste bij de membranen waardoor deze ingesloten lucht niet meer kunnen vasthouden. Punten die boven de lijn liggen wijzen op meetfouten en zijn verwijderd uit de grafiek en tabel 4.2.



Grafiek B5.1 *Relatie dichtheid (in deze grafiek specific gravity = droog gewicht / nat volume) en vochtgehalte. Bij waterverzadigd hout liggen de waarden op de lijn bij niet water verzadigd hout liggen de punten onder de lijn (2008).*

De volumieke massa kan binnen een houtsoort sterk variëren en een schatting van gewichtsafname door aantasting kan alleen bepaald worden wanneer de oorspronkelijke volumieke massa van een monster bekend is. Omdat dit van de hier onderzochte monsters niet meer te achterhalen is, is de **onderstaande vergelijking van de volumieke massa's slechts indicatief. Tabel** B5.2 geeft de bekende waarden van de gevonden houtsoorten.

Tabel B5.2 *Volumieke massa volgens Laming et al. (1978)*

Houtsoort	Volumieke massa (0% vochtgehalte)
Noord-Europees grenen	435 (390 - 482) kg/m3
NL grenen spint	483 (421 - 554) kg/m3
NL grenen kern	532 (510 - 560) kg/m3

Bijlage 6: Achtergrond uitbreiding aantasting

Uitgangspunt is dat de omstandigheden rondom het funderingshout in de te beschouwen periode niet wezenlijk anders zullen zijn dan de afgelopen decennia. Omdat het plaatsingsjaar van het funderingshout niet bekend was, is uitgegaan van plaatsing van het hout rond 1900.
Voor het bepalen van de oorzaak en de uitbreiding van de aantasting worden de basisprincipes zoals genoemd in de SKH-BGS 007 gevolgd.

Hierop zijn voor dit rapport verder geen aanvullingen.