

Dr. Johann Müller

Diplom-Holzwirt
Neudörpen 8

D-26892 Dörpen

Tel: 04963-914014

Fax: 04963-914015

Email: j.mueller.doerpen@t-online.de

Abschlussbericht

Praxisnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz im Meerwasser

Aktenzeichen: 32571/01-32

Bearbeitung:

Dr. Johann Müller
Neudörpen 8
26892 Dörpen

Dr. Eckhard Melcher
Dr. Johannes Welling
Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstr. 91
21031 Hamburg

Dr. Tobias Huckfeldt
Institut für Holzqualität und Holzschäden
Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR
Essener Straße 4, Haus D2
22419 Hamburg

Projektlaufzeit:

15.04.2015 bis 30.06.2018

Inhaltsverzeichnis

Dr. Johann Müller	1
1 Zielsetzung und Aufgabenstellung	4
2 Versuchsdurchführung gemäß Projektantrag	4
2.1 Projektkoordination	4
2.2 Versuche nach EN 275	5
2.3 Untersuchung der Befallsbereiche und der Ausbreitung der Holzbohrmuschel (<i>Teredo navalis</i>) flussaufwärts.....	9
2.3.1 Test zur Ermittlung der Befallshöhe.....	9
2.3.2 Untersuchungen zur Ausbreitung der Holzbohrmuschel (<i>Teredo navalis</i>) in Ems und Weser	10
2.4 Realitätsnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz mit Geotextilien	11
2.4.1 Rammung eines zusätzlichen Reibepfahls.....	11
2.4.2 Entnahme von Rammpfählen	13
2.4.2.1 Unterteilung und Einschnitt der Hölzer	14
2.4.3 Untersuchung der Geotextilien	14
2.4.3.1 Funktionsprüfungen im Labormaßstab	15
2.4.3.2 Visuelle Feststellungen.....	16
2.4.3.3 Bestimmungen des Bewuchses auf den Geotextilien	16
2.5 Befallsdiagnostik von Holz zerstörenden Pilzen und Bakterien an Dalben	16
2.6 Optimierung von Holzpfählen für den Wasserbau	18
2.6.1 Rundholzpfähle aus Kernholz.....	18
2.6.2 Kernholzpfähle mit Achteckquerschnitt	19
2.6.3 Längsverbinding von Holzabschnitten	20
2.7 Untersuchungen zum Wassertransport und zur Salzausbreitung im Holz	21
2.7.1 Bestimmung der Holzfeuchte von im Salz- und Süßwasser exponierten Nadelholzstämmen.....	21
2.7.2 Quantitative Bestimmung des Glührückstandes und verschiedener Metallionengehalte von im Salzwasser exponierten Nadelholzstämmen	25
2.8 Bestimmung der fungiziden Wirksamkeit von Kochsalz	29
3 Auswertung und Ergebnisse.....	30
3.1 Versuche mit Normproben gemäß EN 275 und Rundholzproben.....	30
3.2 Befallsbereiche und der Ausbreitung von <i>Teredo navalis</i> flussaufwärts.....	32
3.2.1 Befallshöhe an Rammpfählen und Kanthölzern	32
3.2.2 Ausbreitung von <i>Teredo navalis</i> in Ems und Weser	34
3.3 Ergebnisse der praktischen Untersuchungen.....	36
3.3.1 Rammung eines zusätzlichen Reibepfahls.....	36

3.3.2 Untersuchung entnommener Rammpfähle.....	36
3.3.2.1 Allgemeine Feststellungen.....	37
3.3.2.2 Feststellungen an den Hölzern aus Norddeich.....	37
3.3.2.2.1 Untersuchungen der Abschnitte oberhalb Hochwasser.....	38
3.3.2.2.2 Untersuchungen der Abschnitte unterhalb Hochwasser.....	38
3.3.2.3 Feststellungen an den Hölzern aus Bensorsiel.....	40
3.3.2.3.1 Untersuchungen der Abschnitte oberhalb Hochwasser.....	40
3.3.2.3.2 Untersuchungen der Abschnitte unterhalb Hochwasser.....	40
3.3.3 Untersuchung der Geotextilien.....	41
3.3.3.1 Ergebnisse der Funktionsprüfung im Labormaßstab.....	41
3.3.3.2 Visuelle Feststellungen.....	41
3.3.3.3 Bewuchs auf dem Geotextil.....	41
3.4 Holz zerstörende Pilze und Bakterien an Dalben.....	42
3.5 Wassertransport und Salzausbreitung im Holz.....	44
3.5.1 Zeitliche Änderung der Holzfeuchte von im Salz- und Süßwasser exponierten Nadelholzstämmen in Abhängigkeit von der Messstelle.....	44
3.5.2 Quantifizierung des Glührückstandes und verschiedener Metallionengehalte von im künstlichen Salzwasser exponierten Nadelhölzern nach 6 bzw. 12 Monaten.....	51
3.5.3 Quantifizierung des Glührückstandes und verschiedener Metallionengehalte von unter Praxisbedingungen exponierten Nadelholzstämmen nach 5 Jahren Standzeit.....	60
3.6 Zur fungiziden Wirksamkeit von Natriumchlorid.....	64
3.7 Verfahren zur Optimierung von Holzpfählen.....	68
3.7.1 Rundholzpfähle aus Kernholz.....	68
3.7.2 Kernholzpfähle mit Achteckquerschnitt (Kernholzpfähle mit Oktagon-Querschnitt).....	68
3.7.3 Längsverbindungen von Holzabschnitten.....	69
4 Diskussion und Schlussfolgerung.....	72
4.1 Eignung von Geotextil zum Holzschutz im Meerwasser.....	72
4.2 Gefährdung von Holz im Untersuchungsgebiet.....	74
4.3 Gefährdung durch Holzpilze oberhalb der Wasserlinie und Schutzmöglichkeiten.....	74
4.4 Maßnahmen zur Reduzierung der Steighöhe im Pfahl und dem Eindringen von Wasser über die Stirnseite.....	76
5 Forschungsbedarf und Ausblick.....	76
6 Literatur.....	77

1 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Im abgeschlossenen Projekt „Praxisnahe Untersuchungen zur Wirksamkeit von Geotextilien gegen Holzschädlinge im Meerwasser“ mit dem AZ 30193 wurde nachgewiesen, dass Geotextilien den Befall von Holz durch Holz zerstörende Organismen im Meerwasser zumindest über einige Jahre verhindern können. Damit ist die temporäre Schutzwirkung für Holz mit permanentem Meerwasserkontakt grundsätzlich nachgewiesen. Aus dem Projekt ergaben sich Fragestellungen, die sowohl Randbedingungen bezüglich eventuell notwendiger Schutzmaßnahmen von Holz außerhalb des Meerwassers betreffen als auch die Optimierung von Pfählen unter Gesichtspunkten des Holzschutzes betrafen. Diese Fragen sollten in dem Projekt „Praxisnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz im Meerwasser“ nach Möglichkeit geklärt werden, bevor eine Anwendung von mit Geotextil ummanteltem Holz im Meerwasser empfohlen werden kann.

2 Versuchsdurchführung gemäß Projektantrag

2.1 Projektkoordination

Im Rahmen der Projektkoordination erfolgten ab Mitte April 2015 eine Vielzahl von Gesprächen mit dem Projektpartner Niedersachsenports (NPorts) bezüglich Standortfrage und Weiterführung der Untersuchungen. Der Versuchsstandort in Norddeich für die Normprüfungen konnte weiterhin zur Verfügung gestellt werden. Zudem bot NPorts Hilfe bei der Probennahme für die geplanten Pilzuntersuchungen und den Einsatz eines Arbeitsbootes an. Es wurde vereinbart, vom Arbeitsboot aus ungeschützte Kanthölzer zur Ermittlung der Befallshöhe im Hafenbecken einzusetzen.

Weiterhin sagte NPorts die praktische Erprobung der Ummantelung vor Ort durch eigene Mitarbeiter zu. Die Vorbereitung des Rundholzes sollte dabei von NPorts-Mitarbeitern vorgenommen werden, damit die Praktiker den möglichen Einsatz der Schutzvariante praktisch testen und somit beurteilen konnten.

Für die Versuche in den Küstenregionen wurden Stammabschnitte der Holzarten Fichte, Lärche, Douglasie und Kiefer von Niedersachsenforst ab Wald angeboten. Allerdings handelte es sich hierbei um Versuchsholz aus einem Projekt zur Erprobung eines neuen Entrindungsverfahrens im Wald (Debarking Heads). Am 10.07.2015 fand hierzu eine Besprechung vor Ort statt. Nach visueller Erstbeurteilung handelte es sich um gerade Stämme der Holzarten Fichte, Lärche und Douglasie mit relativ guter Entrindung. Bei Kiefer waren bis ca. 20 % der Rinde am Stamm verblieben, dies insbesondere an Krümmungen und Beulen.

Der Holztransport wurde für den 04.08.2015 terminiert und begleitet. Bei der Verladung wurde festgestellt, dass sich auf der entrindeten Oberfläche Holz verfärbende Pilze etabliert hatten, dies insbesondere bei der Kiefer. Grund hierfür dürfte die Lagerung des entrindeten Holzes in Haufenpolter sein. Offensichtlich begünstigt die Entrindung den Zutritt von Schimmelsporen, da hier die gesamte Oberfläche freiliegt und das Klima im Polter für Pilzwachstum förderlich sein dürfte.

Nach Anlieferung des Holzes auf dem Betriebsgelände erfolgte eine Nachentrindung und die umgehende Polterung der Abschnitte mit ca. 15 cm dicken Zwischenlegern in einer seitlich offenen Halle, um das Holz vor weiteren Niederschlägen zu schützen, was bis auf Ausnahme bei einigen Fichtenabschnitten auch gelang.

Für die Untersuchungen der mechanischen Längsverbindungen von hölzernen Ramppfählen konnte das Institut für Bauphysik der Leibniz Universität, Hannover, gewonnen

werden. Das Thema wurde zunächst im Rahmen einer Seminararbeit (Guyer 2016) untersucht und nachfolgend im Rahmen einer Vorstudie zu einem Forschungsprojekt verfolgt. Die Bereitstellung des Versuchsholzes einschließlich der Organisation des Rundfräsens bei der Firma Stellmacher wurden vom Antragsteller organisiert. Ebenfalls erfolgte der Holztransport zur Firma Stellmacher und anschließend zur Universität nach Hannover mit eigenen Fahrzeugen.

Zur Untersuchung der Salzausbreitung im Holz oberhalb der Wasseroberfläche wurde an mehreren Terminen ein Versuchsplan erarbeitet und umgesetzt. Grundlage hierfür bildete eine im Vorfeld an der Universität Hamburg unter der praktischen Anleitung von Herrn Dr. Melcher durchgeführte Bachelorarbeit, die im Februar 2015 abgeschlossen wurde (Baron 2015).

2.2 Versuche nach EN 275

Die Versuche mit Proben nach EN 275:1992 wurden am Standort Norddeich fortgesetzt und abgeschlossen. Zu Versuchsbeginn (2012) wurden am Standort Norddeich Normproben aus Douglasensplintholz und Rundholzproben aus Kiefernplintholz ausgebracht worden.

Abweichend von der im Anhang A der Norm beispielhaft dargestellten Prüfeinrichtung musste eine Befestigung der Probenkörper ohne Bohrung gewählt werden, da das Geotextil einen vollflächigen Schutz des Holzes bieten sollte. Dabei wurde das Geotextil an beiden Enden mit einem Überstand von ca. 5 cm auf die Proben gespannt. Im Bereich einer Schmalseite der Brettchen überlappte sich das Material ca. 3 cm. Hier erfolgte die Befestigung des Geotextils auf der Holzprobe mit einer Holzleiste (Holzart Basralocus), die mittels Edelstahlschrauben auf dem Probenkörper befestigt wurde und so das Geotextil auf die Holzprobe presste. Anschließend wurde das Geotextil an den Längsenden mit Kabelbindern an den Probenrändern fest zusammengezurrut. Die unbehandelten Kontrollproben erhielten bei Versuchsbeginn ebenfalls eine Holzleiste zur Befestigung der Proben am Probenstrang. Später eingesetzte Kontrollproben wurden mit Kabelbindern an die Probenstränge befestigt oder gesondert ausgehängt.



Abbildung 1: Modifizierte Versuchsanordnung von Geotextil ummantelten Normprüfkörpern.

Zur Verbindung und Beschwerung der Proben wurden Stahlketten gewählt, durch deren Glieder die an beiden Probenenden überstehenden Leisten geführt und außenseitig

gesichert wurden. Somit waren die Proben wie Sprossen einer Strickleiter beweglich miteinander verbunden und konnten dem Probenstrang einzeln entnommen werden, ohne dass die gesamte Prüfeinrichtung geöffnet werden musste (Abbildung 1).

Die Probenstränge wurden am 23.07.2012 mit einem Kunststoffseil oberhalb der Wasseroberfläche an einem Schwimmsteg im Hafen Norddeich befestigt und in das Wasser abgelassen. Mit der Veränderung der Wassertiefe am Steg durch auflaufendes und ablaufendes Wasser variierte auch der Abstand der Proben vom Hafensboden permanent. Der Abstand der Proben von der Wasseroberfläche blieb jedoch gleich. Bedingt durch die Länge der Probenstränge von 2 m reichten die Proben 0,5 m bis 2,5 m tief ins Wasser.

Im Laufe der Versuche wurde bei Kontrollen jedoch eine Verringerung der Wassertiefe durch die Hafenschlickung beobachtet. Dies führte dazu, dass die Probenstränge bei Niedrigwasser den Schlickboden erreichten. Aus diesem Grunde wurden die Enden der Probenstränge zusammengebunden, wodurch die Länge der Stränge halbiert werden konnten und die Proben den Boden nicht mehr berührten.

In den Folgejahren wurden die nach Norm geforderten Kontrollhölzer jährlich gesondert ausgebracht und die erforderlichen Arbeiten (allgemeine Kontrolle, Bewuchskontrolle, und Auswerten von Kontrollhölzern) durchgeführt. In allen Versuchsjahren wurden die Kontrollproben durch Holzbohrmuscheln (*Teredo navalis*) befallen, womit das permanente Vorkommen dieses Holzschädlings am Standort nachgewiesen wurde.

Neben den in der ersten Projektphase eingesetzten Geotextilien wurden – allerdings im Jahr 2014 zwischen Projektphase I und II – weitere Produkte aus dem Baumschulsektor auf ihre Eignung für den vorgesehenen Schutz des Holzes überprüft; konkret wurden Kokosgewebe und ein Gewebe auf Milchsäurebasis (Mulchvlies aus Polymilchsäurefaser – engl.: Poly Lactic Acid, kurz PLA) getestet. Beide Materialien erwiesen sich in der zur Verfügung gestellten Art als ungeeignet. Mit dem erprobten Kokosgewebe konnte kein ausreichend dichter Oberflächenschutz hergestellt werden. Mit PLA wurde dagegen ein offensichtlich dichter Schutzüberzug erreicht, allerdings zeigte das Material nach etwa einem Jahr im Meerwasser deutliche Zersetzungserscheinungen, so dass ein langfristiger Schutz hiermit nicht gewährleistet werden kann.

Da sich sowohl PLA als auch das Kokosgewebe als nicht geeignet erwiesen hatten, wurden diese Produkte im neuen Projektabschnitt nicht weiter eingesetzt.

Die positiven Zwischenergebnisse ermutigten dazu, mögliche spätere Anwendungen des Verfahrens in Betracht zu ziehen. Neben dem Einsatz an deutschen Standorten waren dabei auch insbesondere Hafenstädte im europäischen Ausland von Interesse. Nach Befragungen von Marktteilnehmern kam hierbei neben den Niederlanden besonders Italien mit der Lagunenstadt Venedig in Betracht. Allerdings weichen die Bedingungen in Bezug auf die Lebensbedingungen für Holzschädlinge im Meerwasser in den Niederlanden jedoch nicht nennenswert von den Verhältnissen an den deutschen Küstenorten ab.

Anders sind die Verhältnisse dagegen in Venedig, da die Lebensbedingungen für die Schädlinge aufgrund der höheren durchschnittlichen Wassertemperaturen in der Adria im Vergleich zur Nordsee deutlich besser sind. Hier können Dalben in wenigen Jahren stark zerstört werden (Abbildung 2) Es schien folglich angebracht, die Eignung von Geotextilien zum Schutz von Holz in der Adria zu prüfen.

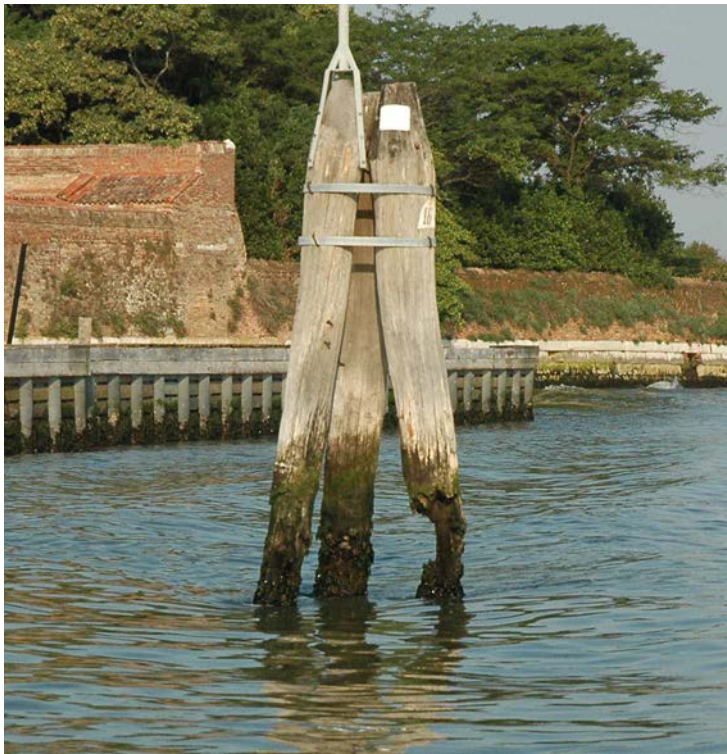


Abbildung 2: Durch *Limnoria* (Bohrasseln) zerstörte Pfähle in Venedig.

Über Kollegen aus Italien und unter Einbeziehung der Deutsch-Italienischen Handelskammer (AHK Italien) in Mailand konnte ein Kontakt mit der zuständigen Behörde in Venedig hergestellt werden. Die Behörde zeigte grundsätzliches Interesse an dem Schutzverfahren und bat um weitere Informationen, die übermittelt wurden. Nachdem von der Behörde eine mögliche Zusammenarbeit in Aussicht gestellt worden war, erfolgte im Juni 2017 ein Besuch in Venedig, um die Versuchs- und Einsatzbedingungen vor Ort zu überprüfen. Im Nachgang zu diesem Besuch erteilte die Behörde eine Genehmigung zur Versuchsdurchführung in der Nähe der Insel Sacca Sessola in der Lagune von Venedig. Die genauere Betrachtung des Standortes ergab jedoch, dass die Insel sich im Besitz einer Bank befindet und hier ein Luxushotel betrieben wird. Die Bank schloss allerdings nicht aus, die Versuche auf der Insel zu ermöglichen. Eine Umsetzung war innerhalb der Projektlaufzeit auf der Insel aus organisatorischen Gründen jedoch nicht möglich.

Im Fahrwasser vor der Insel befinden sich zwar einzelne Holzpfähle, an die Proben befestigt werden könnten. Diese Möglichkeit wurde allerdings nicht in Erwägung gezogen, da bei dem Besuch im Juni 2017 beobachtet worden war, dass insbesondere Schnellboote mit hoher Geschwindigkeit die Pfähle passieren und enorme Wellenschläge erzeugen. Deswegen wurden Probenstränge an diesen Pfählen als „nicht hinreichend sicher angebracht“ angesehen, weshalb der Standort nicht genutzt wurde.

Hingegen konnte über die wissenschaftliche Zusammenarbeit des Thünen-Instituts für Holzforschung mit dem Department of Wood Science and Technology der University of Ljubljana die Nutzung an einem Versuchsstandort im Hafen von Koper an der slowenischen Adriaküste vereinbart werden, der vom Department of Wood Science and Technology seit einigen Jahren genutzt wird. Prof. Miha Humar besorgte die Genehmigung für den Geotextilversuch im abgeschlossenen Hafengebiet und unterstützte die Versuchseinrichtung im April 2018. Mit diesen laufenden Untersuchungen soll die Eignung von Geotextilien geschützten Hölzern unter mediterranen Bedingungen geprüft werden. Zwar können auf Grund des späten Versuchsaufbaus in diesem Bericht noch keine Ergebnisse dargestellt werden. Da die Untersuchungen über die nächsten Jahre hinaus fortgeführt werden sollen, werden die Ergebnisse erst zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Im Testfeld in Koper wird neben einem bereits in Deutschland eingesetzten Geotextil (Abbildung 3) ein vergleichbares Produkt einer italienischen Firma eingesetzt, wobei der Kontakt zu dem Produzenten über die AHK Italien hergestellt wurde.



Abbildung 3: Probenstrang Koper vor Einbringung in den Hafen.

Zum Ende der Projektlaufzeit ergab sich durch ein Zusammentreffen mit italienischen Wissenschaftlern im Rahmen der Normungstätigkeit zur EN 275 die Möglichkeit, einen Versuchsstrang im Arsenal in Venedig auszubringen. Nach weniger als einem Monat waren die Probenhölzer äußerlich bereits stark bewachsen (Abbildung 4).

Alle noch laufenden Versuche sollen über das Projektende hinaus betreut und die Ergebnisse in Fachveröffentlichungen und auf Tagungen publiziert werden.



Abbildung 4: Probenstrang Venedig nach 4 Wochen – starker Bewuchs durch Tunikaten. (Foto: Irene Guarneri)

2.3 Untersuchung der Befallsbereiche und der Ausbreitung der Holzbohrmuschel (*Teredo navalis*) flussaufwärts

2.3.1 Test zur Ermittlung der Befallshöhe

Am 10.05.2016 wurden 8 vornehmlich aus Splintholz bestehende Kiefernkanthölzer (520*5*8 cm³) an unterschiedlichen Standorten im Hafen Norddeich mit Hilfe von NPorts-Mitarbeiter an Reibepfählen verschraubt (Abbildung 5).

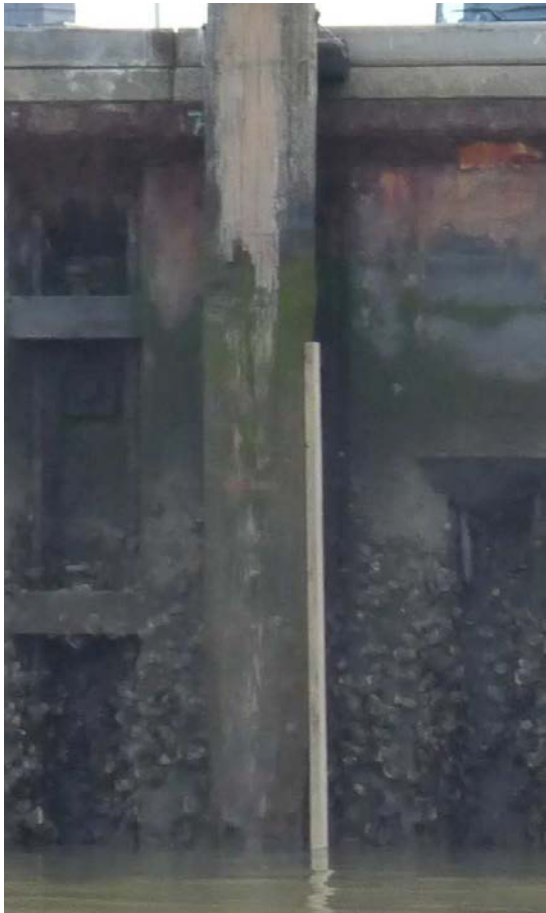


Abbildung 5: Kantholz an Reibepfahl (Niedrigwasser) zur Untersuchung der Befallshöhe.

Die Installation erfolgte bei Niedrigwasser, wodurch der Auftrieb der Hölzer geringer ist und die Befestigung im Tidenbereich mit Holzschrauben erfolgen konnte. Die Hölzer wurden leicht in den Schlick gedrückt, so dass sich der Bodenkontakt später am unteren Ende der Hölzer abzeichnete. Das obere Ende der Hölzer im Hafenbecken ragte bei Hochwasser ca. 0,5 m aus dem Wasser.

Ein Kantholz wurde am Kontrollpfahl der eigenen Rundholzversuche an der Hafenausfahrt befestigt. Hier war die Holzoberfläche vollständig von Austern besetzt, die zur unmittelbaren Auflage des Kantholzes auf die Rundholzoberfläche abgeschlagen werden musste. Das Kantholz ragte bei Hochwasser ca. 1,3 m aus dem Wasser heraus.

Betriebsbedingt musste ein Kantholz frühzeitig (Herbst 2016) entnommen werden. Unten am Kantholz, ca. 50 cm über dem Boden, wurden lediglich feine Fraßspuren festgestellt. Nach dieser Beobachtung wurde beschlossen, die weiteren Kanthölzer so lange wie möglich im Wasser zu belassen, um eindeutigeren Feststellungen treffen zu können, wobei die von der DBU genehmigte Projektverlängerung dies begünstigte.

Das Kantholz am Kontrollpfehl wurde zeitgleich mit den Pfählen in Norddeich am 28.07.2017 entnommen. Die Entnahme weiterer 5 Kanthölzer aus dem Hafenbecken erfolgte am 26.03.2018 mit Hilfe von NPorts-Mitarbeitern von einem Arbeitsboot aus. Ein Kantholz am Liegeplatz eines Versorgungsschiffes konnte erst am 10.07.2018 mit Unterstützung der Schiffsbesatzung entnommen werden.

Bei der Entnahme im März 2018 wurde festgestellt, dass die Hölzer nach dem Herausdrehen der Schrauben noch relativ fest standen, und z. T. mit dem Boot aus dem Boden gezogen werden mussten. An Land zeigten sich unterschiedliche Schlickgrenzen mit Abständen von 60 cm bis 110 cm über dem unteren Ende der Hölzer. Innerhalb der Expositionsdauer wuchs die Schlickablagerung im Hafenbecken stellenweise also um etwa 100 cm, was in diesem Umfang nicht erwartet wurde. Für den Befall von *Teredo navalis* und dessen Ausdehnung bedeutet dies, dass die anfänglich im unteren Kantholzbereich vorhandenen Schädlinge vom Schlick nach und nach abgedeckt wurden und evtl. frühzeitig abgestorben sind. Dies gilt nur begrenzt für das Kantholz am Liegeplatz des Versorgungsschiffes, weil hier nach Information eines Besatzungsmitglieds bei für das Schiff zu geringer Wassertiefe Schlick aus diesem Bereich des Hafenbeckens gebaggert wird. Bei der Entnahme dieses Kantholzes konnte visuell festgestellt werden, dass es zu diesem Zeitpunkt etwa 40 cm im Schlick gestanden hatte. Mittels Lot wurde eine Wassertiefe von etwa 2,5 m bei Niedrigwasser ermittelt. Allerdings teilte das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) auf telefonische Anfrage mit, dass zu diesem Zeitpunkt eine Abweichung vom mittleren Niedrigwasser von +15 cm vorlag.

Der mittlere Tidenhub beträgt laut BSH in Norddeich 2,5 m. Dieser Wert wird bei der Abgrenzung zwischen Hoch- und Niedrigwasserstand angenommen, auch wenn wegen abweichender Wasserstände und Wellenschläge eher ein Übergangsbereich anzunehmen wäre, was bei der Bewertung der Feststellungen bedacht werden sollte.

Zum Transport in einem Kastenwagen war es erforderlich, die Hölzer auf halber Länge zu kürzen. Vom oberen Abschnitt, der auch bei Hochwasser in der Regel aus dem Wasser ragte, wurde 1 m für Pilzuntersuchungen am Institut für Holzqualität und Holzschäden abgesägt.

Ursprünglich war geplant, den Boden des Hafenbeckens als Bezugsebene zur Ermittlung der Befallshöhe anzunehmen und den Befall mit dem Abstand vom Boden anzugeben. Durch Verschlickung und Ausbaggerungen änderte sich diese Höhe jedoch wiederholt und eignete sich somit nicht als Bezugsebene. Für die Festlegungen der Befallshöhe an den einzelnen Kanthölzern wurde deshalb der Hochwasserstand als Bezugshöhe angenommen.

Zur Beurteilung und Darstellung der Befallshöhe erfolgte eine Unterteilung der Kanthölzer in Abschnitte von 50 cm. Die Kanthölzer wurden kreuzweise aufgetrennt, wodurch neben der äußeren Holzoberfläche auch die resultierenden Innenflächen zur Feststellung des Befalls bewertet werden konnten. Zum Abgleich wurden mittlere, möglichst astfreie Bereiche der Abschnitte eines Kantholzes geröntgt. Zur Beurteilung wurde das Bewertungsschema aus der EN 275 herangezogen.

2.3.2 Untersuchungen zur Ausbreitung der Holzbohrmuschel (*Teredo navalis*) in Ems und Weser

In den Flüssen Ems und Weser wurden oberhalb der bisher bekannten Ausbreitungsgrenze zusammen mit vor Ort tätigen Personen Holzproben (sogenannte Fanghölzer) weiter von *Teredo navalis* ausgebracht. Die Ortsangabe erfolgt entsprechend der Kilometrierung der Flüsse, also in Emskilometer und Weserkilometer; soweit eine weitere Ortsangabe möglich war, wurde diese ergänzt. Bisher waren Nachweise von *Teredo navalis* für Emden und Bremerhaven bekannt, nicht jedoch weiter flussaufwärts.

Zur Orientierung: Die Kilometrierung der unteren Ems als Seeschifffahrtsstraße beginnt bei Papenburg (Ems-Km 0). Für Emden wird Ems-Km 40,7 angegeben. Die Kilometrierung der

Unterweser beginnt in Bremen und hat auf Höhe Bremerhaven den Wert Weser-Km 67,5 erreicht.

Das Untersuchungsgebiet in der Ems reichte von Ems-Km 28 bis Ems-Km 36, und in der Weser von Weser-Km 44,2 (Brake) bis 67,7 (Bremerhaven/Kaiserhafen).

Es wurden Standorte gewählt, die in der Regel nicht unmittelbar vom Schiffsverkehr betroffen und vom Ufer durch Unbefugte nicht erreichbar sind. Die Befestigung übernahmen in der Regel Partner aus der Praxis (Berufsfischer, Wassersportler), die mit den Bedingungen vor Ort vertraut waren. Somit darf eine fachgerechte Befestigung der Probenstränge angenommen werden.

In der Ems wurde im Juni 2017 eine Edelstahlwanne so positioniert, dass sie nur etwa 3 bis 4 Stunden während des Hochwassers von Wasser mit erhöhtem Salzgehalt überflutet wurde. Mit Fangproben in der Wanne sollte überprüft werden, ob die Lebensbedingungen weiter flussaufwärts in Bereichen, die nicht trockenfallen (z. B. Auskolkungen an Pfählen), für die Bohrmuschel ausreichend sind.

An einigen Stellen waren die Proben jedoch am Ende der Versuche nicht mehr aufzufinden. Grund hierfür mögen Abrisse durch die zeitweise extreme Strömung in den Flüssen oder Zerstörung durch Fremdpersonen sein.

In die Auflistung der Probenstandorte wurden nur die Standorte einbezogen, an denen die Proben am Versuchsende noch vorhanden waren.

Am 10.06.2015 wurden erstmals Normprüfkörper in die Weser ausgebracht. Die Probenstränge bestanden aus jeweils 3 Kiefernholzer mit Normgröße, die in einem Abstand von ca. 2 m an einem dünnen Kunststoffseil befestigt waren. Zur Beschwerung wurden jeweils Gewichtsstücke von 2 kg bis 3 kg eingesetzt.

Diese Proben wurden am 13.04.2016 kontrolliert und teilweise zur Untersuchung dauerhaft entnommen; zudem wurden neue Proben ausgehängt.

Ende April 2017 wurden Normproben an einer Treppe des Nachtanlegers der Schnellfähre Brake – Sandstedt und an einer Slipanlage des Wassersportvereins Landwürden ausgehängt. Die Entnahme der Proben erfolgte Ende Dezember 2017.

Am 11.05.2017 erfolgte ein weiterer Probenaushang in der Ems. Wegen der Probenverluste im Vorjahr wurden die Proben an Bojen mit schweren Gewichtsstücken in die Ems außerhalb der Fahrrinne ausgebracht. (Ausnahme Pfahl an der Hafeneinfahrt Ditzum.) Die Bojen waren mit einer Fischerei-Nummer gekennzeichnet.

Als Zusatzproben wurden 3 schmalere Hölzer in einen trichterförmigen Kunststoffbecher eingebracht. So sollen die Holzoberflächen vor der starken Strömung geschützt werden, damit sich Bohrmuschellarven besser ansiedeln können. Der Kunststofftrichter sollte sich in die Strömung legen und den Wasserstrom von der Probe abhalten.

2.4 Realitätsnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz mit Geotextilien

2.4.1 Rammung eines zusätzlichen Reibepfahls

Am 05.12.2016 wurde ein zusätzliches Rundholz in Harlesiel ummantelt und im Hafen eingerammt. Ziel dieses Versuches war es zum einen, den Mitarbeiter von NPorts die Ummantelung des Rundholzes nach einer Vorbesprechung weitestgehend zu überlassen, damit diese praktische Erfahrungen mit dieser zusätzlichen Arbeit machen konnten. Durch den Einsatzort an der Kaimauer in einer Reihe mit weiteren Reibepfählen sollte zudem beobachtet werden, ob Schäden durch anliegende Schiffe auftreten.

Für die Ummantelung wurde ein Rammfahl genutzt, den NPorts im Auftrag des Hafens Harlesiel an der östlichen Kaimauer einrammen sollte. Das Hafenbecken fällt hier bei Ebbe in vielen Bereichen trocken, weshalb die Wassertiefe am Rande des Hafenbeckens stellenweise nur dem Tidenhub entspricht (Abbildung 6).



Abbildung 6: Rammen eines mit Geotextil ummantelten Reibepfahls in Harlesiel.

Da von NPorts entnommene Althölzer vornehmlich nahe am Gewässerboden einen Befall durch *Teredo navalis* aufwiesen, wurde die Ummantelung auf diesen Bereich beschränkt. Damit war auch das Arbeiten der Vibrationsramme weniger eingeschränkt, denn gerade im mittleren Stammabschnitt muss der Greifer das Rundholz fassen. Ein Ummantelungsbereich über 5 Meter, wie in den vorherigen Versuchen, hätte den Zugriffsbereich dagegen stark eingeschränkt.

Der maschinenentrindete Stamm wies an der Oberfläche Einschnitte und aufgerichtete Fasern auf. Um eine höhere Sicherheit gegen Schäden zu erreichen, wurde das Geotextil doppelt aufgelegt.

Konkret wurde das Rundholz über eine Länge von 2,80 m geschützt, wobei ca. 50 cm des Geotextils in den Schlickboden des Hafenbeckens reichen und ca. 2,30 m im Tidenbereich dem Wasser ausgesetzt wird.

Das Geotextil wurde zunächst auf einer Längsseite auf dem Stamm mit Nägeln fixiert und anschließend straff um den Stamm gezogen. Am anderen Ende wurde eine Latte (4 cm x 6 cm) in das Geotextil eingewickelt. Die Latte mit der Längsseite des Geotextils wurde auf den Stamm gepresst und mit Schrauben (Länge 180 mm) auf den Stamm befestigt. Anschließend erfolgte die Befestigung der oberen und unteren Enden des Geotextils mit Metalllochbändern (Breite 50 mm) sowie mit Kammnägeln auf der Stammoberfläche. Besonders am unteren Ende des Geotextils entstand dabei eine Wulst, die beim Einrammen

in den Hafengebieten einen zusätzlichen Widerstand erzeugt hätte. Diese Wulst wurde mit einem weiteren, dünneren Lochband an die Stammoberfläche gepresst.

Es ergab sich, dass der Rammvorgang wegen einer harten Bodenschicht nicht auf die geplante Tiefe durchgeführt werden konnte, weshalb der Pfahl wieder aus dem Boden gezogen werden musste, um gekürzt zu werden. Dies ermöglichte eine visuelle Kontrolle der unteren Befestigung des Geotextils, dass bereits in den Boden eingerammt worden war; am Geotextil und an den aufgetragenen Lochbändern konnten dabei keine Veränderungen festgestellt werden.

2.4.2 Entnahme von Rammpfählen

Die in Norddeich eingesetzten Rundhölzer wurden am 28.07.2017 vom Arbeitsschiff Seelöwe mit einer Vibrationsramme aus dem Hafenbecken gezogen. Der Termin war kurzfristig angesetzt und nicht mit dem Antragsteller abgestimmt worden, weshalb eine Teilnahme zwecks Dokumentation der Entnahme nicht möglich war. Nach Mitteilung über die Entnahme der Stämme wurden erste Fotos von den noch auf dem Arbeitsschiff liegenden Stämmen gemacht.

Da der Rammgreifer die Stämme offenbar im Bereich der Geotextilien fasste, wurden diese während der Entnahme teilweise stark zerstört (Abbildung 7).



Abbildung 7: Bei der Entnahme zerstörte Holzoberfläche und eingerissenes Geotextil.

Bis zum Transport mit einem Langholz-LKW am 03.08.2017 nach Dörpen lagerten die Hölzer etwa drei Tage auf dem Schiff und anschließend an Land im Hafen Norddeich. In Dörpen wurden die Rundhölzer in die eigene seitlich offene Holzlagerhalle auf Unterleger abgelegt.

Die in Bengersiel eingesetzten Hölzer wurden am 11.10.2017 ebenfalls mit der Vibrationsramme aus der Fahrrinne entnommen. Schäden am Geotextil entstanden dabei nicht, da die Pfähle mit dem Greifer oberhalb des Geotextils gefasst, freigezogen und anschließend auf dem Schiff abgelegt werden konnten. Hier erfolgte eine Unterteilung in drei etwa gleichlange Abschnitte, wobei die Sägeschnitte jeweils kurz oberhalb und unterhalb des

Geotextils angesetzt wurden. Zur Übergabe der Abschnitte an Land wurde ein Bordkran eingesetzt, der die mit Gurten umfassten Hölzer auf einen Anhänger ablegte. Hiermit erfolgte der Transport zum eigenen Betriebsgelände insgesamt ohne Schäden am Geotextil. Zur nachträglichen Feststellung der Ausrichtung der Pfähle wurden wiederum die Befestigungslatten herangezogen.

Um einen Einfluss der Himmelsrichtung auf den Bewuchs erfassen zu können, wurden die Ausrichtung der Hölzer anhand von Merkmalen und einem Abgleich mit Fotos festgehalten.

2.4.2.1 Unterteilung und Einschnitt der Hölzer

Nach dem Entfernen der Befestigung (Schrauben, Latten, Stahlbänder) konnte das Geotextil von den Rundhölzern abgetrennt werden. Die langen Hölzer aus Norddeich wurden danach ebenso wie die Hölzer aus Bensorsiel zu drei etwa gleich lange Abschnitte abgelängt.

Von allen obersten Abschnitten wurde das während des Versuchs direkt bewitterte Hirnholzende mit einer Länge von 1 m abgetrennt. Für die Analyse der Salzausbreitung im Holz wurden zudem Stammscheiben gesägt. Weitere Angaben hierzu enthält Abschnitt 2.7.2.

Die nach der Entnahme der Stammscheiben verbleibenden Rund- und Kantholzabschnitte wurden aufgesägt und auf Pilzbefall (oberhalb Hochwasserbereich) und Bohrmuschelbefall untersucht, s. Abschnitt 3.3.

Im unteren Unterwasserbereich war der Kontrollpfahl aus Norddeich stark verunreinigt und zudem durch den Bewuchs mit Seepocken und Bohrmuschel mit Kalkan- und -einlagerungen beladen. Beim Einschnitt mit der Stammholzsäge war deshalb hierdurch ein rasches Abstumpfen des Sägebandes zu befürchten. Deshalb wurde dieser Bereich mit der Motorsäge zu Kurzabschnitten gesägt, die mit Spaltwerkzeugen geviertelt wurden. Zur Ermittlung des Befalls standen somit die Querschnittsflächen als auch die Spaltflächen zur Verfügung.

2.4.3 Untersuchung der Geotextilien

Für die Untersuchung der Geotextilien standen nachfolgend je nach Einsatzort und -art nachfolgende Produkte zur Verfügung:

Secutex R 606	Bensorsiel nach 4 Jahren (Rammpfahl)
Secutex R 606	Norddeich nach 5 Jahren (Rammpfahl)
Secutex R 504	Bensorsiel nach 4 Jahren (Rammpfahl)
Terrafix 609	Norddeich nach 5 Jahren (Rammpfahl)
Secutex R 606 C	Norddeich nach 5 Jahre (Rundholzproben)
Secutex R 606 C	Norddeich nach 5 Jahren (Rechtecknormprobe)
Secutex R 504	Norddeich nach 5 Jahren (Rundholzproben)
Secutex R 504	Norddeich nach 5 Jahren (Rechtecknormprobe)
Terrafix 609	Norddeich nach 5 Jahren (Rundholzproben)
Terrafix 609	Norddeich nach 5 Jahren (Rechtecknormprobe)

Die vom Hersteller angegebenen Materialeigenschaften dieser Produkte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Zusammenstellung einiger Materialeigenschaften der verwendeten Geotextilien.

Eigenschaften	Einheit	Terrafix 609	Secutex R 504	Secutex 606 R	Secutex R 606 C
Material	-	Polypropylen (PP), Polyester (PES), bunt	Polypropylen (PP), Polyester (PES), bunt	Polyester (PES), weiß	Polyester (PES), weiß, kalandriert
Masse	g/m ²	642	500	ca. 598	574
Dicke	mm	5,30	4,10	ca. 5,5	2,6
max. Zugfestigkeit (md/cmd)*	kN/m	≥ 12,0 / ≥ 12,0	12,0 / 18,0	ca. 16,0 / 16,0	20,0 / 32,0
Charakteristische Öffnungsweite	mm	0,10	0,12	ca. 0,08	ca. 0,07

*md = machine direction (Produktionsrichtung), cmd = cross machine direction (quer zur Produktionsrichtung)

Ergänzende Anmerkungen: Produkte aus 100 % Polyester weisen laut Hersteller hinsichtlich der UV-Beständigkeit ein besseres Verhalten auf als PP/PES-Mischungen. Durch das Kalandrieren (Secutex R 606 C) wird das Produkt dünner, steifer und die Poren verkleinern sich.

2.4.3.1 Funktionsprüfungen im Labormaßstab

Die technischen Eigenschaften der Vliesstoffe wurden im Labor der Firma NAUE geprüft, wobei jeweils sowohl das Ausgangsmaterial (zwischenzeitlich in einem unbeheizten Raum gelagert) als auch, die über die Versuchszeit beanspruchten Proben einbezogen waren. Dabei wurde die Abweichung zum Ausgangswert in Prozent bestimmt.

Folgende Laboruntersuchungen wurden durchgeführt:

- Masse pro Flächeneinheit (DIN EN ISO 9864)
- Höchstzugkraft und Hochzugkraftdehnung (DIN EN ISO 10319)
- Wasserdurchlässigkeit (Durchflussmenge) normal zur Ebene mit fallender Wassersäule (DIN EN ISO 11058)

Geprüft wurden folgende Vliesstoffe:

- Secutex[®] R 606 (Rohstoff: PES)
- Secutex[®] R 606 C (Rohstoff: PES)
- Secutex[®] R 504 (Rohstoff: PP/PES)
- Terrafix[®] 609 (Rohstoff: PP/PES)

2.4.3.2 Visuelle Feststellungen

Die eigenen Beobachtungen über die Versuchszeit wurden notiert und zusammenfassend beschrieben.

2.4.3.3 Bestimmungen des Bewuchses auf den Geotextilien

Der Bewuchs auf den Geotextilien wurde von der Firma Aqua Ecology GmbH & Co. KG in Oldenburg bestimmt. Ausgewertet wurde der Oberflächenaufwuchs von jeweils drei Kratzproben einer etwa 10 cm² großen Fläche von drei unterschiedlichen Geotextilien, gekennzeichnet mit den Nummern 70 (Secutex R 606 C), 75 (Terrafix 609) und 80 (Secutex R 504). Die Proben wurden aus verschiedenen Bereichen der Geotextilien entnommen. Die mikroskopische Analyse erfolgte mit Hilfe einer Stereolupe und eines umgekehrten Mikroskops am Tag nach der Probenentnahme.

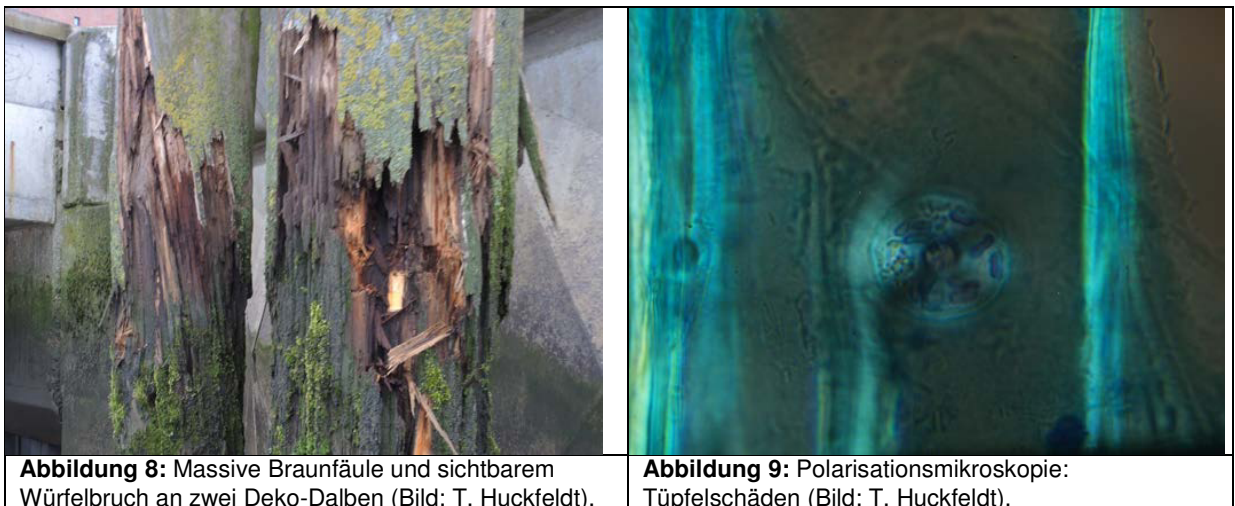
2.5 Befallsdiagnostik von Holz zerstörenden Pilzen und Bakterien an Dalben

Für die Bestimmung der Holz zerstörenden Pilze und Bakterien wurden rund 140 Proben von befallenen Holzkonstruktionen (Dalben) sowie von exponierten Versuchshölzern entnommen. Die Ergebnisse sind im Abschnitt 3.4 dargestellt.

Je nachdem, welche Holzbestandteile vorrangig von dem Pilz abgebaut werden, ist zwischen vier verschiedenen Fäuletypen zu unterscheiden. Diese werden nachfolgend kurz erläutert.

Braunfäule

Braunfäulepilze bauen Cellulose, Hemicellulosen und Pektine ab. Der Abbau geht mit einem Festigkeitsverlust einher, der bereits bei einem geringen Masseverlust des Holzes einsetzt. Braunfaules Holz schrumpft beim Trocknen und stärkerem Abbau vornehmlich in axialer Richtung, was zum typischen Würfelbruch mit Rissen quer und längs zur Holzfaser führt. Ebenso kann ein ringförmiger Zerfall (muschelähnlicher Bruch) des Holzes auftreten, wenn der Abbau im Frühholz schneller als im Spätholz voranschreitet (Abbildung 8).



Die Hyphen der Braunfäulepilze wachsen vorwiegend im Lumen des Holzes und nur selten direkt in den Zellwänden. Die Holz-Zersetzung erfolgt mithilfe spezieller Enzyme, die von der Hyphe in das Holz abgegeben werden. Der Holzabbau beginnt dabei oft in der Sekundärwand 1. Dabei werden kaum Kavernen gebildet, jedoch vermindert der starke

Celluloseabbau die Polarisation des Holzes, womit ein Nachweis für einen Befall durch Braunfäulepilze möglich ist (Anagnost 1998; Lohwag 1937; Schneider 1922). Zudem ergeben sich im stark abgebauten braunfaulen Holz feine Mikrorisse und oft Tüpfelschäden (Abbildung 9).

Weißfäule

Weißfäulepilze bauen neben Cellulose, Pektinen (in geringerem Maße) und Hemicellulosen auch Lignin ab. Weißfaules Holz wird faserig, weich und meist im Verlauf des Abbauprozesses heller (deshalb die Bezeichnung: „Weißfäule“). Eine Rissbildung quer zur Faserrichtung erfolgt nicht. Die mechanischen Eigenschaften des Holzes bleiben im Vergleich zum Abbau durch Braunfäulepilze daher länger erhalten, allerdings kann die Bruchschlagfestigkeit nach einem zweiwöchigen Pilzbefall im Labor durchaus um 20 % sinken (Seifert 1968).

Die Hyphen der Weißfäulepilze wachsen ebenfalls vornehmlich im Lumen. Der Abbau schreitet in den Holzzellen streng vom Lumen (innere Holz-Oberfläche) zur Mittellamelle fort, wobei die einzelnen Wandschichten meist gleich intensiv nacheinander abgebaut werden; es ergeben sich dabei Kavernen von z. T. unterschiedlicher Art.

Moderfäule

Moderfäulepilze bauen - ähnlich wie Braunfäulepilze - vorrangig Cellulose und Hemicellulosen ab. Daher zeigt trockenes moderfaules Holz oft einen Würfelbruch. Dieser ist in der Regel einheitlich fein und wird oft als Braunfäule-ähnlicher Würfelbruch dargestellt; zuweilen tritt auch ein Abschilfern von Holz auf. Makroskopisch schwerer zu bestimmen sind Doppelbefälle von Weiß- und Moderfäulepilzen, da die Moderfäule dann oft weniger schwarzgrau ist und sich so farblich noch mehr der Braunfäule annähert (Abbildung 10). Jedoch sind die Abbaumechanismen andere: Ein Charakteristikum der Moderfäule ist ein kavernenförmiger Abbau der Holzzellwände (Abbildung 11).



Abbildung 10: Rundholz Nr. 2 - Befall von außen (im Bild unten) nach innen abnehmend (Bild: T. Huckfeldt).

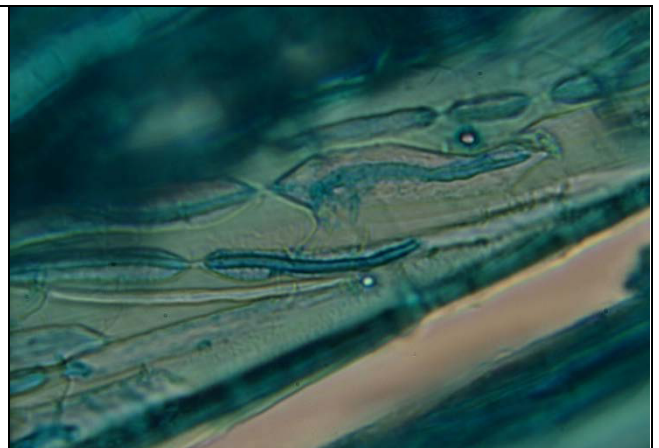


Abbildung 11: Rundholz Nr. 2 - kavernenförmiger Abbau der Holzzellwände; Durchlichtmikroskopische Aufnahme (Bild: T. Huckfeldt).

Bakterienfäule

Bakterien bauen wie Braun- und Moderfäulepilze insbesondere die Cellulose und Hemicellulosen ab, somit können flächige Schäden anhand der Polarisationsmikroskopie zugeordnet werden. Es werden drei Typen des Abbaus unterschieden, wovon hier zwei vorgestellt werden:

a) Erosionsbakterien: Dieser flächige Abbautyp tritt vermehrt auf, wenn ein Übergang von aeroben zu anaeroben Bedingungen vorliegt. An Pfahlgründungen kann häufig das Abbaumuster „Erosion“ beobachtet werden.

b) Tunnel-Bakterien: Sie bilden sehr feine, oft kurzastige, verzweigte Tunnel, an deren Spitze das Bakterium Holz abbaut. Die Verzweigungen entstehen, wenn sich das Bakterium zweiteilt. wurden seltener nachgewiesen.

2.6 Optimierung von Holzpfählen für den Wasserbau

2.6.1 Rundholzpfähle aus Kernholz

Nach DIN 68800-1:2011 gilt Bauholz noch als splintfrei, wenn der Splintholzanteil max. 5 % beträgt. Hiermit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass völlig splintfreies Holz in der Praxis kaum hergestellt werden kann, und zudem ein geringer Splintholzanteil aus Sicht des Holzschutzes hinnehmbar ist.

Zur Ermittlung des Standes der Technik erfolgte gemeinsam mit den Partnern von der Universität Hannover ein Besuch der Holzfachmesse Ligna in Hannover. Am Stand der Maschinenbaufirma Gerhard Stellmacher, die sich auf Maschinen für die Rundholzbearbeitung spezialisiert hat, fand eine Besprechung über die technischen Möglichkeiten zur Herstellung von Rammpfählen und über eine Zusammenarbeit statt.

Am 30.08.2017 und am 04.10.2018 erfolgte das Rundfräsen der angelieferten Hölzer (Abbildung 12).



Abbildung 12: Maschinelles Rundfräsen der Versuchshölzer.

Für die Versuche zur Längsverbindung von Holz an der Universität Hannover wurden zuvor ausgesuchte Rundhölzer mit einem Achteckquerschnitt zugeschnitten und hier auf einen Durchmesser von 15 cm rundgefräst. Am zweiten Termin wurden zwei ausgesuchte, relative gerade Rundhölzer mit dem Maximaldurchmesser von 31 cm hergestellt.

2.6.2 Kernholzpfähle mit Achteckquerschnitt

Bei einstiellig-rechteckig eingeschnittenem Holz befindet sich das Splintholz in der Regel in den Ecken des Querschnitts. Nach Wegschneiden dieser Bereiche wird der Holzquerschnitt splintfrei. Werden alle 4 Ecken eines Rechtecks entfernt, ergibt sich ein Achteck (Abbildung 13). Für die Versuche standen Rundhölzer aus Lärche und Douglasie zur Verfügung.



Abbildung 13: Herstellung eines Kantholzes im Achteckquerschnitt auf einem Wood-Mizer LT 15.

Weiterhin hat die Firma Hans Hundegger AG, Hawangen, die Idee zur Herstellung von Achteckquerschnitten mit der Holzabbundmaschine K2 im firmeneigenen Vorfürzentrum erprobt (Abbildung 14).



Abbildung 14: Achteck auf einer Hundegger-Anlage (Foto: Hundegger).

2.6.3 Längsverbindung von Holzabschnitten

In der Untersuchung wurden Rammpfähle aus Holz gemäß DIN EN 12699:2015-07 „Vorgefertigte Verdrängungspfähle“ behandelt. Dabei wurde der Einsatz von Längsverbindungen an Pfählen sowie mögliche Konstruktionen der Längsverbindungen betrachtet und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt (Guyer 2016). Ziel war es, die Herstellung von mehrteiligen Rammpfählen beispielhaft darzustellen. Die Betrachtungen erfassten den Stand von Wissenschaft und Technik zu dieser Fragestellung unter den Aspekt der Einwirkungen „Rammen“ und „äußere Einwirkung“, sowie der gegebenen Umgebungseinflüsse.

Bei der Berechnung und Bewertung bekannter Verbindungen waren die folgenden Verbindungsarten einbezogen:

- Einfache Verblattung
- Verbindung mit gezahntem Stahldorn
- Verbindung mit Stahlrohrhalbschalen
- Verbindung durch Stahlhülse
- Verbindung durch Stahlbetonmantel

Ergänzend zur Betrachtung bekannter Verbindungsarten wurde der Vorgang der Pfahlinstallation mit dem Programm GRLWEAP (Wave Equation Analysis of Pile Driving) in verschiedenen Böden simuliert. Mit dem Programm lassen sich Kräfte und Bewegungen am

Pfahl berechnen, die während der Pfahlinstallation mittels Schlag- oder Vibrationsrammung auftreten.

Ziel dieser Untersuchung war es, mittels Rammbarkeitsanalyse einerseits zu untersuchen, bis zu welcher Tiefe eine Rammung in verschiedenen Böden möglich ist, und ob der Pfahl mit der damit erreichten äußeren Tragfähigkeit voll ausgelastet wird. Des Weiteren kann untersucht werden, ob durch die Installation eine Ermüdungsbeanspruchung des Materials gegeben ist und ob diese beim Entwurf berücksichtigt werden muss. Die Rammbarkeitsanalyse mit GRLWEAP wurde im Rahmen der Seminararbeit (Guyer 2016) für die Schlagrammung durchgeführt.

Nach Betrachtung und Bewertung der bekannten Längsverbindungen wurden im Rahmen der Vorstudie eines Forschungsprojekts am Institut für Bauphysik der Leibniz Universität Hannover neue Verbindungstypen entwickelt, hergestellt und geprüft. Da Holzverbindungen im Wasserbau in der Regel während der Nutzung befeuchtet werden, wurden die entwickelten Verbindungen zum Vergleich an trockenen und an nach dem Aushärten der Verbindung befeuchteten Probenkörpern geprüft.

Zur Verklebung wurde der Klebstoff LOCTITE CR 421 PURBOND (2K-Polyurethan-System) von der Firma Henkel, Sempach, Schweiz, eingesetzt.

2.7 Untersuchungen zum Wassertransport und zur Salzausbreitung im Holz

2.7.1 Bestimmung der Holzfeuchte von im Salz- und Süßwasser exponierten Nadelholzstämmen

Für die Untersuchung der Holzfeuchteänderung in Nadelholzstämmen unter praxisnahen Bedingungen wurden insgesamt 24 unterschiedlich ausgeformte Stämme (Abbildung 15) im Freiland auf dem Gelände des Thünen-Instituts exponiert.



Abbildung 15: Vorbereitung der Stämme für das Setzen der Messelektroden (links) und achteckige Nadelholzstämmen (rechts).

Hierfür musste der Klotzteich mit den Abmessungen $5 \times 5 \times 1,30 \text{ m}^3$ des Thünen-Instituts für Holzforschung entsprechend umgebaut werden. Um bspw. die Stämme zu fixieren und um eine Begehbarkeit des Prüfstandes für die in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen durchzuführenden Holzfeuchtemessungen zu ermöglichen, wurden Stützelemente aus Holz und Stahlprofile eingebaut (Abbildung 16).



Abbildung 16: Stützkonstruktion zur Sicherung der Stämme und Gewährleistung des Begehbarkeit sowie vollständig eingerichtetes Prüffeld.

Um unter ansonsten gleichen Witterungsbedingungen sowohl die Untersuchungen im Süßwasser als auch im Salzwasser durchführen zu können, wurde in den Klotzteich ein aufrecht stehender Stahlzylinder mit einem Innendurchmesser von 1,5 m eingebracht. Zudem wurden alle Stämme mit einfachen Abdeckungen versehen, um ein Eindringen von Regenwasser über das obere Hirnholz zu vermeiden (Abbildung 16).



Abbildung 17: Vorratstank für Salzwasser mit Förderpumpe (links) und nahezu vollständig mit Salzwasser befüllter Stahlzylinder kurz vor Versuchsstart (rechts).

Anschließend wurde der Stahlzylinder mit dem ca. 3%igen Salzwasser befüllt (Abbildung 17), wobei die Pumpe während der Untersuchungen gleichzeitig dazu verwendet wurde, um das Salzwasser in dem Zylinder zwecks Konzentrationsausgleich umzuwälzen, sofern dies nach Regen- oder Salzeintrag erforderlich war.

Da die Bestimmung der Holzfeuchte in den im Süß- und Salzwasser in unterschiedlichen Stammhöhen mittels der elektrischen Holzfeuchtemessung erfolgen sollte, wurden zunächst in jeden Stamm sechs bzw. acht Elektrodenpaare 25, 35, 50 und 100 cm oberhalb Wasserlinie (jeweils gleiche Anzahl auf der Ost- bzw. Westseite) eingeschlagen; 100 cm Messfühler nur an den im Süßwasser exponierten Stämmen. Zu einem späteren Zeitpunkt wurden zusätzlich – soweit möglich - Messfühler in 15 cm über der Wasserlinie platziert, da

nach mehrmonatiger Exposition im Wasser sowohl bei Douglasie als auch Lärche in 25 cm Höhe lediglich witterungsbedingte Änderungen der Holzfeuchten zu verzeichnen waren.

Die Feuchtebestimmung erfolgte somit an 24 Stämmen mit 6 - 8 Messstellen, wodurch an jedem Messtag jeweils etwa 150 Einzelmessungen durchgeführt wurden.

Für die Untersuchung des Wassertransportes und der Salzausbreitung in den Stämmen sind sowohl die Steighöhe als auch die Feuchteverteilung über den Stammquerschnitt interessant. Bei Anwendung der elektrischen Widerstandsmessmethode für die Holzfeuchtebestimmung ist zu berücksichtigen, dass bei nicht isolierten Messelektroden das angeschlossene Holzfeuchtemessgerät immer die Feuchte des nassesten Holzbereichs in Kontakt mit den Elektroden anzeigt, weil dort der elektrische Widerstand am geringsten ist.

Auf den Einsatz von isolierten Messelektroden, mit denen der Ohm'sche Widerstand an den freien Spitzen, und damit in einer definierten Messtiefe, ermittelt werden kann, wurde wegen des hohen Material- und Messaufwandes verzichtet.

In der Annahme, dass ein aktiver Wassertransport über Kapillarkräfte nur im Splintholzbereich erfolgen wird, wurden nicht isolierte Elektroden eingesetzt. Um den Einfluss einer oberflächlichen Befeuchtung durch Regen oder Betauung auf die Messergebnisse auszuschließen, wurden die Löcher für die Elektroden in einem Winkel von 15° vorgebohrt. Die Länge der Elektroden wurde so gewählt, dass die Spitzen sicher durch den gesamten Splintholzbereich bis in das Kernholz reichten. Durch die nach unten gerichtete Schrägstellung der Elektroden wurde ermöglicht, dass sich Kondensat am Elektrodenende als Tropfen sammeln und abtropfen kann. Damit konnte verhindert werden, dass Kondensat über Kapillarkräfte entlang der Elektroden ins Holz eindringt. Zusätzlich wurde um die Bohrung herum ein Sackloch mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Tiefe von 5 mm gesetzt. Nach dem Einschlagen der Elektroden wurde dieses Sackloch mit PU-Bauschaum verfüllt. Hierdurch wurde erreicht, dass unabhängig vom Feuchtezustand der Holzoberfläche immer die Holzfeuchte in mindestens 5 mm Tiefe ermittelt wurde.

Aufgrund der direkten Bewitterung der Versuchshölzer am Thünen-Institut ergaben die Feuchtemessungen in diesem Becken keine Auskunft darüber, welcher Anteil an der Auffeuchtung der Hölzer dem axialen Wasseraufstieg aus dem Becken und welcher Anteil den Niederschlägen aus der Bewitterung zuzuordnen war.

Da in der Praxis vornehmlich entrindete Rundhölzer als Reibepfähle eingesetzt werden, erschien ein Einstellversuch mit Rundholzabschnitten unter Dach sinnvoll, um die direkte Bewitterung auszuschließen und zudem die Möglichkeit der Begrenzung des Wassertransportes durch ringförmige Einschnitte im Rundholz oberhalb der Wasserfläche zu untersuchen. Hintergrund des Einschnitts war zudem die Frage, ob der Übergang der Gebrauchsklassen nach DIN 68800-1 so genauer beschrieben werden kann.

Für den Versuch wurde ein Belag aus Holz auf eine Stahlkonstruktion ausgelegt und hierauf seitlich ein Holzrahmen geschraubt. Anschließend wurde die gefertigte Holz-Stahl-Konstruktion mit Teichfolie ausgekleidet. Damit das Hirnholz der einzustellenden Rundhölzer nicht direkt auf die Folie gestellt werden musste, dienten ca. 1 cm dicke Kunststoffleisten als Abstandhalter zwischen Hirnholz und Folie. Auf der Fläche wurden insgesamt 32 Rundhölzer (je Holzart 5 mit Nut und 3 zur Kontrolle ohne Nut) in 3 Reihen aufgestellt.

In den Versuch einbezogen waren die Nadelhölzer Lärche, Douglasie, Kiefer und Fichte. Die Hölzer waren 70 cm lang und hatten Durchmesser von 20 cm bis 35 cm. Wie in der Praxis wurden die Hölzer mit dem Zopfende in das Wasser gestellt; der Feuchte-transport erfolgte somit entgegen der Richtung des Wassertransportes im lebenden Baum.

Als Einstelltiefe waren 10 cm vorgesehen, wobei die Höhe des Wasserspiegels wegen der Verdunstung, der Wasseraufnahme des Holzes und der deshalb erforderlichen

Nachfüllungen nicht konstant gehalten werden konnte, sondern im Versuchsverlauf ca. 1 cm um diese Höhe variierte.

Der Einschnitt (Nut) lag 25 cm über der unteren Hirnholzebene und somit 15 cm über dem Wasserspiegel. Diese Distanz zur Wasserfläche ergab sich aus der Überlegung, dass auch in der Praxis Wellenschläge bis zu dieser Höhe durch leichten Wind oder Wasserfahrzeuge zu erwarten sind.

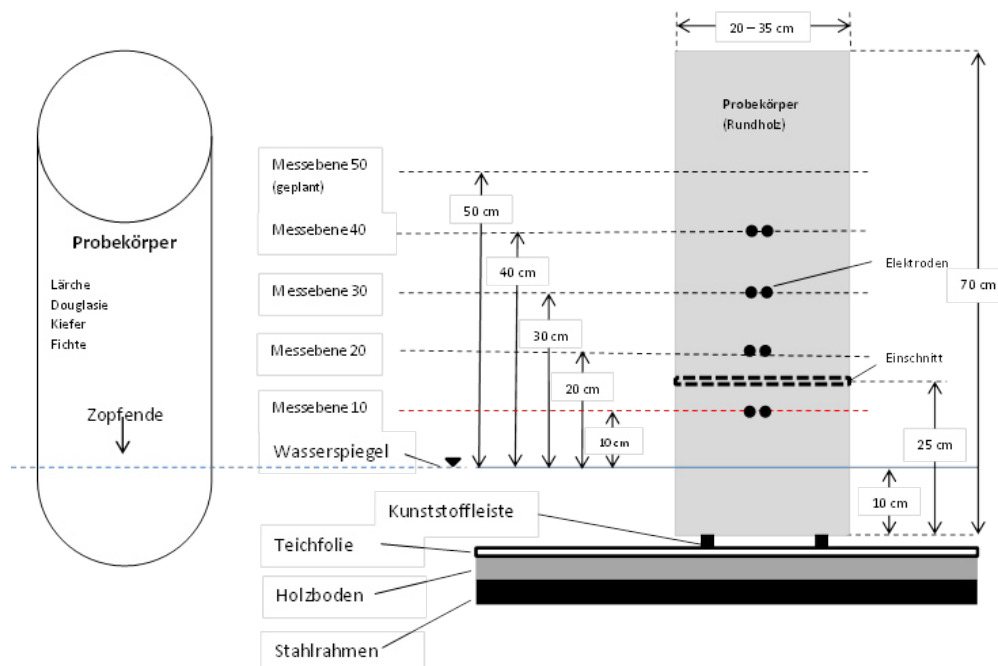
Der Einschnitt erfolgte zunächst mit einer Motorsäge, die mit einem Abstandhalter auf eine Tiefe von 3 cm begrenzt war. Da nicht ausgeschlossen werden konnte, dass sich auf feuchtem Hirnholz in der Nut Pilzbewuchs einstellen würde, wurde die mit der Motorsäge eingesägte Nut mit einem Fräsaufsatz für Einhandschleifer (Kaindl woodcarver) verbreitert, um den Luftzutritt im Einschnitt zu verbessern. Die Frästiefe betrug wiederum 3 cm bei einer Fräsbreite von ca. 1 cm.

Bei den bereits laufenden Versuchen am Thünen-Institut wurden Feuchtespitzen bei Kiefer und Fichte bis zu 50 cm oberhalb des Wasserspiegels gemessen. Allerdings variierte die Ausbreitung der Feuchte auf den Holzoberflächen nach Holzart und Beschaffenheit der Oberfläche. Deshalb wurden die untersten Messstifte in diesem Zusatzversuch zunächst 30 cm oberhalb der Wasserfläche platziert. Bei den eingeschnittenen Proben bestand somit zwischen Einschnitt und unterstem Messpunkt ein Abstand von 15 cm.

Nach oben hin wurden zwei weitere Messpunkte durch Vorbohren im Abstand von 10 cm angelegt, wobei zunächst nur die Messpunkte mit Abstand 40 cm von der Wasserfläche mit Stiften besetzt wurden. Die eingesetzten Edelstahlstifte (ohne Isolierung des Schafts) wurden bis zu 5 cm in das Holz eingeschlagen. Damit erfassten die Messungen jeweils den feuchtesten Bereich zwischen den beiden Messstiften bis in den inneren Splintbereich (bei Lärche bis in den äußeren Kern).

Da sich bei den Holzarten Lärche, Douglasie und Fichte auch nach Wochen kaum Feuchteänderungen zeigten, wurden Anfang Mai 2018 weitere Messpunkte mit Edelstahlschrauben als Elektroden in Abständen von 10 cm und 20 cm von der Wasseroberfläche eingerichtet. Damit lag ein Messpunkt unterhalb des Einschnitts.

Versuchsaufbau



2.7.2 Quantitative Bestimmung des Glührückstandes und verschiedener Metallionengehalte von im Salzwasser exponierten Nadelholzstämmen

Die Aufnahme von künstlichem Meerwasser (Müller et al. 2016) und damit auch von (Meer)Salz durch rundgefräste Hölzer wurde an vier Nadelholzarten (Tabelle 2 und Abbildung 18) mittels einer am Thünen-Institut aufgebauten Freilandversuchsanordnung (Abbildung 19) untersucht.

Tabelle 2: Zusammenstellung der aus Einstelluntersuchungen (rechtes Bild in Abbildung 19) entnommenen rundgefrästen Hölzer (Robbers 2018).

Rundholz (R)	Holzart	Exposition in Monaten	Splint- bzw. Kernholzanteil
1	<i>Pinus sylvestris</i>	6	sehr breiter Splint, Ø SB ca. 6 cm
2	<i>Pinus sylvestris</i>	12	sehr breiter Splint, Ø SB ca. 4,5 cm
3	<i>Larix decidua</i>	6	reines Kernholz
5	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	6	sehr schmaler Splint, Ø SB ca. 2 cm
7	<i>Picea abies</i>	6	nicht zu unterscheiden
8	<i>Picea abies</i>	12	nicht zu unterscheiden



Abbildung 18: Entrindete rundgefräste Nadelhölzer (Durchmesser ca. 18 cm) vor dem Einbau in die Edelstahl tanks (Abbildung 19).



Abbildung 19: Einbau und Fixierung der Testhölzer im Container (links) sowie vollständigem Versuchsaufbau (rechts).

Während der Exposition wurden sowohl aus dem oberflächennahen als auch grundnahen Bereich beider Container Flüssigkeitsproben entnommen und analysiert, um Informationen über die Metallgehalte in unterschiedlichen Tiefen zu erhalten und Folgerungen über die weitere Art und Weise des Flüssigkeitsausgleiches ableiten zu können.

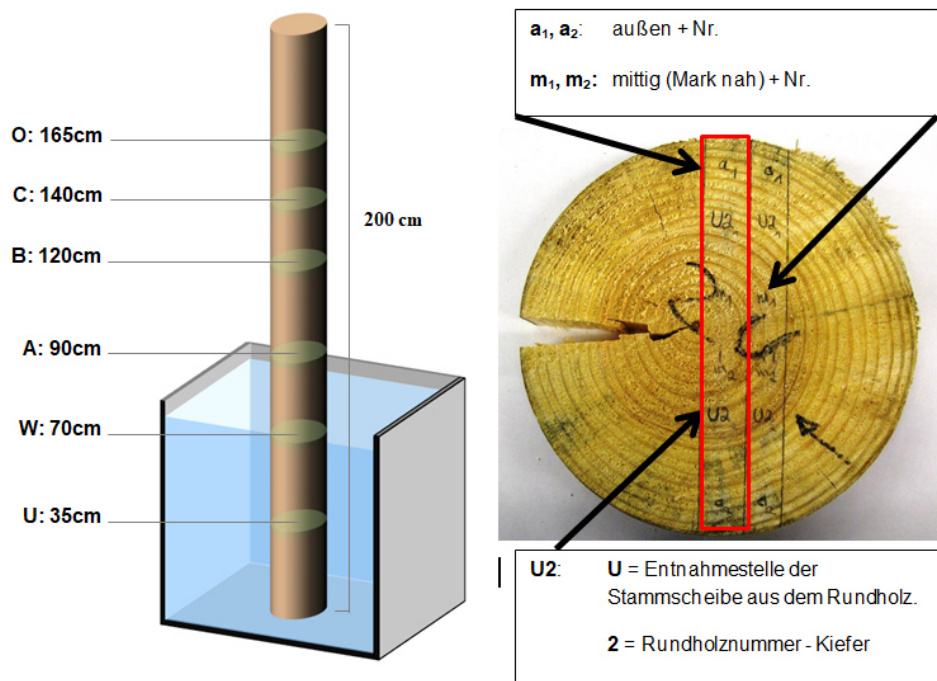


Abbildung 20: Beispielhafte Darstellung der Lage der Stammscheiben im Nadelholz (Grafik: K. Robbers) und der jeweiligen Analyseriegel innerhalb der Stammscheibe.

Nach sechs Monaten Exposition im künstlichen Meerwasser wurde je Holzart ein Stamm entnommen und anschließend mittig aufgetrennt. Aus jeweils einer der Rundholzhälften wurden **fünf Stammscheibenhälften** an unterschiedlichen Positionen entnommen. Dabei

befand sich Probe 1 permanent unter Wasser, Probe 2 im Bereich der Wasserlinie, Probe 3 etwa 20 cm, Probe 4 etwa 50 cm und Probe 5 etwa 100 cm oberhalb der Wasserlinie. Aus den jeweiligen Stammhälften wurden zwei direkt benachbarte ca. 2 cm starke Riegel herausgesägt, aus denen dann die Prüfkörper für die Analysen gewonnen wurden.

Im Gegensatz dazu wurden nach **12-monatiger Exposition 6 Stammscheiben** aus dem jeweiligen Kiefern- bzw. Fichtenstamm entnommen. Dabei wurden für die Bestimmung des Glührückstandes **pro Scheibe** jeweils zwei Probeklötzchen aus dem äußeren Stammbereich (a) sowie zwei Probeklötzchen aus dem inneren Stammbereich (i) herausgetrennt, während für die quantitative Bestimmung der Metallgehalte insgesamt sechs Klötzchen entnommen wurden; jeweils 2 außen (a), 2 innere Kernzone (i) **und** 2 „äußerer“ Kernbereich (m) (Abbildung 20).

Für die Quantifizierung des Glührückstandes wurden die entnommenen Probenriegel mit Hammer und Stecheisen auf Streichholzgröße zerkleinert und für 24 Stunden bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank (Heraeus Instruments, T 6120, Hanau) bei 103 °C gedarrt. Die getrockneten Späne wurden in Quarztiegel auf 0,001 g genau eingewogen und anschließend mittels Bunsenbrenner unter dem Abzug über offener Flamme „verascht“. Nachdem die Holzspäne vollständig verbrannt waren, wurden die Quarztiegel samt Rückstand in einem auf 550 °C vorgeheizten Muffelofen (prEN 14775:2009) überführt und für vier Stunden in diesem nachbehandelt, damit noch nicht verbranntes organisches Material gegebenenfalls verglüht (Abbildung 21). Abschließend wurden die Tiegel im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt und abermals auf 0,001 g gewogen. Aus der Differenz der bestimmten Massen kann der Glühverlust (organischer Anteil) oder der Glührückstand (Asche bzw. anorganischer Anteil) errechnet werden.



Abbildung 21: Ablaufschema - Probenriegel (noch nicht separiert), zerkleinertes Probenmaterial im Quarztiegel, Veraschen des Materials in einem Tiegel über dem Bunsenbrenner und anschließendes Ausglühen im Muffelofen (Robbers 2018).

Für die quantitative Bestimmung des Natriumgehaltes wurden aus den entsprechenden Prüfkörpern jeweils **drei** Segmente entnommen, d. h. jeweils eine außenliegende (= direkt exponierte) Probe, eine aus der Mitte des Riegels und eine Innenprobe. Anschließend wurden diese Proben separat gedarrt, gewogen, grob zerkleinert und in einer IKA Mühle gemahlen, wodurch das Material gleichzeitig homogenisiert wird. Um das Mahlgut in eine Analysenlösung zu überführen, wurden ca. 0,5 g (Genauigkeit der Einwaage: 0,001 g) in die Aufschlussgefäße überführt und mit 5 ml einer 65 %-igen Salpetersäure versetzt. Danach wurden die Aufschlussgefäße fest verschlossen und im Aufschlussblock fixiert (Abbildung 22).



Abbildung 22: Aufschlussgefäße und Mikrowellenaufschlussblock.

Der Holzaufschluss wurde mittels Mikrowellengerät „MLS Mikrowellenofen μ PREP-A“ (Firma MLS GmbH, Deutschland) unter Anwendung des von Ahl et al. 2013 beschriebenen Aufschlussprogramms (Abbildung 23) durchgeführt. Nachdem die Aufschlusslösungen abgekühlt waren, wurden sie quantitativ in Analyseröhrchen überführt und mit entsalztem Wasser auf ein definiertes Endvolumen aufgefüllt. Die Quantifizierung des Natriumgehaltes (Metallgehalte in Probenmaterial aus dem Hafen „Bensersiel“) erfolgte mittels induktiv gekoppelten Plasma - optischer Emissionsspektrometrie (ICP-OES) (iCAP 6300, Firma Thermo Scientific) parallel in einem Analysenschritt.

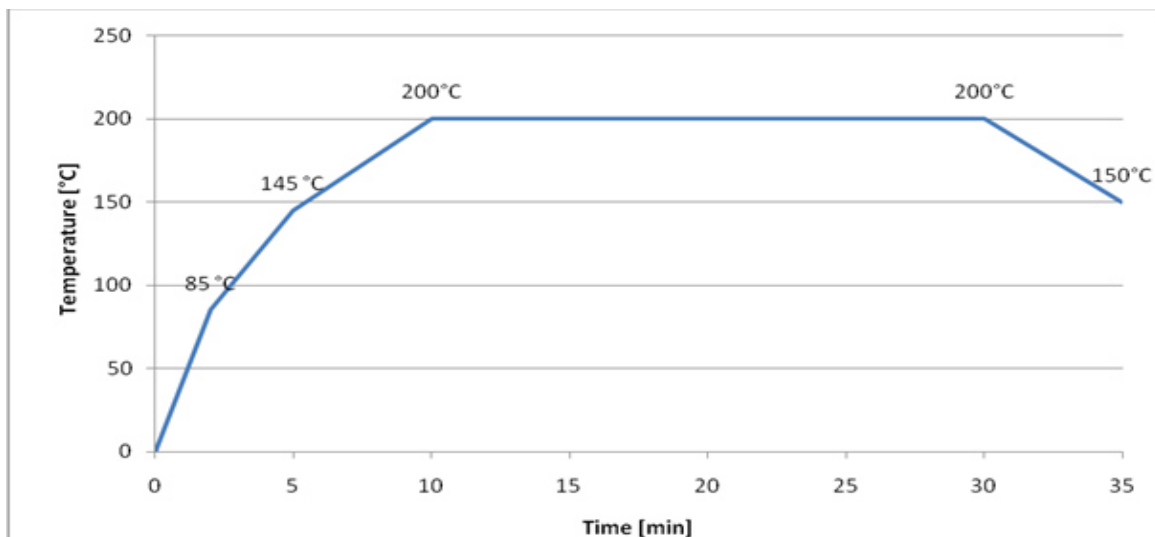


Abbildung 23: Temperatur-Zeit-Diagramm des Mikrowellenaufschlusses.

Aus der Einwaage und dem Analysenwert wird der Natrium-/Metallgehalt (ppm bzw. mg/kg) unter Berücksichtigung einer eventuellen Verdünnung der Analysenlösung berechnet.

Vor dem Einbau wurden alle für den Pilzversuch bestimmten Prüfkörper und die Sterilkontrollen mittels Gammastrahlen (Cobalt-60-Bestrahlungsanlage, Dosis 29 kGy) sterilisiert. Die vorbehandelten Proben wurden anschließend in die mit den Prüfpilzen bewachsenen Kulturgefäße auf 3 mm hohe Edelstahlscheiben gelegt, wodurch ein direkter Kontakt mit dem Nährboden bzw. Myzel vermieden und eine Feuchtaufnahme durch die Proben verhindert wird. Nach einer Inkubationszeit von 16 Wochen bei 21°C / 75 % relative Luftfeuchte wurden die Proben ausgebaut und zunächst hinsichtlich der Bewuchsdichte und –fläche visuell beurteilt. Das Bewertungsschema zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Bewertungsschema zur visuellen Beurteilung des Myzelwachstums.

Dichte		Fläche	
0	nicht bewachsen	0	nicht bewachsen
1	schwach	1	bis 30 %
2	normal	2	bis 60 %
3	dicht bewachsen	3	bis 90 %
		4	total bewachsen

Nach der visuellen Beurteilung wurden die Prüfkörper vorsichtig von anhaftendem Myzel befreit und anschließend gewogen. Danach wurden die Prüfkörper bis zur Gewichtskonstanz bei 103 °C getrocknet und erneut gewogen. Aus diesen Werten wurden die Ausbaufeuchte (bezogen auf das Darrgewicht nach Pilzangriff) und der relative Masseverlust (bezogen auf das Anfangsdarrgewicht) berechnet.

3 Auswertung und Ergebnisse

3.1 Versuche mit Normproben gemäß EN 275 und Rundholzproben

Sowohl mittels Röntgenuntersuchungen als auch bei der visuellen Betrachtungen unter Zuhilfenahme von Vergrößerungsgläsern konnte an mit Geotextilien überzogenen Proben gemäß EN 275 und an Rundholzproben kein Befall durch Schädlinge festgestellt werden.

Anfang Juni 2016 wurden die Kontrollproben aus 2015 in Norddeich (Tabelle 4) entnommen, in mit Meerwasser gefüllten Behältern ins Thünen-Institut nach Hamburg transportiert und hier in ein Meerwasseraquarium eingesetzt. Nach kurzer Zeit zeigten die Holzbohrmuscheln starke Aktivität, was z. B. am Ausstoß von Larvenwolken zu erkennen war. (Jedoch konnte ein Befall durch die Larven an zusätzlich frisch eingebrachtem Holz nicht festgestellt werden.)

Tabelle 4: Zusammenstellung der in Norddeich exponierten Hölzer

Probe Nr.	Standort	Geotextil	Probeform	Holzart	Befall
41	Nd	Kontrolle	N	DOU	x
42	Nd	K	N	DOU	x
43	Nd	K	N	DOU	x
44	Nd	K	N	DOU	x
45	Nd	K	N	DOU	x
46	Nd	D	N	DOU	-
47	Nd	D	N	DOU	-
48	Nd	D	N	DOU	-
49	Nd	D	N	DOU	-
50	Nd	D	N	DOU	-
51	Nd	A	N	DOU	-
52	Nd	A	N	DOU	-
53	Nd	A	N	DOU	-
54	Nd	A	N	DOU	-
55	Nd	A	N	DOU	-
56	Nd	B	N	DOU	-
57	Nd	B	N	DOU	-
58	Nd	B	N	DOU	-
59	Nd	B	N	DOU	-
60	Nd	B	N	DOU	-
61	Nd	K	RH	KI	x
62	Nd	K	RH	KI	x
63	Nd	K	RH	KI	x
64	Nd	K	RH	KI	x
65	Nd	K	RH	KI	x
66	Nd	D	RH	KI	-
67	Nd	D	RH	KI	-
68	Nd	D	RH	KI	-
69	Nd	D	RH	KI	-
70	Nd	D	RH	KI	-
71	Nd	A	RH	KI	-
72	Nd	A	RH	KI	-
73	Nd	A	RH	KI	-
74	Nd	A	RH	KI	-
75	Nd	A	RH	KI	-
76	Nd	B	RH	KI	-
77	Nd	B	RH	KI	-
78	Nd	B	RH	KI	-
79	Nd	B	RH	KI	-
80	Nd	B	RH	KI	-

Die nach der Norm geforderten, jährlich ausgehängten Kontrollproben zeigten dagegen in jedem Versuchsjahr Befalls durch die Holzbohrmuschel. Im ersten Jahr nach Ausbringung wurden die Kontrollproben in Norddeich allerdings gemäß des Bewertungssystems der EN 275:1992 nur leicht bis mäßig angegriffen. Abbildung 25 zeigt im Juni 2016 ausgebrachte Proben, die im Mai 2018 geröntgt wurden.

Das Röntgen der Kontrollen ergab einen geringen Befall an 2 Proben. Die wenigen Larven, die sich entwickeln konnten, haben das Holz allerdings stark durchzogen.

Weitere Kontrollproben aus dem Jahr 2017 erhielt das Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen für Übungen mit Studenten. Anfang 2018 wurde bestätigt, das

Lebendbefall vorlag, allerdings bei einer Probenöffnung von ca. 20 % lediglich ein Tere-
do-Exemplar von ca. 4 cm Länge.

Ebenso wurden wiederum Kontrollproben aus 2017 in ein Meerwasseraquarium am Thünen-
Institut für Holzforschung gesetzt, wo sich Larvenaktivität zeigte.

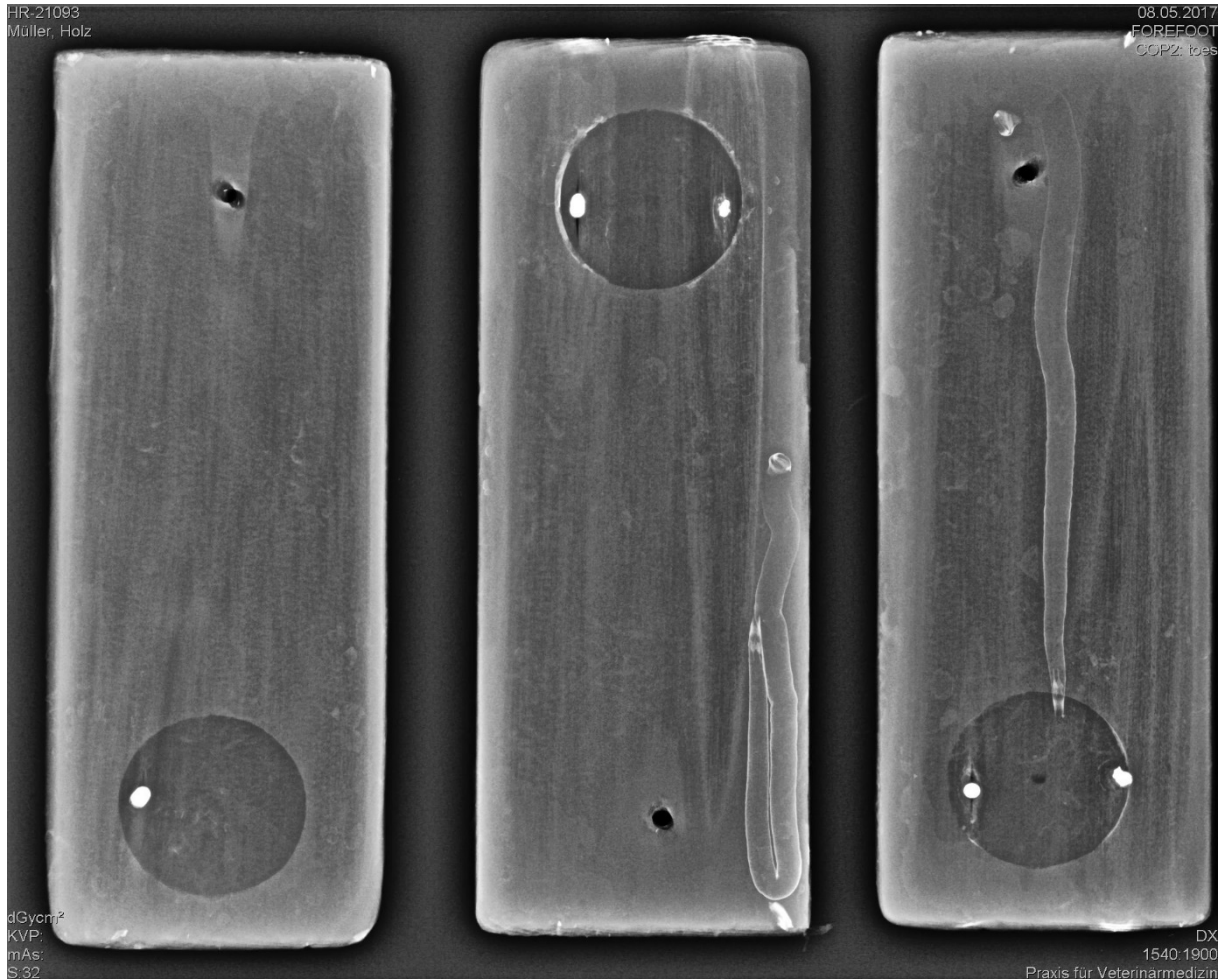


Abbildung 25: Röntgenaufnahme von Kontrollproben aus Norddeich: Leichter Befall mit gut entwickelten Individuen nach einem Jahr (Proben Mitte und rechts). Aufnahme: Praxis für Pferde – Dr. Heyers.

3.2 Befallsbereiche und der Ausbreitung von *Teredo navalis* flussaufwärts

3.2.1 Befallshöhe an Rammpfählen und Kanthölzern

Da kein mit Geotextil geschützter Rammpfahl von der Holzbohrmuschel befallen war, lagen Erkenntnisse über die Befallshöhe an den Versuchspfählen nur vom Kontrollpfahl aus Norddeich vor. Die visuellen Betrachtungen ergaben Bohrmuschelbefall bis 1,5 m über der Schlickgrenze. Dabei war der untere Bereich weitgehend ringförmig im Splintholz stark zerstört, während sich nur einzelne Bohrgänge in das innere Holz fortsetzten. Der stärkere Befall reichte bis etwa 0,5 m über den Boden. Bei der Höhe 1 m über dem Boden waren nur noch wenige Bohrgänge vorzufinden, und oberhalb von 1,5 m wurde kein Befall mehr entdeckt. Auch an den Schnittflächen der oberen Abschnitte zeigt sich kein Befall. Ähnlich verhielt es sich mit dem Befall durch *Limnoria* (Bohrasseln), denn auch hier waren nur Befallsanzeichen im Bereich bis ca. 1,5 m über dem Boden zu finden.

Von der visuell festgestellten Schlickgrenze reichten einige Bohrgänge bis ca. 30 cm im Holz in Richtung des Bodens.

Die Auswertung der extra für die Feststellung der Befallshöhe ins Wasser eingebrachten Kiefernholzer ergab ein genaueres Bild des Schädlingsangriffs. Entsprechend der Vorgaben der EN 275 wurden die Feststellungen in Tabelle 5 bis Tabelle 7 eingefügt.

Der Befall durch Holzbohrmuscheln beginnt im unteren Tidenbereich und nimmt weiter unten zu. *Limnoria* wurde dagegen bereits im oberen Tidenbereich festgestellt, jedoch auch nach unten zunehmend. Die Gesamtbewertung ergibt, dass einige Probenholzer nach den zwei Versuchsjahren im unteren Bereich als „zerstört“ bewertet werden müssen.

Auffällig war, dass der Befall durch *Limnoria* auf der Rückseite der Kanthölzer deutlich stärker erfolgte als auf den direkt bewitterten Vorder- und Seitenflächen.

Tabelle 5: Auswertung der Befallshöhe von Terediniden (0 = Hochwasserlinie, S = Schlickboden)

Nr.	Datum Entnahme	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	28.07.2017	0	0	0	0	0	1	0	1	0	S
2	26.03.2018	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2
3	26.03.2018	0	0	0	0	1	1	1	3	2	S
4	26.03.2018	0	0	0	0	0	0	1	1	2	S
5	26.03.2018	0	0	0	0	0	1	1	1	0	S
6	26.03.2018	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	10.07.2018	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3

Tabelle 6: Auswertung der Befallshöhe von *Limnoria* (0 = Hochwasserlinie, S = Schlickboden)

Nr.	Datum Entnahme	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	28.07.2017	0	0	1	1	2	2	2	3	3	S
2	26.03.2018	0	0	2	2	3	3	3	3	3	1
3	26.03.2018	0	0	2	2	3	3	3	3	3	S
4	26.03.2018	0	0	0	1	1	3	3	3	2	S
5	26.03.2018	0	0	1	2	2	3	3	2	1	S
6	26.03.2018	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2
7	10.07.2018	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabelle 7: Gesamtbewertung der Befallshöhe von Terediniden und *Limnoria*

Nr.	Datum Entnahme	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	28.07.2017	0	0	1	1	2	2	2	3	3	S
2	26.03.2018	0	0	2	2	3	3	3	4	4	3
3	26.03.2018	0	0	2	2	3	3	3	4	4	S
4	26.03.2018	0	0	0	1	1	3	3	3	3	S
5	26.03.2018	0	0	1	2	2	3	3	2	1	S
6	26.03.2018	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2
7	10.07.2018	0	1	2	2	2	2	2	2	3	4

Befallshöhe

- 0 = 0 bis 50 cm oberhalb HW
- 1 = 0 bis 50 cm unterhalb HW
- 2 = 50 bis 100 cm unterhalb HW
- 3 = 100 bis 150 cm unterhalb HW
- 4 = 150 bis 200 cm unterhalb HW
- 5 = 200 bis 250 cm unterhalb HW
- 6 = 250 bis 300 cm unterhalb HW
- 7 = 300 bis 350 cm unterhalb HW
- 8 = 350 bis 400 cm unterhalb HW
- 9 = 400 bis 450 cm unterhalb HW

3.2.2 Ausbreitung von *Teredo navalis* in Ems und Weser

In die Erfassung des Holzbohrmuschelbefalls von Fangproben werden auch die Untersuchungsergebnisse einbezogen, die zwischen den beiden DBU-Projektabschnitten vom 30.03.2012 bis 31.12.2013 und 15.04.2015 bis 30.06.2018 durchgeführt wurden.

Im Jahre 2014 wurde die Holzbohrmuschel bei Ems-Km 31 nachgewiesen, also ca. 10 Ems-Km weiter flussaufwärts als bisher bekannt war. Im selben Jahr wurde die Bohrmuschel ebenso bei Ems-Km 33 und Ems-Km 36 nachgewiesen, hier mit einem deutlich stärkeren Befall der Fanghölzer.

Die Proben aus dem Versuchsjahr 2016 bei Ems-Km 28 und Ems-Km 31 zeigten dagegen keinen Befall.

Im Versuchsjahr 2017 wurde die Holzbohrmuschel bei Ems-Km 33,8 (Nähe Hafeneinfahrt Ditzum, Proben in einer erhöhten Wanne), und 34,7 (Trichterprobe) nachgewiesen. Die Probe war um ca. 200 m abgetrieben, und 2 weitere Trichterproben wurden nicht wiedergefunden, was als Anzeichen für die starke Strömung an diesem Standort gelten kann.

Nicht befallen waren die Proben von Ems-Km 30 und 31,8. Letztere waren auch kaum von Seepocken besetzt, was eventuell ein Anzeichen dafür ist, dass das Anhaften der Larven aufgrund erhöhter Strömung nicht möglich war. (Im Gegensatz dazu waren die Proben aus der Wanne stark mit Seepocken besetzt.)

Die Fangproben in der Weser ergaben folgende Nachweise für die Holzbohrmuschel:

Versuchsstandorte Weser

Standort	Weserkilometer	Befall
Brake	44,2	0
Kernkraftwerk Unterweser	51,7	0
Landwürden/Dedesdorf	53,5	0
Midgard	58,0	0
Preussag/Stührenberg	60,5	X
Titan	64,2	X
Geeste-Einfahrt	65,6	X
Kaiserhafen	67,7	X



Abbildung 26: Unterbauten aus Holz im Bereich Geestemünde.

Aus dem Fischereihafen (Tuente et al. 2002) und dem Kaiserhafen (eigene unveröffentlichte Beobachtungen) war das Vorkommen von *Teredo navalis* zuvor bekannt. Aus Untersuchungsergebnissen, die von bremenports GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt wurden, geht hervor, dass in 2011 an den Pfahlgründungen der Nordmole zur Geeste-Einfahrt Schäden durch *Teredo navalis* festgestellt worden waren. Aktuell konnte die Holzbohrmuschel etwa 5 km weiter flussaufwärts nachgewiesen werden. Von Bedeutung erscheint der neue Lebendnachweis an der Geeste-Einfahrt, da hier hölzerne Unterbauten der Nordmole dem Flusswasser ausgesetzt sind (Abbildung 26). Die Mole dient der

Befestigung der Einfahrt in den Fischereihafen. Die ca. 100 Jahre alte Mauer oberhalb der Pfahlgründungen ist so stark geschädigt, dass sie inzwischen für den Publikumsverkehr auf der Mole gesperrt werden musste (Mitteilung vom 21.08.2018).

3.3 Ergebnisse der praktischen Untersuchungen

3.3.1 Rammung eines zusätzlichen Reibepfahls

Die während der Arbeiten zum Ummantelung und Rammung eines Reibepfahls aufgetretenen Verzögerungen im Arbeitsablauf sind nur teilweise der Tatsache geschuldet, dass das Holz mit Geotextil geschützt werden sollte. Beispielsweise führt zu fester Untergrund gelegentlich dazu, dass nicht hinreichend tief gerammt Pfähle wieder entnommen und gekürzt werden müssen, damit sie nicht höher als andere Pfähle in einer Hafenanlage aus dem Wasser ragen. Im Projekt ermöglichte die außerplanmäßige Entnahme eines Pfahls eine visuelle Kontrolle der unteren Befestigung des Geotextils, dass bereits in den Boden eingerammt worden war. Dabei zeigten sich am Geotextil und an den aufgebrachten Lochbändern keine Veränderungen, womit sich das Verfahren zu Befestigung als geeignet erwiesen hat.

Die Verzögerungen durch die aufgetretenen Probleme und die Ummantelung des Rammepfahls nahm ca. 1,5 Stunden in Anspruch. Bei einem Stundensatz von 800 Euro für das Schiff entstand rechnerisch allein hierfür somit 1.200 Euro an Zusatzkosten für einen Rammepfahl. Durch eine Optimierung der Vorgehensweise und gewonnene Routine dürfte die zusätzlich erforderliche Zeit deutlich geringer sein.

3.3.2 Untersuchung entnommener Rammepfähle

Im Detail erfolgt eine getrennte Beschreibung der Hölzer aus Norddeich und Bengersiel, da sich die Versuchsbedingungen in an diesem beiden Orten wie folgt unterschieden:

Die Rammung erfolgte in Bengersiel ein Jahr später als in Norddeich. In der Zwischenzeit wechselte NPorts das Rammverfahren von der Schlagramme zur Vibrationsramme.

Im Unterschied zu einer Schlagramme treibt eine Vibrationsramme das Rammgut nicht mit einzelnen Schlägen in den Boden, sondern erzeugt Schwingungen im einzubringenden Körper. Die Übertragung der Vibration von der Maschine auf den Rammkörper erfolgt über Klemmzangen, die den Körper seitlich erfassen. Dabei können die Zangen das Rammgut in unterschiedlicher Höhe greifen und nach der ersten Positionierung an anderer Stelle erneut angesetzt werden. Bei der Rammung wird die Kraft somit nicht wie bei der Schlagramme am oberen Ende des Pfahls, sondern an einer vom Maschinenführer frei wählbaren Stelle oberhalb der Wasseroberfläche eingeleitet. Durch Vorschub in entgegengesetzter Richtung ermöglicht diese Technik auch das Herausziehen von Rammgut.

Im Bereich des Zugriffs des Rammkopfes werden enorme Kräfte auf das Holz aufgebracht. Die Metallbacken drücken sich mehrere Zentimeter in das Holz und verletzen dabei die Oberfläche. Dabei entsteht eine derartige Hitze an der Holzoberfläche, dass es zu extremer Rauchentwicklung kommen kann.

Die bei der Rammung beobachteten Holzzerstörungen an der Zugriffsposition der Klemmzangen wirken sich auf das Abfließen von Niederschlagswasser und damit wahrscheinlich auch auf das Eindringen des Wassers in das Holz aus. Ggf. würden an diesen Stellen verbesserte Lebensbedingungen für Holz zerstörende Pilze auftreten, was nun bei der Bewertung zu berücksichtigen war.

Die Öffnungsweite der Klemmzangen für die Rammversuche in Bengersiel betrug maximal 40 cm, wobei der zu greifende Körper möglichst einige Zentimeter schmaler sein sollte.

Damit ergab sich ein weiterer Unterschied zu den Hölzern aus Norddeich, denn der obere Abschnitt der Rundhölzer musste mit einer Stammholzsäge zu einem quadratischen Querschnitt (Seitenlänge 35 cm) gesägt werden. Da die Sägelänge auf 5,2 m begrenzt war, konnte jedoch nicht die Gesamtlänge der später über dem Hochwasser verbleibenden Stammabschnitte kantig gesägt werden; der Übergang von Kantholz auf Rundholz lag ca. 1 m über dem Hochwasserniveau, was sich auf die Wachstumsbedingungen für Holz zerstörende Pilze am Übergang zum Rundholz auswirken könnte.

Beim Einschnitt verblieb – bedingt durch unzureichende Stärke der Rundhölzer und nicht hinreichende Gradschaftigkeit des Rundholzes – abschnittsweise eine Baumkante am Holz, womit auch die beiden Kanthölzer nicht völlig splintfrei waren. In den Ecken mit Baumkante entsprach die Splintholzbreite der Breite des Splints im ursprünglichen Stamm, also bei Lärche etwa 3 cm und bei der Douglasie etwa 7 cm. In der Mitte der Seitenflächen war das Holz dagegen in der Regel splintfrei.

3.3.2.1 Allgemeine Feststellungen

Die ca. 16 m langen Hölzer wurden grob in drei Abschnitte „oberhalb Hochwasser“, „Hochwasser bis Schlickboden“ und „Bodenbereich“ unterteilt. Eine scharfe Abgrenzung zwischen diesen Bereichen war nicht möglich, da der Hochwasserstand wechselte und durch Wasseraufstieg im Holz der Einfluss des Meerwassers weiter nach oben reichte. Während der Versuchszeit ragte das Geotextil auch beim Hochwasserstand aus dem Wasser. Da der Trennschnitt oberhalb des Geotextil angesetzt wurde, war der obere Bereich des mittleren Abschnitts der Witterung (Niederschläge, Wind, Sonne) ausgesetzt. Für diesen Bereich konnte ein Pilzwachstum nicht ausgeschlossen werden.

Durch Schlickablagerungen und Ausbaggerungen während der Expositionszeit variierte die Höhe des Bodens. Somit war auch der Übergang zwischen dem 2. und dem 3. Abschnitt nicht permanent auf derselben Höhe. Nach visueller Feststellung kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das Geotextil ständig bis in den Boden reichte.

Für die Untersuchung des Kopfteils wurde vom obersten Abschnitt aller Hölzer 1 Meter abgesägt. Der restliche Abschnitt oberhalb des Wassers reichte von Bereich 1 m unterhalb des Hirnholzes bis oberhalb des Salzwassereinflusses.

Die Metallbänder am oberen und unteren Ende des Geotextil aus verzinktem Stahl waren stark korrodiert. Bei der Abnahme des Geotextils von der Holzoberfläche wurde festgestellt, dass die Edelstahlschrauben in den Leisten noch relativ korrosionsfrei waren, während die verzinkten Schrauben in den Latten weitgehend durch Korrosion zerstört waren.

3.3.2.2 Feststellungen an den Hölzern aus Norddeich

Aus Norddeich standen folgende Testhölzer zur Verfügung:

Douglasie	Geotextil Terrafix 609
Lärche 1	Geotextil Secutex R 606
Lärche K	Kontrolle

An den Köpfen war eine starke Zerstörung durch Pilze erkennbar. Betroffen hiervon ist vornehmlich der aus extrem breiten Jahrringen (> 1 cm) bestehende Innenkernbereich

(juveniles Holz) mit einem Durchmesser von 15 bis 20 cm. Ein Meter entfernt vom Hirnholz wurde jedoch nur an einigen Stellen Pilzbefall im Splintholz an Rissen festgestellt.

Die Geotextilien reichten ca. 50 cm in den Hafensboden (Schlick), was der Zielvorstellung entsprach.

Am Kontrollpfahl (Lärche) war im unteren Wasserabschnitt starker Bohrmuschelbefall erkennbar. Die Befestigungshölzer wurden - soweit nicht in Geotextil eingeschlagen - ebenfalls stark von der Bohrmuschel und Bohresseln zerstört.

3.3.2.2.1 Untersuchungen der Abschnitte oberhalb Hochwasser

Die Abschnitte, die sich im Einsatz oberhalb des Wassers befunden hatten, wurden auf einer Stammholzsäge geviertelt, und zwar so, dass die Sägeschnitte von Nord nach Süd und West nach Ost führten. Die Bestimmung des Pilzbefalls erfolgte am IF-Holz, wofür 7 Proben bereitgestellt wurden; wobei es sich um 3 Douglasien- und 4 Lärchenholzabschnitte handelte.

An den Viertelhölzern wurden wiederum parallel zum Stammoberfläche Tangentialschnitte vorgenommen. Auf Grund der geringen Splintbreite der Lärche wurde ein Schnitt entlang der Splint/Kerngrenze vorgenommen. Bei der Douglasie erfolgten zwei Schnitte, und zwar ein Schnitt ca. 3 cm von der Oberfläche und ein Schnitt entlang der Splint/Kerngrenze.

Auswertung Lärche (Lärche 1 und Lärche Kontrolle)

Abschnitt 1, Kopfteil: starke Holzerstörung im inneren des Rundholzes. Der Pilzbefall reicht bei den Rundhölzern (Lärche 1 und Lärche K, Norddeich) ca. 40 cm in das Hirnholz hinein,

Abschnitt 2: ein Meter vom Hirnholz bis ca. 25 cm oberhalb Hochwasser, Länge ca. 3,70 m. Es waren Anzeichen von Pilzbefall im Splint - ausgehend von Rissen - feststellbar; am Kernholz hingegen war visuell kein Befall erkennbar.

Insgesamt erschienen nur wenige Bereiche von Holz verfärbenden Pilzen befallen zu sein.

Auswertung Douglasie

Abschnitt 1, Kopfteil: starke Holzerstörung im inneren des Rundholzes. Der Pilzbefall reicht ca. 30 cm in das Hirnholz hinein,

Abschnitt 2: ein Meter vom Hirnholz bis ca. 25 cm oberhalb Hochwasser, Länge ca. 3,70 m,

An den Radialschnittflächen der Douglasie war – besonders im unteren Bereich – Pilzbefall erkennbar. Dabei war insbesondere an der nach Süden ausgerichteten Seite ein starker Bläuebefall vorhanden, der auf der gesamten Länge des Abschnitts auftrat, jedoch nicht flächendeckend.

Der Pilzbefall reichte bis zur Kernholzgrenze; ein Kernholzbefall war visuell nicht erkennbar.

Anmerkung zu Abschnitt 1: Im Mai 2013 wurden Hölzer von NPorts nach der Entnahme untersucht. Hierbei wurde Pilzbefall bis ca. 50 cm vom Hirnende in das Holz festgestellt.

3.3.2.2.2 Untersuchungen der Abschnitte unterhalb Hochwasser

Auch die unteren Abschnitte wurden geviertelt, allerdings ohne hierbei auf die Himmelsrichtung zu achten, da ein Einfluss unterhalb der Wassers nicht in einem relevanten Ausmaß zu erwarten war.

Lärche, Kontrolle

Abschnitt 3: ca. 25 cm oberhalb HW abwärts bis Tidenbereich Mitte, also oberen Tidenbereich,

Feststellung: Splint z. T. verblaut, keine Bohrmuschel,

Abschnitt 4: ca. 3 m – 1,5 m über Grund/Schlick, (oben = unterer Tidenbereich, unten UW (unter NW),

Feststellung: kein Bohrmuschelbefall,

Abschnitt 5: 1,5 m über Grund bis zur Schlickgrenze,

Feststellung Bohrmuschelbefall von unten abnehmend bis 1,5 m über Grund.

Abschnitt 6: Grund, ca. 5,5 m,

Feststellung: keine Schädlinge

Lärche 1

Feststellung: Beim ummantelten Lärchenrundholz wurde über die gesamte Länge kein Bohrmuschelbefall festgestellt, ebenso keine anderen Schäden am Holz.

Douglasie

Hierzu muss erwähnt werden, dass dieser Pfahl am Ende des ersten Projektes im Mai 2013 zur Kontrolle mit der Vibrationsramme entnommen und wieder eingerammt worden war; der Pfahl wurde also durch die zweite Rammung insgesamt stärker mechanisch belastet, als die Lärchenpfähle.

Bei der Entnahme wurde das Geotextil durch den Zugriff der Ramme bis auf ca. 2,5 m von oben zerstört und deswegen zurückgeschnitten. Dieser Abschnitt im Tidebereich war somit in der Folge nicht mehr durch Geotextil geschützt. Auf der zuvor geschützten Holzoberfläche etablierten sich in der Folge Miesmuschel und andere (nicht bestimmte) Organismen; jedoch kein Befall durch Holzbohrmuscheln und Bohrrasseln.

Abschnitt 3: Länge 1,53 m, (Hochwasser bis Tidebereich Mitte)

Feststellung: nahezu durchgehende Radialrisse am unten Querschnitt erkennbar, nach dem ersten Schnitt zum Halbrundholz bricht eine Hälfte beim Drehen des Holzes am Riss komplett auf; beim 2. Halbholz wird der Bruch entlang des Risses mit wenig Spaltaufwand vollzogen.

Die Rissflanken sind nahezu insgesamt schwarz, wegen der starken Verfärbung wird davon ausgegangen, dass der Riss bereits beim Rammen aufgetreten ist, **kein Schädlingsbefall**.

Abschnitt 4: Länge 1,43 m (unterer Tidenbereich, Unterwasserbereich)

Feststellung: einer der in Abschnitt 3 beschriebenen Risse reicht auch über die gesamte Länge von Abschnitt 4. Das Rundholz wurde entlang des Risses gespalten, die Rissflanken waren nahezu insgesamt schwarz; in Umfeld eines weiteren Risses wurden die Halbhölzer geteilt, **kein Schädlingsbefall**.

Abschnitt 5: Länge 1,45 m, 1,5 m über Grund bis zur Schlickgrenze

Feststellung: Riss aus Abschnitt 4 fortlaufend, **kein Schädlingsbefall**.

3.3.2.3 Feststellungen an den Hölzern aus Bengersiel

Aus Bengersiel standen ein Reibefahl aus Douglasie, geschützt mit dem Geotextil Secutex R 606, und ein Reibefahl aus Lärche, geschützt mit Secutex R 504, zur Verfügung.

An den Köpfen war geringer Befall durch Holz verfärbende und Holz zerstörende Pilze erkennbar. Dieser Befall reichte jedoch nur wenige Zentimeter in Längsrichtung in das Holz, und am Kontrollschnitt in einem Abstand von 1 m vom Hirnholz wurde bei beiden Hölzern nur an wenigen Stellen Pilzbefall im Splintholz an den Kanten festgestellt.

3.3.2.3.1 Untersuchungen der Abschnitte oberhalb Hochwasser

Der Ausgangsquerschnitt der Hölzer betrug ca. 35 cm x 35 cm. Sowohl das Kopfteil, als auch die weitere Länge des Holzes aus dem Bereich oberhalb der Wasseroberfläche wurden mit Kreuzschnitten mittig aufgesägt. Hierdurch ergaben sich Viertelhölzer mit Querschnitten von 17 cm x 17 cm.

Nach der ersten visuellen Bewertung wurde von den bewitterten Außenflächen (seitlich) nochmals 1 cm abgesägt, um einen möglichen Pilzbefall unter der Oberfläche sichtbar zu machen. So konnten auch die Ecken der Kanthölzer, die über den größten Splintholzanteil verfügten, von zwei Seiten betrachtet werden.

Feststellungen: Das Kernholz war weitgehend frei von Pilzbefall. Lediglich in den Bereichen, die durch den Zugriff der Ramme im Jahre 2013 stark gequetscht wurden, zeigen Verfärbungen Pilzbefall an, der bis ins Kernholz reicht.

Im inneren Splintholz liegt geringer Pilzbefall vor, der offenbar ausgehend von Rissen gewachsen ist. Nach visueller Bewertung beträgt das Ausmaß weniger als 10 %.

Das Splintholz des Rundholzbereiches am unteren Ende des Abschnitts (Übergang vom Kantholz zum Rundholz) war stärker von Pilzbefall betroffen. Vom oberen Ende des in ca. 45° schräg angeschnittenen Splintholzes reicht der Befall ca. 40 cm nach unten und endet damit ca. 60 cm über dem Hochwasserspiegel.

Ein Vergleich der Himmelsrichtungen erschien nicht zulässig, da die sich Splintholzbreiten in den Kantholzecken deutlich unterschieden und damit keine Vergleichbarkeit für diese Bereiche gegeben ist. (Beispielsweise war der 1 cm schmale Splint an der Südseite nicht befallen, wogegen am 3 cm breiten Splint an der Nordseite Pilzbefall zu erkennen war.)

3.3.2.3.2 Untersuchungen der Abschnitte unterhalb Hochwasser

Bei den Sägeschnitten der Hölzer aus Norddeich war beobachtet worden, dass die Sägebänder durch die Verschmutzung der Hölzer und einigen, zuvor nicht entdeckten Schrauben- und Nagelteilen stark in Mitleidenschaft gezogen wurden. Da in diesem Bereich keinerlei Erkenntnisse gewonnen wurden, die nicht auch durch die Betrachtung der Rundholzoberflächen und der mit einer Motorsäge erzeugten Querschnitte aufgezeigt werden konnten, wurde auf den Einschnitt der geschützten Unterwasserbereiche verzichtet.

Die Feststellungen zur Schutzfunktion der Geotextilien beruhen somit aus den Beurteilungen der Rundholzoberfläche sowie der Querschnitte und können wie folgt zusammengefasst werden: Es wurde **kein Schädlingsbefall im ummantelten Bereich** festgestellt.

Risse in dem Holzabschnitt, der sich im Schlickboden befunden hatte, ließen es jedoch erforderlich erscheinen, diesen Abschnitt der Douglasie aufzutrennen. Der Schnitt wurde etwa 90 ° zur Richtung der Risse angesetzt. An den Schnittflächen zeigte sich, dass ein Riss

– mit geringen Faserversprüngen – durch den ganzen Rundholzabschnitt verlief. Mit Spaltkeilen konnte die Halbrundhölzer entlang der Risse aufgetrennt werden. Hier zeigten sich schwarze Flächen an den Spaltflächen, wie sie auch zuvor am Douglasienholz aus Norddeich vorgefunden worden waren. (Es sei daran erinnert, dass das Holz beim Einrammen im Jahre 2013 zunächst wieder entnommen werden musste, weil die Rammtiefe nicht erreicht worden war. Durch die zweite Rammung erfuhr das Holz ebenso wie das Douglasienrundholz aus Norddeich, eine erhöhte mechanische Belastung, was zu bedenken ist, bevor die Risse dem Holzeigenschaften der Douglasie zugeschrieben werden.)

3.3.3 Untersuchung der Geotextilien

3.3.3.1 Ergebnisse der Funktionsprüfung im Labormaßstab

Die Untersuchungen im Labor der Firma Naue ergaben in allen Fällen eine deutliche Zunahme der Masse durch wasserseitigen Bewuchs und durch das Einlagern von mineralischen Partikeln. Am Geotextil von einem Rammpfahl waren stärkere Einlagerungen als bei den Geotextilien von den Normproben vorhanden. Dies ist bei der Bewertung der physikalischen Eigenschaften zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der Restzugfestigkeit ergab sich bei den Proben kein einheitliches Bild. Nach 5 Jahren betrug sie in allen Fällen mehr als 68 % des Referenzwertes. Bei vielen Proben lag die Restzugfestigkeit um 90 %.

Bei Alterungsprüfungen tritt oft eine deutliche Reduzierung der Dehnung bei Höchstzugkraft auf. Jedoch können auch die starken Bodeneinlagerungen zur Reduzierung der Dehnung führen. Der Zugversuch wurde an den getrockneten bodenbelasteten Proben durchgeführt, die nach der Trocknung sehr steif waren.

Die deutliche Abnahme der Wasserdurchlässigkeit wird ebenfalls auf die Bodeneinlagerungen zurückgeführt.

3.3.3.2 Visuelle Feststellungen

Zwei Normproben mussten ein Jahr vor Versuchsende aus dem Versuchsstrang entnommen werden, weil die Halteleisten einseitig durch Holzbohrmuscheln zerstört waren. Die Proben wurden geöffnet und anschließend visuell untersucht. Dabei wurden kein Befall und kein Schaden am Geotextil festgestellt. Bei der Untersuchung am Versuchsende war das Geotextil an jeweils einer Ecke beider Proben bis auf das Holz zerstört. Eine mögliche Erklärung hierfür wird darin gesehen, dass die Kabelbinder an den Probenenden zu straff auf die Probe aufgebracht worden waren. In dem neuen Probenstrang könnten die Proben zudem Kontakt zu benachbarten Proben gehabt haben. Diese Feststellung lässt den Schluss zu, dass das Geotextil nicht zu straff über Ecken und Kanten gezogen werden sollte und keinen dauerhaften Reibekontakt zu festen Materialien haben sollte.

3.3.3.3 Bewuchs auf dem Geotextil

Das Material aller Proben war dicht besiedelt. Massenhaft traten auf der gesamten Oberfläche Kieselalgen (Diatomeen) auf. Insbesondere sind hier die Arten *Bacillaria paxillifera*, *Paralia sulcata*, *Tabellaria* sp., *Licmophora* sp. sowie verschiedene Arten aus der Ordnung der „Pennales“ zu nennen. Neben einzeln vorkommenden Zellen, die die kompletten Matten besiedelten, kam vor allem die kettenbildende Art *Melosira moniliformis* vor, die zur Ordnung der „Centrales“ gehört. Außerdem wurden auf allen drei Matten häufig

junge Exemplare von Rotalgen gefunden, die vielfach von festsitzenden Wimpertierchen (Ciliata) und Kieselalgen bewachsen waren.

Hingegen kamen Grünalgen (Chlorophyta) nur an Probe 70 vereinzelt vor. Die Braunalge *Fucus* sp. wurde nur an Probe 75 vereinzelt vorgefunden. Einige junge Exemplare von Seescheiden (Ascidien) waren vor allem auf Matte 80 zu finden.

Fadenwürmer (Nematoda) wurden häufig auf der 75er Matte gefunden, zudem befanden sich auch einige Borstenwürmer (Polychaeta) vor allem auf der 70er und 80er Matte. Auf der 70er Matte hatten sich zudem eine Miesmuschel (*Mytilus edulis*, Bivalvia) sowie eine Seepocke (Balanidae) festgesetzt.

In Tabelle 8 sind die halbquantitativen Häufigkeiten der verschiedenen Organismengruppen anhand von sechs Klassen zusammengefasst. Ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Objekten konnte hier nicht festgestellt werden mit der Ausnahme der Ansiedelung von *Fucus* sp. auf der 75er Matte und dem Vorkommen von Grünalgen nur auf der 70er Matte. Ascidien hatten sich insbesondere auf der 80er Matte festgesetzt. Um dieses jedoch statistisch nachweisen zu können, sind ausführliche quantitative Untersuchungsreihen notwendig.

Tabelle 8: Halbquantitative Häufigkeiten verschiedener Organismen in/auf den Prüfkörpern 70, 75 und 80.

	Häufigkeit in Matte 70	Häufigkeit in Matte 75	Häufigkeit in Matte 80
Braunalgen (Phaeophyta)	0	4	0
Kieselalgen (Bacillariophyta)	4	4	3
Rotalgen (Rhodophyta)	4	3	5
Grünalgen (Chlorophyta)	1	0	0
Seescheiden (Ascidacea)	0	1	4
Seepocken (Cirripedia)	2	0	0
Borstenwürmer (Polychaeta)	4	1	3
Milben (Acari)	0	1	1
Fadenwürmer (Nematoda)	1	4	2
Wimpertierchen (Ciliata)	2	3	1
Hydrozoa (als Polypen)	0	4	0
Miesmuschel (<i>Mytilus edulis</i>) (Bivalvia)	1	0	0
Foraminifera	0	2	4
Dinoflagellata	0	0	1
Ruderfußkrebse (Copepoda)	0	2	0

(0) kein Bewuchs, (1) vereinzelt, (2) selten, (3) mäßig, (4) häufig, (5) massenhaft.

3.4 Holz zerstörende Pilze und Bakterien an Dalben

Die Untersuchung der Dalben zeigte ein differenziertes Bild:

1. In der Schlamm-/Bodenzone des Meerwassers liegen fast ausnahmslos Bakterien als sehr langsam fortschreitende Holzzerstörer vor. Proben aus Süß- und Brackwasser lagen aus dieser Zone nicht vor. (Pfahlgründungen unter Gebäuden zeigen aber einen analogen Befall.)

2. Im Tidebereich mit ständigen Wasserwechseln kommen fast ausnahmslos Moderfäulepilze als wichtigste - Schadenserreger vor. Moderfäulepilze wurden an allen Untersuchungspunkten nachgewiesen und haben ihre größte Bedeutung im Bereich sehr hoher Holzfeuchten, d. h. im Bereich des Tidehubes. Hingegen wurden Basidiomyceten erst oberhalb der Tidehubgrenze nachgewiesen.
3. Aus dem Bereich der Hochwasser-Luft-Zone konnten keine Proben entnommen werden, weshalb der Versuchsaufbau am Thünen-Institut genutzt wurde. An der wenig bewegten Wasseroberfläche des „Klotzteiches“ wurde diese Zone genauer untersucht. Hier konnten nach ca. 18 Monaten erste Kavernen-Bildungen durch Moder- und Bakterienfäule im Bereich des Süßwasserspiegels (ca. -0,5 und +0,5 cm) mikroskopisch nachgewiesen werden, wobei die Mikroorganismen unter Wasser weniger tief ins Holz eindringen (unter 1 mm) als über dem Wasserspiegel (bis 2,3 mm tief). Bereits 9 - 10 cm über dem Wasserspiegel wurden nur noch selten Kavernen von Moderfäulepilzen gefunden und wenn, dann waren diese zerstreut. Erwähnenswerte Unterschiede bei den verschiedenen Nadelholzarten ergaben sich nach dem kurzen Versuchszeitraum kaum.

Im Salzwasser ergab sich im Versuchszeitraum kein biotischer Befall. Allerdings wurde auch nur einer von acht der im künstlichen Meerwasser (Salzkonzentration: ca. 3 %) befindlichen Pfähle untersucht, da visuell an keinem der Pfähle ein Schaden sichtbar war.

4. In dem Bereich oberhalb der Hochwasser-Luft-Zone (augenscheinlich vom Salzwasser beeinflusst) finden sich vor allem Moderfäulepilze und wenige Bakterien; Basidiomyceten sind rar.

In dem Bereich oberhalb des Salzwassereinflusses (Bereich der Basidiomyceten) finden sich vor allem Moderfäulepilze und wenige Bakterien.

Basidiomyceten wie z. B.

- a) Gallert-, Schicht- sowie Rindenpilze mit schwachem Abbaupotenzial im Splintholz und an dauerfeuchten Kernholz-Bereichen und
- b) einige massive Fäule-Erreger wie Braunfäuletrameten, Sägeblättlinge, Trameten und Rotrandiger Baumschwamm waren selten.

Zudem ergaben sich weitere Aspekte:

1. Es zeigt sich, dass die Pilzaktivität von Moderfäulepilzen an den erfassten Standorten dem Augenschein nach von der Sauerstoff-Verfügbarkeit abhängt.
2. Im Vergleich zwischen den Proben aus dem Hafen Norddeich (Meerwasser, Salzgehalte ca. 3,5 %) und Hamburger Hafen (0,05 %) zeigt sich im Meerwasser eine Tendenz zur Verschiebung der Schadenszone nach oben. (Siehe hierzu Salzanalysen).
3. Die frühen Stadien (Inkubationszeit bis 18 Monate im Freiland) zeigten eine interessante Kavernenverteilung (Ergebnis aus „Klotzteich“ und Hafen Norddeich). Die Erreger der Moderfäule- und Bakterienkavernen dringen von außen nach innen ins Holz ein. Bei guter Sauerstoffversorgung breiten sich die Moderfäulepilze jedoch schneller im Holz aus (mit Kavernenbildung). Kavernenbildende Bakterien dringen nur sehr langsam ins Holz vor. So wurden Moderfäulepilz-Kavernen in bis zu 2 mm Tiefe nachgewiesen, Bakterienkavernen aber nur in bis zu 1 mm Tiefe. Bei längeren

Standzeiten kehrte sich die Verteilung um: Im inneren Bereich des Holzes wurden dann nur Bakterienkavernen nachgewiesen (in der Regel bei einer Tiefe über 2 mm). An einer Dalbe im Hamburger Museumshafen (Mahatma-Gandhi-Brücke) mit der Standzeit von einem Jahr waren Moderfäule- und Bakterienkavernen fast gleich tief nachweisbar (ca. 0,1 mm, soweit messbar).

4. In einem Fall wurde ein Holz mit einem Vorschaden (Rohholzbefall) durch einen Schichtpilz (*Phlebiopsis gigantea*) im Klotzteich untersucht (Rundholz Nr. 5). Hier zeigte sich, dass sich dieser Befall während der bisherigen Versuchsdauer räumlich verschob und es sogar zu einer Fruchtkörperbildung kam. Oberhalb von ca. 50 cm war dem Augenschein nach kein Befall an den Klotzteich-Hölzern mehr erkennbar, obwohl einige Hölzer in fast ganzer Länge streifig bewachsen waren. Unterhalb von ca. 50 cm kam es am Rundholz Nr. 5 fast rundherum zur Fruchtkörperbildung. An je einem Lärchen- und Douglasienstamm scheint der *Phlebiopsis gigantea*-Befall vertrocknet zu sein (mehr als 50 cm über dem Wasserspiegel).

3.5 Wassertransport und Salzausbreitung im Holz

3.5.1 Zeitliche Änderung der Holzfeuchte von im Salz- und Süßwasser exponierten Nadelholzstämmen in Abhängigkeit von der Messstelle

Zu Beurteilung der zeitlichen Änderung der Holzfeuchte in den Salz- und Süßwasser stehenden Nadelholzstämmen wurden für jeden der Pfähle Zeitreihen für die Messungen in 15 cm, 25 cm, 35, cm und 50 cm Abstand von der Wasserlinie und in 100 cm Abstand vom Pfahlende erstellt und diese graphisch dargestellt. (siehe Anlage 1). Bis auf ganz wenige Ausnahmen waren keine Unterschiede zwischen Ost- und Westseite erkennbar. Aus diesem Grund wurden die Messwerte für Ost und West für jeden Abstand von der Wasserlinie gemittelt (rote Linie). Im Folgenden werden nur die Mittelwerte diskutiert und interpretiert.

Beispielhaft sind nachfolgend die Ergebnisse für den Pfahl 5 (Kiefer), den Pfahl 14 (Douglasie) und Pfahl 3 (Lärche) dargestellt. Die rote Linie zeigt die Feuchteentwicklungen für die Ost- und Westseite gemittelt.

Generelles

Die Zeitreihen enthalten keinerlei plötzliche Sprünge. Aus den über die Einzelwerte gelegten kubischen Regressions-Funktionen werden jahreszeitliche Tendenzen leicht erkennbar. Temperaturbedingte Beeinflussung der Widerstandsmessung sowie Oberflächeneffekte durch Beregnung oder Tauwasserbildung konnten durch die getroffenen Maßnahmen an den Messstellen vermieden werden.

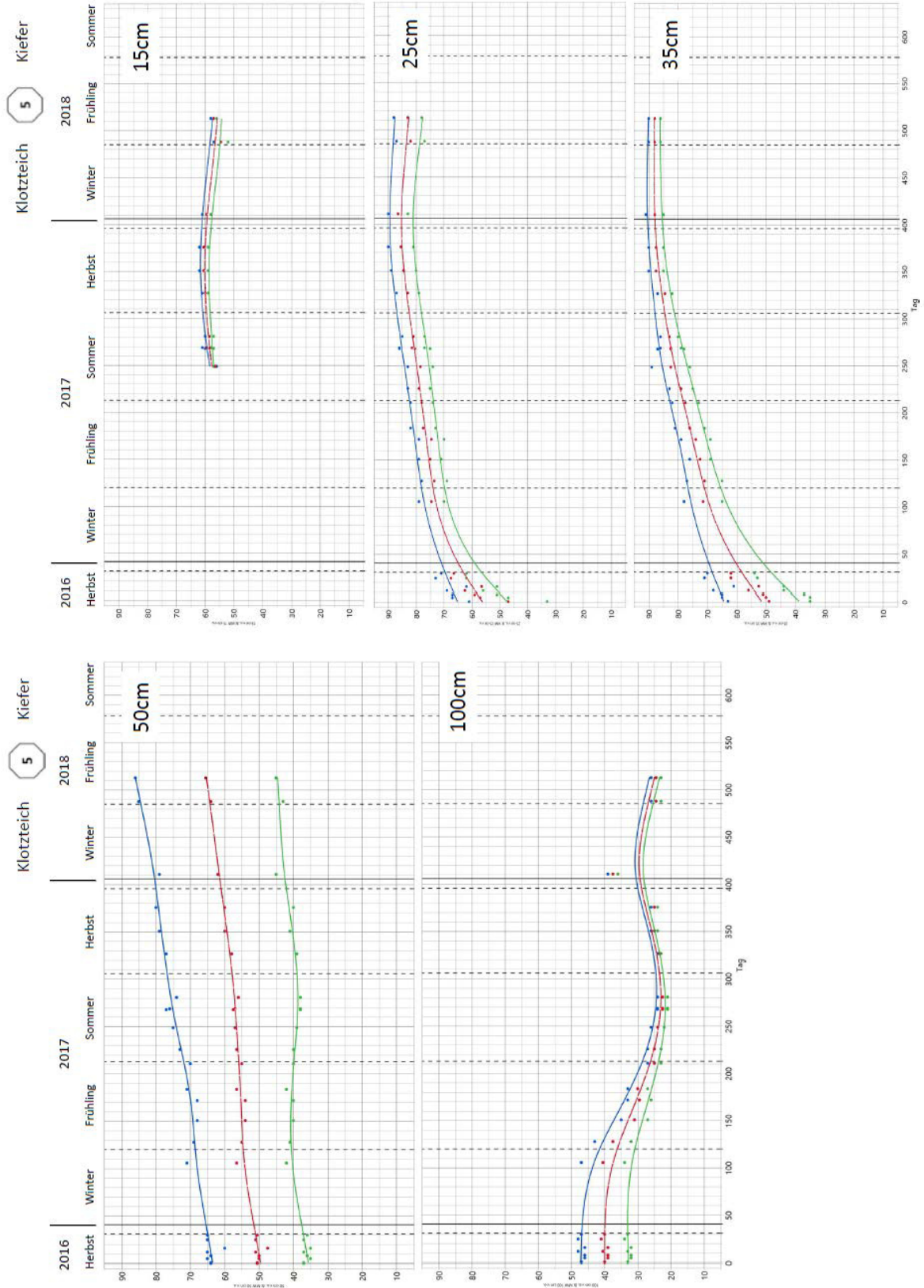
Feuchteentwicklung

Der Splintholz enthaltende Kiefernstamm 5 weist bereits bei Versuchsbeginn eine Holzfeuchte oberhalb Fasersättigung auf. Tendenziell steigt die Holzfeuchte im Splint über den Verlauf von etwa einem Jahr kontinuierlich an und steuert in Richtung maximale Sättigung, die bei etwa 120 % erreicht sein dürfte. Jahreszeitliche Schwankungen sind im Splintbereich nicht erkennbar. Die Messstelle in 100 cm vom Stammende, also weit oberhalb der Wasserlinie, zeigt jedoch (wie zu erwarten war) einen Rückgang der Holzfeuchte auf ca. 20 % im Sommer und ein Wiederansteigen auf Werte in der Nähe von Fasersättigung in den Wintermonaten. Unterschiede zwischen West- und Ostseite sind erkennbar aber nur marginal ausgeprägt.

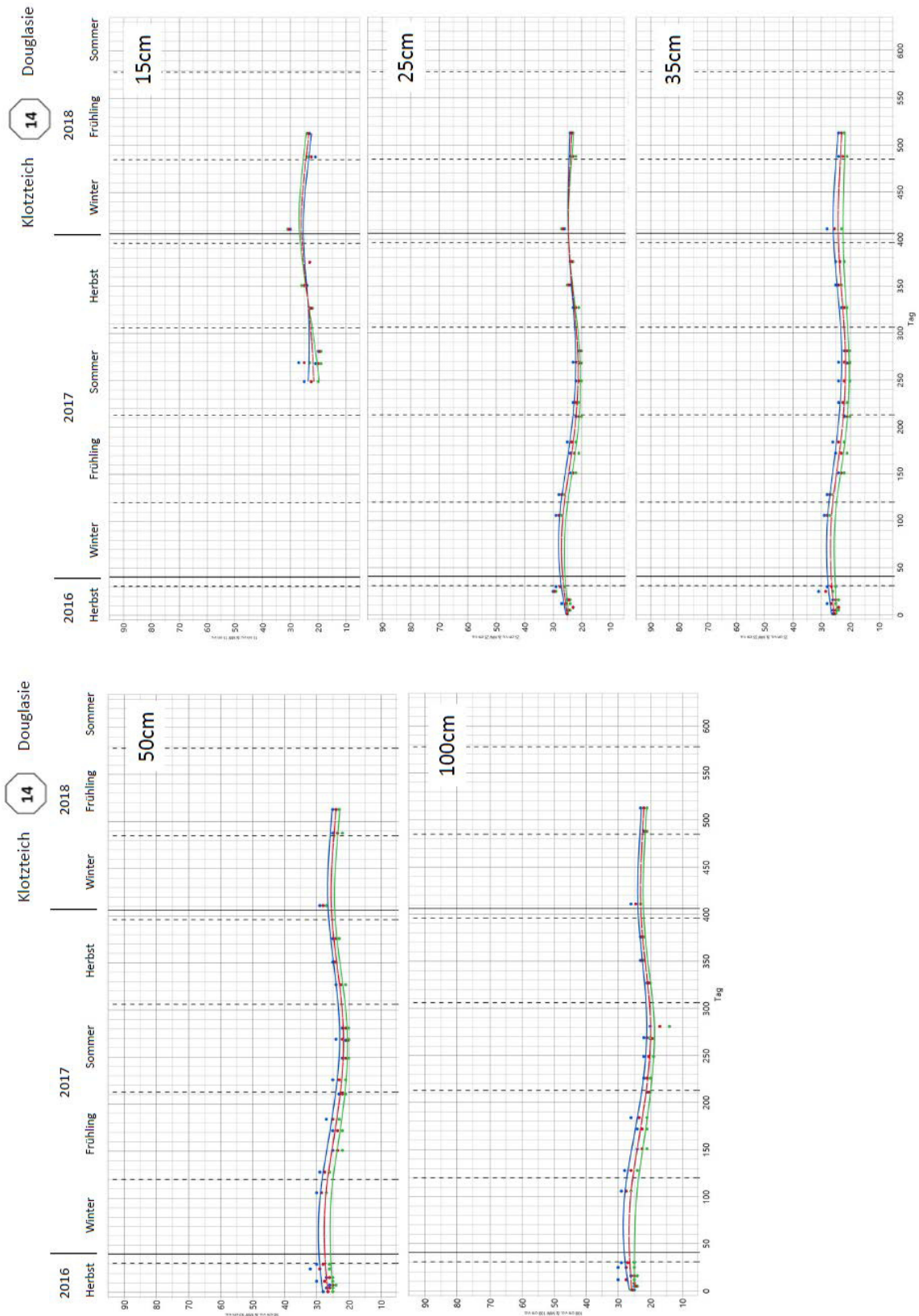
Der Douglasien-Stamm 14 weist kein Splintholz auf. Ein Aufsteigen von Feuchte in Form von flüssigem Wasser durch Kapillarwirkung ist hier nicht erkennbar. Selbst in einem Abstand von nur 15 cm oberhalb der Wasserlinie ist kaum ein Feuchteanstieg nicht Zunahme der

Standzeit nachweisbar. Der jahreszeitliche Trend zu niedrigen Holzfeuchten im Sommer und erhöhten Werten im Winter ist hier jedoch auch erkennbar. Höher angebrachte Messstellen unterscheiden sich praktisch nicht von den Messstellen direkt oberhalb der Wasserlinie.

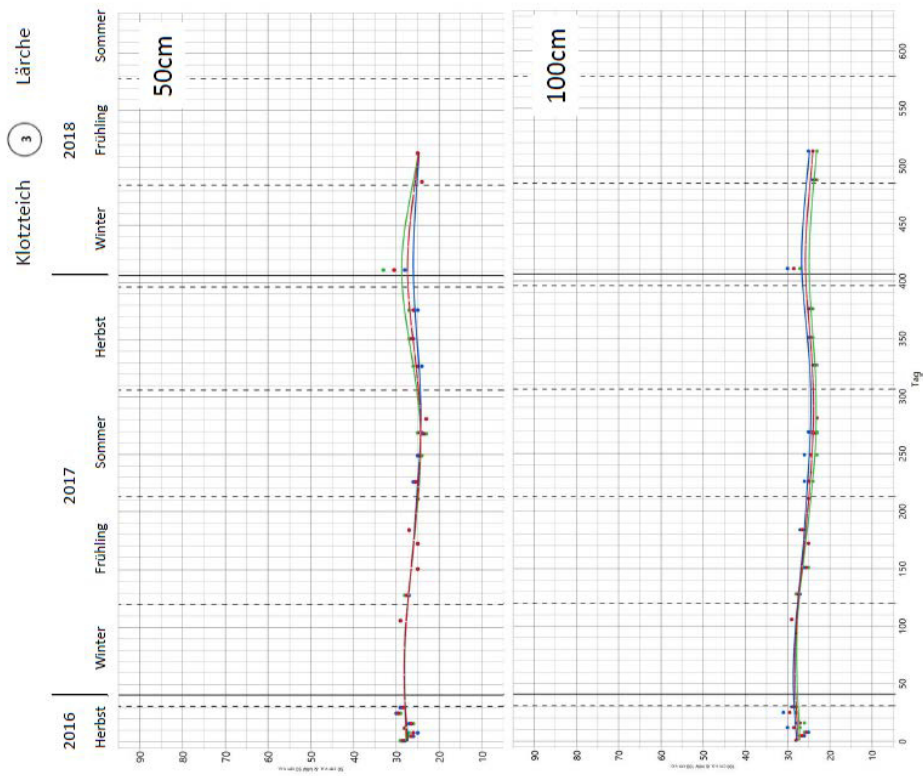
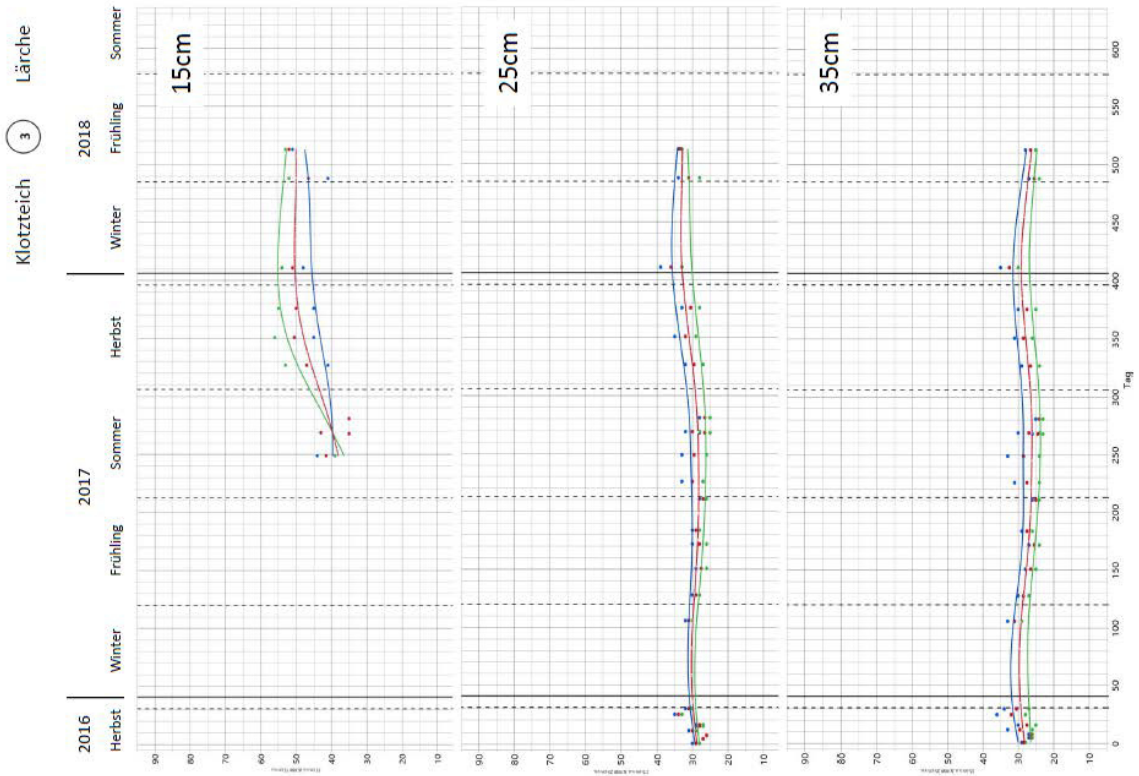
Der Lärchenstamm 3 zeigt im Kernholzbereich ein ähnliches Bild wie der Douglasien-Stamm. Die nachträglich gesetzte Messstelle in 15 cm Abstand von der Wasserlinie zeigt jedoch gegenüber den weiter oben gelegenen Messstellen ein abweichendes Bild, welches wahrscheinlich dadurch verursacht wurde, da bei den nachträglich gesetzten Elektroden auf das 5 mm tiefe Sackloch mit anschließendem Ausschäumen mit Polyurethan verzichtet werden musste. Hier dürfte die Oberfläche noch Splintanteile enthalten haben, in denen eine Wegsamkeit für aufsteigendes Wasser vorhanden ist.



Feuchteentwicklung in Kiefernpfahl Nr. 5 (achteckig ausgeformt, ohne Verblendung) für unterschiedliche Höhen oberhalb der Wasserlinie



Feuchteentwicklung in Douglasienpfahl Nr. 14 (achteckig ausgeformt, weitgehend splintfrei) für unterschiedliche Höhen oberhalb der Wasserlinie



Feuchteentwicklung in Lärchenpfahl Nr. 3 (weitgehend splintfrei) für unterschiedliche Höhen oberhalb der Wasserlinie

Die Feuchtemessungen an entrindeten, kurzen Rundhölzern in der seitlich offenen Halle sind exemplarisch für verschiedene Messzeitpunkte in der nachfolgenden Übersicht dargestellt.

Holzart	17.06.2018				21.07.2018				14.08.2018			
	10 cm	20 cm	30 cm/MS1	40 cm/MS2	10 cm	20 cm	30 cm/MS1	40 cm/MS2	10 cm	20 cm	30 cm/MS1	40 cm/MS2
Lärche	52,6	17,7	17,1	16,4	55,2	17,2	16,4	15,2	57,2	16,7	15,6	14,5
	53,1	18,3	17,4	18,3	55,7	17,9	16,6	17,5	56,0	17,2	16,2	16,4
	24,0	19,4	20,1	19,8	45,0	19,0	19,4	18,9	50,5	18,3	18,2	17,6
	22,1	18,5	17,7	18,9	22,3	17,9	17,2	18,2	23,5	17,3	16,4	17,2
	21,7	18,3	18,2	18,3	23,1	17,7	17,5	17,9	24,9	16,9	16,7	16,8
DOU	21,4	16,6	17,6	17,6	21,7	15,5	16,7	16,7	22,1	15,3	15,7	15,4
	19,8	16,1	17,0	17,1	20,7	15,4	16,3	16,4	23,4	15,0	15,1	14,9
	20,7	16,9	16,7	16,8	21,5	16,2	15,9	15,8	22,5	15,6	14,9	15,0
	25,4	16,9	17,9	18,2	51,8	16,0	17,3	17,5	73,4	15,7	16,3	16,2
	63,2	17,7	17,2	17,9	90,3	18,9	17,0	17,4	70,1	18,9	16,3	16,1
Kiefer			84,5	73,6			80,0	77,9			83,5	81,9
			80,1	76,8			78,3	77,6			82,5	77,7
			82,4	73,6			73,6	75,1			80,4	77,4
			79,4	78,5			80,3	79,2			82,7	77,5
			80,4	79,2			75,0	76,6			81,4	80,3
Fichte	76,8	63,4	63,2	38,1	83,6	66,5	67,1	49,0	80,6	69,1	72,0	65,4
	81,6	67,3	33,4	21,1	88,2	71,0	50,9	21,2	85,2	72,3	57,0	21,2
	76,1	19,6	18,6	18,8	80,0	18,5	17,6	17,8	81,6	18,7	16,9	16,7
	82,4	53,3	21,5	18,9	81,1	70,4	56,3	18,9	88,4	66,4	62,6	18,7
	72,6	19,9	18,7	16,7	86,0	20,8	18,2	15,9	80,9	22,6	18,2	15,5
Kontrolle LA	53,4	21,8	19,2	18,7	56,2	38,4	19,2	18,1	61,5	56,5	19,2	17,1
	53,0	22,1	19,2	18,6	53,0	27,2	19,1	17,8	54,3	50,7	18,9	17,0
	56,0	52,5	20,4	19,2	53,2	53,6	21,0	18,3	58,4	56,2	22,7	17,2
Kontrolle DOU	22,8	17,3	18,0	17,0	24,0	16,9	17,7	16,6	31,5	16,6	16,9	15,5
	68,7	61,6	19,1	16,1	71,1	67,2	39,9	15,8	73,2	68,4	50,9	15,5
	64,2	23,5	17,4	16,7	69,8	47,5	17,0	16,0	73,5	53,1	16,6	15,3
Kontrolle KI			83,6	76,4			81,0	78,6			82,3	81,5
			80,1	76,9			79,9	77,6			80,3	79,4
			82,3	81,4			77,7	82,0			78,3	80,4
Kontrolle FI	80,3	26,1	17,7	17,6	84,1	59,1	16,4	16,3	86,9	73,1	17,6	16,4
	70,3	67,4	19,4	18,2	73,9	74,7	19,4	17,4	73,9	73,9	19,8	17,1
	66,5	20,2	19,0	18,3	78,1	21,6	18,2	17,3	61,2	35,4	18,6	16,4

Die Werte zeigen die erwartete hohe Feuchte bei den Holzarten Kiefer und Fichte, wobei die Fichtenhölzer langsamer und uneinheitlicher durchfeuchteten. Auch eine angebrachte Nut konnte den Feuchtetransport offenbar kaum reduzieren.

Demgegenüber war der Feuchteaufstieg bei den Holzarten Douglasie und Lärche relativ gering. Erst bei den Anfang Mai 2018 zusätzlich auf 10 cm und 20 cm oberhalb des Wasserspiegels eingesetzten Messstifte wurden höhere Feuchten gemessen, in 10 cm diese über Fasersättigung lagen. Hingegen wurden bei der 20 cm Messstelle bis zur letzten Messung im September 2018 Holzfeuchten um 20 % ermittelt. Bis auf wenige Ausnahmen lagen alle Werte sogar unter 20 %, wobei diese sehr niedrigen Werte zumindest teilweise Folge des extrem warmen Sommers sein sollten.

Die weiter oben angesetzten Messstifte ergaben ebenso über den gesamten Versuchszeitraum Werte um 20 %, wobei auch in den Winter- und Frühjahrsmonaten Anfang 2018 der Wert von 25 % nie erreicht wurde.

Die Kontrollhölzer (ohne Nut) ergaben dagegen auch in 20 cm Höhe über dem Wasserspiegel bereits ab der ersten Messung Anfang Mai 2018 erhöhte Feuchtwerte. An den 3 Lärchen- und an 2 Douglasienkontrollen reichen die Werte über Fasersättigung, danach wurden weit höhere Werte (50 bis 70 %) bestimmt.

Die relativ trockene Douglasienkontrolle (Nr. 24) erreicht bei Höhe 10 cm Mitte August erstmals den Fasersättigungsbereich und steigt bis Mitte September auf 35 %. Auch zu diesem Zeitpunkt liegt der Wert bei Höhe 20 cm noch unter 20 %.

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Feuchteentwicklung

Folgende Varianten kamen zum Einsatz:

Süßwasser

Fichte: 2 x achteckig zugerichtet
 Kiefer: 2 x achteckig zugerichtet
 Douglasie: 2 x rund, 2 x achteckig zugerichtet
 Lärche: 2 x rund, 2 x achteckig zugerichtet, 2 x geschlitzt und achteckig zugerichtet,
 2 x achteckig zugerichtet mit Vorsatzschale

Salzwasser

Douglasie: 2x achteckig zugerichtet, 2 x achteckig zugerichtet mit Vorsatzschale
 Lärche: 2x achteckig zugerichtet, 2 x achteckig zugerichtet mit Vorsatzschale

Bei den Messergebnissen auf der Ost- und Westseite konnten tendenziell keine systematischen Unterschiede festgestellt werden. Aus diesem Grund wurden für alle weiteren Auswertungen die Messergebnisse für Ost und West gemittelt.

In der folgenden Zusammenstellung sind die Ergebnisse der Vergleiche zwischen unterschiedlichen Varianten im Süßwasser und im Salzwasser aufgeführt.

Süßwasserversuche

Holzart	Pfahl Nr., Bearbeitung	Beurteilung
Kiefer	1, achteckig zugerichtet 5, achteckig zugerichtet	Bis 50 cm Abstand oberhalb der Wasserlinie alle Messstellen weit oberhalb Fasersättigung (FS) über die gesamte Versuchsdauer von mehr als 400 Tagen; in 100 cm Abstand vom Pfahlende erst nach ca. $\frac{3}{4}$ Jahr Holzfeuchte knapp unter FS.
Douglasie	2, 6, rund 10, 14, achteckig zugerichtet	Alle Pfähle, egal ob rund oder achteckig zugerichtet, wiesen ab 25 cm Abstand zur Wasserlinie Holzfeuchten deutlich unterhalb FS auf. Die nachträglich gesetzten Messstellen bei 15 cm weisen bei den runden Pfählen Holzfeuchten oberhalb FS, bei den achteckig zugerichteten Pfählen Holzfeuchten unterhalb FS auf.
Lärche	3, 7 rund 11, 15 achteckig zugerichtet 4,8, achteckig zugerichtet, mit Vorsatzschale 12, 16, achteckig zugerichtet, geschlitzt	Alle vier Varianten ergaben an allen Messpositionen Werte knapp unterhalb FS. Tendenziell weisen die runden Pfähle die höchste Holzfeuchte von allen vier Varianten auf.
Fichte	9, 13 achteckig zugerichtet	Alle Messstellen über den gesamten Zeitraum von mehr als 400 Tagen weit oberhalb von FS. In 100 cm Abstand von oben erst nach ca. $\frac{1}{2}$ Jahr Holzfeuchten unterhalb FS

Salzwasserversuche

Holzart	Pfahl Nr., Bearbeitung	Beurteilung
Lärche	17, 18 achteckig zugerichtet 19, 20 achteckig zugerichtet mit Vorsatzschale	Alle Messstellen liegen bei beiden Varianten bei etwa FS, ab 25 cm Abstand zur Wasserlinie liegen alle Messstellen oberhalb FS, bei 15 cm Abstand sogar weit oberhalb FS. Ab 50 cm Abstand zur Wasserlinie Kurvenverläufe praktisch gleich mit Süßwasserversuch.
Douglasie	21, 22 achteckig zugerichtet 23, 24 achteckig zugerichtet mit Vorsatzschale	Alle Messstellen bei beiden Varianten etwa bei FS. Tendenz ähnlich wie bei Lärche. In der Nähe der Wasserlinie Holzfeuchten leicht oberhalb der Werte im Süßwasserversuch (bedingt durch die höhere Leitfähigkeit des aufsteigenden Salzwassers).

Fazit

- In den Außenschichten von Fichten- und Kiefern-Pfählen kann sowohl Süß- als auch Salzwasser leicht aufsteigen. In bis zu 50 cm Abstand oberhalb Wasserlinie steigt die Holzfeuchte auf oberhalb FS an. Pilzwachstum nach kurzer Einsatzdauer ist deshalb sehr wahrscheinlich und kaum zu vermeiden. Der Einsatz von Fichte oder Kiefer empfiehlt sich nicht.
- Douglasie und Lärche zeigen ein wesentlich weniger stark ausgeprägtes Saugverhalten. Die Wegsamkeit für aufsteigendes Wasser ist vor allem im Kernholz stark reduziert. Tendenziell ist der Feuchteaufstieg in Lärchen-Holz geringer als in Douglasien-Holz. Lärchenstammholz lässt sich durch das achteckige Zurichten leicht in Pfähle ohne Splintholz im Außenbereich umwandeln.
- Sowohl bei Lärche als auch bei Douglasie liegen die Holzfeuchtwerte leicht unterhalb FS, nur in unmittelbarer Nähe zur Wasserlinie stellen sich Holzfeuchten oberhalb FS ein.
- Das Einkerbten der Kiefern- und Fichtenhölzer erbrachte keine praxisrelevante Verringerung des Feuchteaufstiegs. Ob dies auch für Lärche und Douglasie gilt, muss abgewartet werden. Die Vorsatzschalen vor den Lärchenhölzern ergab innerhalb der Versuchszeit keine erkennbare Veränderung des Feuchteverlaufs.

3.5.2 Quantifizierung des Glührückstandes und verschiedener Metallionengehalte von im künstlichen Salzwasser exponierten Nadelhölzern nach 6 bzw. 12 Monaten

Als Erstes ist festzustellen, dass unabhängig von der untersuchten Holzart die ermittelten Natriumgehalte in der Regel sehr gut mit den prozentualen Glührückständen korrelieren (Tabelle 9 bis Tabelle 14).

Bekannt ist, dass der Mineralstoffgehalt von naturbelassenem Stammholz nicht nur je nach Holzart, Wuchsgebiet und Alter sondern auch dessen Verteilung innerhalb ein und desselben Stammes variiert (Faix 2008, Pohlandt 1996). Dabei weist das Splintholz in der Regel einen höheren Mineralstoffgehalt als Kernholz, und das Spätholz einen etwas höheren als das Frühholz auf. Daten zur Variationsbreite des Aschegehaltes von Kiefer (0,15 – 0,53 %), Fichte (0,29 – 0,77 %), Douglasie (0,05 – 0,38 %) und Lärche (0,13 - 0,22 %) wurden bspw. von Fengel & Grosser (1975) veröffentlicht.

Auch ist hervorzuheben, dass in der Regel die ermittelten Glührückstände für Kiefer mit 0,2 – 0,6 % (Tabelle 9 und Tabelle 13), für Fichte mit 0,2 – 0,3 % (Tabelle 10 und Tabelle 14), Douglasie mit 0,04 – 0,06 % (Tabelle 11) und Lärche mit 0,1 – 0,2 % (Tabelle 12) sehr gut mit den Fengel & Grosser (1975) publizierten Daten korrelieren. Der für die Probe „C2 a1“ mit 1,2 % ermittelte Glührückstand (Tabelle 13) fällt zu hoch aus, was möglicherweise auf eine unzureichende Veraschung zurückzuführen ist. Bestätigt wird diese Annahme über einen Vergleich der Natriumgehalte der 5 separat analysierten Proben des C2 Riegels (Tabelle 13), die sich nur geringfügig voneinander unterscheiden.

Wie zu erwarten war, konnten für die splinthaltigen Rundhölzer „Kiefer“ (Tabelle 9) und „Fichte“ (Tabelle 10) im Vergleich zu den schwer tränkbar (DIN EN 350:2016) Douglasien- (Tabelle 11) und Lärchenkernholz (Tabelle 12) wesentlich höhere Salzaufnahmen als auch Salzaufstiege ermittelt werden.

Aus Tabelle 9 geht hervor, dass der Natriumgehalt im Außenbereich (a) von Probe 1.1, welche sich ständig unterhalb des Wasserspiegels befand, nahezu dem Natriumgehalt von 14150 ppm entspricht, welcher für den unteren Bereich von Container I ermittelt wurde. Bemerkenswert ist ferner, dass selbst im inneren Kern (i) mit ca. 9440 ppm ein Natriumgehalt bestimmt wurde, welcher im Vergleich zu Probe 1.5 mit ca. 50 ppm um ein Vielfaches größer ist. Bemerkenswert auch deshalb, da dieser Wert bereits nach ca. 7 Monaten Exposition erzielt wurde und zudem das Kernholz der Kiefer nach DIN EN 350:2016 als „schwer“ bis „sehr schwer tränkbar“ klassifiziert ist.

Weiterhin ist ersichtlich, dass bereits in der äußeren Zone von Stammscheibe 1.2, welche sich auf dem Niveau des Wasserspiegels befand, eine deutliche Anreicherung des Natriumgehaltes auf ca. 31000 ppm gefunden wurde. Hervorzuheben ist, dass die Anreicherung auch in den inneren Bereichen des Riegels und damit der Stammscheibenhälfte festgestellt wurde. Der höchste Natriumgehalt und Glührückstand wurde in allen Bereichen der Riegel der Kiefernstammscheibenhälfte 1.3 (Abbildung in Tabelle 9) nachgewiesen; ca. 25 cm oberhalb des Wasserspiegels. Dies ist ein eindeutiger Beleg für den vermuteten Salzwasseraufstieg einschließlich einer nachfolgenden Salzanreicherung, welche nicht nur in vertikaler sondern auch in radialer Richtung stattgefunden hat. Sogar in den Proben, die aus der Stammscheibenhälfte entnommen wurde, die sich etwa 50 cm oberhalb des Wasserspiegels befand, werden noch Natriummengen bestimmt, die etwa doppelt so hoch sind wie die „Unterwasserproben“.

In den Fichtenproben wurde zwar auch ein Glührückstand mit bis zu 3,7 % (Tabelle 10) bestimmt, jedoch liegen sowohl die prozentualen Asche- als auch die Natriumgehalte unterhalb korrespondierender Kiefernproben. Im Vergleich zum Kiefernstamm ist zudem auch eine geringere Meerwasserpenetration in radialer als auch vertikaler Richtung zu verzeichnen, die sich in kleineren Natriummengen bzw. Aschemengen widerspiegeln.

Die ermittelte Asche- und Natriummenge für die innere Kernholzprobe (i) von Segment 7.1 belegt, dass diese nur unwesentlich größer sind als die Hintergrundwerte von Segment 7.5 (Tabelle 10), obwohl das Segment 7.1 sich während der gesamten Expositionszeit permanent unterhalb des Salzwasserspiegels befand. Weiterhin verdeutlichen die dargestellten Werte (Tabelle 10), dass das künstliche Meerwasser in dem Fichtenrundholz etwa 25 cm über den Wasserspiegel und damit nur halb so hoch aufstieg wie im Kiefernrundholz bei identischen Testbedingungen. Im Vergleich zum Kiefernstamm sollte die geringere vertikale und radiale Flüssigkeitspenetration auf die schwere Tränkbarkeit des Fichtensplintholzes (Klassifikation 3v nach DIN EN 350:2016) zurückgeführt werden.

Tabelle 9: Mittlere Natriummengen und prozentualer Glührückstand (Asche) in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibenhälfte im Kiefernstamm und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 6 Monaten Exposition in einer ca. 3%igen Meersalzlösung.












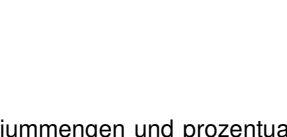
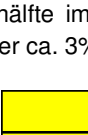
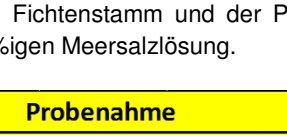
Probenahme		Natrium (ppm)		Asche (%)
		a	92	0,3
			230	
			26080	4,7
			14875	
			10790	3,7
			39435	8,9
			30640	
			18610	4,0
			30805	5,8
			19535	
			12705	3,0
		a	14020	3,5
			10385	
		i	9441	3,0

Tabelle 10: Mittlere Natriummengen und prozentualer Glührückstand (Asche) in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibenhälfte im Fichtenstamm und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 6 Monaten Exposition in einer ca. 3%igen Meersalzlösung.














Probenahme		Natrium (ppm)		Asche (%)
		a	16	0,2
			16	
			38	0,4
			18	
			27	0,3
			16180	1,7
			3638	
			34	0,3
			16800	3,7
			305	
			92	0,3
		a	17495	2,3
			868	
		i	114	0,3

Tabelle 11: Mittlere Natriummengen und prozentualer Glührückstand (Asche) in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibenhälfte im Douglasienstamm und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 6 Monaten Exposition in einer ca. 3%igen Meersalzlösung.





















Probenahme		Natrium (ppm)		Asche (%)
		a	17	0,04
		i	12	0,04
			15	0,04
			10	0,06
			27	0,05
			13	0,05
			7386	0,8
			1123	
			33	0,1
		a	3884	1,0
		m	182	
		i	23	0,1

Tabelle 12: Mittlere Natriummengen und prozentualer Glührückstand (Asche) in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibenhälfte im Lärchenstamm und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 6 Monaten Exposition in einer ca. 3%igen Meersalzlösung.

Probenahme		Natrium (ppm)		Asche (%)
		a	4	0,1
		i	7	0,1
			6	0,1
			6	0,1
			5	0,2
			6	0,1
			2207	0,5
			23	
			17	0,2
		a	1988	0,5
		m	85	
		i	74	0,2

Andererseits sind sowohl die Penetration als auch die Salzaufnahme im untersuchten Fichtenstamm signifikant höher als im Douglasien- (Tabelle 11) oder Lärchenstamm (Tabelle 12), was über die „schwere bis sehr schwere“ bzw. „sehr schwere“ Tränkbarkeit beider Kernhölzer zu erklären ist.

Die ermittelten Salzgehalte in den jeweiligen Stammscheibenhälften der Douglasie bzw. Lärche belegen, dass eine signifikante Salzaufnahme nur in den Stammteilen festgestellt wurde (Tabelle 11 und Tabelle 12), die sich im permanenten Wasserkontakt befanden. Absolut betrachtet ist die bestimmte Salzmenge vergleichsweise gering, da der Salzgehalt des verwendeten künstlichen Meerwassers deutlich höher war.

Ein weiterer Kiefern- und Fichtenstamm wurde nach 12 Monaten Exposition zwecks Quantifizierung des Natriumgehaltes und Glührückstandes entnommen. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Messungen wurde die gesamte Stammscheibe in die analytischen Untersuchungen einbezogen. Abbildung 22 zeigt die ungefähre Lage der Stammscheibe im exponierten Rundholz (linkes Bild) sowie die Verteilung/Bezeichnung der Prüfkörper innerhalb einer Stammscheibe (rechtes Bild). So wurden bspw. 20 cm oberhalb des Wasserspiegels im inneren Kernholz des Kiefernstammes (Tabelle 13, Proberiegel A 2, innen) im Mittel Natriummengen von ca. 7000 ppm gemessen, die damit etwa um das 300fache höher sind als der Natriumgehalt von naturbelassenem Kiefernkernholz (Riegel C 2, innen).







Diese Salzanreicherung wurde auch im äußeren Splintholz nachgewiesen, welches sich oberhalb des Wasserspiegels befand. Beispielsweise wurden für die äußeren Splintholzproben a1 und a2 der Stammscheibe A 2 prozentuale Glührückstände von 16,1 % bzw. 15,3 % bestimmt, die um das 4 bis 5 fache höher sind als dies für die Außenproben a1 und a2 der Scheibe U 2 der Fall ist (Tabelle 13).

Im Gegensatz dazu wurden im Innern der Fichte Natriumgehalte von etwa 2600 ppm (Tabelle 14, Riegel U 8, innen) gemessen, obwohl dieser Abschnitt permanent unter Wasser war. Zudem fallen die teilweise extremen Konzentrationsunterschiede zwischen gegenüberliegenden Proben bei ein und derselben Stammscheibe auf. Besonders offensichtlich wird dies bei Stammscheibe B2: Während für die außenliegende Probe a1 ein Natriumgehalt von ca. 9700 ppm gemessen wurde, fällt dieser mit ca. 95 ppm für Probe a2 deutlich geringer aus. Ähnliches gilt für die entsprechenden Glührückstände mit 2,8 % bzw. 0,4 % (Tabelle 13).

Für die ungleichmäßige Salzverteilung in ein und derselben Stammscheibe kommen verschiedene Faktoren infrage:

- Harzanreicherungen oder Astansätze (Tabelle 14, Bild von Stammscheibe B8), die den Flüssigkeitstransport hemmen,
- Risse, die den kapillaren Flüssigkeitstransport begünstigen oder
- ein Pilzbefall, der die Wegsamkeit fördert aber auch behindern kann.

Tabelle 13: Mittlere Natriummengen und prozentualer Glührückstand in Abhängigkeit von der Lage im Kiefernstamm und der Position in dem Stammscheibenriegel nach 12 Monaten Exposition in einer ca. 3%igen Meersalzlösung.

Proberiegel	Position	Natrium (ppm)	Glührückstand (%)	Stammscheibe	
	C 2	a 1	21	1,2	
		m 1	13	0,3	
		i 1	24		
		i 2	17	0,3	
		m 2	14		
		a 2	17	0,6	
	B 2	a 1	9675	2,8	
		m 1	51	0,3	
		i 1	27		
		i 2	25	0,3	
		m 2	32		
		a 2	95	0,4	
	A 2	a 1	57970	16,1	
		m 1	52630	2,2	
		i 1	8051		
		i 2	6029	1,3	
		m 2	48190		
		a 2	66100	15,3	















	W 2	a 1	21780	6,2	
		m 1	13520	0,9	
		i 1	1541		
		i 2	2202	1,3	
		m 2	9731		
		a 2	41030	9,4	
	U 2	a 1	10560	3,9	
		m 1	11620	2,1	
		i 1	12750		
		i 2	4255	1,1	
		m 2	9829		
		a 2	8739	3,1	

Tabelle 14: Mittlere Natriummengen und prozentualer Glührückstand in Abhängigkeit von der Lage im Fichtenstamm und der Position in dem Stammscheibenriegel nach 12 Monaten Exposition in einer ca. 3%igen Meersalzlösung.

Proberiegel	Position	Natrium (ppm)	Glührückstand (%)	Stammscheibe	
	C 8	a 1	28	0,3	
		m 1	23	0,3	
		i 1	22		
		i 2	33	0,3	
		m 2	14		
		a 2	16	0,2	
	B 8	a 1	76	0,2	
		m 1	12	0,2	
		i 1	11		
		i 2	19	0,2	
		m 2	14		
		a 2	12	0,2	
	A 8	a 1	27540	3,6	
		m 1	72	0,3	
		i 1	25		
		i 2	18	0,2	
		m 2	18		
		a 2	18400	3,1	

	W 8	a 1	34330	7,7	
		m 1	18950	0,7	
		i 1	955		
		i 2	429	0,5	
		m 2	3522		
		a 2	28340	6,2	
	U 8	a 1	18950	4,0	
		m 1	6542	1,1	
		i	2562		
		m 2	6122	1,1	
		a 2	16430		

3.5.3 Quantifizierung des Glührückstandes und verschiedener Metallionengehalte von unter Praxisbedingungen exponierten Nadelholzstämmen nach 5 Jahren Standzeit

Zusätzlich zu den Freilandtests bestand die Möglichkeit, jeweils fünf Stammscheiben von zwei Lärchenholzrammpfählen zu untersuchen, die 5 Jahre in Norddeich exponiert waren. Davon war ein Rammpfahl mit einem Geotextil ummantelt, der andere Lärchenrammpfahl diente als Referenz.

Die Probenaufbereitung und Analysen zur Bestimmung des Glührückstandes sowie zur Quantifizierung der Metallionengehalte erfolgten wie unter Abschnitt 2.7.2 beschrieben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Quantifizierung des Glührückstandes und verschiedener Metallionengehalte sind in Abbildung 27 und Abbildung 28 sowie der Tabelle 15 und Tabelle 16 dargestellt.

Vergleicht man den Zustand der beiden Stammscheiben (Abbildung 29 und Abbildung 30; jeweils das Segment 5) so zeigt sich deutlich die prophylaktische Wirkung des Geotextils. Während beim „Segment 5“ des mit Geotextil ummantelten Lärchenpfahles (Abbildung 30) visuell keine Anzeichen eines Befalls durch *Teredo navalis* festzustellen sind, sind sowohl das Splint- als auch das Kernholz des Referenzpfahles (Abbildung 29, Segment 5) mehr oder minder stark durch die Holzbohrmuschel zerstört.

Hinsichtlich des prozentualen Glührückstandes zeigen sich zwischen dem ummantelten und nicht ummantelten Lärchenpfahl keine signifikanten Unterschiede. In beiden Fällen werden die größten Mengen (bis zu 5 %) im Splintholz der Stammscheibe 4 (ca. 50 cm unterhalb des mittleren NW, Abbildung 27 und Abbildung 28) ermittelt, wobei etwa $\frac{1}{4}$ davon auf Kalzium-, Natrium- und Magnesium-Ionen entfallen (Tabelle 15 und Tabelle 16). Hieraus kann abgeleitet werden, dass die Salzverteilung sowohl innerhalb des nicht ummantelten als auch des ummantelten Stammes mit denen von im künstlichen Meerwasser exponierten Rundhölzern vergleichbar ist. Dies bedeutet gleichzeitig, dass auch der Flüssigkeitsaufstieg ähnlich sein sollte.

Ferner geht aus Tabelle 15 und Tabelle 16 hervor, dass in den wenig bzw. nicht exponierten Stammscheiben (S 1 und S 2) erwartungsgemäß höhere Kalium- als Natriummengen bestimmt wurden, da Kalium im Gegensatz zu Natrium zu den wichtigsten Pflanzennährstoffen gehört.

Auffallend ist auch der vergleichsweise hohe Glührückstandswert von Probe 1 mit ca. 4 % sowie von Probe 2 mit ca. 1,5 % (Segment 5 des nicht ummantelten Lärchenpfahles, Abbildung 27), der über die starke Zerstörung des Holzes durch *Teredo navalis* zu erklären sein sollte, da das mineralienhaltige Wasser über die entstandenen Bohrgänge leichter in innere Bereiche des Lärchenstammes gelangen kann.

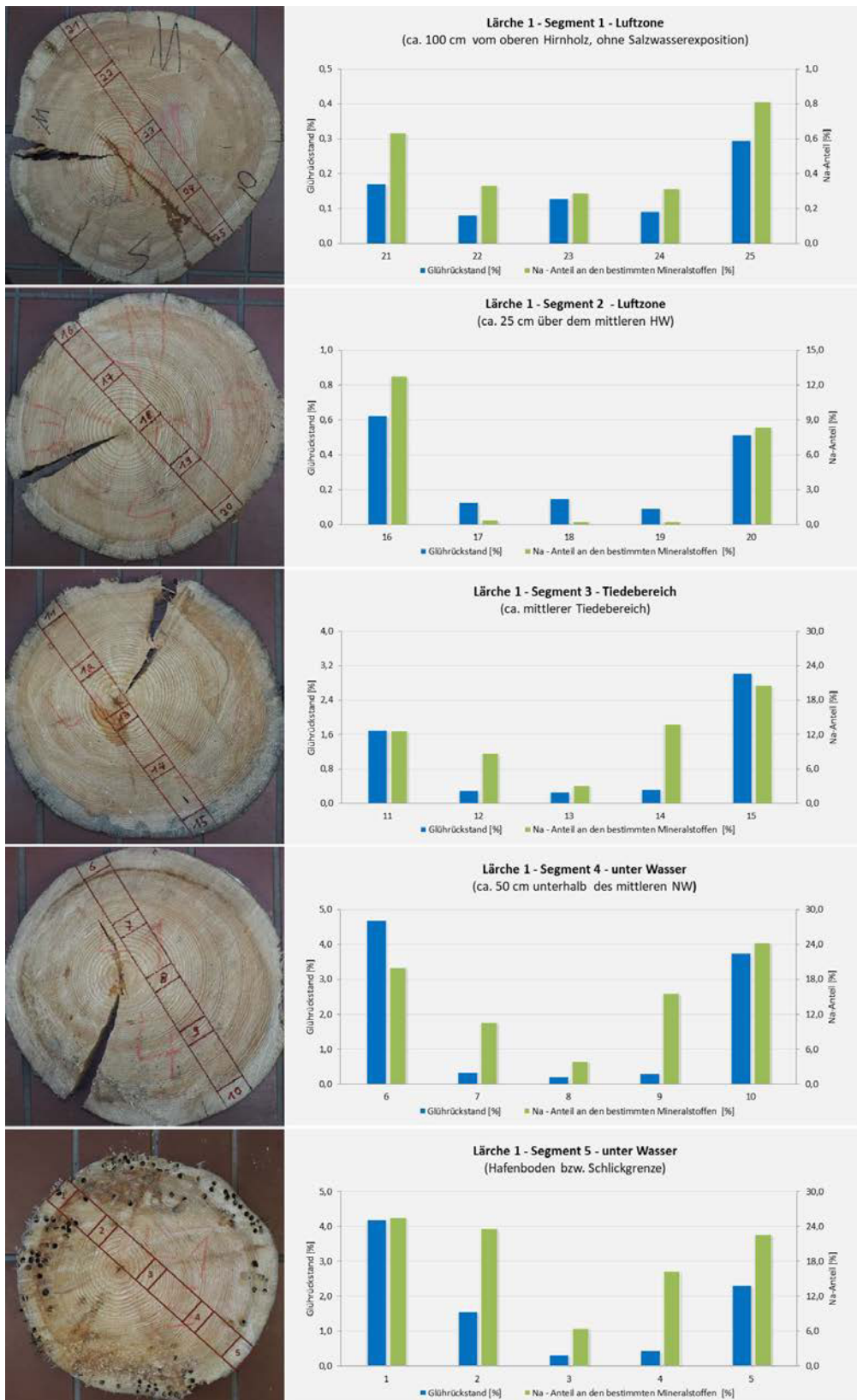


Abbildung 27: Mittlere prozentuale Natriummengen und prozentualer Glührückstand (Asche) in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibe im Lärchenstamm (Referenz) und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 5 Jahren Exposition.

Tabelle 15: Zusammenstellung aller Metallgehalte (ppm, gerundet) und dem daraus abgeleiteten prozentualen Natriumanteil in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibe im Lärchenstamm (Referenz) und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 5 Jahren Exposition.

Proben Nr.	Stamm	Scheibe	Position	Anm.	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Pb	Zn	Na - Anteil an den bestimmten Mineralstoffen [%]
1	L 1	5	Splint	Kalktröhre entfernt	67,9	823,9	0,1	0,5	1,1	63,2	467,1	1226,0	11,9	915,9	1,5	7,4	25,5
2	L 1	5	Kern außen		7,1	464,4	0,3	0,4	0,8	7,1	247,9	348,7	85,8	361,1	0,8	4,1	23,6
3	L 1	5	Kern innen	Ast	5,5	260,5	0,4	0,3	1,3	4,5	280,4	60,8	91,8	49,4	0,7	4,3	6,5
4	L 1	5	Kern außen		8,3	389,6	0,2	0,4	0,8	6,1	196,9	132,1	47,3	153,3	1,1	3,1	16,3
5	L 1	5	Splint		11,6	678,8	0,0	0,6	0,9	69,2	322,7	951,5	11,2	601,3	0,7	5,2	22,7
6	L 1	4	Splint		126,7	1902,0	0,1	0,5	1,6	88,2	678,0	2167,0	39,1	1254,0	1,5	8,3	20,0
7	L 1	4	Kern außen		6,4	303,7	0,4	0,4	0,9	5,3	208,9	66,3	97,3	83,0	1,0	4,7	10,7
8	L 1	4	Kern innen		5,7	281,3	0,5	0,5	1,5	5,0	267,1	60,4	93,9	29,7	0,5	3,7	4,0
9	L 1	4	Kern außen		4,6	186,5	0,3	0,3	0,6	4,5	182,9	39,9	45,0	86,7	1,6	3,6	15,6
10	L 1	4	Splint		5,2	421,5	0,1	0,3	0,7	5,0	213,5	482	3,7	364,6	1,1	4,6	24,3
11	L 1	3	Splint		170,4	735,8	0,1	0,4	1,7	89,9	251,6	1033	60,3	339,2	1,9	7,4	12,6
12	L 1	3	Kern außen		5,3	258,8	0,3	0,3	0,7	3,5	234,4	55	94,7	62,3	1,2	3,3	8,7
13	L 1	3	Kern innen	Ast	7,8	343,2	0,5	0,2	1,4	5,2	297,6	73	125,3	26,6	1,1	11,1	3,0
14	L 1	3	Kern außen		4,5	219,8	0,3	0,3	1,0	3,0	168,6	45	53,7	80,3	1,8	3,7	13,8
15	L 1	3	Splint	Verfärbung	30,7	699,9	0,0	0,5	0,5	19,6	290,7	1062	46,0	559,6	0,9	7,4	20,6
16	L 1	2	Splint		13,1	349,3	0,0	0,4	1,4	9,8	116,4	408	45,2	139,6	3,1	9,4	12,7
17	L 1	2	Kern außen		5,5	270,8	0,4	0,3	0,9	7,3	206,2	56	99,5	2,8	1,9	5,6	0,4
18	L 1	2	Kern innen		4,3	319,1	0,5	0,3	1,4	4,7	225,7	67	132,6	2,2	0,7	6,0	0,3
19	L 1	2	Kern außen		4,0	214,5	0,3	0,2	0,9	3,5	175,2	48	60,7	1,5	2,1	3,5	0,3
20	L 1	2	Splint		12,9	556,4	0,1	0,3	1,0	10,8	202,2	200	168,7	106,2	1,9	5,7	8,4
21	L 1	1	Splint		9,1	448,0	0,1	0,6	1,0	7,4	172,3	103	187,2	6,0	1,9	6,6	0,6
22	L 1	1	Kern außen		5,0	182,6	0,3	0,4	0,9	4,4	114,6	38	53,9	1,4	3,7	4,7	0,3
23	L 1	1	Kern innen		5,8	269,9	0,4	0,3	1,3	8,0	175,8	52	111,1	1,8	1,0	5,5	0,3
24	L 1	1	Kern außen		5,7	217,9	0,3	0,2	1,5	3,6	129,8	46	60,8	1,5	2,8	5,0	0,3
25	L 1	1	Splint		10,0	655,9	0,1	0,2	1,6	7,6	289,9	127	269,6	11,2	1,9	5,6	0,8

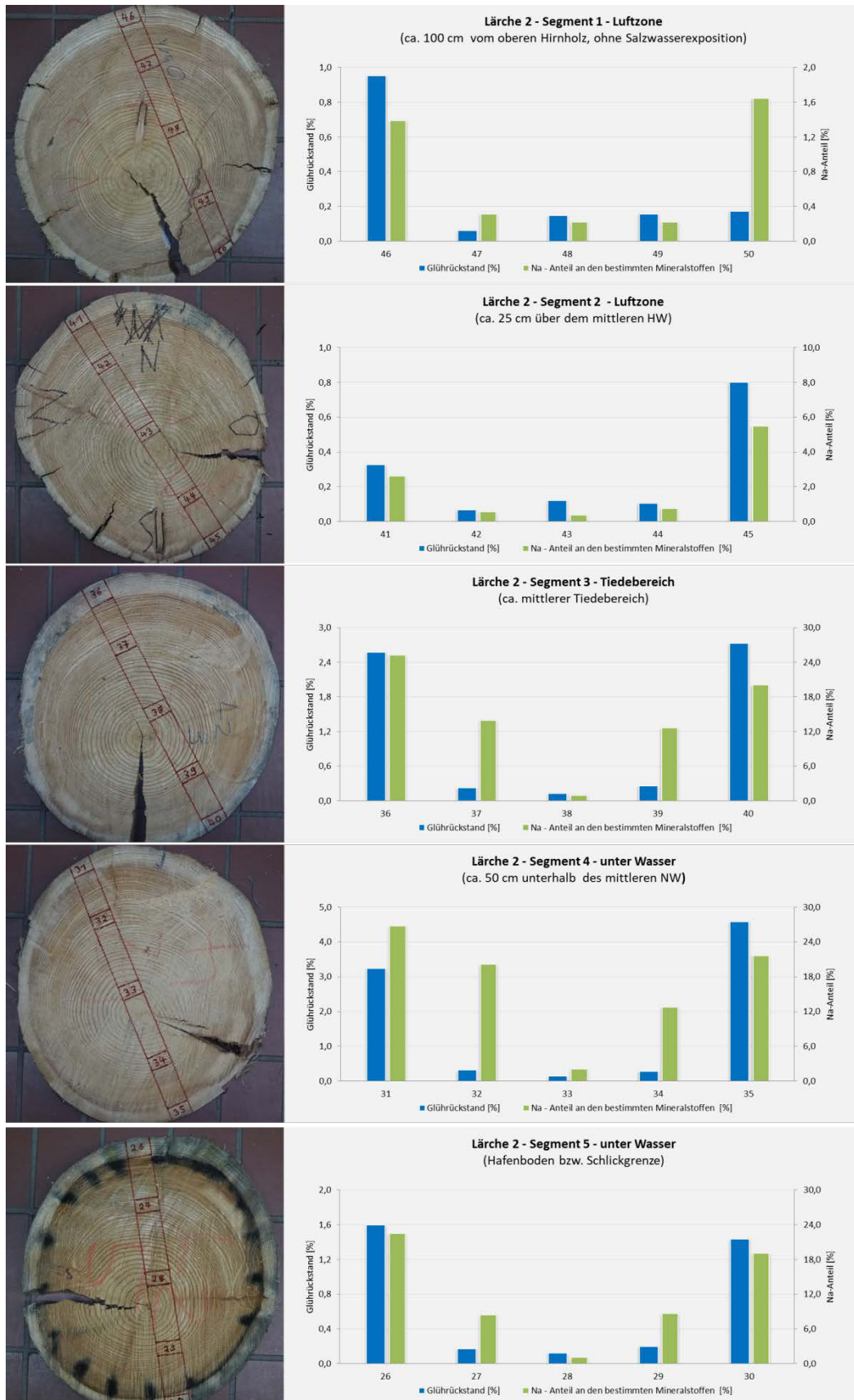


Abbildung 28: Mittlere prozentuale Natriummengen und prozentualer Glührückstand (Asche) in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibe im Lärchenstamm (mit Geotextil ummantelt) und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 5 Jahren.

Tabelle 16: Zusammenstellung aller Metallgehalte (ppm, gerundet) und dem daraus abgeleiteten prozentualen Natriumanteil in Abhängigkeit von der Lage der Stammscheibe im Lärchenstamm (mit Geotextil ummantelt) und der Position der Prüfkörpersegmente im Riegel nach 5 Jahren Exposition.

Proben Nr.	Stamm	Scheibe	Position	Anm.	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Pb	Zn	Na- Anteil an den bestimmten Mineralstoffen [%]
26	L2	5	Splint	Verfärbung	5,0	532,1	0,1	0,3	1,5	20,3	211,5	533,2	68,8	400,9	1,3	6,9	22,5
27	L2	5	Kern außen	Ast	12,2	157,5	0,3	0,3	1,1	7,4	123,6	35,2	55,8	36,7	1,9	3,5	8,4
28	L2	5	Kern innen	Ast	3,5	231,0	0,5	0,3	1,6	4,5	193,2	56,7	99,8	7,0	0,9	3,6	1,2
29	L2	5	Kern außen		3,1	205,4	0,3	0,4	1,2	3,4	133,7	51,8	66,5	44,6	1,0	3,1	8,7
30	L2	5	Splint		4,8	481,1	0,1	1,1	0,9	28,0	145,0	436,8	18,7	269,2	1,7	19,9	19,1
31	L2	4	Splint		25,7	722,5	0,1	0,5	1,5	17,2	450,8	1160,0	22,9	881,4	1,2	9,2	26,8
32	L2	4	Kern außen		2,9	122,4	0,2	0,3	0,8	3,5	153,0	33,0	38,4	90,3	0,7	2,7	20,1
33	L2	4	Kern innen		7,4	242,5	0,5	0,3	1,7	5,3	207,0	59,0	108,0	13,9	0,6	4,3	2,1
34	L2	4	Kern außen		2,9	186,1	0,3	0,2	0,9	2,7	168,5	48,7	71,5	71,2	0,7	2,7	12,8
35	L2	4	Splint		108,2	1118,0	0,1	0,8	2,6	53,7	598,6	2118,0	41,1	1122,0	1,6	15,7	21,7
36	L2	3	Splint		9,5	453,2	0,1	0,3	1,8	6,3	313,0	843,9	35,8	566,0	2,0	5,1	25,3
37	L2	3	Kern außen		4,2	152,1	0,3	0,2	1,0	3,1	141,8	41,7	51,4	65,1	1,1	3,2	14,0
38	L2	3	Kern innen		3,3	244,9	0,5	0,2	1,8	3,6	196,3	57,9	112,6	6,6	1,0	4,1	1,0
39	L2	3	Kern außen		3,3	188,8	0,3	0,3	1,0	4,9	153,5	48,5	64,3	68,4	0,8	3,9	12,7
40	L2	3	Splint		212,6	684,8	0,0	0,4	1,5	95,4	495,8	1468,0	94,9	770,0	1,5	5,7	20,1
41	L2	2	Splint		81,9	671,4	0,1	0,3	2,0	149,3	134,9	264,2	242,4	42,1	1,8	8,9	2,6
42	L2	2	Kern außen		5,7	129,8	0,2	0,2	1,1	3,8	119,4	32,9	36,2	2,0	1,5	4,2	0,6
43	L2	2	Kern innen		3,7	251,6	0,5	0,3	1,5	4,1	177,7	62,1	113,6	2,4	0,3	5,2	0,4
44	L2	2	Kern außen		11,2	196,9	0,3	0,2	0,9	5,2	171,4	47,9	76,7	4,0	1,0	3,6	0,8
45	L2	2	Splint		120,8	806,4	0,1	0,4	1,5	102,8	197,3	562,4	286,1	121,5	1,8	11,0	5,5
46	L2	1	Splint		17,5	697,3	0,1	0,3	1,3	12,3	246,2	158,3	193,1	18,8	1,2	4,8	1,4
47	L2	1	Kern außen		5,0	137,1	0,2	0,3	0,7	4,1	95,7	36,8	34,7	1,0	1,9	3,0	0,3
48	L2	1	Kern innen		5,7	264,2	0,4	0,2	2,4	9,9	319,9	71,1	107,5	1,8	1,8	7,0	0,2
49	L2	1	Kern außen		4,8	175,6	0,2	0,2	1,4	4,2	353,7	52,2	66,6	1,5	0,7	2,4	0,2
50	L2	1	Splint		23,8	296,0	0,1	0,9	1,1	18,7	89,3	132,0	139,3	11,9	2,1	5,3	1,6

Hinzuweisen ist auch darauf, dass etwa ein Meter unterhalb vom Hirnholzende des nicht ummantelten Lärchenstammes im inneren Kernholzbereich bereits nach 5 Jahren Exposition in Gebrauchsklasse 3.1 (EN 335:2013) ein Pilzbefall (Abbildung 29) gefunden wurde, der die „mäßig bis geringe“ Dauerhaftigkeit Europäischer Lärche (LADC) sowie eine sich daraus ableitende Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen belegt. Dieser Befund steht im Widerspruch zu der Aussage in DIN 68800-1:2011 (Tabelle 5, a), wonach „das Farbkernholz von Douglasie und Lärche ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen in GK 2 und GK 3.1 eingesetzt werden kann, unabhängig davon, dass es nur in die Dauerhaftigkeitsklasse 3-4 eingestuft ist, da sich der Einsatz dieser beiden Holzarten in GK 2 und GK 3.1 seit der letzten Ausgabe von DIN 68800-3:1990 in der Praxis bewährt hat.“



Abbildung 29: Pilzmyzel im inneren Kernholzbereich der obersten Stammscheibe des nicht ummantelten Lärchenstammes (Referenz).

3.6 Zur fungiziden Wirksamkeit von Natriumchlorid

Die Untersuchungsergebnisse sind in der Tabelle 17 und in Abbildung 30 bis Abbildung 33 dargestellt.

Aus Tabelle 17 geht hervor, dass im Mittel eine Lösungsaufnahme von etwa 750 l/m^3 erzielt wurde, wodurch in Abhängigkeit von der jeweiligen Lösungskonzentration Einbringmengen an Meersalz von $3,7 \text{ kg/m}^3$ bis $22,8 \text{ kg/m}^3$ oder unter Berücksichtigung einer mittleren Darrdichte der unbehandelten Prüfkörper von 480 kg/m^3 von 7.700 mg Meersalz je kg Holz bis 47.500 mg/kg resultieren.

Werden Lösungsaufnahme und Darrgewicht zusammengefasst, ergibt sich nach der Tränkung in erster Näherung eine Dichte von ca. 1.230 kg/m^3 . Dieser Wert deutet auf eine vollständige Durchtränkung hin, da die abgeleitete Dichte von ca. 1.230 kg/m^3 sehr gut mit der von Melcher und Zwiefelhofer (2013) angenommenen „achievable density“ von 1.250 kg/m^3 nach Tränkung korreliert.

Besonders zu beachten ist, dass bis auf zwei Ausnahmen für alle anderen mit Meersalz imprägnierten Prüfkörper nach 16 Wochen Exposition im Mittel Holzfeuchten bestimmt wurden, die weit über 130 % lagen (Tabelle 17).

Die hohen Holzfeuchten sind bei der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen, da nach DIN EN 113: 1996, Abschnitt 8.6.3, „jeder behandelte Prüfkörper mit einem Masseverlust von weniger als 3 % ausgesondert wird, sofern dieser in Bezug auf die Feuchte abnorm erscheint, d. h. dieser eine End-Feuchte von mehr als 80 % ...“ aufweist.

Andererseits berichten Huckfeldt und Schmidt (2015), dass der optimale Feuchtebereich für den Abbau von Kiefernspiltholz für *C. puteana* von etwa 36 % bis 208 % und für *G. trabeum* von etwa 46 % bis 179 % reicht. Hiernach liegen für *C. puteana* sowohl die mittleren als auch

die maximalen Ausbaufeuchten im optimalen Bereich. Dieser Befund gilt uneingeschränkt auch für die mittleren Ausbaufeuchten, die für *G. trabeum* bestimmt wurden; hingegen für die Maxima nur mit Einschränkungen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Zusammenstellung der erzielten Aufnahmen an Tränklösung und Meersalz sowie der Ausbaufeuchte, der Bewuchsdichte und -fläche nach 16 Wochen Versuchsdauer.

Konzentration	Pilz	n	min			max			Dichte		Fläche		min		max	
			L	Aufnahme Lösung	L	S	Aufnahme Meersalz	S	F	Fläche	F	Ausbau- feuchte	F			
0,00%	oP															
	Pp	6	727	739	768	0,0	0,0	0,0	2	4	60	81	102			
	Gt	6	695	728	766	0,0	0,0	0,0	3	4	52	55	59			
	Cv	6	724	756	800	0,0	0,0	0,0	1	2	49	59	71			
	Cp	6	711	740	800	0,0	0,0	0,0	1	3	46	50	59			
0,50%	oP	6	716	743	775	3,6	3,7	3,9			14	14	14			
	Pp	6	719	740	794	3,6	3,7	4,0	3	4	66	79	98			
	Gt	6	715	742	775	3,6	3,7	3,9	3	4	76	93	108			
	Cv	6	715	743	798	3,6	3,7	4,0	1	3	93	125	174			
	Cp	6	719	739	808	3,6	3,7	4,0	1	3	78	94	141			
1,00%	oP	6	705	729	769	7,1	7,3	7,7			14	15	15			
	Pp	6	724	744	813	7,2	7,4	8,1	3	4	75	98	147			
	Gt	6	731	749	799	7,3	7,5	8,0	2	4	131	154	188			
	Cv	6	698	738	798	7,0	7,4	8,0	1	3	134	161	204			
	Cp	6	707	739	818	7,1	7,4	8,2	1	3	112	143	202			
2,00%	oP	6	727	750	795	14,5	15,0	15,9			15	16	17			
	Pp	6	732	754	807	14,6	15,1	16,1	3	4	128	145	172			
	Gt	6	738	757	801	14,8	15,1	16,0	1	3	140	155	192			
	Cv	6	710	752	816	14,2	15,0	16,3	1	3	133	153	200			
	Cp	6	705	744	797	14,1	14,9	15,9	2	3	125	143	167			
3,00%	oP	6	723	751	798	21,7	22,5	23,9			16	17	18			
	Pp	6	723	748	801	21,7	22,5	24,0	3	4	107	128	164			
	Gt	6	729	761	824	21,9	22,8	24,7	1	4	137	147	178			
	Cv	6	730	761	824	21,9	22,8	24,7	1	3	125	144	176			
	Cp	6	740	753	765	22,2	22,6	22,9	1	2	116	130	141			

Weiterhin geht aus Tabelle 17 hervor, dass die Basidiomyceten alle Prüfkörper mehr oder minder stark be- und überwuchsen. Allerdings können aus der visuellen Beurteilung des Bewuchses keine Aussagen hinsichtlich einer prophylaktischen Wirksamkeit des Meersalzes abgeleitet werden. Jedoch deutet der Bewuchs daraufhin, dass keine fungiziden Stoffe aus den Hölzern freigesetzt wurden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die biologischen Prüfungen gültig sind, da für die Virulenzproben (Abbildung 30 bis Abbildung 33) die vorgeschriebenen Mindestabbauraten nach DIN EN 113:1996 erzielt wurden. Weiterhin geht aus den Abbildungen hervor, dass unabhängig vom verwendeten Pilz das behandelte Holz ab Lösungskonzentrationen von 2 % bzw. korrespondierenden mittleren Einbringmengen von 15 kg Meersalz je m³ (Tabelle 17) quasi geschützt ist, da nach 16 Wochen Exposition nahezu kein Masseverlust ermittelt wurde.

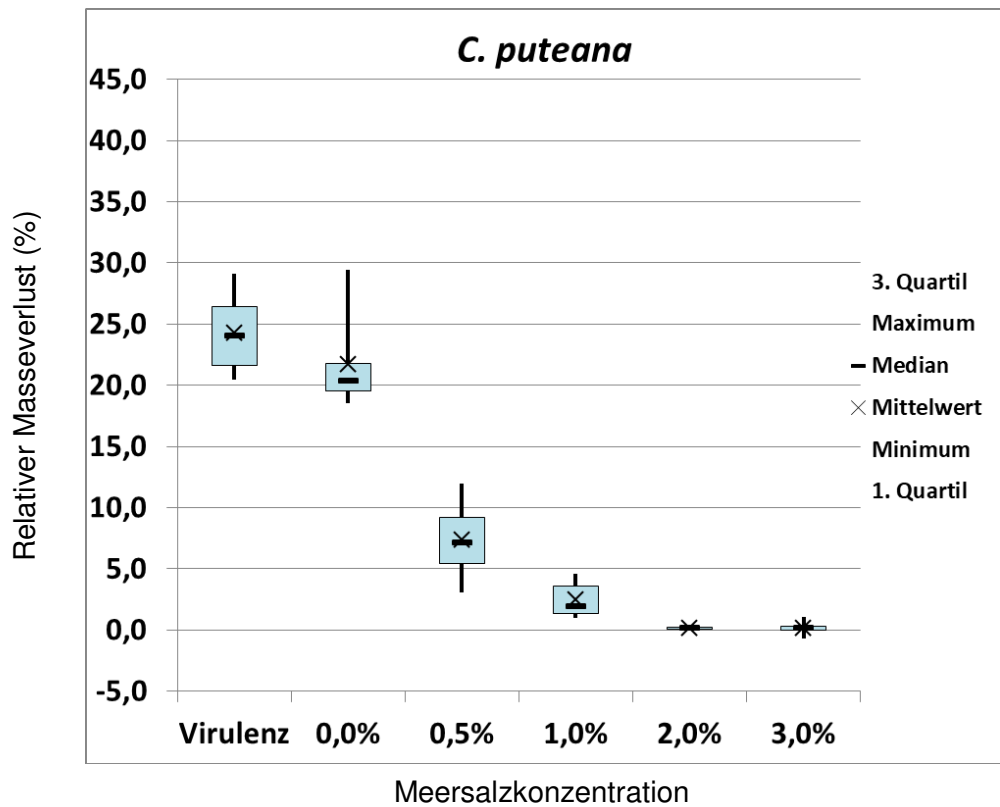


Abbildung 30: Relative Masseverluste von un- und salzbehandelten Prüfkörpern aus Kiefernspiltholz nach 16 Wochen Prüfung mit *Coniophora puteana*.

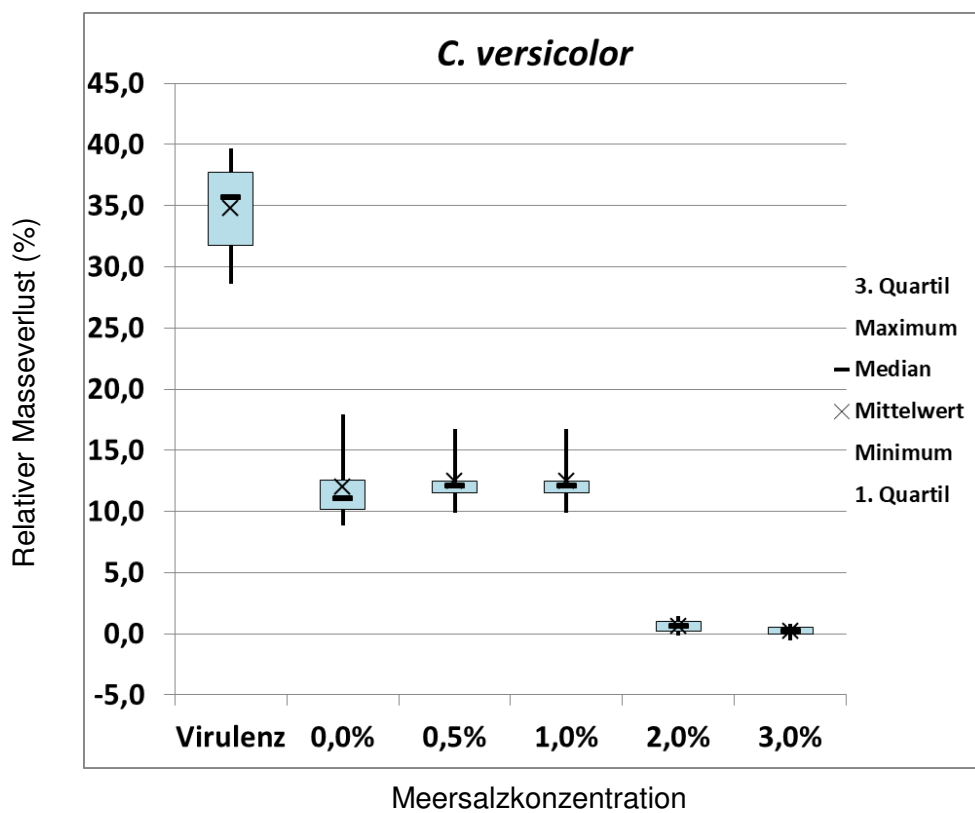


Abbildung 31: Relative Masseverluste von unbehandelten Buchen- und salzbehandelten Kiefernprüfkörpern nach 16 Wochen Prüfung mit *Coriolus versicolor*.

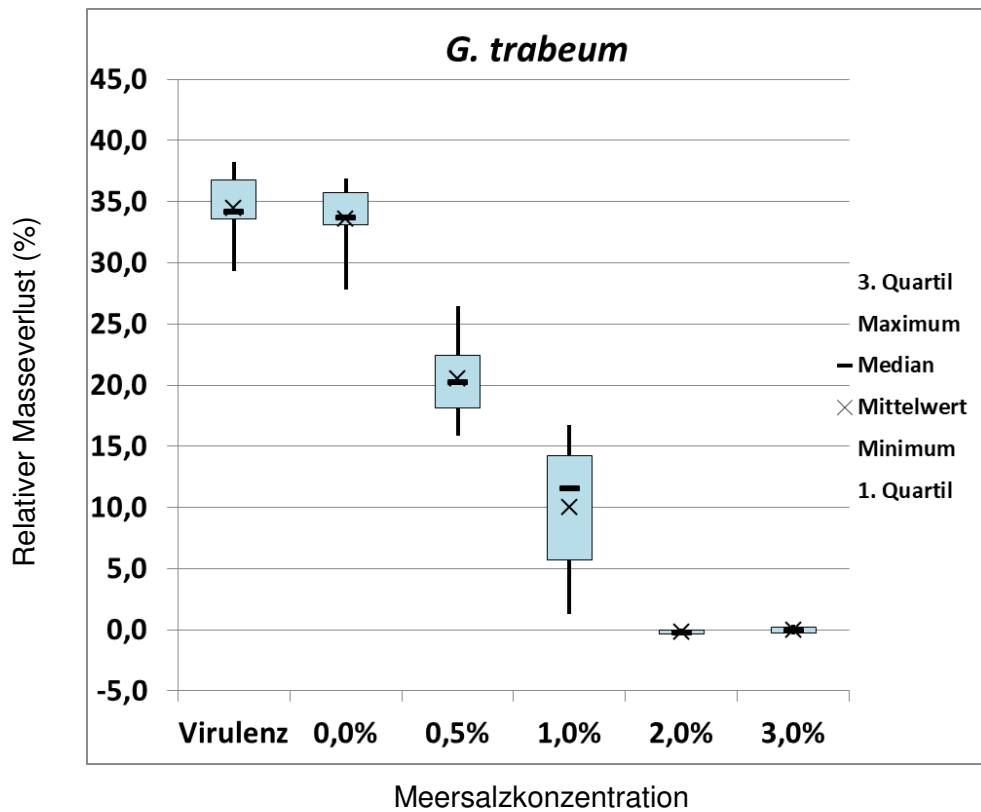


Abbildung 32: Relative Masseverluste von un- und salzbehandelten Prüfkörpern aus Kiefernspinhholz nach 16 Wochen Prüfung mit *Gloeophyllum trabeum*.

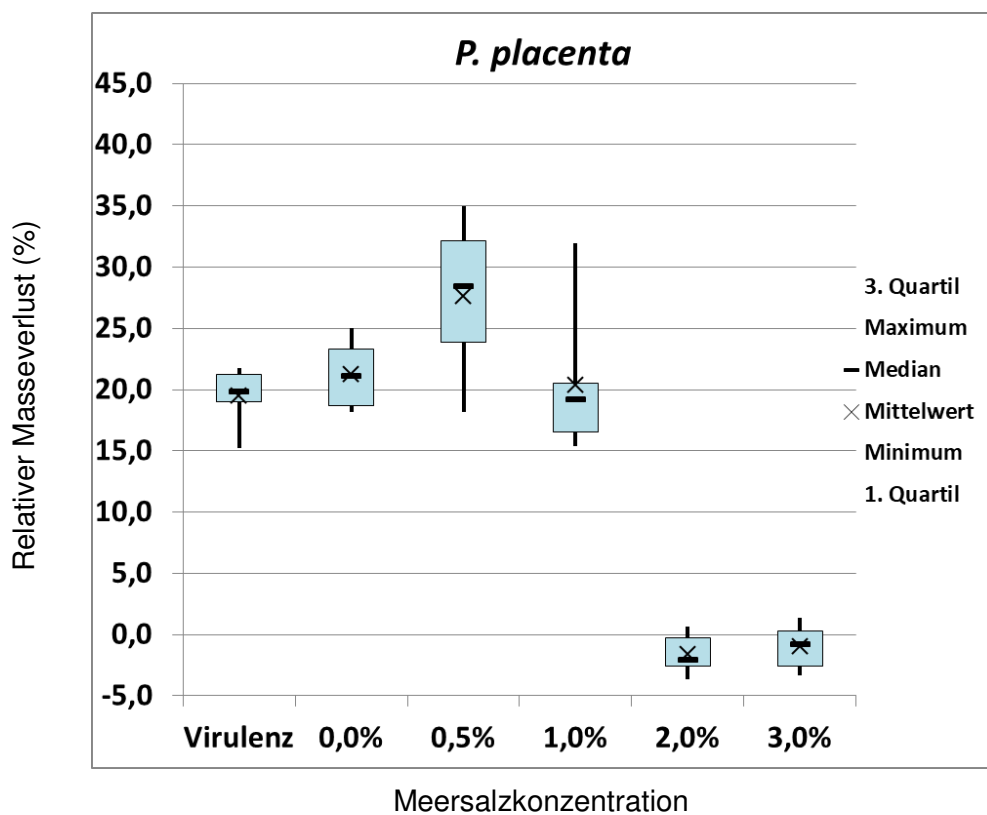


Abbildung 33: Relative Masseverluste von un- und salzbehandelten Prüfkörpern aus Kiefernspinhholz nach 16 Wochen Prüfung mit *Poria placenta*.

Bei einer Darrdichte von 480 kg/m^3 entsprechen 15 kg/m^3 einer Salzmenge von $31.250 \text{ mg je kg Holz}$. Ein Vergleich mit den ermittelten Salzgehalten von in künstlichem Meerwasser exponierten Kiefernstämmen zeigt, dass das Holz sogar etwa 50 cm oberhalb des Wasserspiegels mit ca. $26.000 \text{ ppm Natrium}$ (Tabelle 9, entspricht etwa $66.000 \text{ mg NaCl/kg}$) Salzgehalten enthält, die einen mehr als hinreichenden vorbeugenden Schutz gegen Holz zerstörende Basidiomyceten ermöglichen sollte.

Ferner deuten die ermittelten Masseverluste daraufhin, dass von den eingesetzten Pilzen *C. puteana* relativ empfindlich auf Kochsalz reagiert, da bereits bei der geringsten Einbringmenge/Salzkonzentration nur noch ein mittlerer Masseverlust kleiner 10% bestimmt wurde (Abbildung 30).

Demgegenüber scheinen geringe Einbringmengen an Natriumchlorid von ca. 4 kg/m^3 ($0,5\%$ ige Meersalzlösung) die Aktivität von *P. placenta* zu stimulieren, da die mittlere Abbaurate mit knapp 30% deutlich oberhalb derer der Virulenzproben (ca. 20%) oder der mit Wasser imprägnierten Prüfkörper (ca. 22%) lag (Abbildung 33).

3.7 Verfahren zur Optimierung von Holzpfählen

3.7.1 Rundholzpfähle aus Kernholz

Splintfreie Rundhölzer können mit Rundstabfräsmaschinen mit einem Durchmesser von über 30 cm hergestellt werden. Wegen des relativ breiten Splints vieler Nadelhölzer bietet sich von den heimischen Holzarten hierfür nur Lärchenholz an. Die Versuchsfräsungen zeigen jedoch, dass für splintfreie Rundhölzer gute Rundholzqualitäten eingesetzt werden sollten. So können mehrere Meter lange, kernfreie Hölzer nur erzeugt werden, sofern die Rohware gering abholzartig ist. Nach DIN EN 12699 dürfen sich die Querschnittsmaße bei Verdrängungspfählen bis zu $1,5 \text{ cm}$ je Meter ändern. Wird für Lärchenrundholz eine Splintbreite von 3 cm angenommen, so könnten rechnerisch 4 Meter splintfrei erzeugt werden. Bei Drehwuchs und exzentrischem Wuchs kann vermehrt Splintholz am Pfahl verbleiben. Beulen und starke Äste können den Transport des Rohholzes in der Maschine behindern.

3.7.2 Kernholzpfähle mit Achteckquerschnitt (Kernholzpfähle mit Oktagon-Querschnitt)

Bei den eigenen Tests wurden zunächst quadratische Kantholzquerschnitte aus Rundholz auf der Säge „Wood-Mizer LT 15“ gefertigt. Für die Erzeugung von Achteckquerschnitten mussten zwei spezielle Halterungsvorrichtungen aus Stahlplatten angefertigt werden, in die eine Kante des Kantholzes gelegt wurde. Im nachfolgenden Sägeschnitt wurde die gegenüberliegende, obere Kante des Kantholzes entfernt. Danach wurde das Kantholz jeweils um 90° gedreht, um die weiteren Kanten mit Sägeschnitten zu entfernen.

Die Lösungsidee wurde sowohl Wood-Mizer Deutschland, als auch in der europäischen Hauptniederlassung Wood-Mizer Europe, Koło, Polen, vorgestellt. Nach einer Anpassung der Vorrichtung an größere Sägemaschinen hat Wood-Mizer die Vorrichtung zum Zuschnitt von Achteckquerschnitten in das Produktprogramm aufgenommen (Wood-Mizer aktuell Nr. 24 / Mai 2018).

Weiterhin hat die Firma Hans Hundegger AG, Hawangen, die Idee zur Herstellung von Achteckquerschnitten mit der Holzabbundmaschine K2 im firmeneigenen Vorfürzentrum erprobt. Dabei wurde ein gleichseitiges Achteck aus einem quadratischen Fichtenholzquerschnitt mit 30 cm Seitenlänge hergestellt.

Für einen Praxisversuch in einem Zimmereibetrieb, der eine K2-Anlage betreibt, wurde von der Firma Hundegger eine hierfür angefertigte „Backe“ aus Stahl zur Verfügung gestellt. Diese ersetzt die vorhandene Backe am Umkanter der Maschine. So kann das Holz in der Anlage gekantet werden, wobei wichtig ist, dass der Niederhalter das Bauteil während der Bearbeitung nach vorne drückt und so das Sägeblatt nicht verläuft.

3.7.3 Längsverbindungen von Holzabschnitten

Eine von Guyer (2016) durchgeführte Literaturrecherche ergab mehrere erprobte Verbindungsarten von Holzabschnitten, die oftmals relativ einfach hergestellt wurden (Buja 2007; Schenck 1955). Dadurch sind diese Varianten relativ günstig in der Herstellung, weisen jedoch fast alle eine ungenügende Zug- und Biegetragfähigkeit auf. Folglich wird in den meisten Quellen darauf hingewiesen, dass Verbindungen möglichst zu vermeiden sind.

Bei der Beanspruchung eines Rammpfahles aus äußerer Last wird dieser offenbar nur an wenigen Stellen voll ausgelastet. Zug-, Druck- und Biegespannungen sind in der Regel nahe der Baugrundoberfläche maximal und nehmen mit der Tiefe ab. Deshalb ist es für die anzusetzende Last bei zug- oder biegebelasteten Pfählen von Bedeutung, an welcher Stelle eine Verbindung positioniert wird.

Für die Ermittlung der Belastung aus dem Rammvorgang ist von Bedeutung, welche Rammmethode zum Einsatz kommt, weil hiervon die zu erwartenden Spannungen abhängig sind. So können bei der Schlagrammung große Druck- und auch Zugspannungen bei vergleichsweise wenigen Lastzyklen entstehen, während bei der Vibrationsrammung Druckschwellspannungen von geringerer Größe, jedoch großer Zyklenzahl anzunehmen sind. Maßgebend für die Bemessung des Pfahles und der Verbindung sind folglich nicht unbedingt die maximalen und minimalen Spannungswerte, sondern auch die Dauer und Anzahl der Lastzyklen.

Da eine Abweichung von der Pfahlachse beim Rammvorgang erhebliche Biegemomente hervorrufen kann, kommt der Biegetragfähigkeit der Verbindung aus rammtechnischer Sicht enorme Bedeutung zu. Die Querkraftbelastung spielt dagegen eine untergeordnete Rolle.

Die Rammbarkeitsanalysen an verschiedenen Böden bestätigen, dass die Schlagenergie sorgsam gewählt werden muss, da ansonsten die zulässigen Druckspannungen leicht überschritten werden können. Andererseits treten bei bestimmten Bodenverhältnissen auch beträchtliche Zugspannungen auf, für welche die Verbindung schwierig auszulegen ist.

Bei den Verbindungen spielt die Steifigkeitsverteilung eine Rolle, weshalb auch die Veränderung des Elastizitätsmoduls bei Feuchteinwirkung und dauerhafter Lasteinwirkung berücksichtigt werden muss. Die Spannungsverteilung verändert sich in einer aus Stahl und Holz bestehenden Verbindungseinheit so, dass das Holz nach und nach weniger Last abträgt.

Auf Grundlage der Anforderungen wurden die nachfolgenden Verbindungen konzipiert, bzw. bekannte Verbindungen entsprechend verbessert:

- Verbindungen mit Stahllaschen
- vorgespannte Verbindungen
- geklebte Verbindungen
- Verbindungen für axialer Beanspruchung

Die bekannten **Laschenverbindungen** können optimiert werden, indem die Anzahl der Laschen je nach Erfordernissen gewählt wird. Durch eine größere Anzahl werden die Zugkraft und damit die erforderliche Stahlfläche pro Lasche minimiert. Zudem ist eine

geringere Anzahl an Verbindungsmitteln für deren Abtragung in den Pfahlschaft erforderlich. Als Verbindungsmittel können beispielsweise Kammnägeln, Schloss- oder Vollgewindeschrauben eingesetzt werden.

Bei **vorgespannten Verbindungen** bleibt der Bereich des Pfahlstoßes trotz auftretender Zugspannungen aus der Rammung überdrückt. Zudem kann eine anfängliche Fuge bei nicht exakter Passung vermieden werden, wodurch die Gefahr des Aufstauchens der Hirnholzflächen geringer wird. Weiterhin wird weniger Schlagenergie dissipiert, was eine effektivere Rammung ermöglicht. Durch die Vorspannung kann bei Biegebeanspruchungen ein größerer Holzquerschnitt für die Übertragung der Druckspannungen herangezogen und zudem wird auch eine größere Biegesteifigkeit erreicht werden.

Die Vorspannung kann beispielsweise durch außenliegende Gewindestangen aufgebracht werden, welche die an den Pfahlenden befestigten Stahlteile verbinden. Diese Zugglieder werden mit kontrolliertem Drehmoment festgezogen, wodurch die gewünschte Vorspannung erreicht wird.

Eingeklebte Verbindungsmittel können hohe Beanspruchungen bei geringer Verformung aufnehmen. Die Anordnung der Verbindungsmittel soll für eine große Biegetragfähigkeit möglichst weit außen im Querschnitt angeordnet werden. Als Zugglieder können eingeklebte Gewindestangen, Betonrippenstähle, oder aber auch sogenannte „Streckbleche“ zum Einsatz kommen.

Geklebte Verbindungen sind hinsichtlich der Pfahlinstallation sehr gut geeignet. Durch die Klebung ist die Fuge zwischen Kopplungselement und Hirnholz satt ausgefüllt, womit kaum Rammenergie dissipiert wird. (Dissipation lateinisch; Zerstreung, Zerteilung)

Als Nachteil erweist sich allerdings, dass das Holz bei der Verklebung nur eine Feuchte von höchstens 15 % aufweisen darf. Das Einkleben der Zugglieder sollte im Optimalfall im Werk erfolgen, da für Klebungen hohe Qualitäts- und Prüfanforderungen gelten.

Die Betrachtungen zeigen, dass durch die Anwendung neuerer Verbindungsmittel die volle Biegetragfähigkeit erzielt und die Zugtragfähigkeit erhöht werden kann. Die größere Tragfähigkeit schlägt sich allerdings in einem etwas höheren Preis nieder.

Entwicklung und praktische Prüfung von geklebten Verbindungen am Institut für Bauphysik der Leibniz Universität Hannover:

Insgesamt standen 24 rundgefräste Lärchenhölzer mit einem Durchmesser von 15 cm zur Verfügung, die zu 12 Probekörper verbunden wurden. Bis zur Verbindung und Prüfung der Hölzer wurden die mit den Verbindungsmitteln versehenen Abschnitte der Variante „trocken“ im Normalklima 20°C / 65 % rF gelagert. Die Enden der mit dem Verbindungsmitteln versehenen Variante „nass“ wurden zur Feuchteaufnahme in Wasserfässer getaucht, wo sie bis zur Prüfung eine mittlere Holzfeuchte von 24 % erreichten.

Es wurden zwei Verbindungskonfigurationen entwickelt und geprüft:

- eingeklebte Gewindestangen, 6 Stück M10 pro Verbindungshälfte, Einklebelänge $l_{ad} = 400$ mm; Das Einkleben erfolgte bei stehenden Hölzern. Nach dem Verfüllen der Sacklöcher wurden die Stangen in die Bohrung gesenkt. Nach dem Aushärten (und Konditionieren) wurde die Kopfplatte aufgeschraubt (Abbildung 34)
- extern Vorgespannte Verbindung mit jeweils zwei eingeklebten Lochblechen an vier im Umfang verteilten U-Profilen. (Abbildung 35)
Die Klebung erfolgte bei stehenden Hölzern mittels Injektionsverfahren. Dafür wurden die Lochbleche in den Sägeschlitz positioniert und abgedichtet. Darauf folgte die Injektion von unten durch ein Bohrloch bis zum Austritt des

Klebers am Entlüftungsloch oben. Danach verschließen der Löcher mit Holzdübeln. Die U-Profile wurden nach dem Aushärten (und Konditionieren) mit den Lochblechen verschraubt.

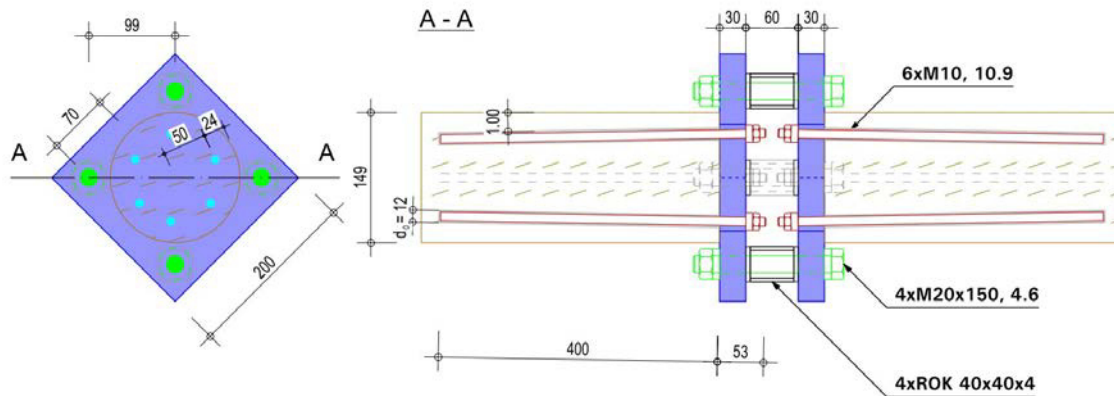


Abbildung 34: Verbindungskonfiguration eingeklebte Gewindestangen.

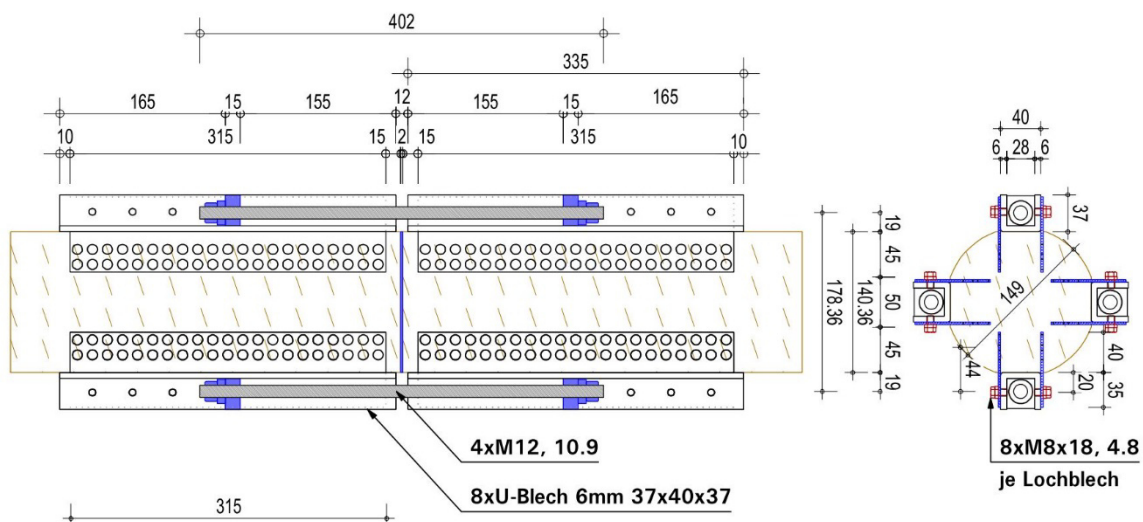


Abbildung 35: Verbindungskonfiguration vorgespannte Verbindungen.

Die Hölzer wurden jeweils unmittelbar vor der Prüfung aus dem Klimaraum, bzw. aus dem Wasserbad entnommen. Nach dem Zusammenfügen der Verbindungsmittel folgte unmittelbar der Biegeversuch auf der Prüfmaschine.

Dabei wurde ein Vierpunkt Biegeversuch gemäß (DIN EN 408, 2010) bis zum Versagen des Prüfkörpers durchgeführt.

Bei der Prüfung beider Verbindungskonfiguration wurde primär die Tragfähigkeit der Verbindungen beim Versagen ermittelt. Durch begleitende Verschiebungs- und Kraftmessungen an ausgewählten Stellen, konnte auf die Spannungsverteilung sowie das Verformungsverhalten und die Steifigkeit der Verbindung geschlossen werden.

Tragfähigkeit und Bruchursachen der einzelnen Verbindungen können der Tabelle 18 entnommen werden.

Tabelle 18: Bruchursachen der verschiedenen Prüfkörper (Versagen trat pro Prüfkörper jeweils nur an einer Verbindungshälfte ein).

Verbindungsnummer:	versag. Holz/ versag. Mat.	Bruchursache	Bruchlast F_{max} [kN]	Charakteristische Verbindungsstragfähigkeit $F_{k,v}$ [kN]	im Verhältnis zur Charakteristischen Pfahltragfähigkeit $F_{k,v}/F_{k,p}$ [%]
S1-N-1	1/H	Auszug Gewindestange mit Kleber	31.25	26,38	151
S1-N-2	1/S	erst Gewi 1: Kopfgewinde abgestreift; dann Gewi 2+6: Auszug mit Kleber	30.72		
S1-N-3	1/S(H)	erst Gewi 1+6: Kopfgewinde abgestreift; dann Gewi 2: Auszug mit Kleber	30.67		
S1-F-1	1/H	erst Gewi. 1, dann 2+6 mit Kleber ausgezogen	20.70	16,89	138
S1-F-2	2/S(H)	Gewi. 1 Kopfgewinde abgestreift (nur $\frac{3}{4}$ aufgeschraubt), dann Gewi. 2+6 Auszug mit Kleber	19.44		
S1-F-3	2/H	erst Gewi. 1, dann 2+6 mit Kleber ausgezogen	19.21		
S2-N-1	2/H	Biegezugbruch hinter der Verbindung	33.01	19,57	114
S2-N-2	2/H	sprödes Querkzugversagen	33.66		
S2-N-3	1/H	Biegezugbruch hinter der Verbindung	26.04		
S2-F-1	1/H	Versagen der Trennschicht Holz-Kleber, beide LB unten	22.73	16,13	134
S2-F-2	1/H	Biegezugbruch in Kombination mit Querkzugversagen hinter der Verbindung	19.59		
S2-F-3	2/H	Versagen der Leimfuge, Holzvers., beide LB unten	20.05		

4 Diskussion und Schlussfolgerung

4.1 Eignung von Geotextil zum Holzschutz im Meerwasser

Die Prüfungen in Anlehnung an EN 275 ergaben, dass Holz im Meerwasser dauerhaft mit Geotextilien vor Holzschädlingen geschützt werden kann. Alle mit Geotextilien umgebenen Probenhölzer blieben über die Versuchsdauer ohne Schädlingsbefall, womit die Vorgaben der Norm erfüllt wurden, da in jedem Jahr Befall durch Terediniden an den Kontrollproben nachgewiesen wurden.

Im Rahmen der Bewuchs-Untersuchungen konnte eine dichte Besiedlung der Geotextilien mit unterschiedlichen Organismen festgestellt werden. Die Einlagerung von Schwebstoffen und mineralischen Partikeln sollte einer Zersetzung der Materialien entgegenwirken. Negative Auswirkungen der Geotextilien auf die aquatische Umwelt wurden nicht wahrgenommen.

Eine Reduzierung der Höchstzugfestigkeit von weniger als 10 % nach fünf Jahren bei den Produkten aus 100 % Polyester erscheint unter Praxisgesichtspunkten akzeptabel.

Zur Dauerhaftigkeit von Geotextilien liegen aus vorherigen Untersuchungen bereits erste Erfahrungen vor, die bereits vor etwa 20 Jahren durchgeführt und über mehrere Jahre im Meerwasser beobachtet wurden (Dede & Kohlhase, 2000, 2007). Dabei konnten visuell keine Anzeichen von mechanischer Zerstörung oder Verwitterung am Material festgestellt werden. Dem Oberflächenbewuchs wird sogar eine zusätzliche Schutzfunktion gegen Wellen, Strömungen und Sandschliff zugeschrieben. Die robusten Vliesstoffe sind chemisch weitgehend inert und haben sich z. B. auch im Deponiebau in Gegenwart von aggressiven Sickerwässern bewährt. Nebenwirkungen auf die marine Flora und Fauna wurden nach den vorliegenden Untersuchungen nicht beobachtet (Saathoff et al. 2010).

Die zunehmende Anwendung von Geotextilien im Wasserbau wird in einem Übersichtsartikel von Müller und Saathoff (2015) beschrieben, worin auch die möglichen Folgen für die Umwelt diskutiert werden. Nach Ansicht der Autoren ist davon auszugehen, dass auch Geotextilien alterungsbedingt brüchig werden und reißen, wobei Bestandteile an die Umgebung abgeben werden können. Dies ist jedoch nach Ansicht der Autoren in erster Linie kein ökologisches, sondern ein technisches Problem, da durch derartige Degradationsprozesse das Versagen der gesamten Konstruktion eingeleitet werden würde. Folglich sollten Alterungseffekte in Rahmen der Instandhaltung frühzeitig erkannt werden, damit das betroffene Material rechtzeitig entnommen oder ersetzt werden kann.

Neuere Untersuchungen (Müller 2016) geben Auskunft über das Verhalten von Geotextilien aus Polypropylen, welche bei 80 °C im Ofen und in Wasser gelagert wurden. Anschließend wurden die mechanischen Eigenschaften untersucht. Selbst bei Lagerung von mehr als 700 Tagen in Wasser bei 80 °C konnte keine Änderung in der Festigkeit der Produkte festgestellt werden. In einem weiteren Projekt sollen die Abbauprozesse von Geokunststoffen im Wasserbau untersucht werden (Simon 2018).

Die angewendeten Methoden zur Aufbringung und Befestigung der Geotextilien auf der Holzoberfläche haben sich grundsätzlich als geeignet erwiesen. Nachteilig wirken sich bei Rundholz größere Abweichungen von einer zylindrischen Form aus, wie z. B. eine starke Abholzigkeit (Verminderung des Stammdurchmessers vom Stammfuß zum Zopfende). Vorstehende Astansätze, Beulen und Vertiefungen auf der Holzoberfläche sollten vor dem Aufbringen des Geotextils beseitigt werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass das Geotextil nicht vollständig aufliegt oder gar beschädigt wird und damit seine Schutzwirkung verliert.

Schäden am Geotextil an jeweils einer Ecke von zwei Normproben lassen den Schluss zu, dass das Material bei zu straffer Befestigung oder infolge einer Reibung an anderen, festen Materialien beschädigt werden kann. Dies sollte bei einer Anwendung beachtet werden, damit die Schutzfunktion langfristig bestehen bleibt.

Die Verzögerungen bei der Ummantelung des Ramppfahls sowie weitere technische Probleme bedingten einen Extrazeitaufwand von ca. 1,5 Stunden. Bei einem Stundensatz von 800 Euro für das Schiff entstanden rechnerisch allein hierfür Zusatzkosten für einen Ramppfahl von 1.200 Euro. Durch eine Optimierung der Vorgehensweise und gewonnene Routine dürfte die zusätzlich erforderliche Zeit deutlich geringer sein.

4.2 Gefährdung von Holz im Untersuchungsgebiet

Die Untersuchung der Schäden an Rammpfählen und Kanthölzern durch die Bohrmuschel ergab einen stärkeren Befall unterhalb der Niedrigwasserlinie und hier vermehrt im bodennahen Bereich. Dies stimmt sowohl mit eigenen vorherigen Beobachtungen in deutschen Nordseehäfen, als auch mit Feststellungen von Tuentje et al. (2002) im Hafen von Bremerhaven überein. Auch bei umfangreichen niederländischen Untersuchungen im Hafen von Rotterdam wurden analoge Befunde gemacht, wobei der Befallsgrad mit zunehmenden Abstand vom Boden deutlich abnahm (Paalvast & van der Velde 2011).

Mahlke-Troschel-Liese (1950) führen hierzu auf Seite 493 aus: „Der Angriff der Bohrmuschel erfolgt im ganzen Bereich zwischen Meeresgrund und Niedrigwasser“. Bezüglich *Limnoria* geben die Autoren auf Seite 494 an, dass ein erheblicher „Schaden durch Abnagen der äußeren Holzschichten etwas unter Niedrigwasser“ entstehen kann.

Im Rahmen eigener Untersuchungen wurde ein Befall durch Terediniden im unteren Tidenbereich und durch *Limnoria* bereits im oberen Tidenbereich festgestellt, wobei der Befall auf der Rückseite der auf Dalben aufgeschraubten Kanthölzer deutlich stärker ausgeprägt war als auf den direkt bewitterten Vorder- und Seitenflächen.

Die Befallsgrenze „Niedrigwasser“ mag für frei-stehende Dalben in der Regel zutreffend sein, gilt nach den eigenen Ergebnissen jedoch nicht generell, insbesondere offensichtlich nicht, wenn das Abtrocknen der Holzoberfläche bei Wasserständen unterhalb Hochwasser bauartbedingt eingeschränkt ist.

In der Ems wurden Terediniden ca. 10 Emskilometer und in der Weser ca. 5 Weserkilometer weiter flussaufwärts als bisher bekannt nachgewiesen. Nicht bekannt ist, ob diese Bereiche jemals zuvor auf das Vorkommen von Terediniden untersucht wurden, auch liegen für diese Flussabschnitte keine Schadensmeldungen an Holzkonstruktionen vor. Allerdings ist anzunehmen, dass sich erst durch Flussvertiefungen und den dadurch bedingten stärkeren Meerwassertransport bei auflaufendem Wasser hinreichende Salzkonzentrationen flussaufwärts einstellen, wodurch sich die Voraussetzungen für Terediniden verbessert haben. Diese Annahme bestätigen zumindest Untersuchungen des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), wonach sich in den letzten Jahrzehnten in Folge der Ausbaumaßnahmen der seewärtige Einfluss auf die Bewegungs- und Transportvorgänge der Unterems vergrößerte. Dieses äußert sich auch in einem Anstieg der Salzgehalte, und zwar besonders des maximalen Salzgehalts zum Ende der Flutstromphase. Nach 2004 setzte insbesondere in den Sommermonaten Juni bis Oktober eine starke Zunahme der Salzgehalte in der Unterems ein, was auch mit dem geringen Oberwasserzufluss während dieser Zeit erklärbar ist (Engels 2016). Somit darf angenommen werden, dass zumindest zur Hauptaktivitätszeit der Holzbohrmuscheln geeignete Lebensbedingungen oberhalb des bisher bekannten Verbreitungsgebiets in der Ems vorherrschen.

4.3 Gefährdung durch Holzpilze oberhalb der Wasserlinie und Schutzmöglichkeiten

Der Pilzbefall am oberen Ende der Rundholzpfähle war nach vorherigen Praxisbeobachtungen zwar erwartet worden, überrascht jedoch bezüglich sowohl in seinem Ausmaß als auch dessen frühem Auftreten. So wurde bis ein Meter unterhalb vom Hirnholzende des nicht ummantelten Lärchenstammes im inneren Kernholzbereich bereits nach 5 Jahren ein Pilzbefall gefunden. Dies ist insofern bemerkenswert, da nach DIN 68800-1:2011 „das Farbkernholz von Douglasie und Lärche ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen in GK 2 und GK 3.1 eingesetzt werden kann, unabhängig davon, dass es nur in die Dauerhaftigkeitsklasse 3-4 eingestuft ist“. Andererseits ist eine klare

Abgrenzung zwischen den Gebrauchsklassen 3.1 und 3.2 kaum möglich, da der Übergang von „gelegentlich“ feuchtem Holz (GK 3.1) zu „häufig“ feuchtem Holz (GK 3.2) sich je nach Wasserstand periodisch ändert.

Unabhängig hiervon erscheint ein Schutz des Pfahlkopfes gegen die Bewitterung zumindest bei Rundholz insbesondere wegen des nicht dauerhaften Splintholzanteils dringend geboten. Zwar ist auch juveniles Holz (inneres Kernholz) anfälliger gegenüber einem Pilzbefall als adultes Holz (äußeres Kernholz), jedoch muss dies nicht zwangsweise zu einer geringeren Dauerhaftigkeitsklassifizierung führen, wie bspw. Untersuchungen von Blohm et al. 2014 zeigen.

Die Pilzdiagnostik ergab im Tidebereich als wichtigsten Schaderreger ausnahmslos Moderfäulepilze. Diese Pilze wurden an allen Untersuchungspunkten nachgewiesen und haben ihre größte Bedeutung im Bereich sehr hoher Holzfeuchten, d. h. im Bereich des Tidehubes. Hingegen wurden Basidiomyceten erst oberhalb der Tidehubgrenze nachgewiesen. Dieser Befund steht im Einklang mit den chemischen Analysen der Stammscheibensegmente aus Norddeich sowie mit den Untersuchungen zur fungiziden Wirksamkeit von Meersalz/Kochsalz. Von den in den Stammscheiben quantifizierten Metallen (Tab. 15 und 16) wurden/werden nur Zink (Nicholas 1973) und Kupfer zum Schutz von Holz gegenüber Moderfäule eingesetzt. Allerdings wurden sowohl im Splintholz als auch im Kernholz derartig geringe Zink- bzw. Kupfergehalte (Tab. 15 und 16) ermittelt, dass eine Schutzwirkung gegenüber Moderfäule zweifelsfrei ausgeschlossen werden kann. Das geringe Vorkommen an Basidiomyceten im Tidebereich dürfte insbesondere Folge einer hohen Holzfeuchte in Verbindung mit dem regelmäßigen Umspülen der Holzoberfläche sein. Durch das regelmäßige Umspülen der Holzoberfläche können leicht lösliche Bestandteile – z. B. Zucker- aus dem Holz herausgelöst werden, womit diese Nährstoffe für die anfängliche Pilzentwicklung nicht bzw. nur geringem Maß zu Verfügung stehen. Beide Effekte - das Umspülen und der geringere Gehalt an leicht metabolisierbaren Substanzen - dürften sich hemmend auf die Besiedelung durch Holz zerstörende Pilze auswirken.

Es ist anzunehmen, dass sich auch der Salzgehalt hemmend auf die Keimfähigkeit der Pilzsporen auswirkt, da dieser im Vergleich zum nicht mit Meerwasser in Kontakt kommenden Holz um mehr als das Dreifache erhöht ist. Allerdings ist zu vermuten, dass ein „übergreifender“ Bewuchs und damit eine Zerstörung durch Holz zerstörende Pilze nicht verhindert werden kann, da der NaCl-Gehalt im Splintholz mit ca. 1 kg/m³ (Berechnet für Probe 40, Tabelle 16) etwa nur 1/15 der Menge beträgt, die im Rahmen der biologischen Prüfungen ermittelt wurde, um einen Holzabbau durch Basidiomyceten zu verhindern. Zudem wurden beachtliche Mengen an Kalzium, Kalium oder Magnesium gefunden, die die fungizide Wirksamkeit von Natriumchlorid herabsetzen können. So konnte Krumbholz (Walter & Kreeb 1970) bereits Anfang der 30er Jahre zeigen, dass die Giftwirkung von reinen Metallchloridlösungen gegenüber *Penicillium glaucum* größer ist als Gemische aus diesen Lösungen.

Der Zuschnitt des Bereiches oberhalb der Wasserfläche zum Kantholz reduzierte offenbar die Gefahr durch einen Pilzbefall. Gründe hierfür dürften der geringere Splintholzanteil und der geringere Querschnitt an sich sein, weil hierdurch die Feuchteaufnahme reduziert und die Feuchteabgabe beschleunigt wird. Obwohl der Pilzbefall am oberen Ende dieser Pfähle gering war, wird auch für Kantholzpfähle ein Schutz gegen Niederschläge empfohlen.

Die Herstellung von normgemäß splintfreiem Holz kann nach dem eigenen Versuch bis zu einem Durchmesser von 31 cm mit Rundstabfräsmaschinen erfolgen. Konstruiert wurden jedoch bereits Maschinen, die einen Fertigdurchmesser von 35 cm ermöglichen (Doppelkopf-Rundstabfräsmaschine, Firma Wema Probst, Freigericht). Damit wären zumindest Holzdurchmesser bis 30 cm möglich, wie sie in Sportbootanlagen üblich sind.

Die im Projekt entwickelte Methode zur Herstellung von Achteck-Hölzern erlaubt die Herstellung von stärkeren Hölzern ohne Splint mit Stammholzsägen. Hier wäre eher die Länge des Holzes begrenzt; zwar sind einige Modelle von Kleinsägewerke, wie die Wood-Mizer LT 15 unbegrenzt verlängerbar, aber in der Praxis ist die Länge der Sägen in der Regel auf weniger als zehn Meter begrenzt. Dies gilt auch für die Herstellung von Achteckquerschnitte auf Abbundanlagen.

Die Längenbeschränkungen könnten jedoch umgangen werden, indem kürzere Holzabschnitte mit Längsverbindungen auf die gewünschte Länge verbunden werden. Damit könnte auch der Langholztransport entfallen und kürzere Abschnitte von Holzarten mit erforderlichen Eigenschaften, z. B. erhöhte Dauerhaftigkeit gegen Pilze oder gegen Holzschädlinge im Meerwasser, verbunden werden. Sollen dabei jedoch geklebte Verbindungen zum Einsatz kommen, ist dies durch die geringe Feuchteverträglichkeit der Kleber begrenzt.

4.4 Maßnahmen zur Reduzierung der Steighöhe im Pfahl und dem Eindringen von Wasser über die Stirnseite

Für ein Pilzwachstum sind Holzfeuchten oberhalb von etwa 25 % erforderlich. Bei Holzpfählen, die im Wasser stehen, ist davon auszugehen, dass diese Bedingungen unterhalb der Wasserlinie und ein wenig darüber immer gegeben sind.

Versuche mit unterschiedlichen Holzarten und Splintanteilen ergaben, dass bei Pfählen mit Splint Wasser über wesentlich weitere Strecken nach oben steigen kann als bei Pfählen, die ausschließlich aus Kernholz bestehen. Selbst eine ca. 2 cm tiefe ringförmige Nut kann den Aufstieg von Wasser nicht unterbinden. Zwischen ansonsten gleichen Pfählen zeigten die genuteten Pfähle keine deutlich verringerte Steighöhe verglichen mit den ungenuteten Pfählen.

Die Vorhangschale an den Pfählen als Schutz vor Schlagregen von der Hauptwitterungsseite aus gesehen erbrachte keine deutlich erkennbare Änderung der Feuchtigkeitsverteilung.

Ein Schutz der oberen Stirnseiten gegen Regenwasser sowie gegen Schnee und Eis erscheint nicht nur aus versuchstechnischen Erwägungen sinnvoll. Von oben in den Pfahl eindringendes Wasser ermöglicht/befördert das Pilzwachstum in jedem Fall und sollte unterbunden werden. Ein wie auch immer gearteter Schutz der Stirnseite ist deshalb empfehlenswert.

5 Forschungsbedarf und Ausblick

Geotextilien können aus technischer Sicht zum Schutz von Holz im Meerwasser eingesetzt werden. Eine abschließende ökologische Bewertung für dieses Anwendungsgebiet steht jedoch noch aus. Hilfreich wäre eine Methode zur Bewertung der Festigkeit im Einsatz, um frühzeitig den Austausch nicht mehr funktionsfähiger Materialien einleiten zu können.

Die zweckmäßige Schutzhöhe bei Holz im Meerwasser-Tidenbereich kann in weiteren Untersuchungen ermittelt werden. Ebenso können weitere Untersuchungen der Schutzwirkung von Meersalz in Verbindung mit Nadelkernholz genauere Einschätzungen zur Gefährdung von Holz und zum praxisgerechten Schutz des Holzes im Meerwasser liefern.

Holz-Längsverbindungen bieten eine Option zum Zusammenfügen von Holzabschnitten entsprechend der praktischen Anforderung. Die technisch besseren Klebeverbindungen können bisher wegen der beschränkten Einsetzbarkeit der Kleber in feuchter Umgebung

nicht eingesetzt werden. Die Entwicklung von Klebern für den Einsatz im feuchten Holz erscheint somit erstrebenswert.

Im Zugriffsbereich der Vibrationsramme entstehen teilweise enorme Schäden an der Holzoberfläche. Hierdurch könnte vermehrt ablaufendes Wasser in das Holz gelangen und die Lebensbedingungen für Holz zerstörende Pilz verbessern. Es erscheint somit angebracht, die Folgen der Ramm Schäden am Holz zu untersuchen und eventuelle Gegenmaßnahmen zu entwickeln.

6 Literatur

Ahl, H., Fromm, J., Melcher, E. 2013: Microwave assisted digestion as a preliminary method for the chemical analysis of inorganic wood preservative components, *European Journal of Wood and Wood Products*. 71(4), 533-535.

Anagnost, S. E. 1998: Light microscopic diagnosis of wood decay. *IAWA Journal* 19, 141-167.

Baron, L. 2015: Vertikale Wanderung von Kochsalzlösung in Kiefern Splintholz. Bachelorarbeit. Universität Hamburg Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften Fachbereich Biologie.

Blohm, J. H., Melcher, E., Lenz M-T., Koch, G., Schmitt, U. 2014: Natural durability of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) heartwood grown in Southern Germany, *Wood Material Science & Engineering*. 9(3), 186-191.

Buja, H-O. 2007: Praxishandbuch Ramm- und Vibrationstechnik. Berlin: Bauwerk.

Dede, C.; Kohlhase, S. 2000: Protection of Groyne Piles against Attack of *Teredo navalis* by Means of Geotextiles, Proc. Second European Geosynthetic Conference, Bologna.

DIN 68800-1:2011 Holzschutz – Teil1: Allgemeines. Beuth Verlag Berlin.

DIN 68800-3:1994 Holzschutz – Vorbeugender chemischer Holzschutz. Beuth Verlag Berlin.

DIN EN 408:2010-12 Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften; Deutsche Fassung EN 408:2010.

DIN EN 1995-1-1:2010-12 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 12699:2015-07 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verdrängungspfähle; Deutsche Fassung EN 12699:2015.

DIN EN ISO 9864:2005-05 Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten (ISO 9864:2005); Deutsche Fassung EN ISO 9864:2005.

DIN EN ISO 10319:2015-09 Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen (ISO 10319:2015); Deutsche Fassung EN ISO 10319:2015.

DIN EN ISO 11058:2010-11 Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene, ohne Auflast (ISO 11058:2010); Deutsche Fassung EN ISO 11058:2010.

- EN 113:1996 Holzschutzmittel – Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten – Bestimmung der Grenze der Wirksamkeit. Deutsche Fassung EN 113: 1996. Beuth Verlag Berlin.
- EN 275:1992 Holzschutzmittel – Bestimmung der Schutzwirkung gegenüber marinen Organismen. Deutsche Fassung EN 275:1992. Beuth Verlag Berlin.
- EN 335:2013 Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten. Deutsche Fassung EN 335:2013. Beuth Verlag Berlin.
- EN 350:2016 Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff. Deutsche Fassung EN 350:2016. Beuth Verlag Berlin.
- Engels, A. 2016: Veränderungen der Gewässergüte in der Unterems – Masterplan Ems 2050. Nachrichten des Marschenrates zur Förderung der Forschung im Küstengebiet der Nordsee, Heft 53 / 2016, Herausgeber: Marschenrat zur Förderung der Forschung im Küstengebiet der Nordsee e. V., Wilhelmshaven, 62-104.
- Faix, O. 2008: „Chemie des Holzes.“ In: Taschenbuch der Holztechnik. Herausgeber: André Wagenführ und Frieder Scholz, 47-75. Carl Hanser Verlag, München.
- Fengel, D., Grosser, D. 1975: Chemische Zusammensetzung von Nadel- und Laubhölzern - Eine Literaturübersicht. Holz als Roh- und Werkstoff. 33, 32-34.
- Guyer, H. 2016: Mechanische Längsverbindung von hölzernen Ramppfählen. Seminararbeit im Fachgebiet Ingenieurholzbau, Leibniz Universität Hannover, Institut für Bauphysik, 111 S.
- Huckfeldt, T., Schmidt, O. 2015: Hausfäule- und Bauholzpilze. Diagnose und Sanierung. 2. Auflage. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & KG, Köln.
- Lohwag, K. 1937: Polarisationsmikroskopische Untersuchung pilzbefallener Hölzer. Mikrochemie 23, 198-203
- Mahlke-Troschel-Liese 1950: Handbuch der Holzkonservierung, 3. Aufl., Berlin, Göttingen, Heidelberg, München, 571 S.
- Melcher, E, Zwiefelhofer, J. 2013: Investigations concerning liquid absorption of six heartwood species. IRG/WP 13-4061 (14pp), Proceedings IRG Annual Meeting (ISSN 2000-8953)-
- Müller, W. W.; Saathoff, F. 2015: Geosynthetics in geoenvironmental engineering. Sci. Technol. Adv. Mater. 16, 034605 (20pp), <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1468-6996/16/3/034605/pdf>
- Müller, J., Melcher, E, Huckfeldt, T. 2016: Praxisnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz im Meerwasser – Zwischenbericht. Aktenzeichen: 32571/01-32, 13 Seiten.
- Nicolas, D. D. 1973: Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments. Volume II: Preservatives and Preservative Systems. Syracuse University Press, ISBN 0-8156-5037-X.
- Paalvast, P., Velde, G. van der, 2011: Distribution, settlement, and growth of first-year individuals of the shipworm *Teredo navalis* L. (Bivalvia: Teredinidae) in the Port of Rotterdam area, the Netherlands. International Biodeterioration & Biodegradation 65(3), 379-388.
- Pohlandt, K. 1996: Entsorgung von Holzaschen. Alt- und Restholz, 191-204.

prEN 14775:2009 Solid biofuels - Determination of ash content. European Committee for Standardization. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.

Robbers, K. 2018: Salzanreicherung und Salzverteilung in unbehandelten Nadelholzpfählen nach sechs- und zwölfmonatiger künstlicher Meerwasserexposition. Projektarbeit. Universität Hamburg. 17 Seiten.

Saathoff, F., Spittel, M., Hinkerohe, C. 2010: Entwicklung eines Verfahrens zum Schutz von Holzpfählen gegen *Teredo navalis* - Zwischenbericht September 2010 - AZ 26280-23, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück.

Schenck, W. 1955: Grundbautaschenbuch; Kapitel 2: Rammen und Ziehen. Berlin, München: Wilhelm Ernst & Sohn.

Schneider, H. 1922: Die botanischen Mikrotechniken. Ein Handbuch der mikroskopischen Arbeitsverfahren. Fischer Verlag, Jena, 458 S.

Seifert, K. A. 1983: Decay of wood by the dacrymycetales, Mycologia 75(6), 1011-1018.

Simon, F.-G., Chubarenko, B., Purina, I. 2018: Approach for analysis of environmental impact of geosynthetics in aquatic systems by example of the Baltic Sea. Poster 7th IEEE/OES Baltic Symposium, Clean and Safe Baltic Sea and Energy Security for the Baltic countries, Klaipeda, Litauen, 12.-15.06.2018.

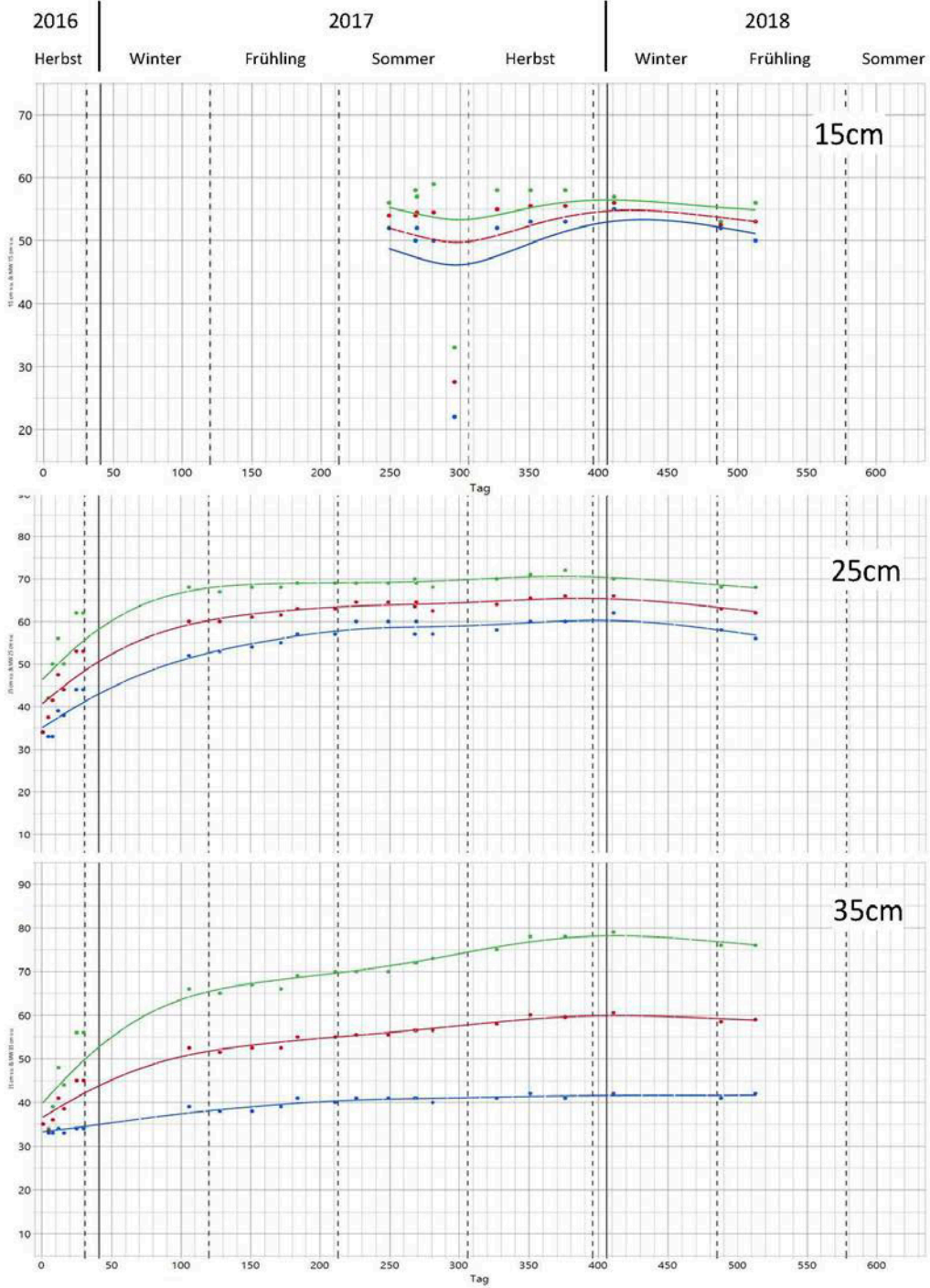
Tuente, U., Piepenburg, D., Spindler, M. 2002: Occurrence and settlement of the common shipworm *Teredo navalis* (Bivalvia: Teredinidae) in Bremerhaven harbours, Northern Germany. Helgoland Marine Research 56(2), 87-94.

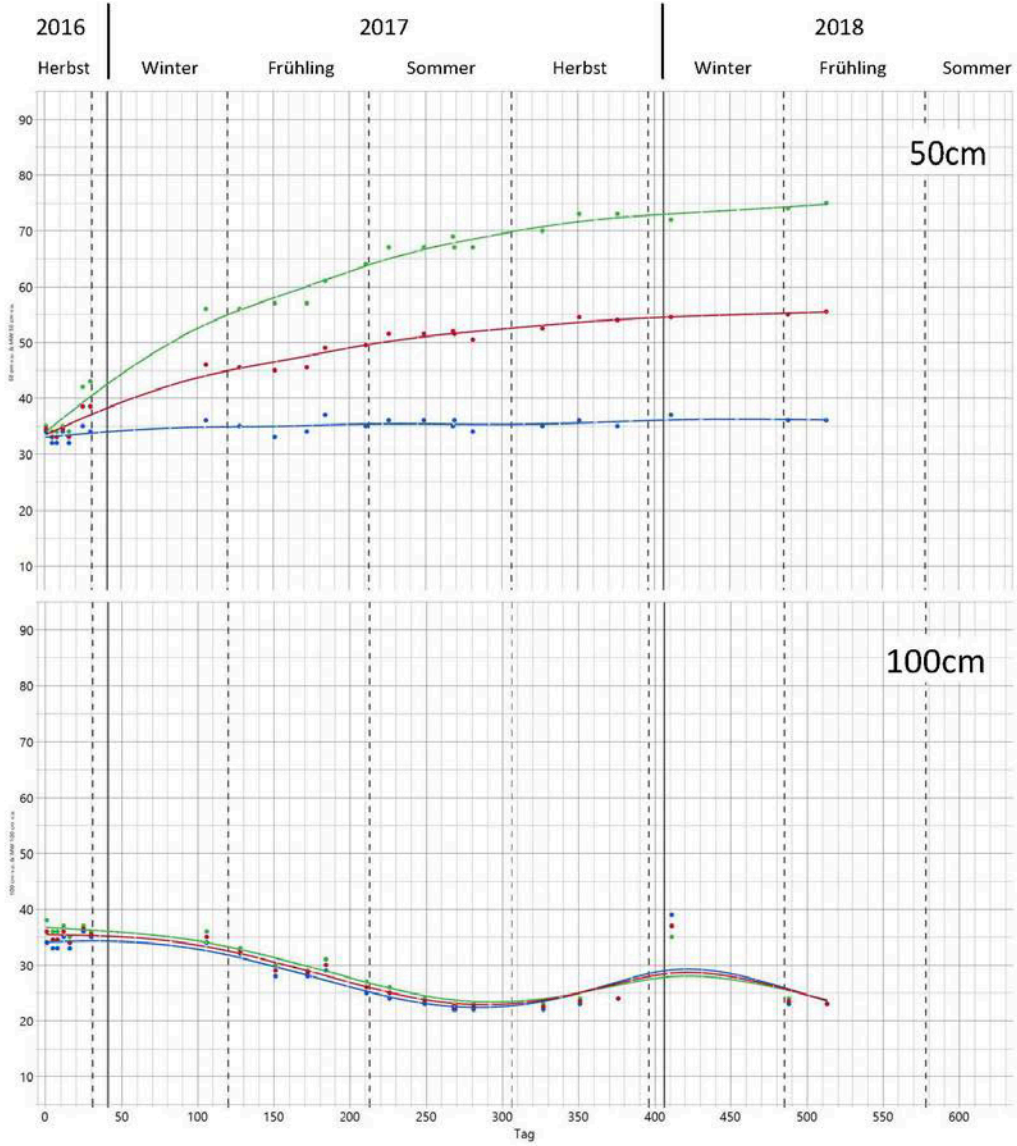
Walter, H., Kreeb, K. 1970: Die Hydratation und Hydratur des Protoplasmas der Pflanzen und ihre Öko-Physiologische Bedeutung. Springer Verlag, ISBN 978-3-7091-5743-5.

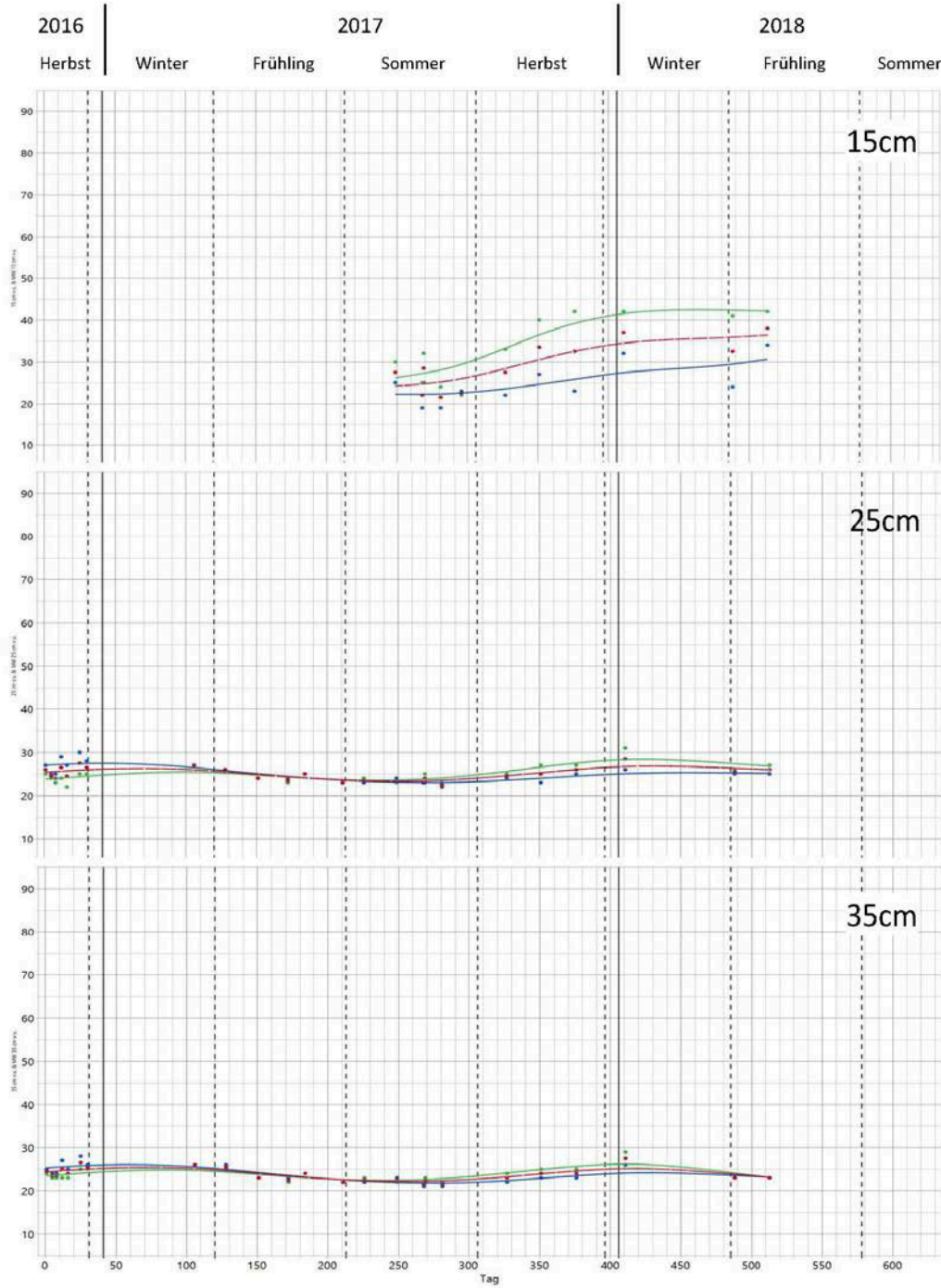
ANHANG

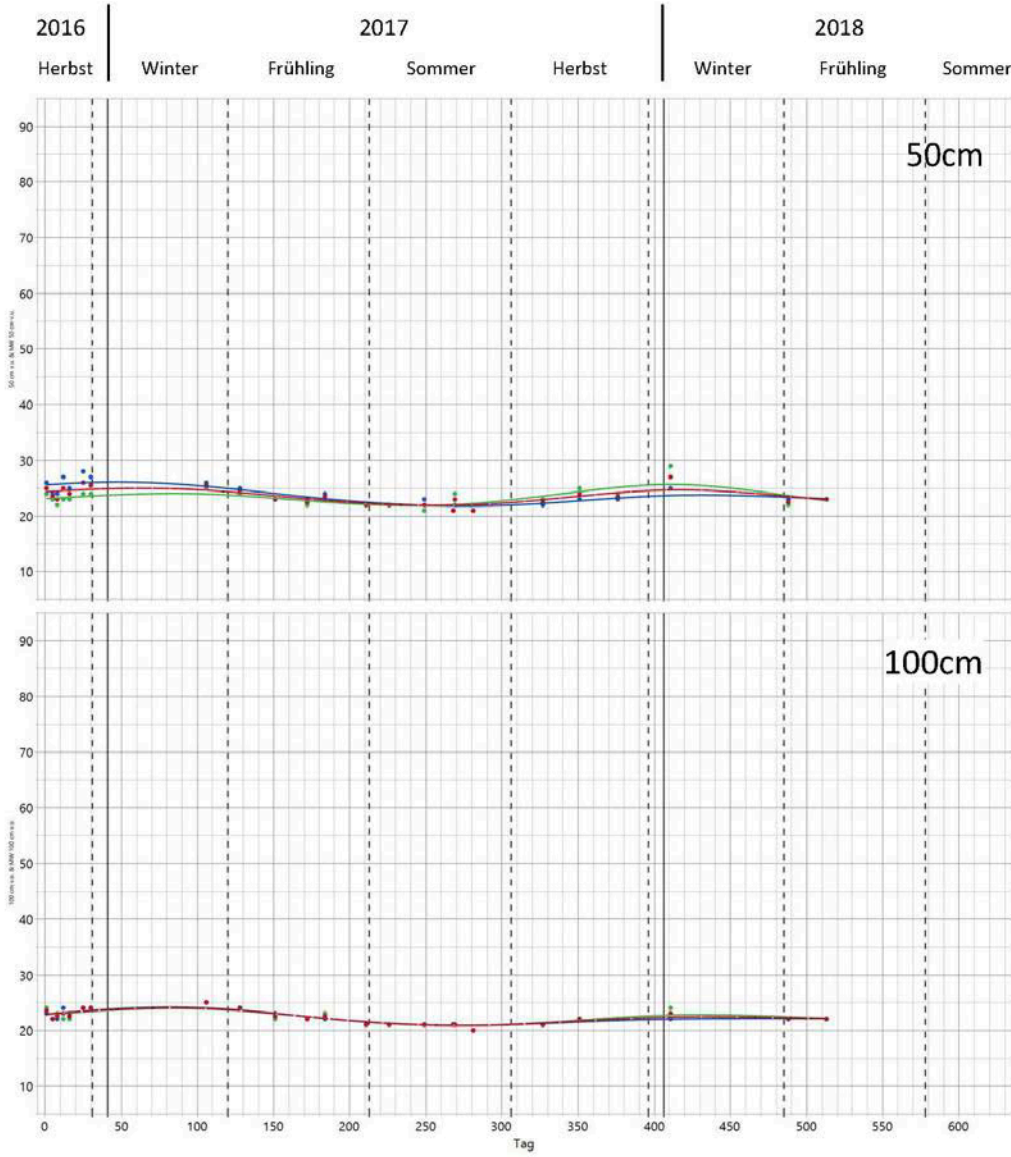
Darstellung der Holzfeuchtemesswerte in 4 Abständen (15 cm, 25 cm, 35 cm, 50 cm) von der Wasserlinie und 100 cm vom oberen Ende des Pfahls

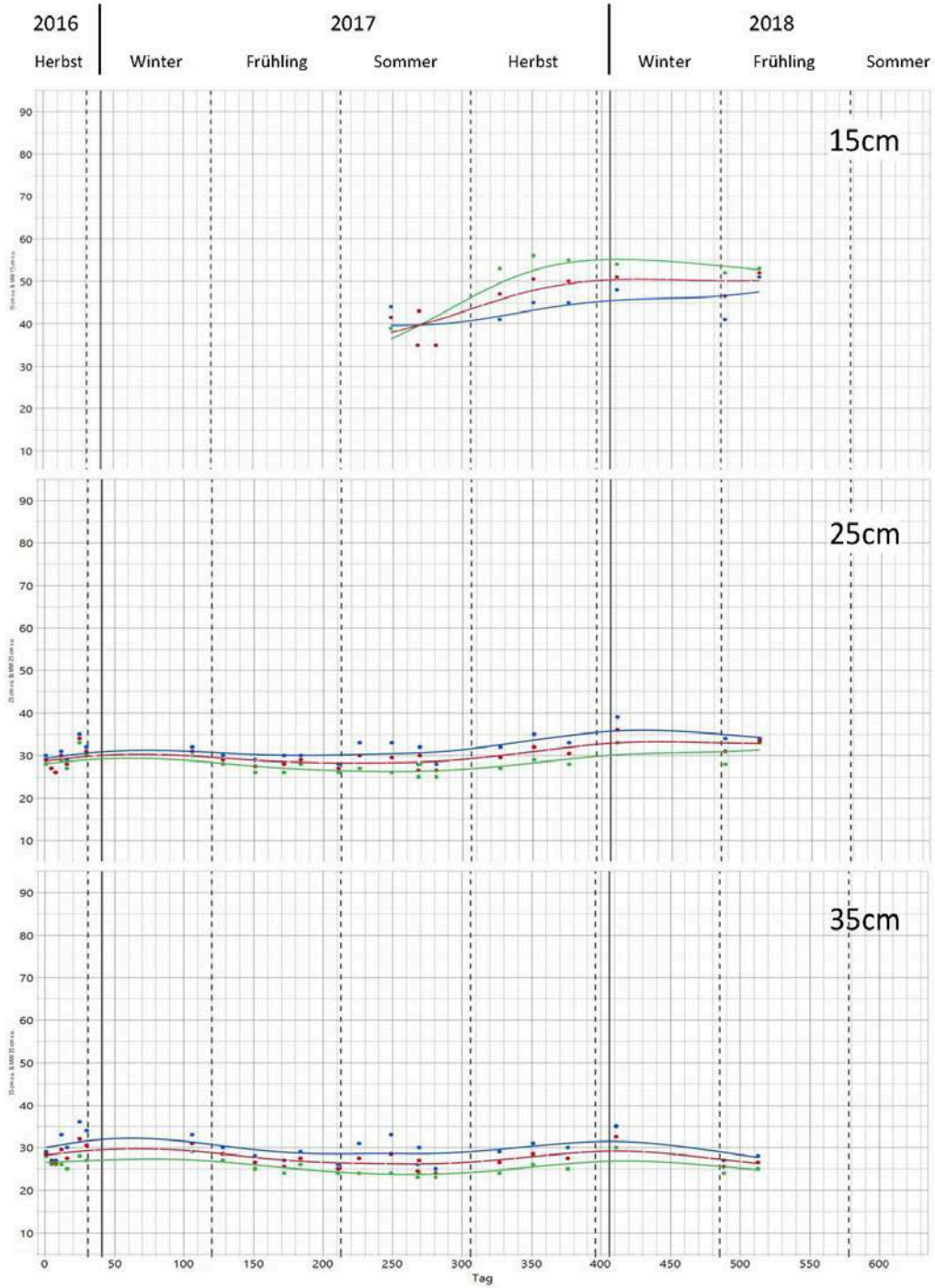
Blaue und **grüne** Linien zeigen die realen Messwerte an den Pfählen, die **rote** Linie zeigt jeweils den Mittelwert aus zwei gleich zugerichteten Pfählen



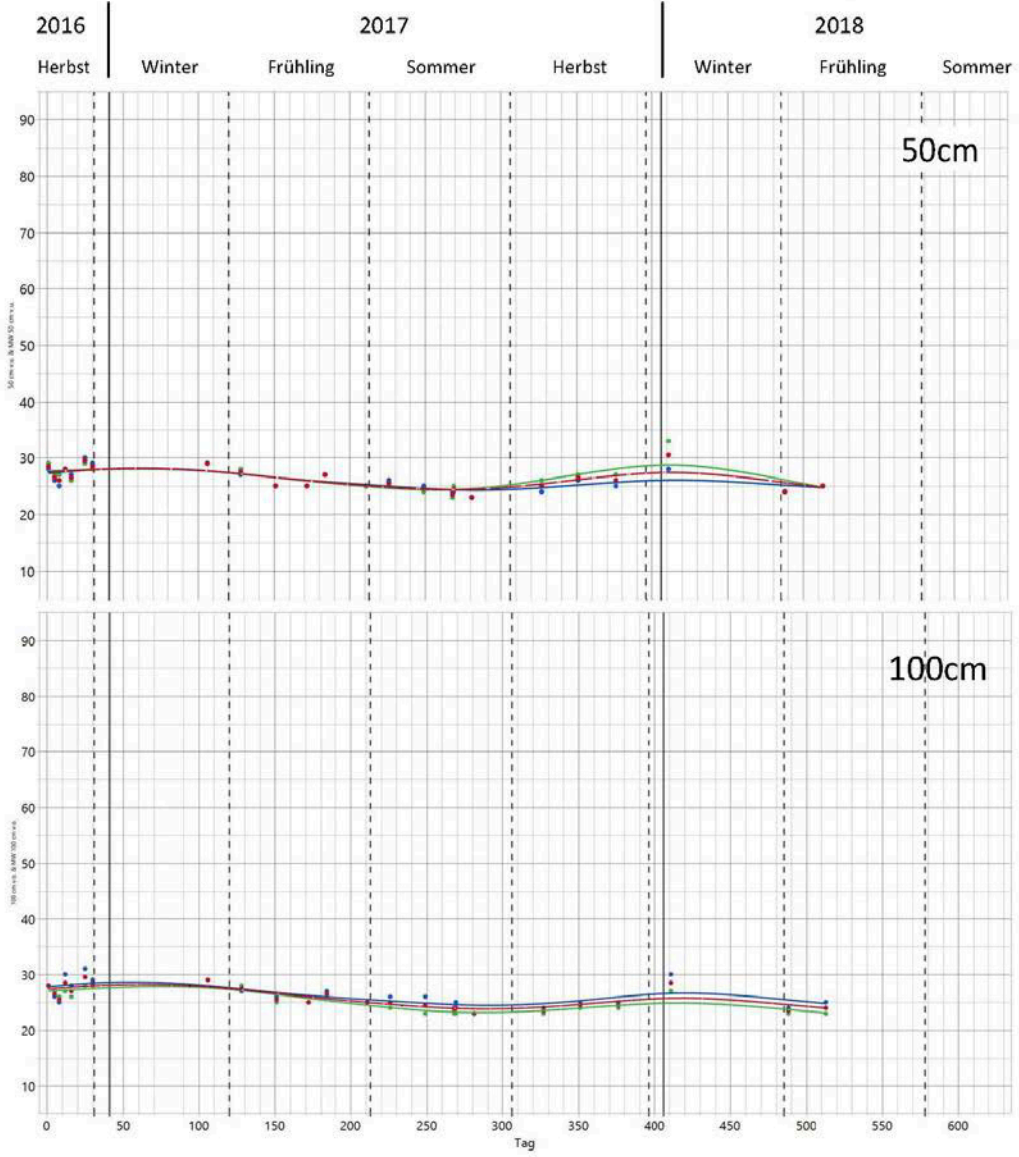


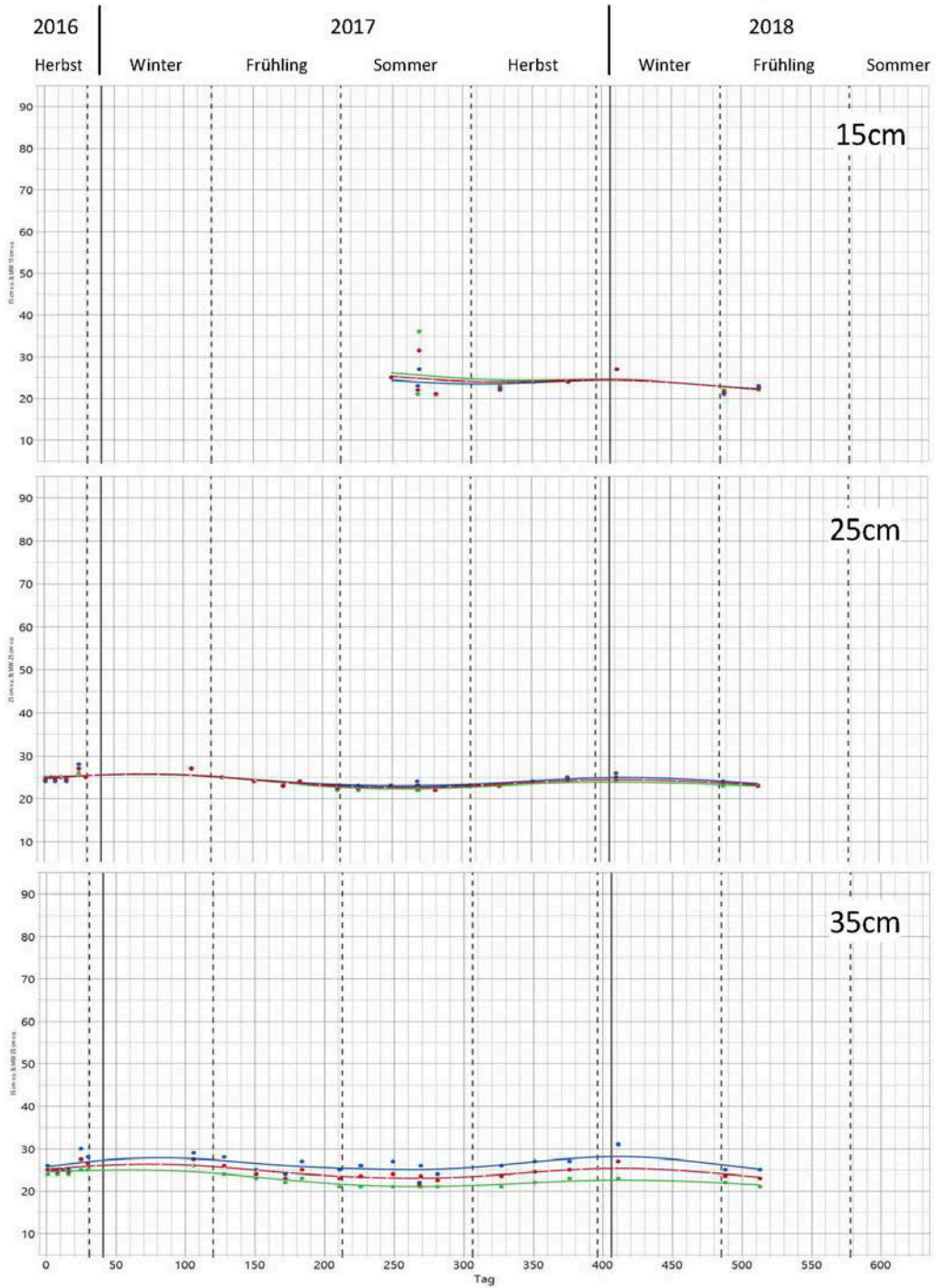


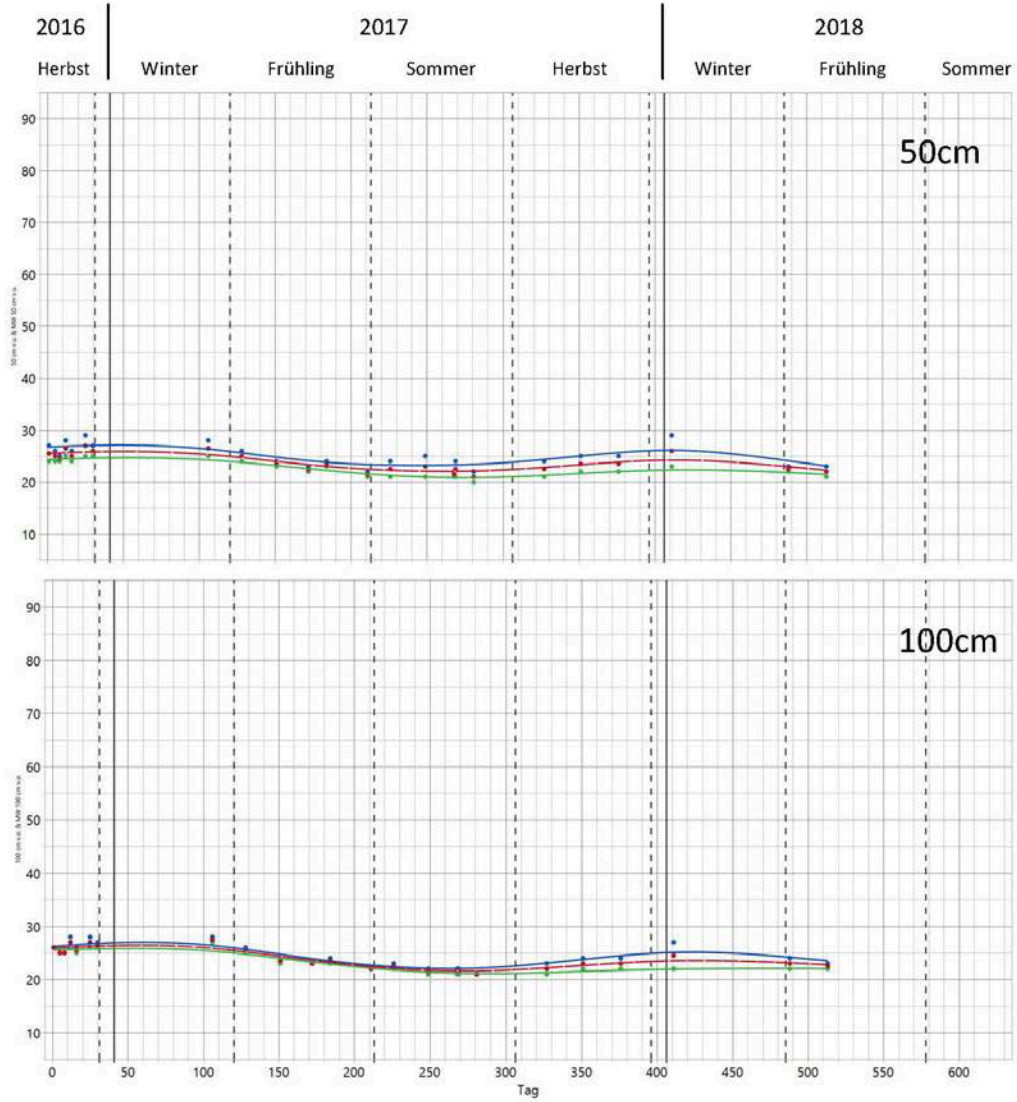




Klotzteilch 3 Lärche



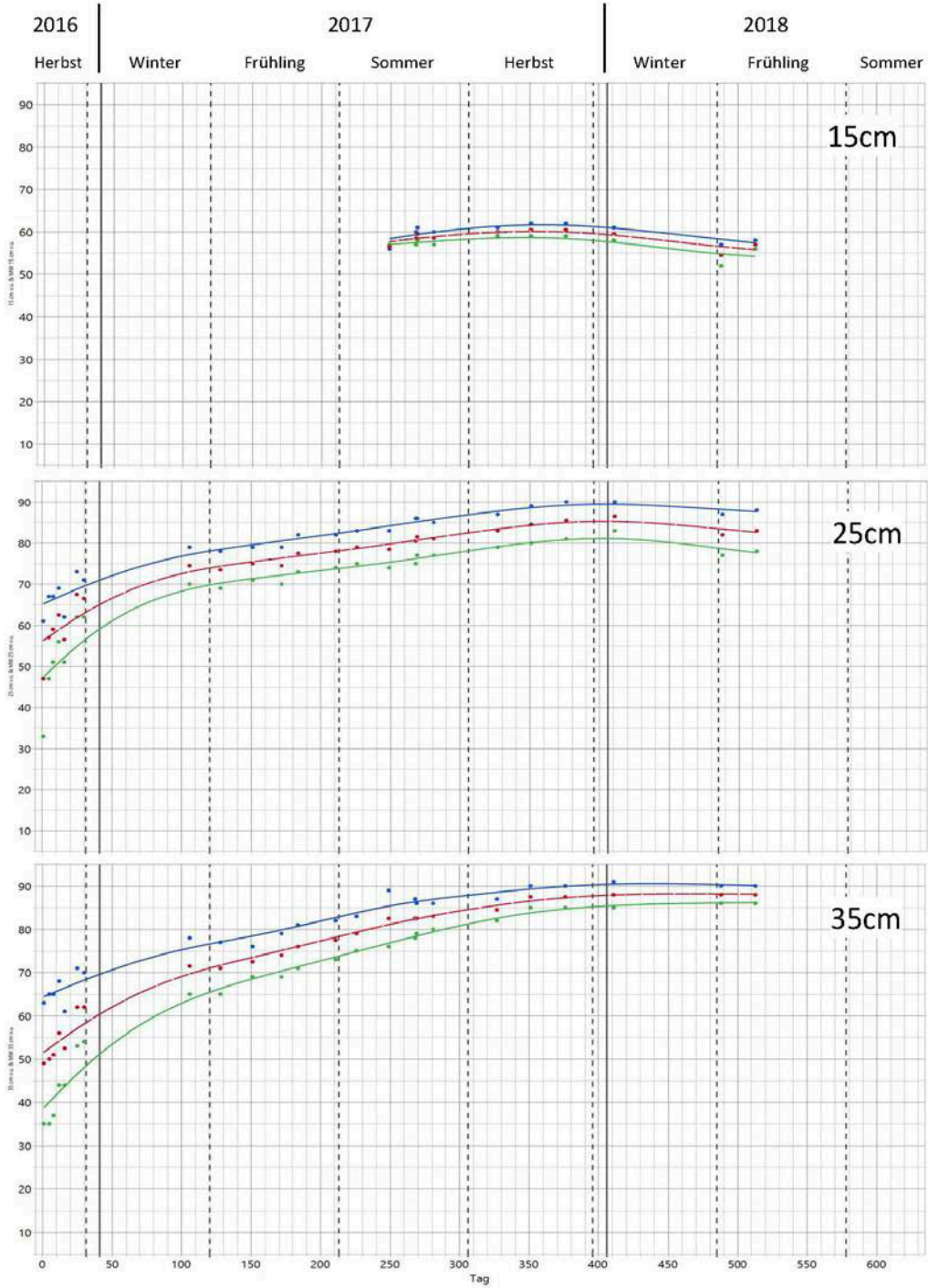


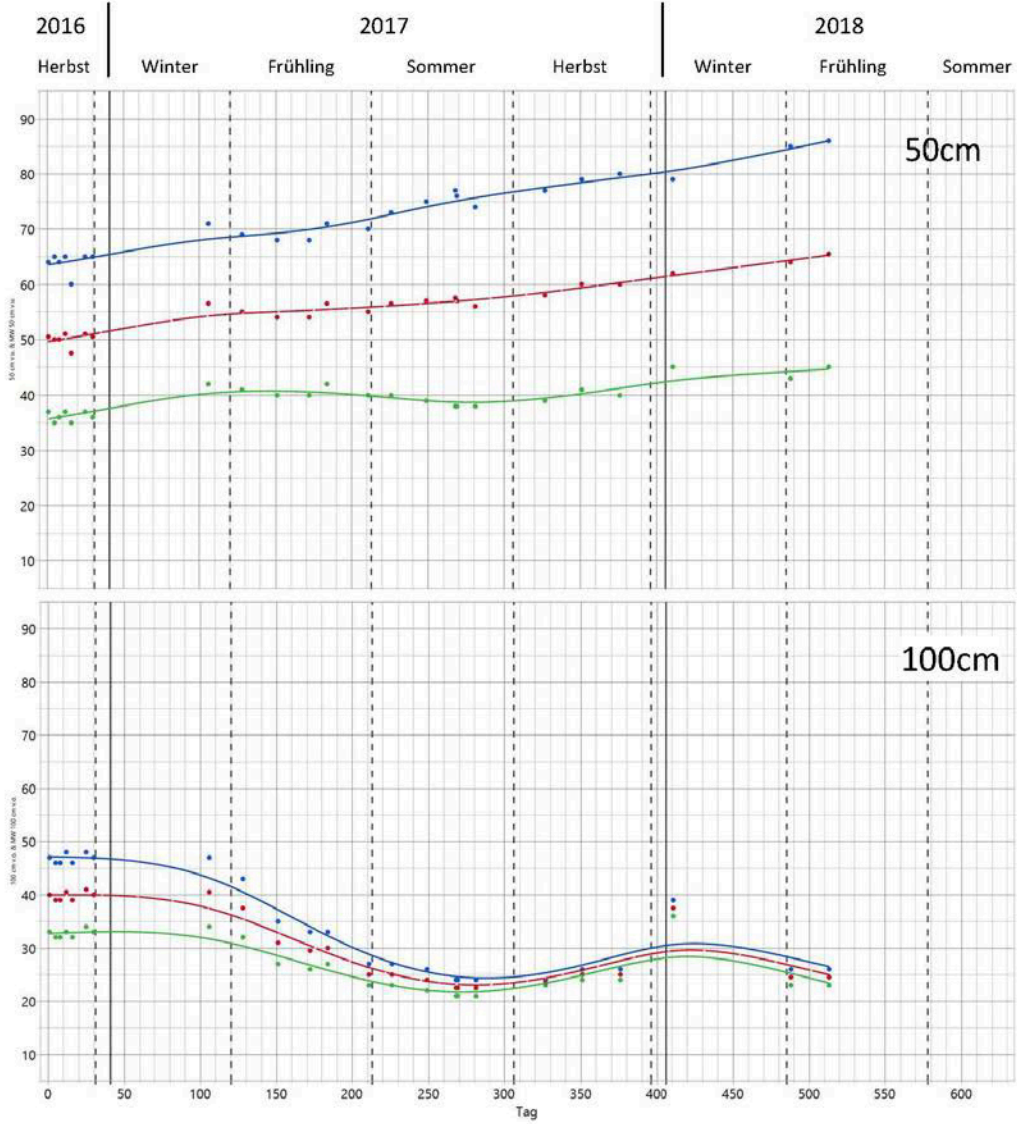


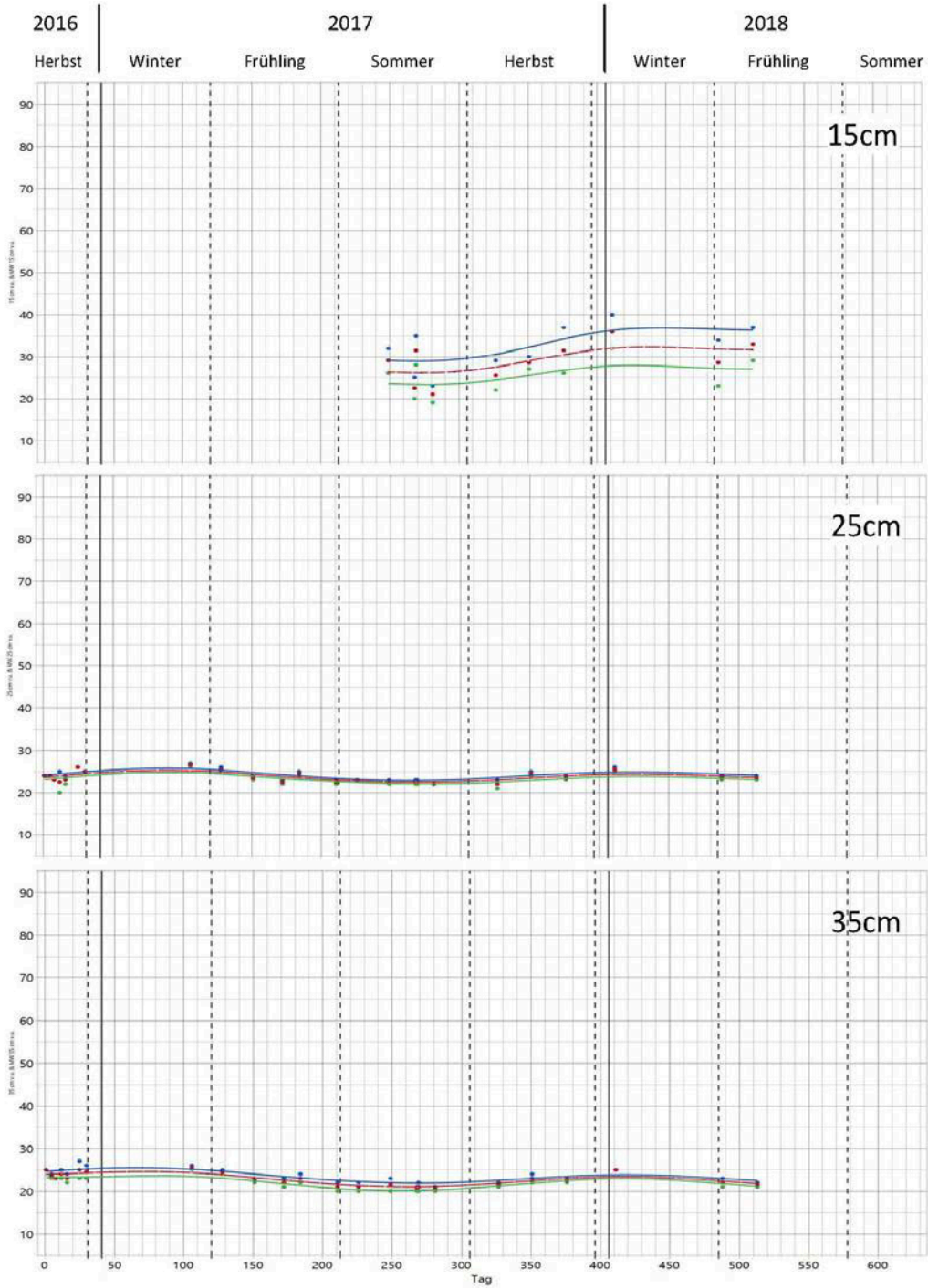
Klotzteich

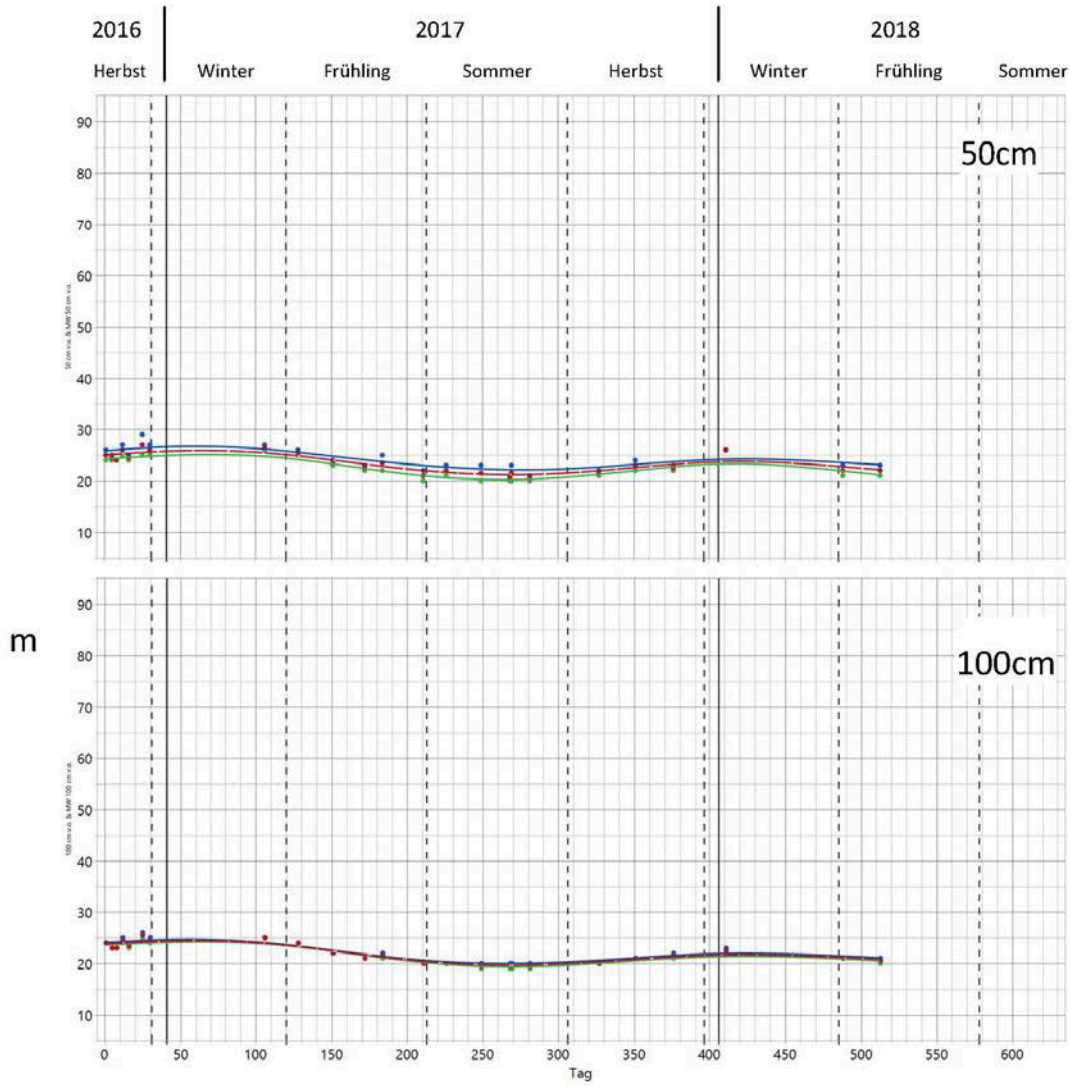


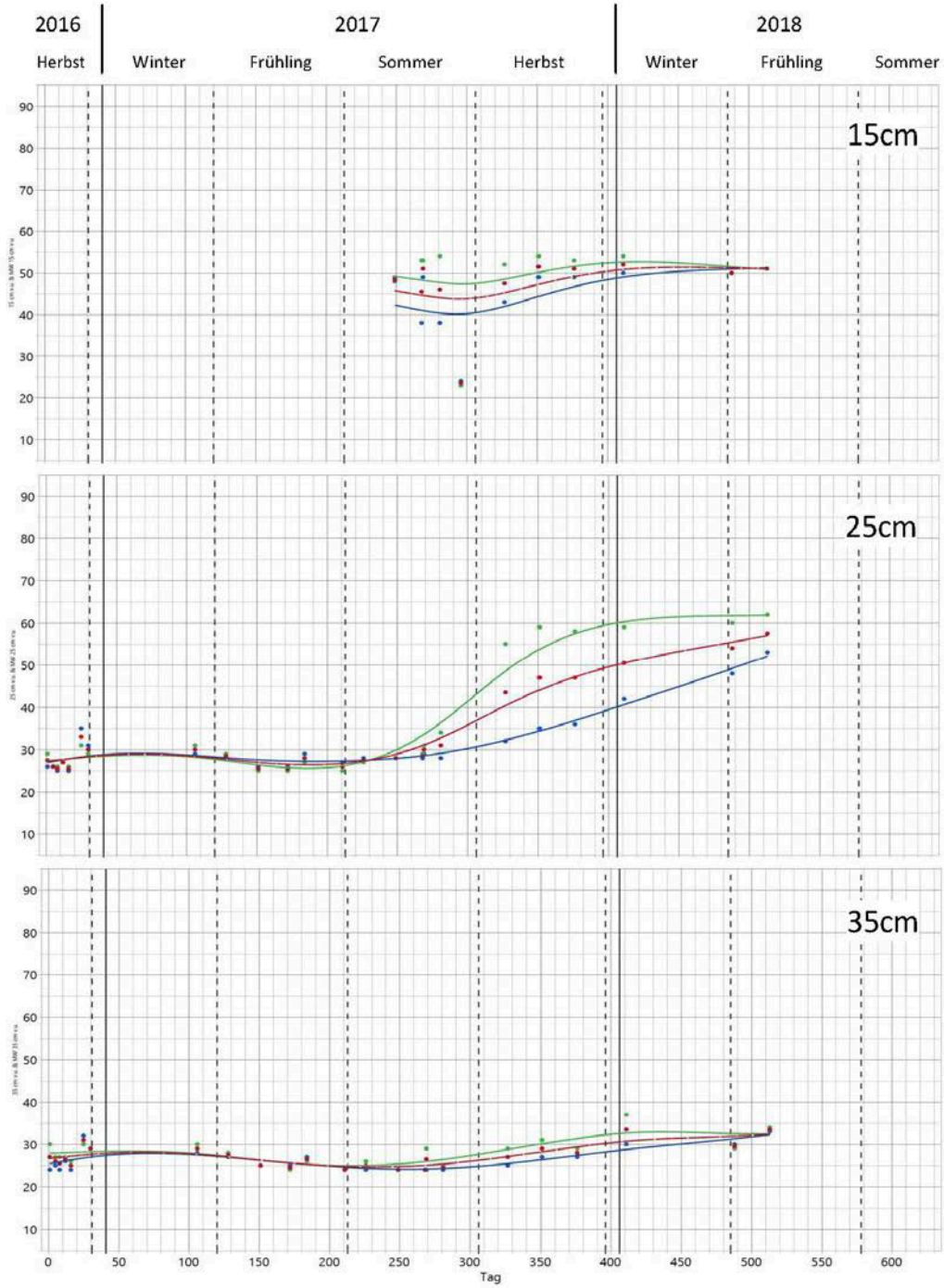
Kiefer

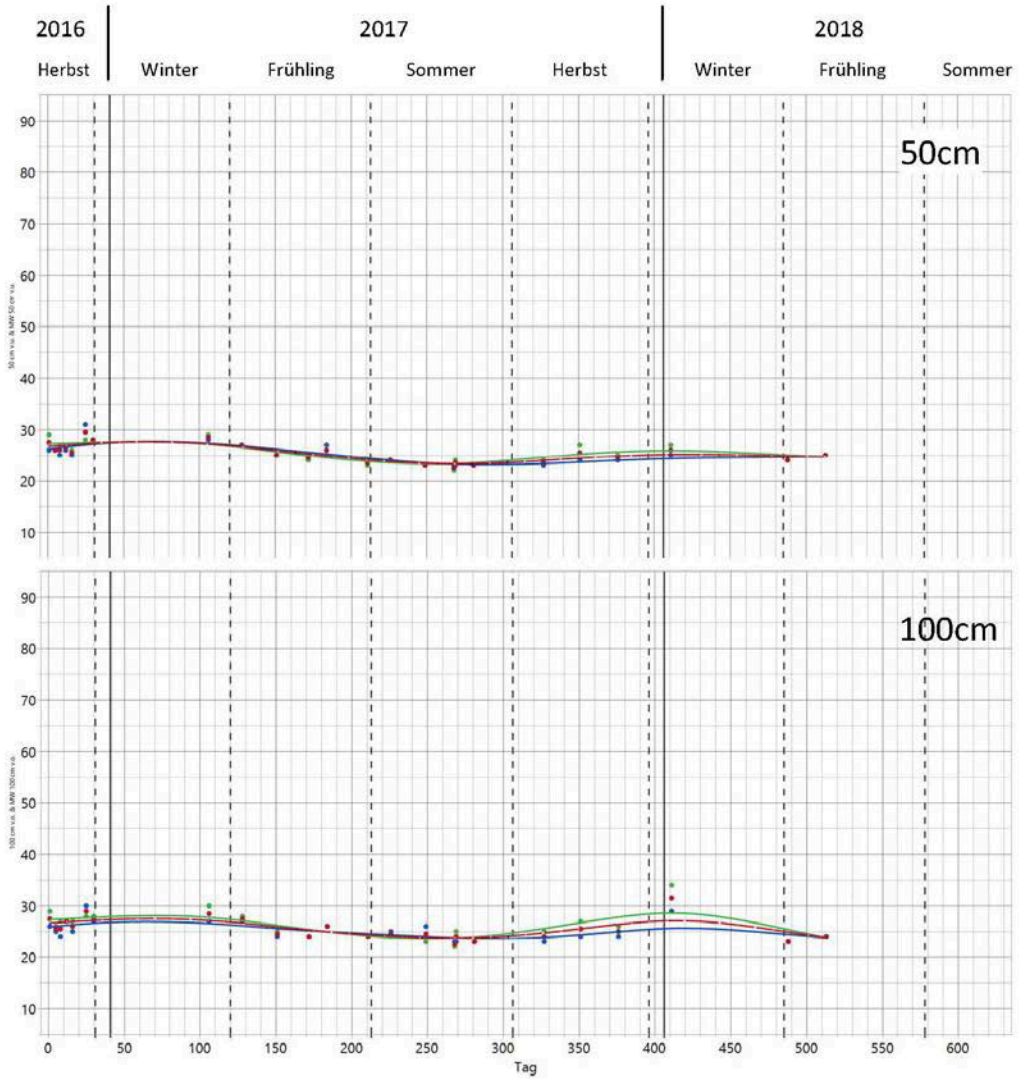


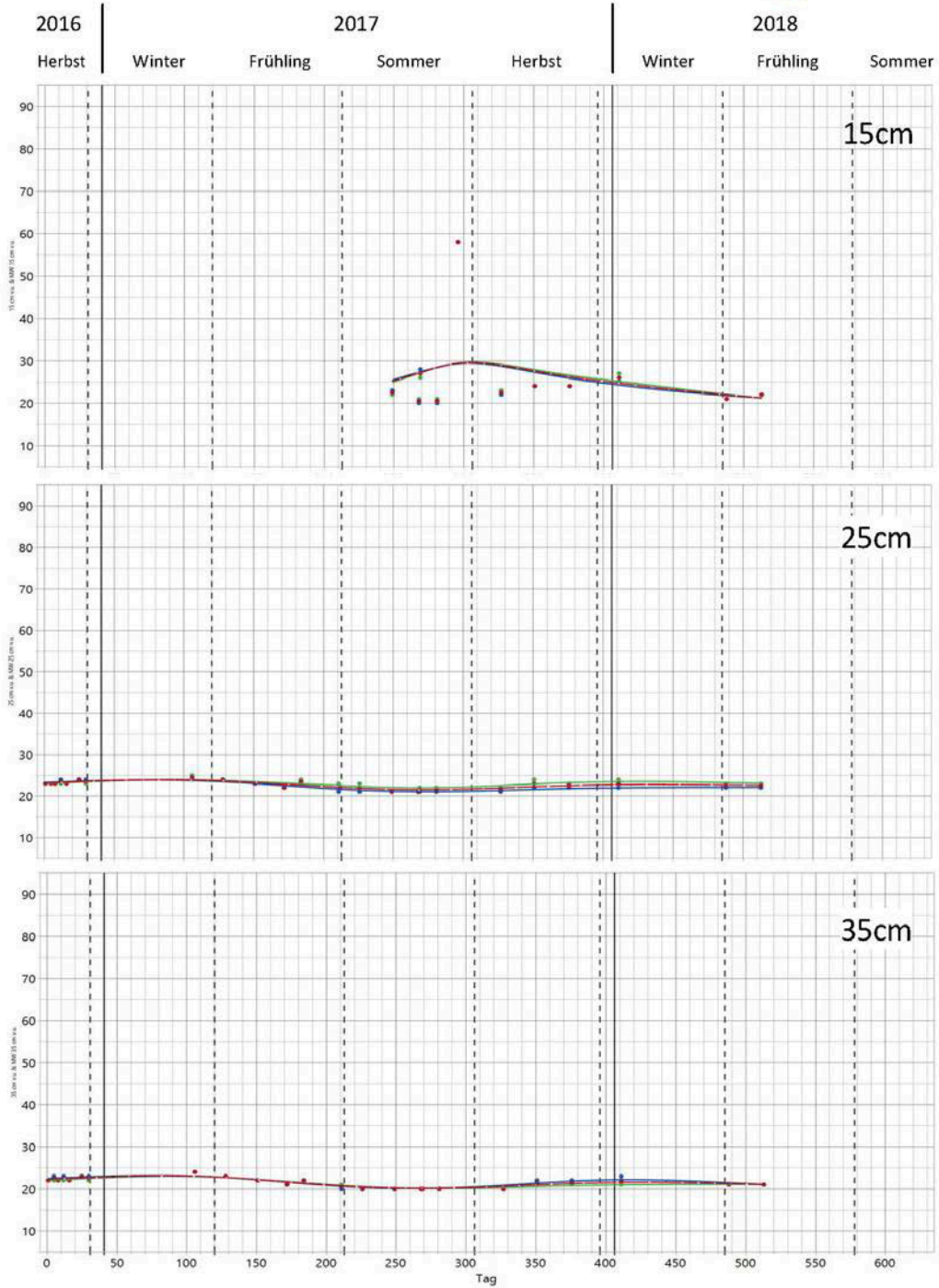








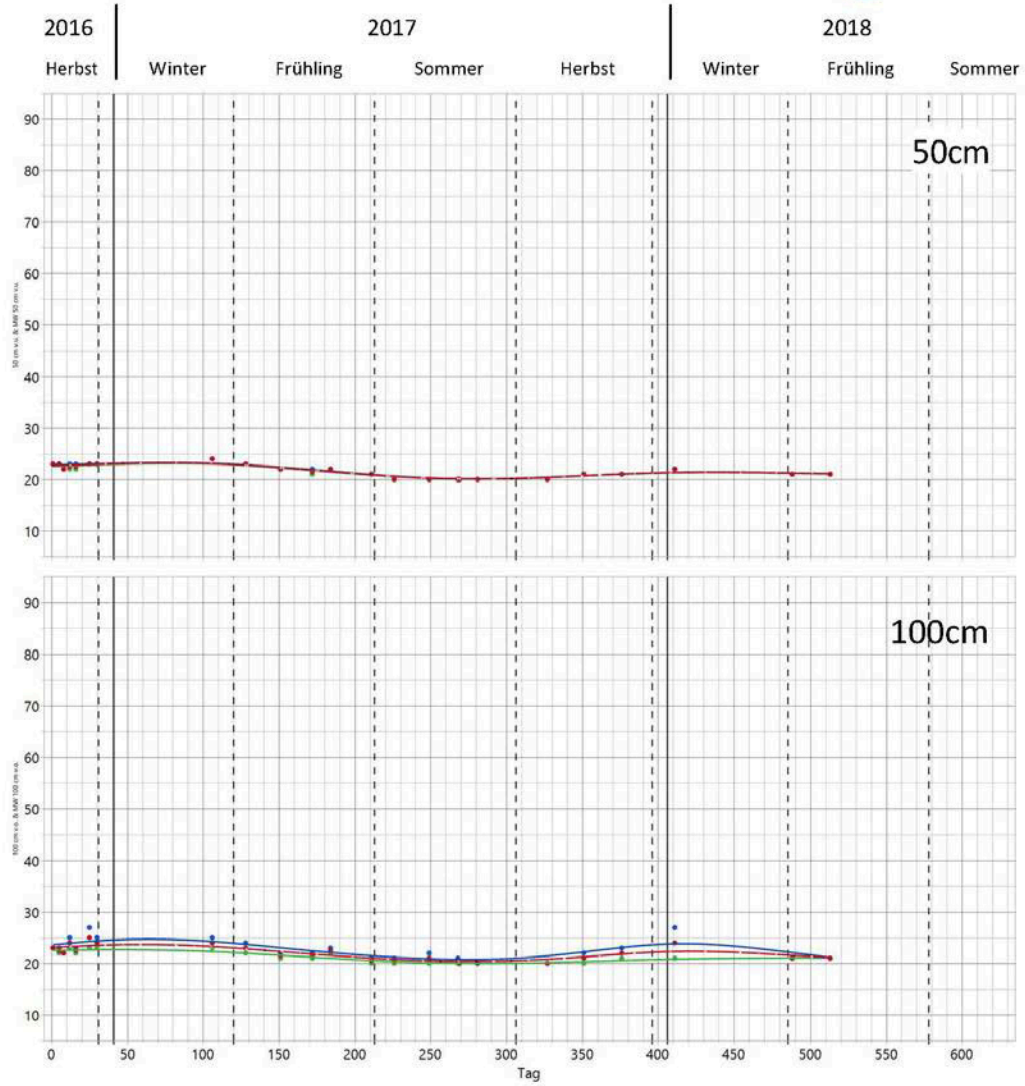




Klotzteich



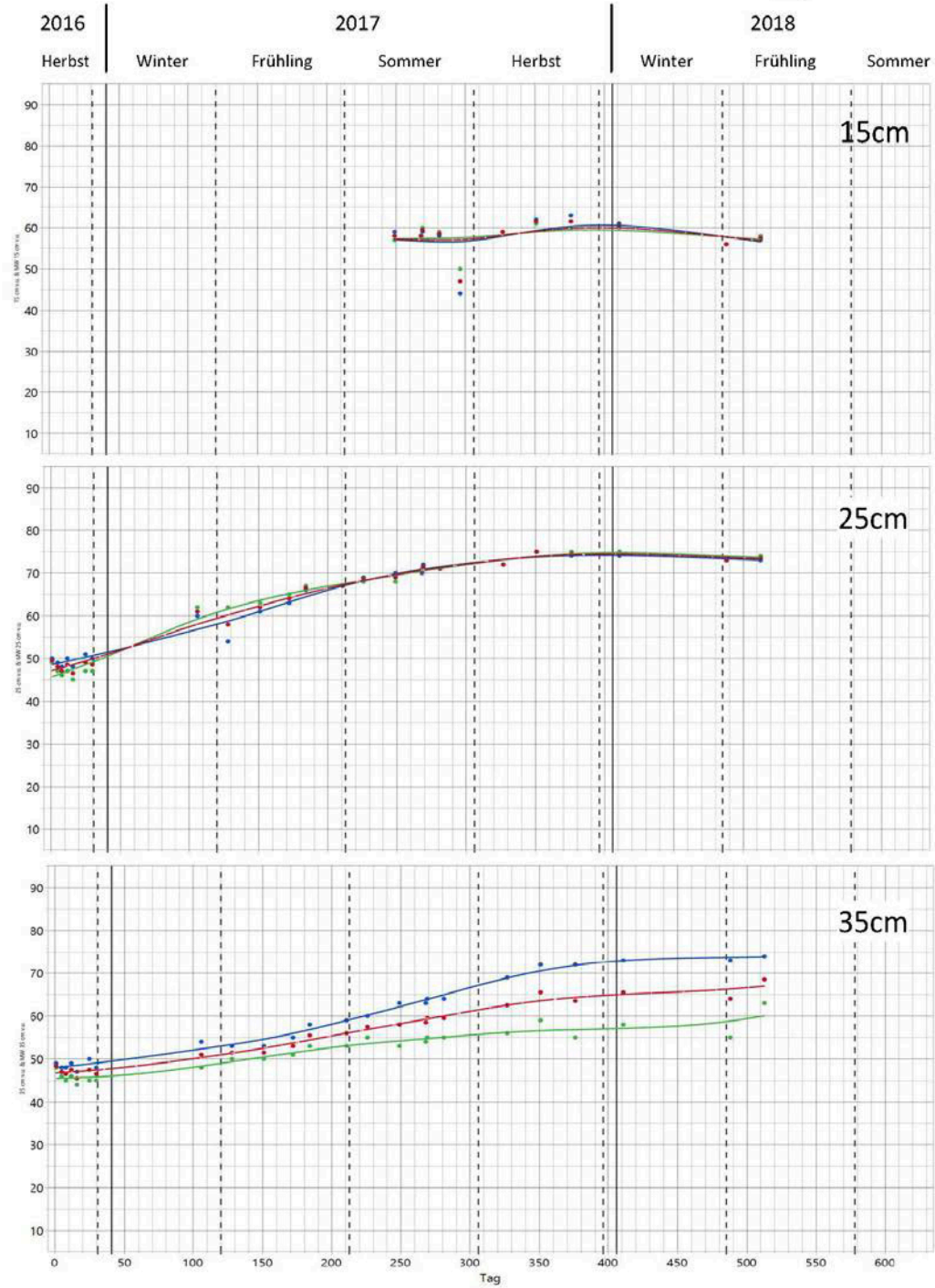
Lärche



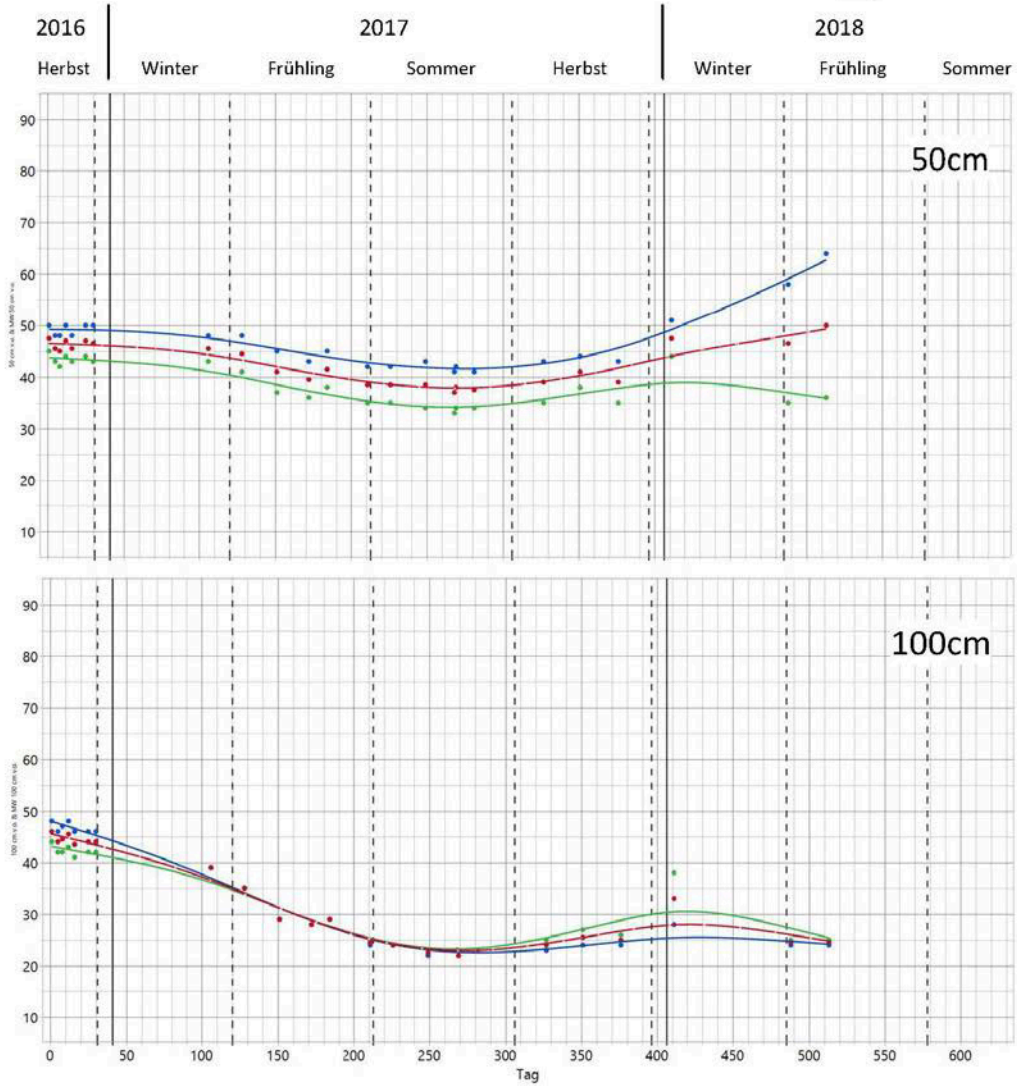
Klotzteich



Fichte



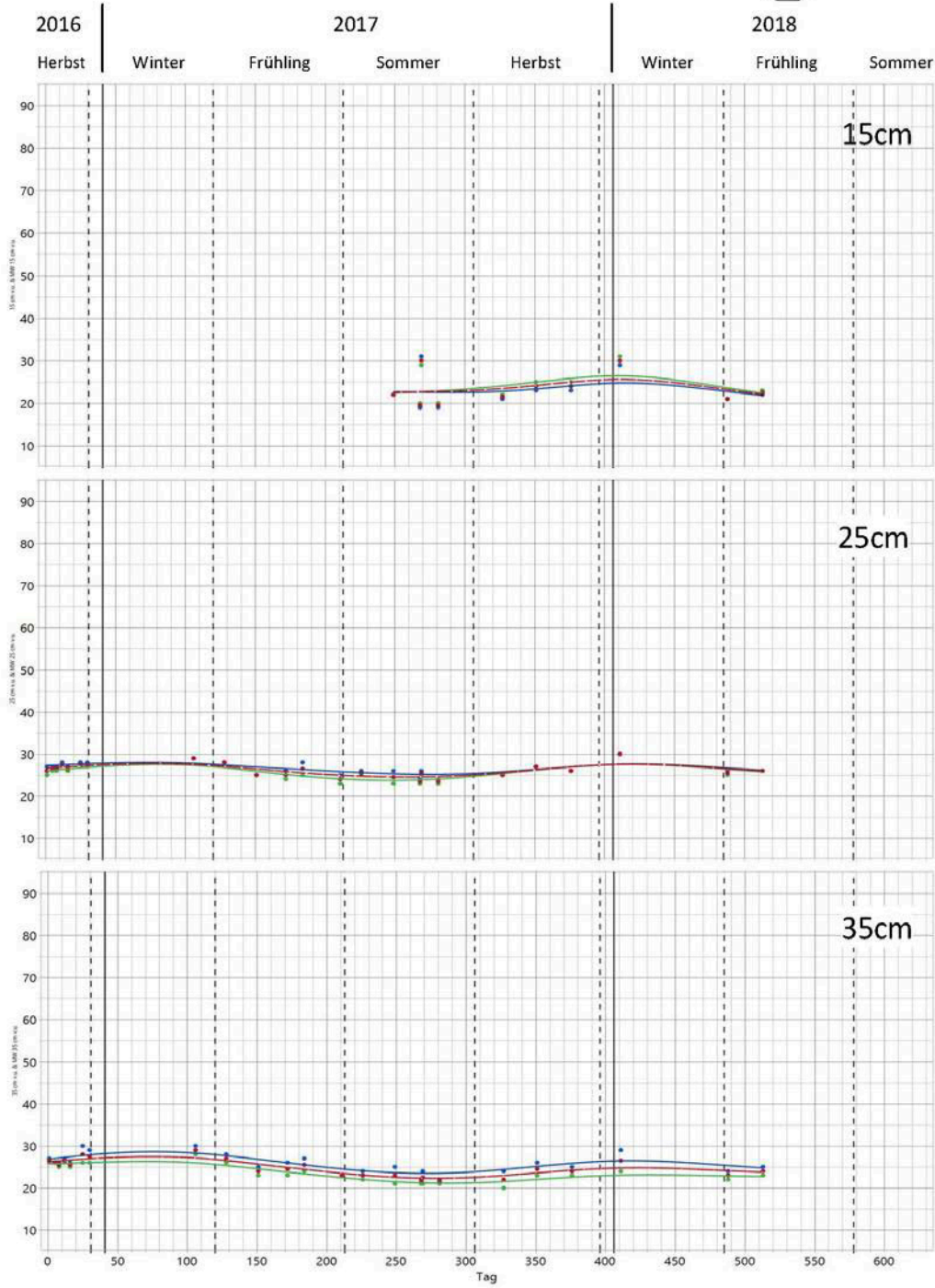
Klotzteich 9 Fichte

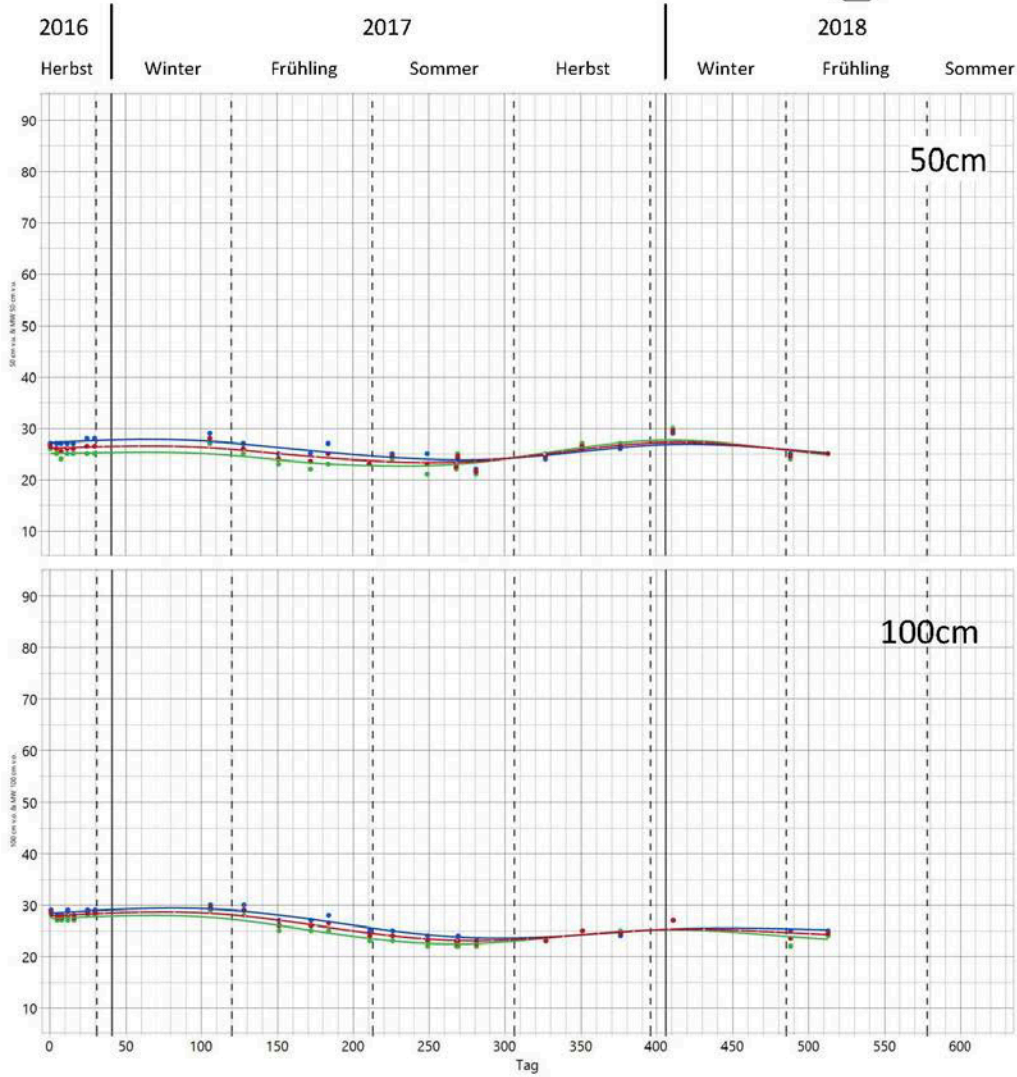


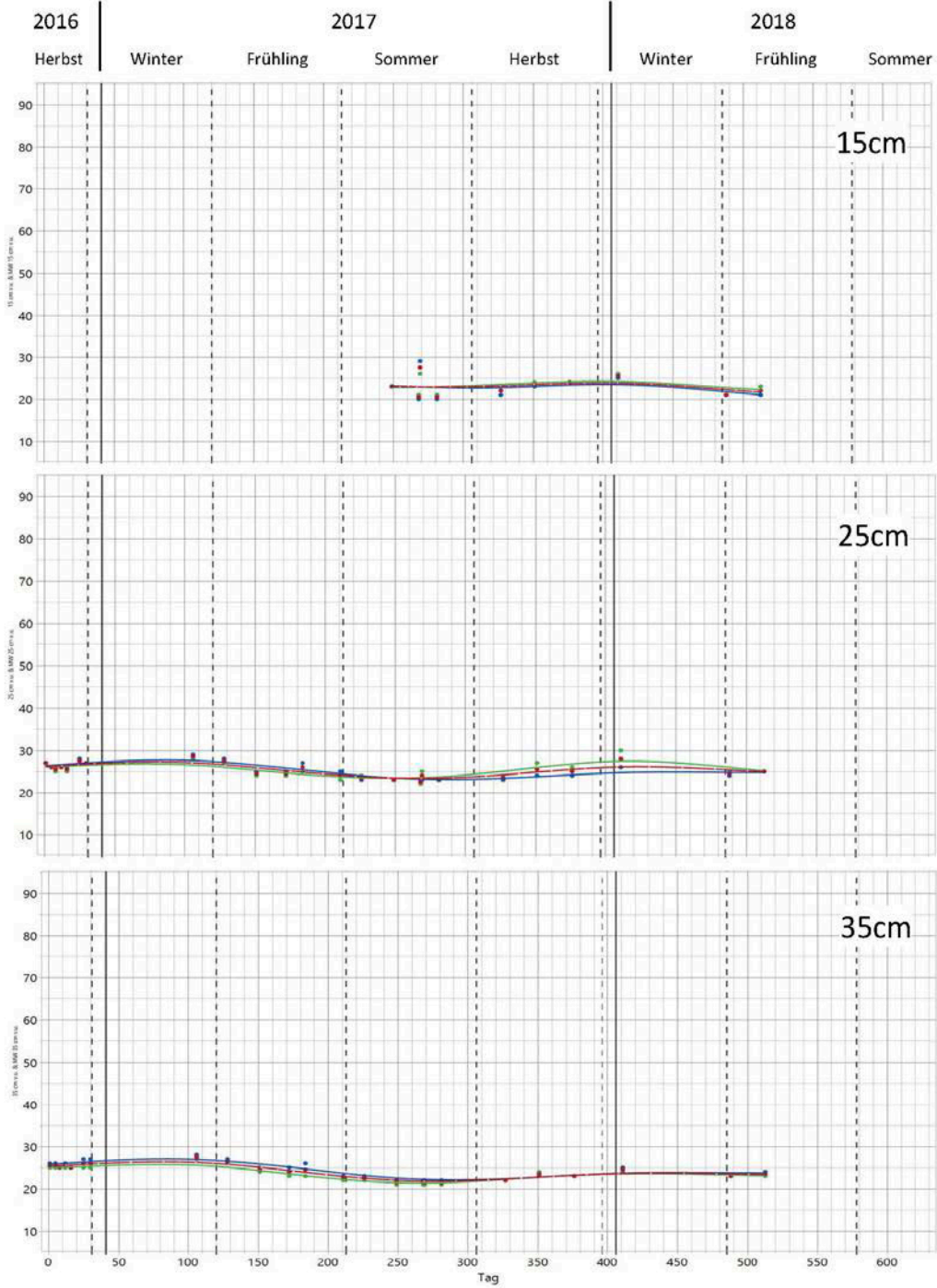
Klotzteich

10

Douglasie



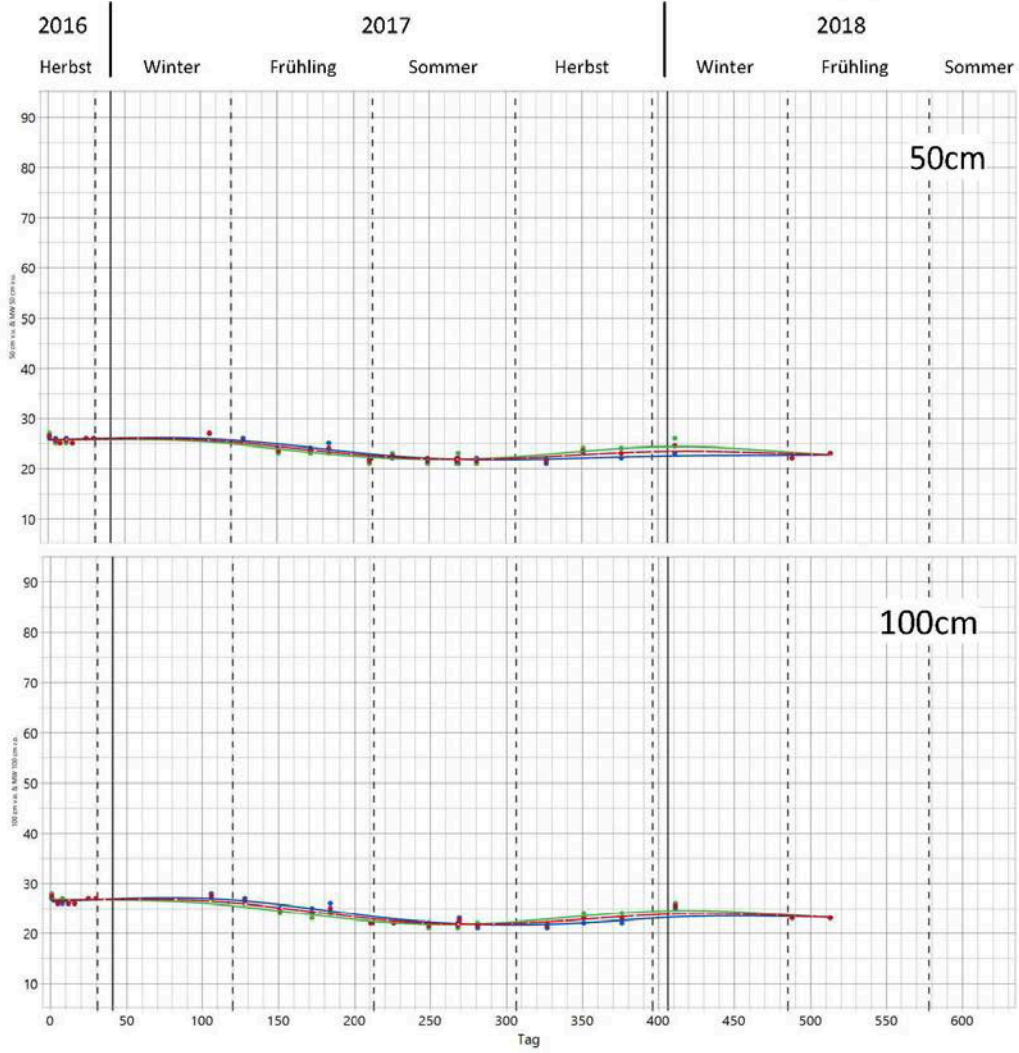


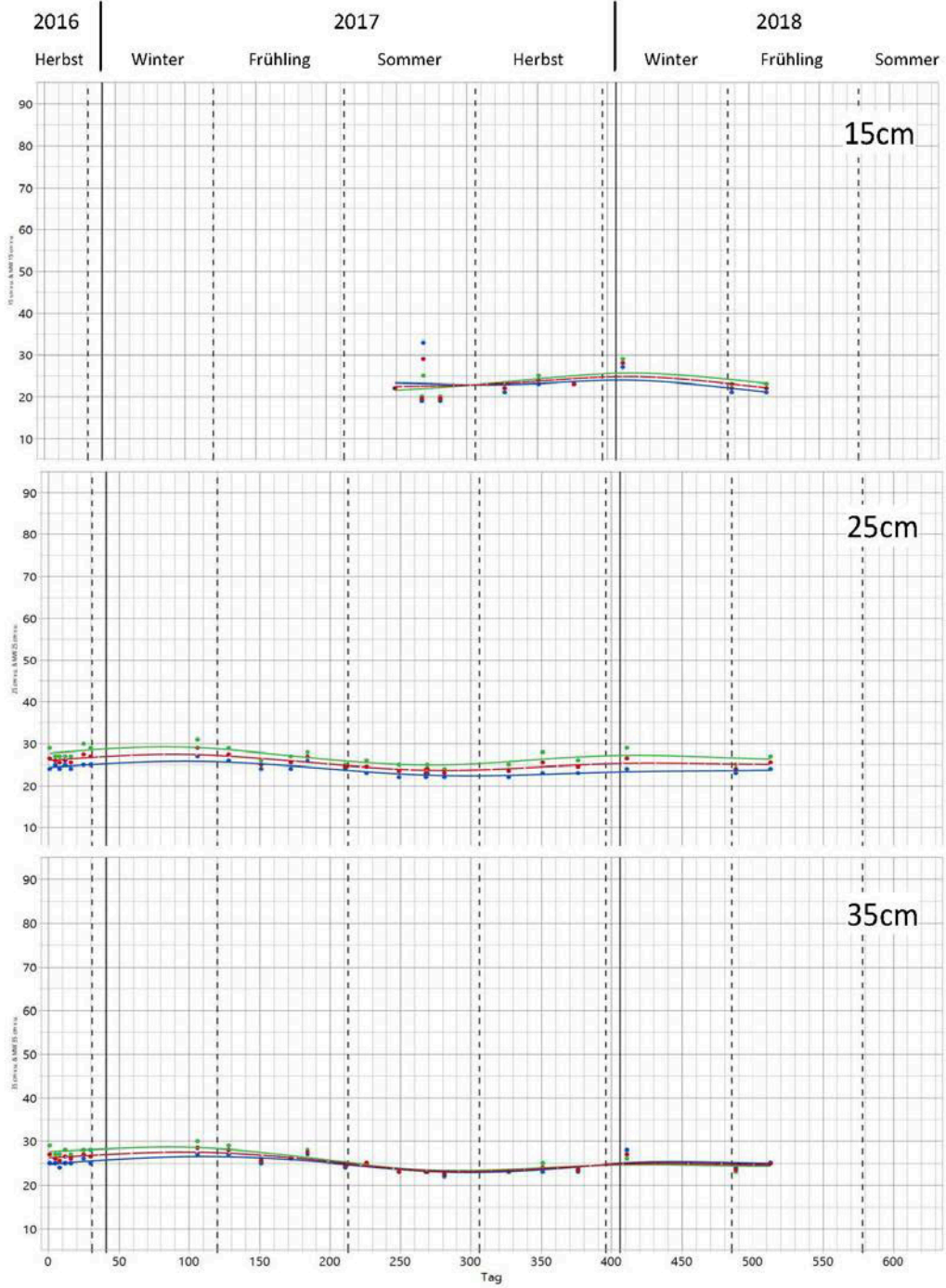


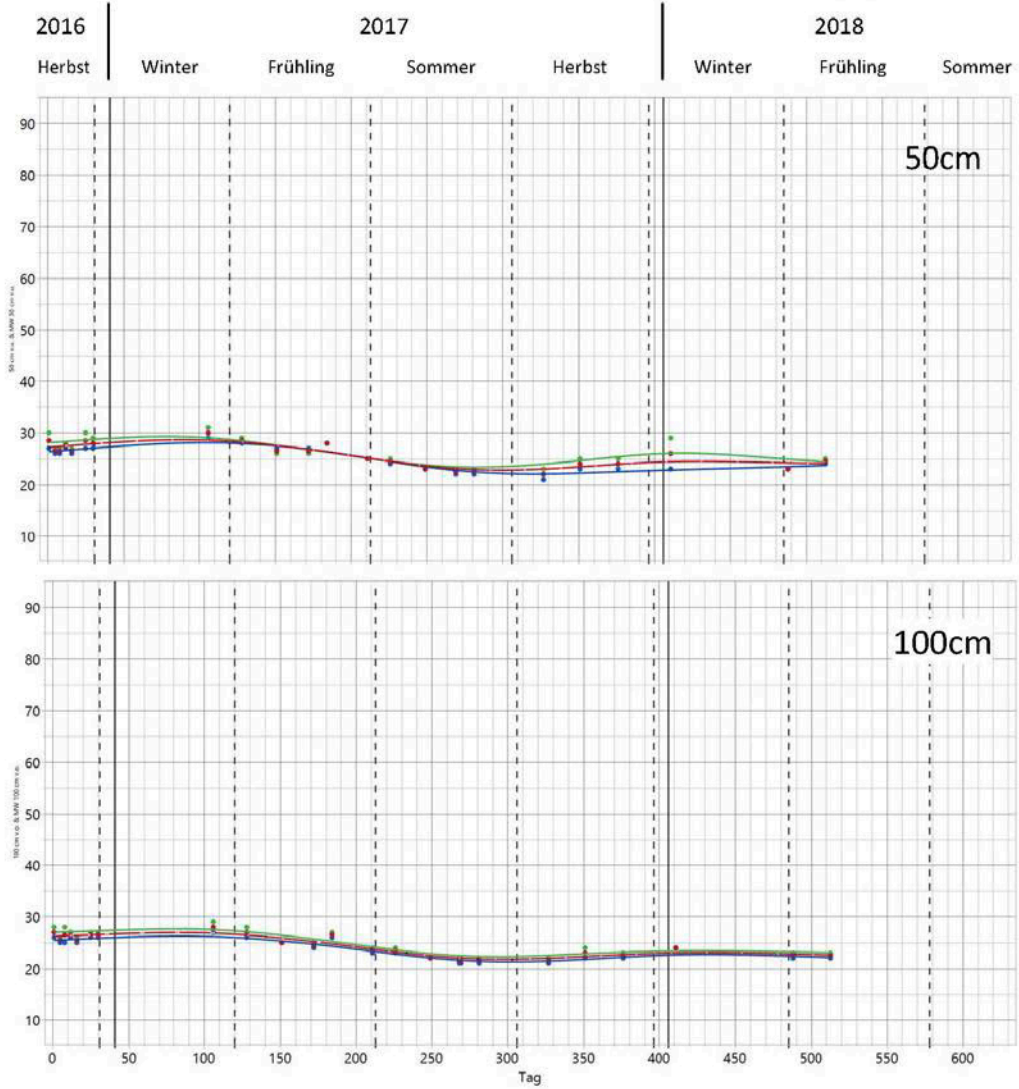
Klotzteich

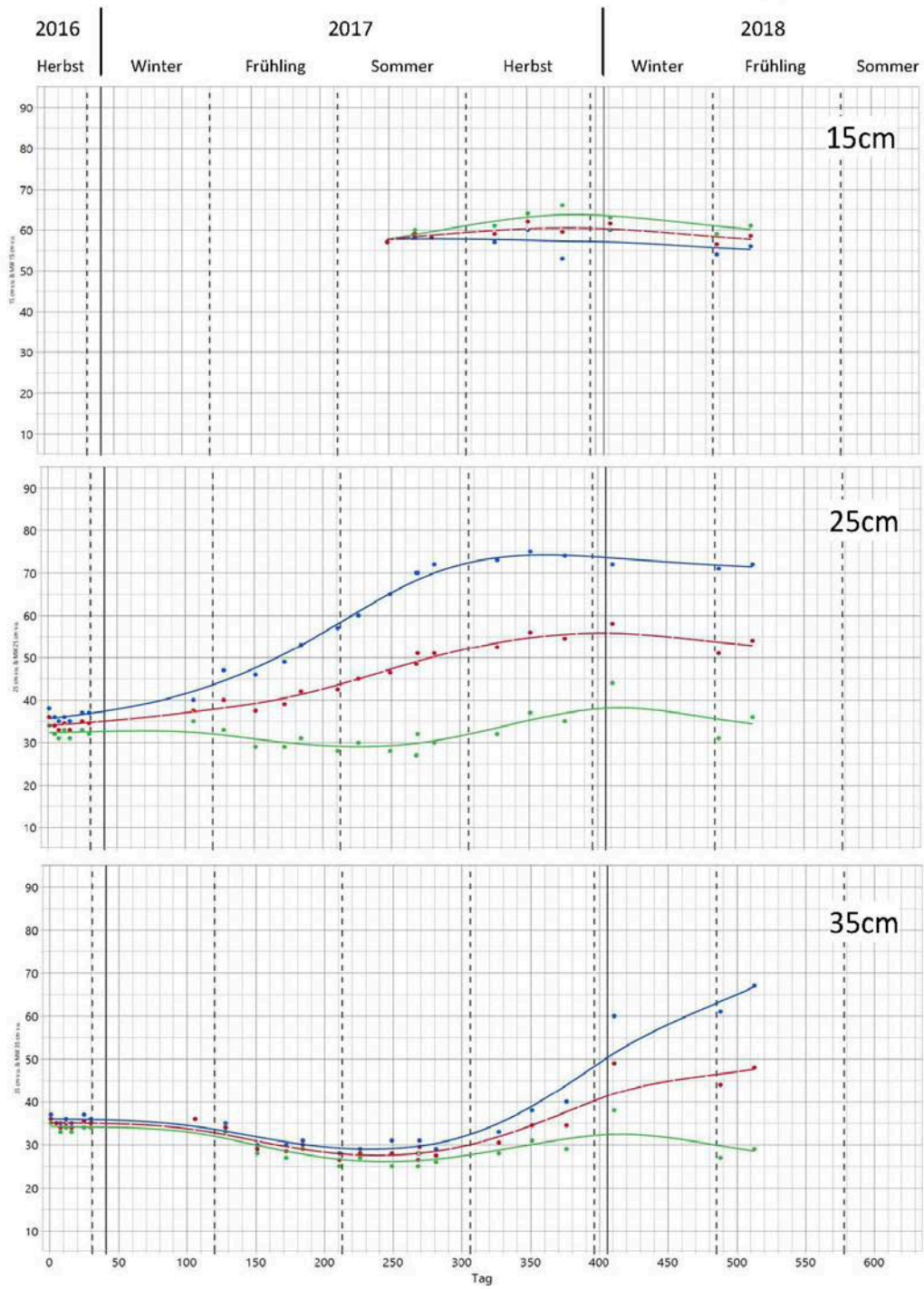
11

Lärche





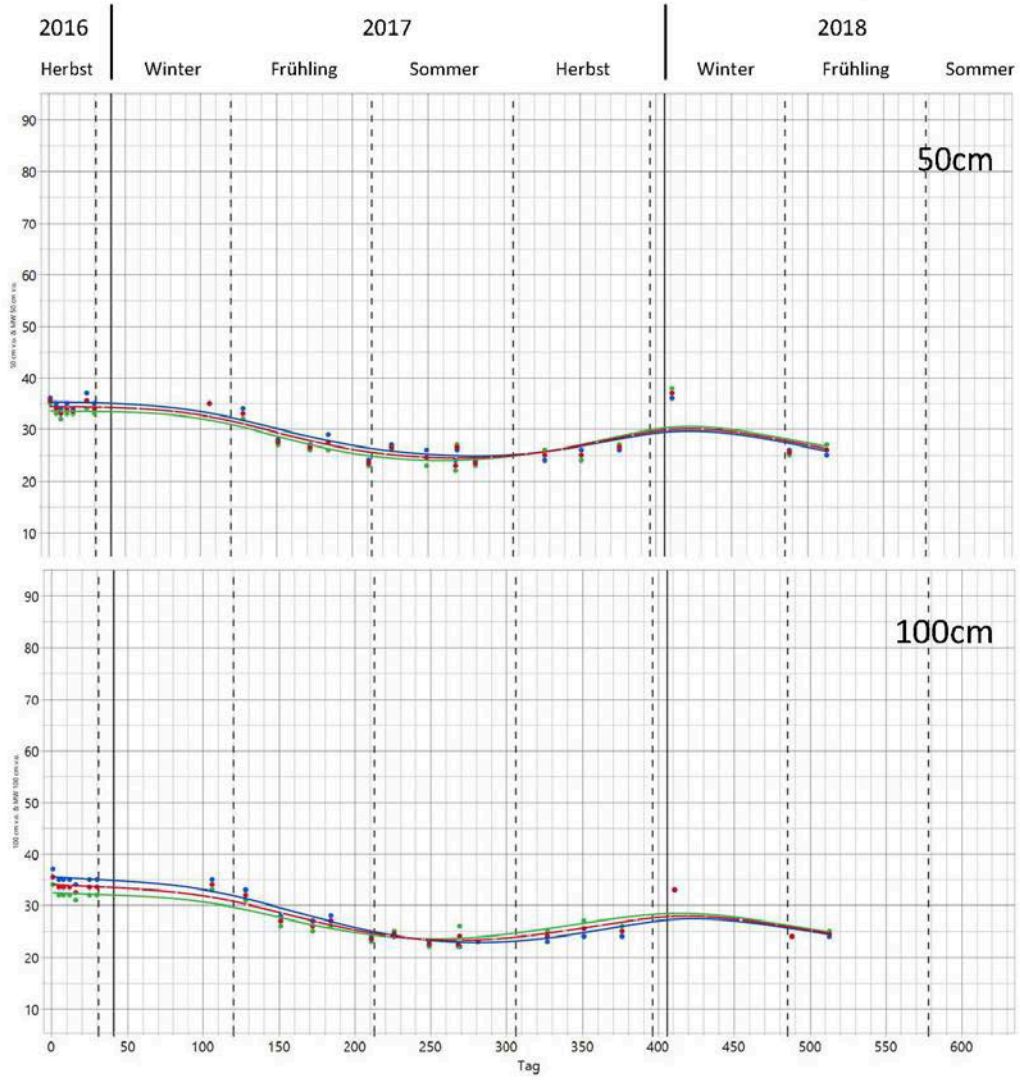


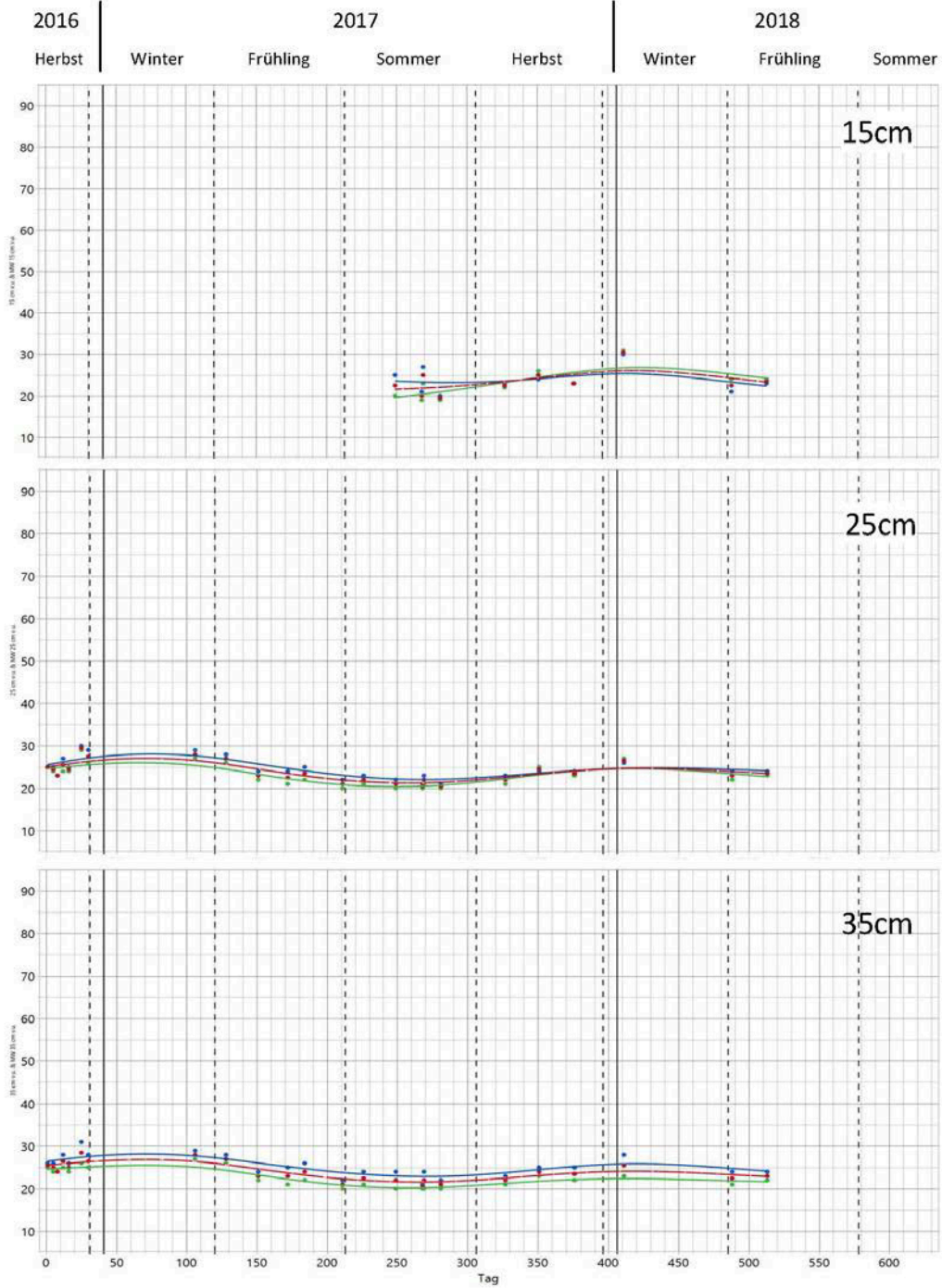


Klotzteich

13

Fichte

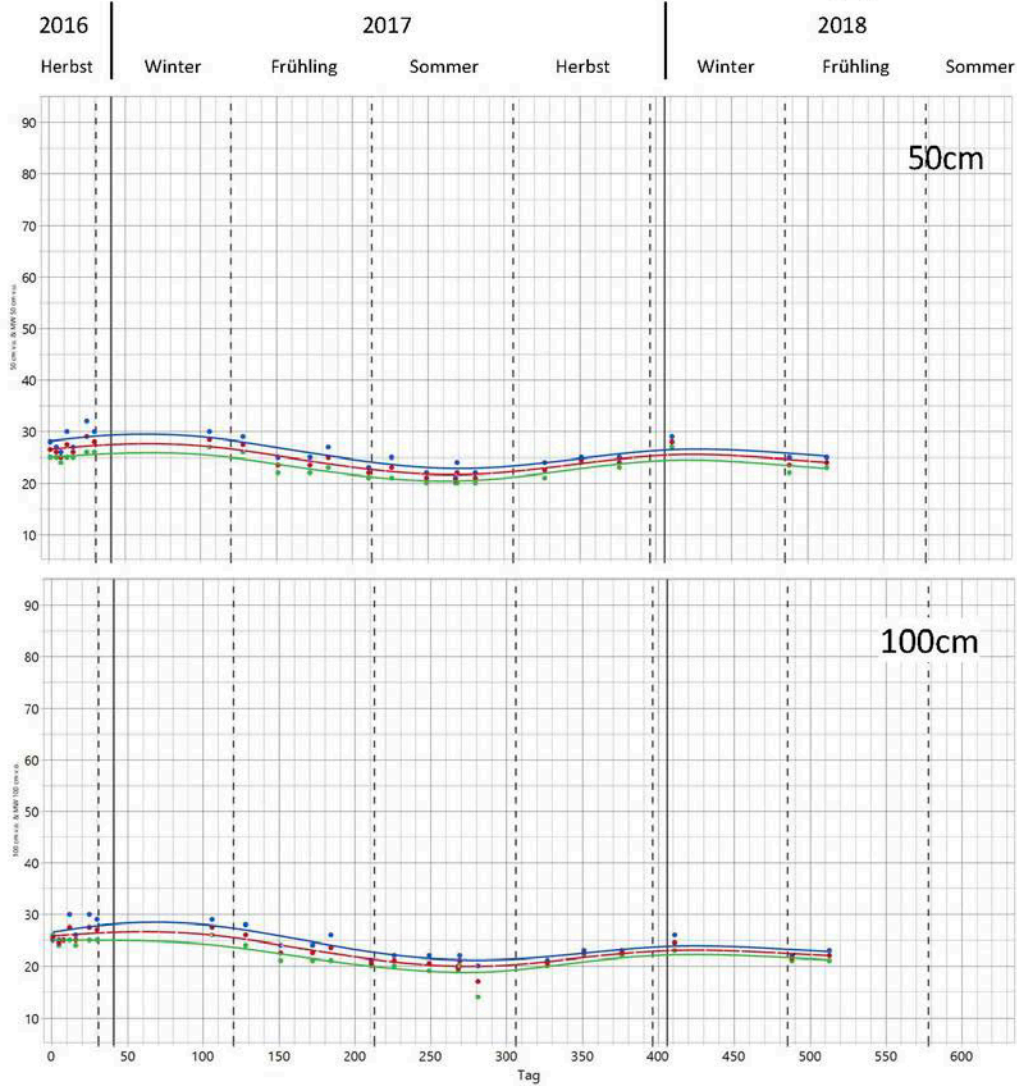




Klotzteich

14

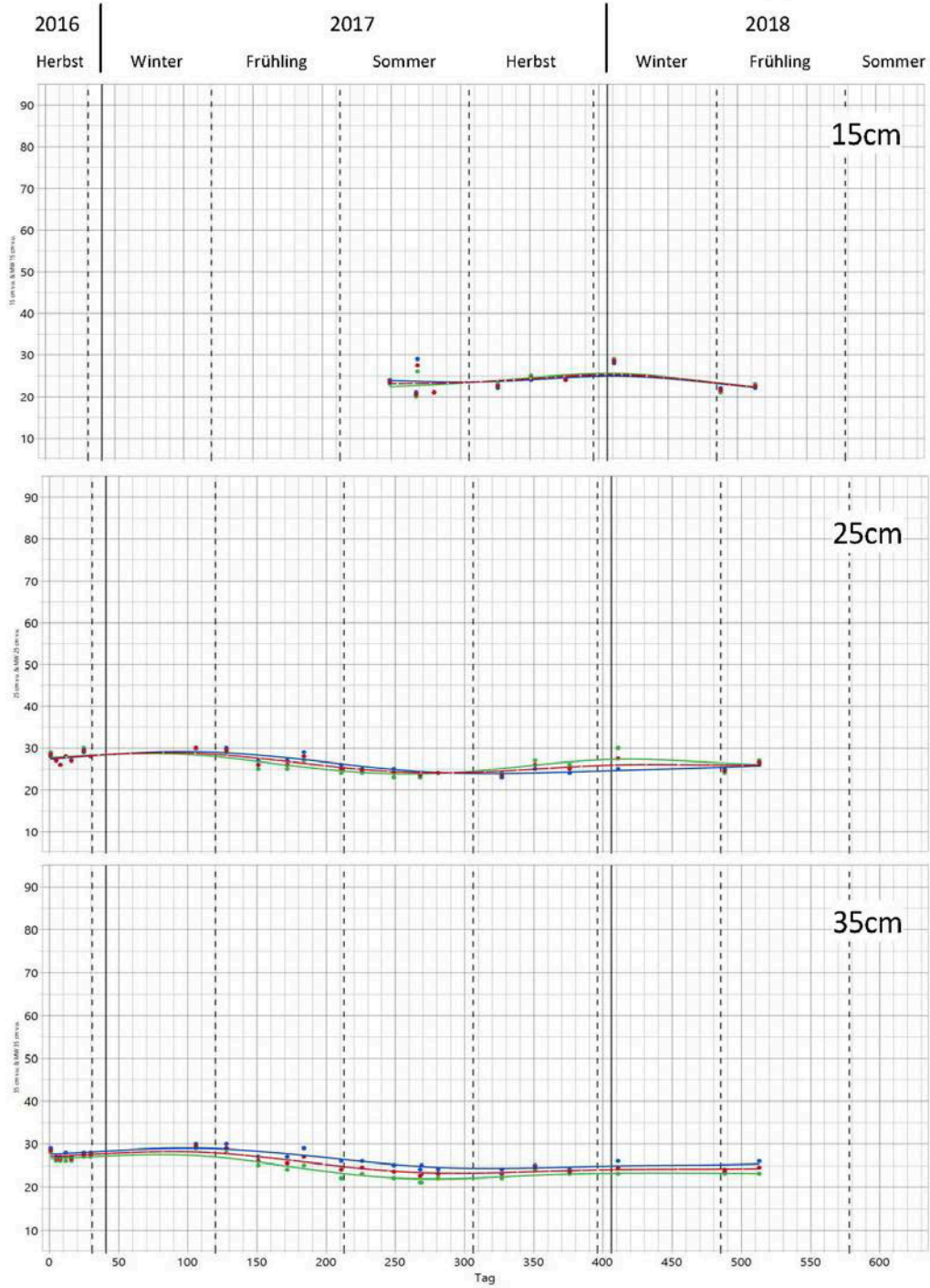
Douglasie



Klotzteich

15

Lärche



Klotzteich

15

Lärche

2016

2017

2018

Herbst

Winter

Frühling

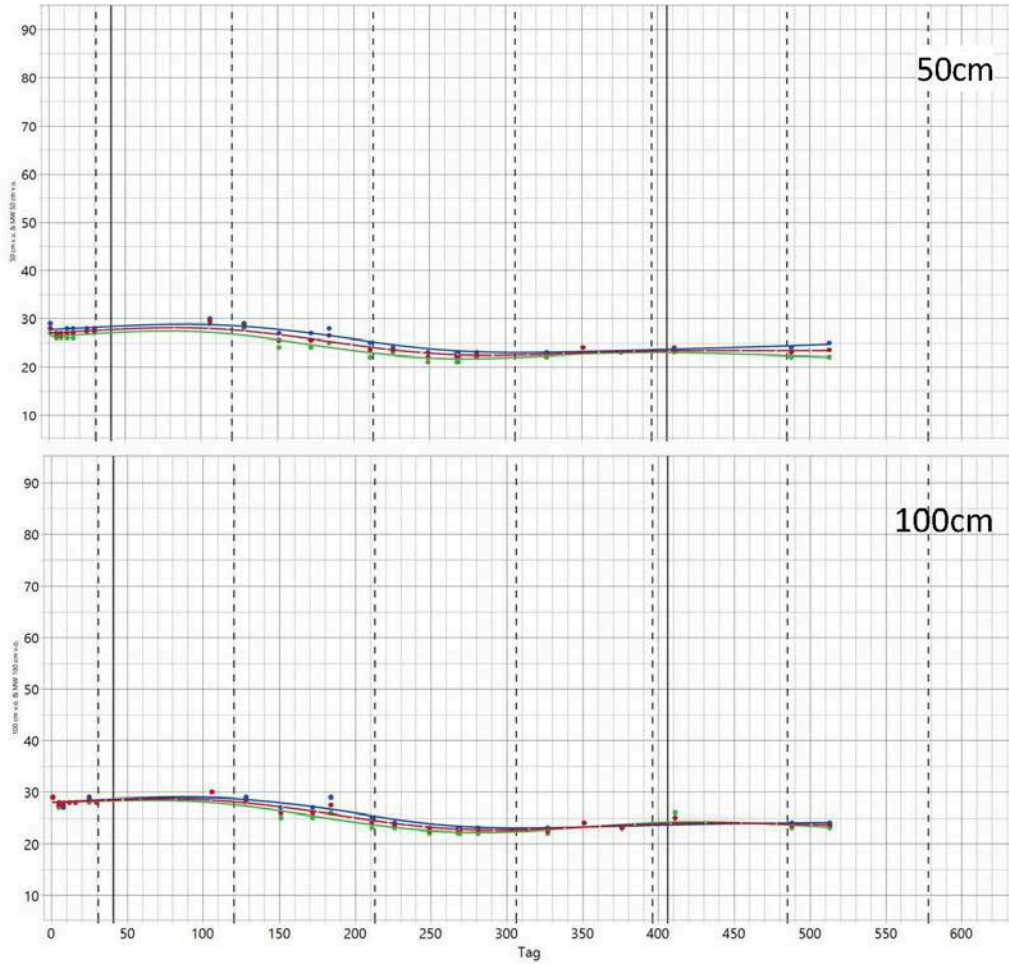
Sommer

Herbst

Winter

Frühling

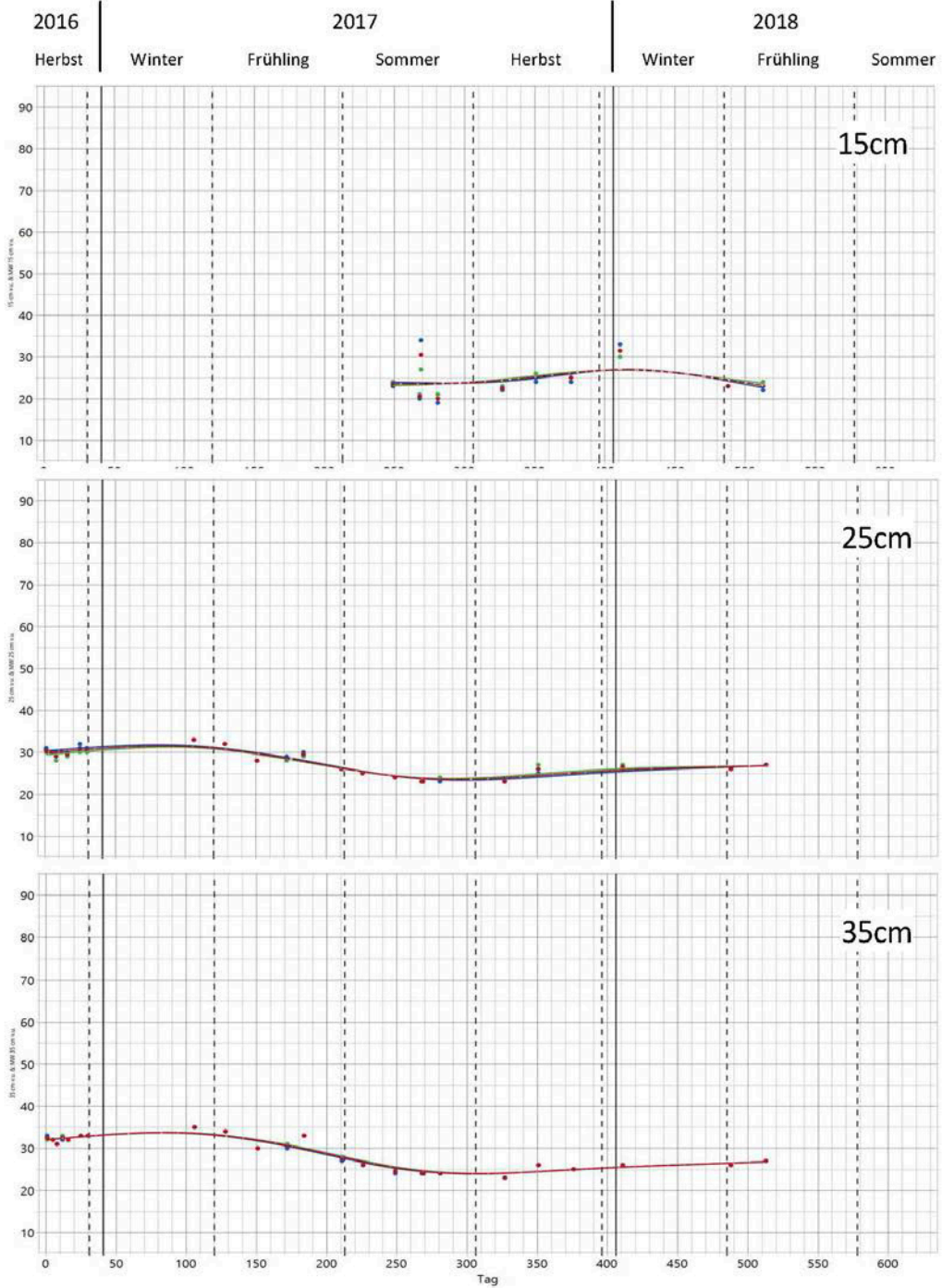
Sommer



Klotzteich

15

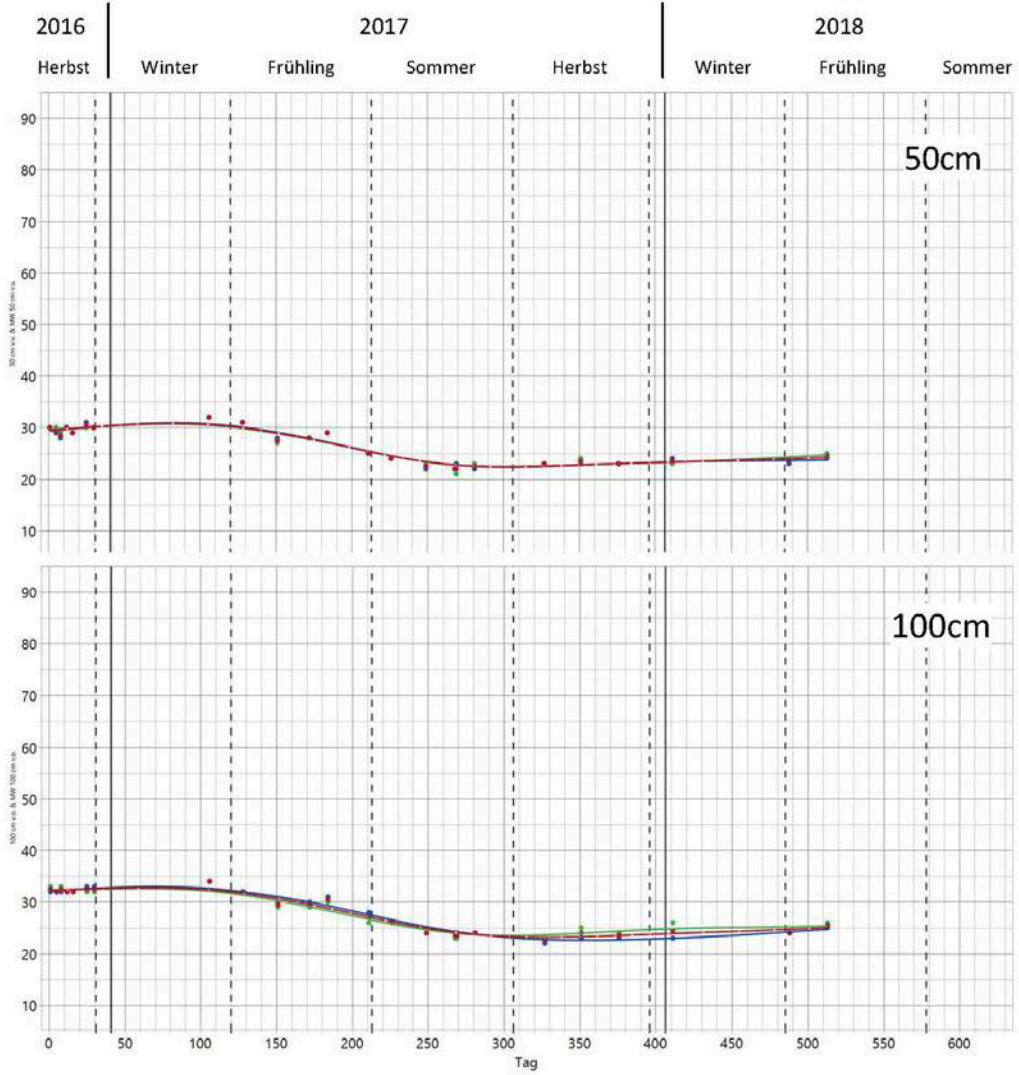
Lärche

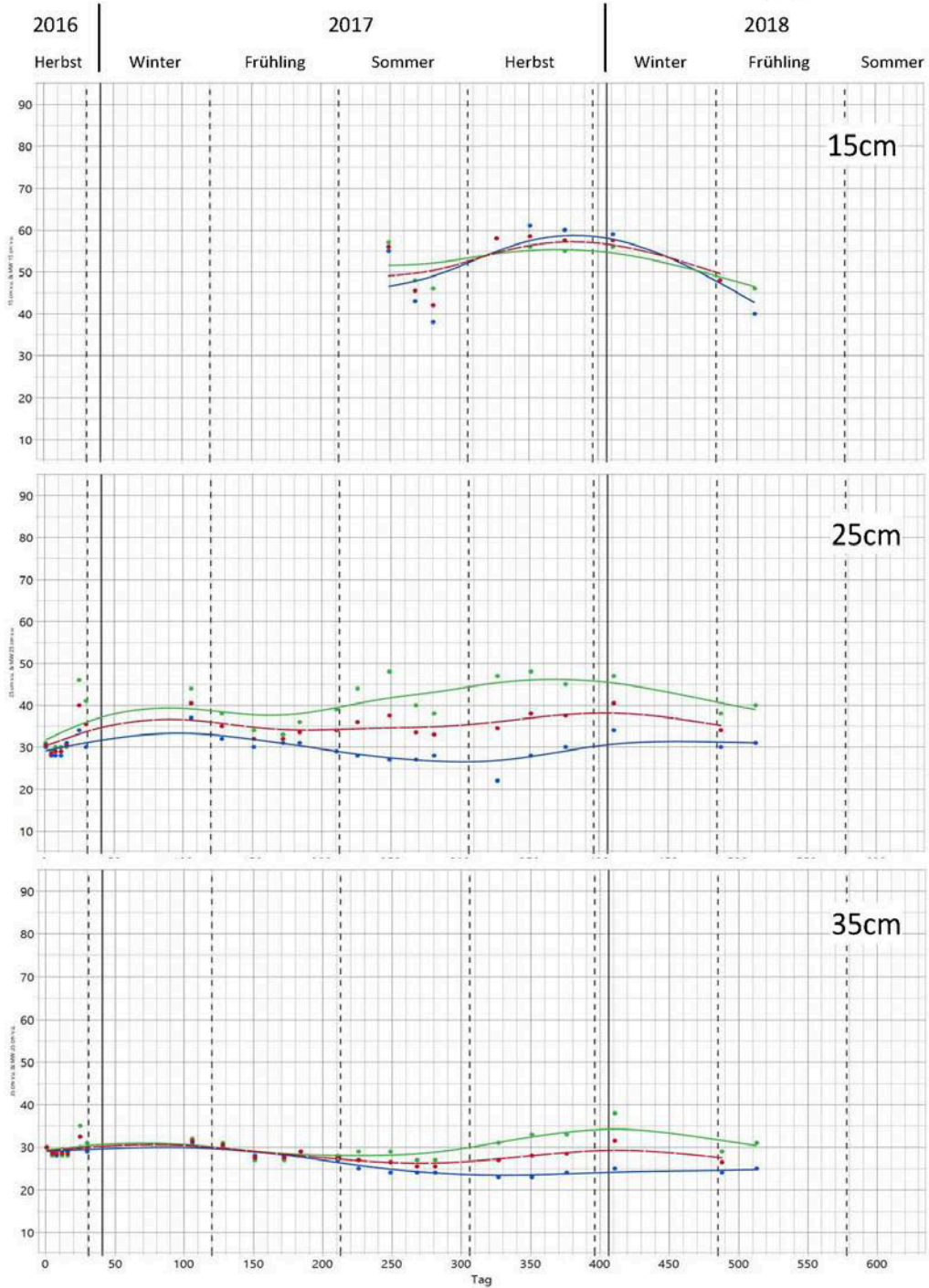


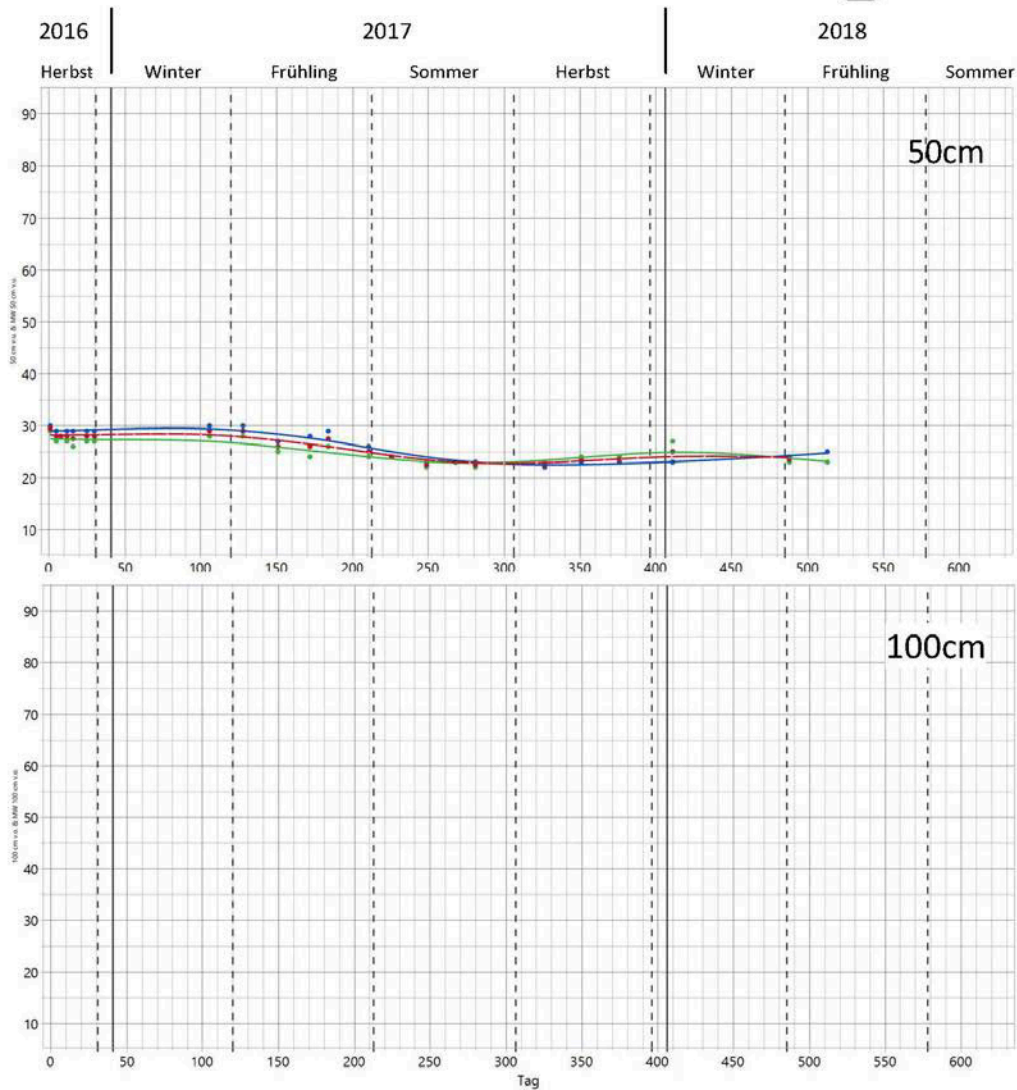
Klotzteich

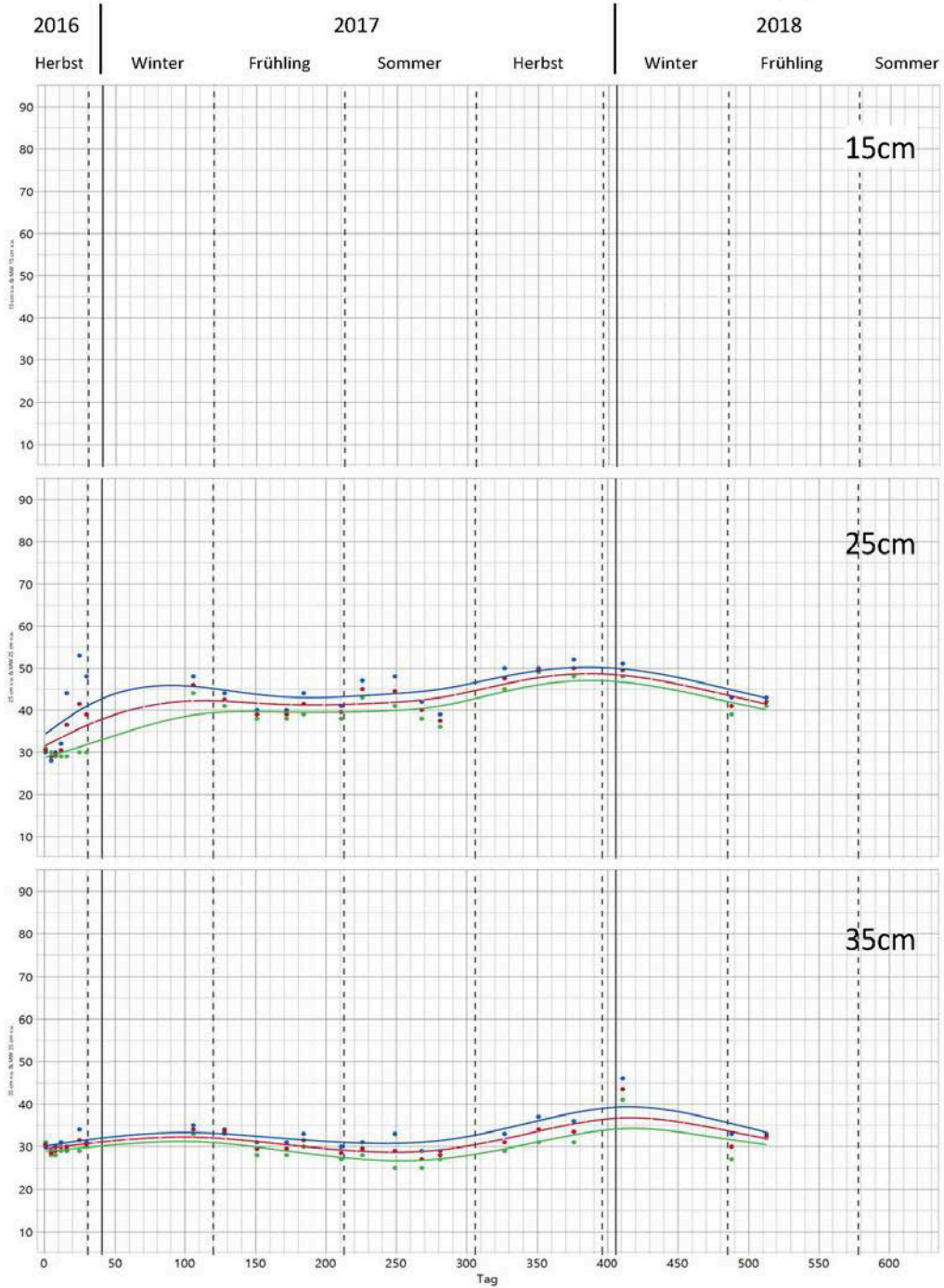
15

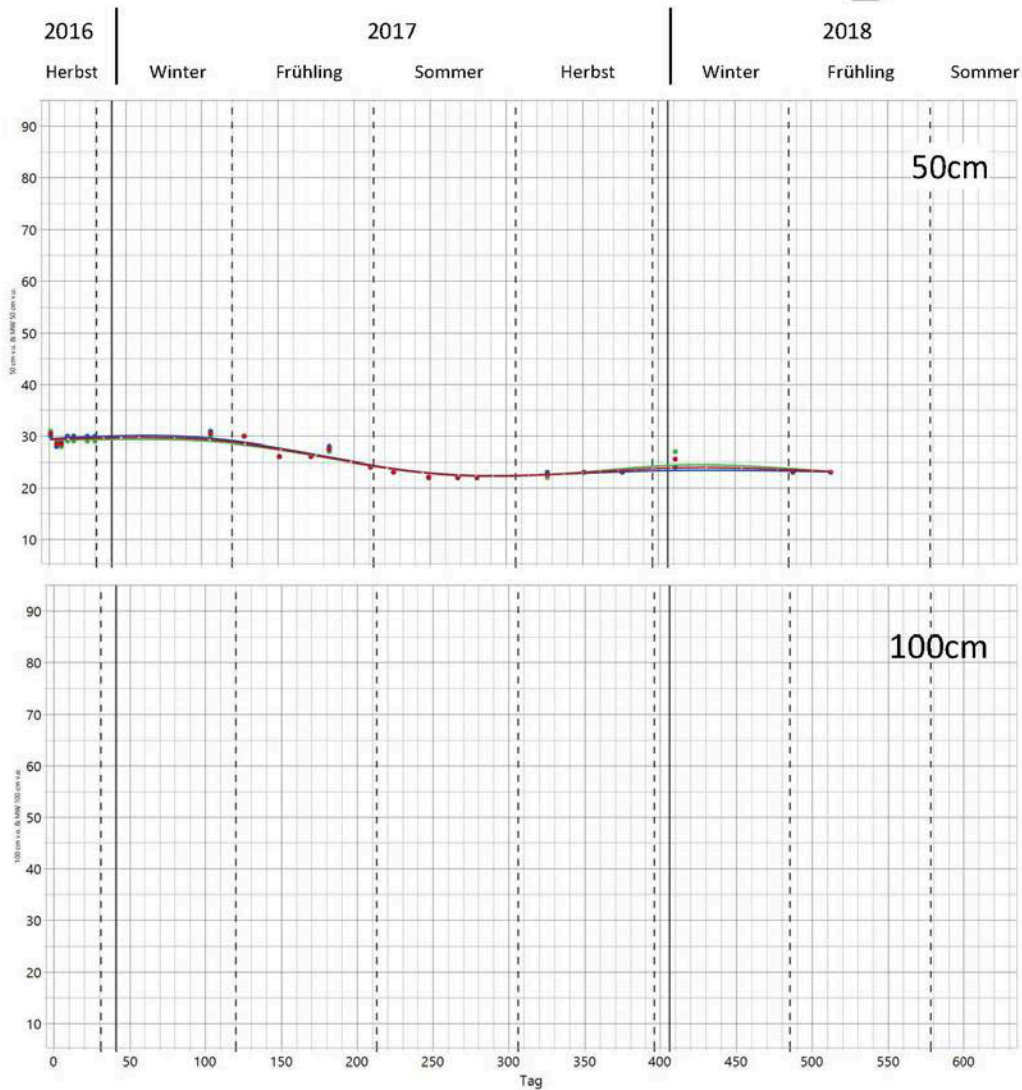
Lärche

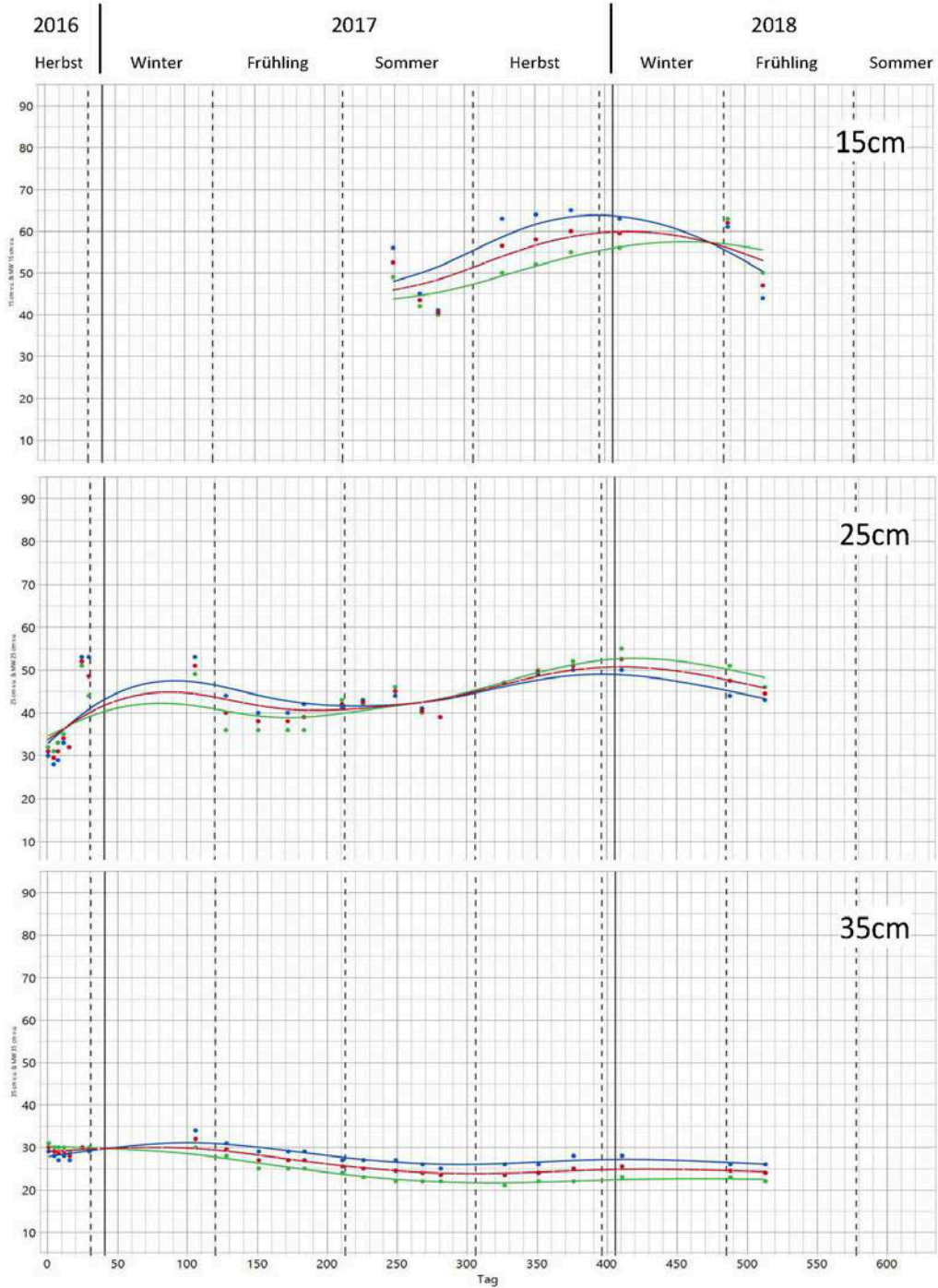


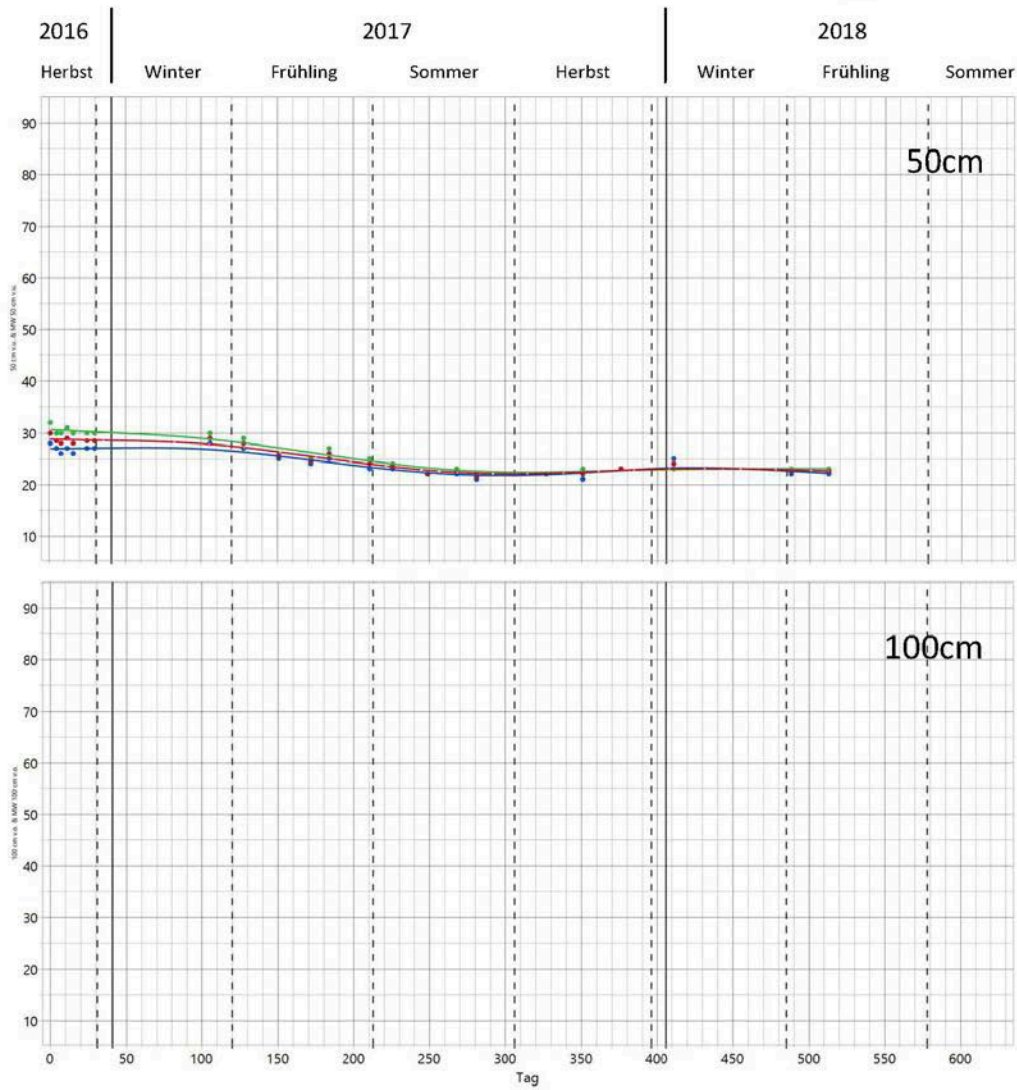


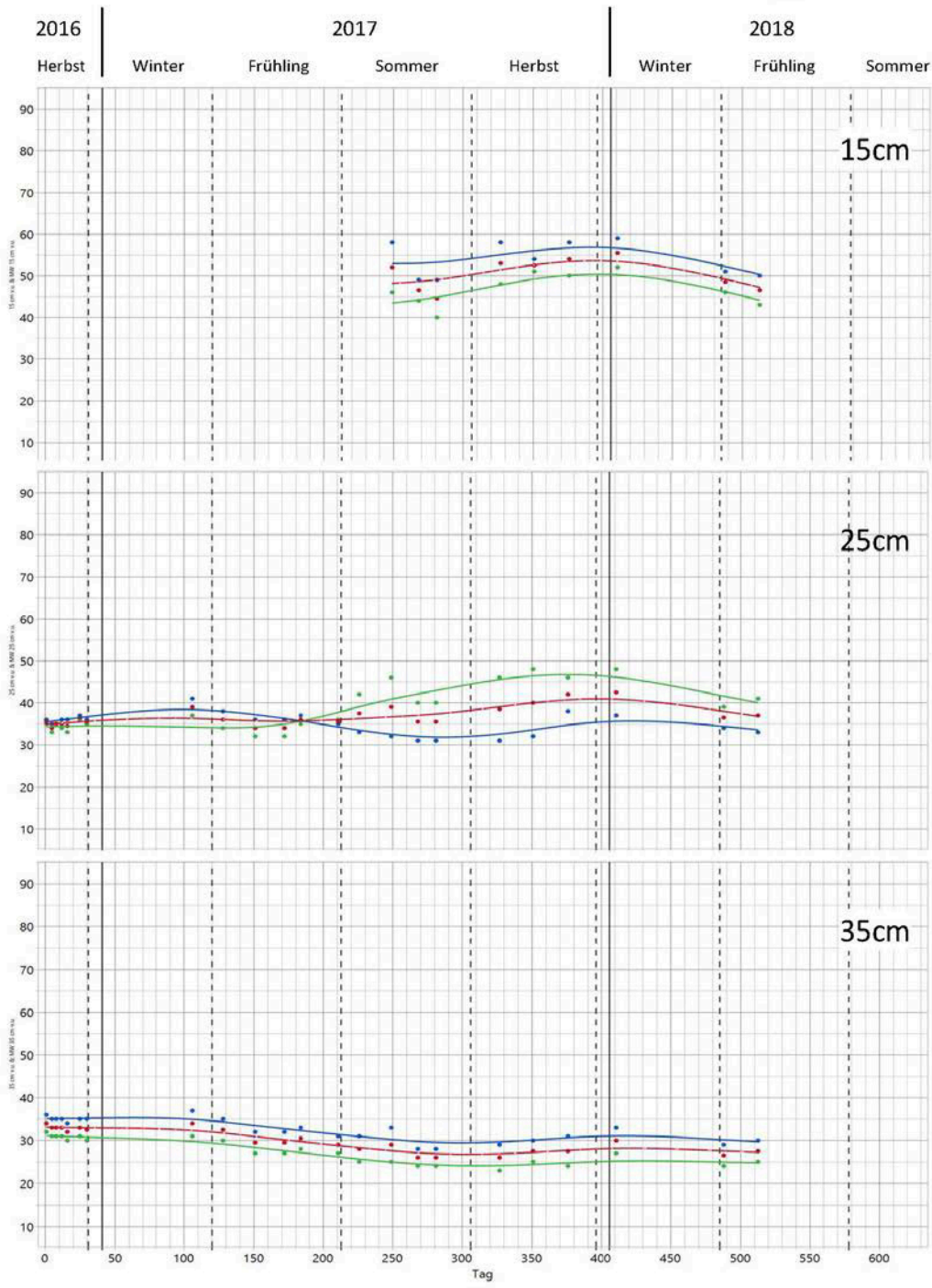


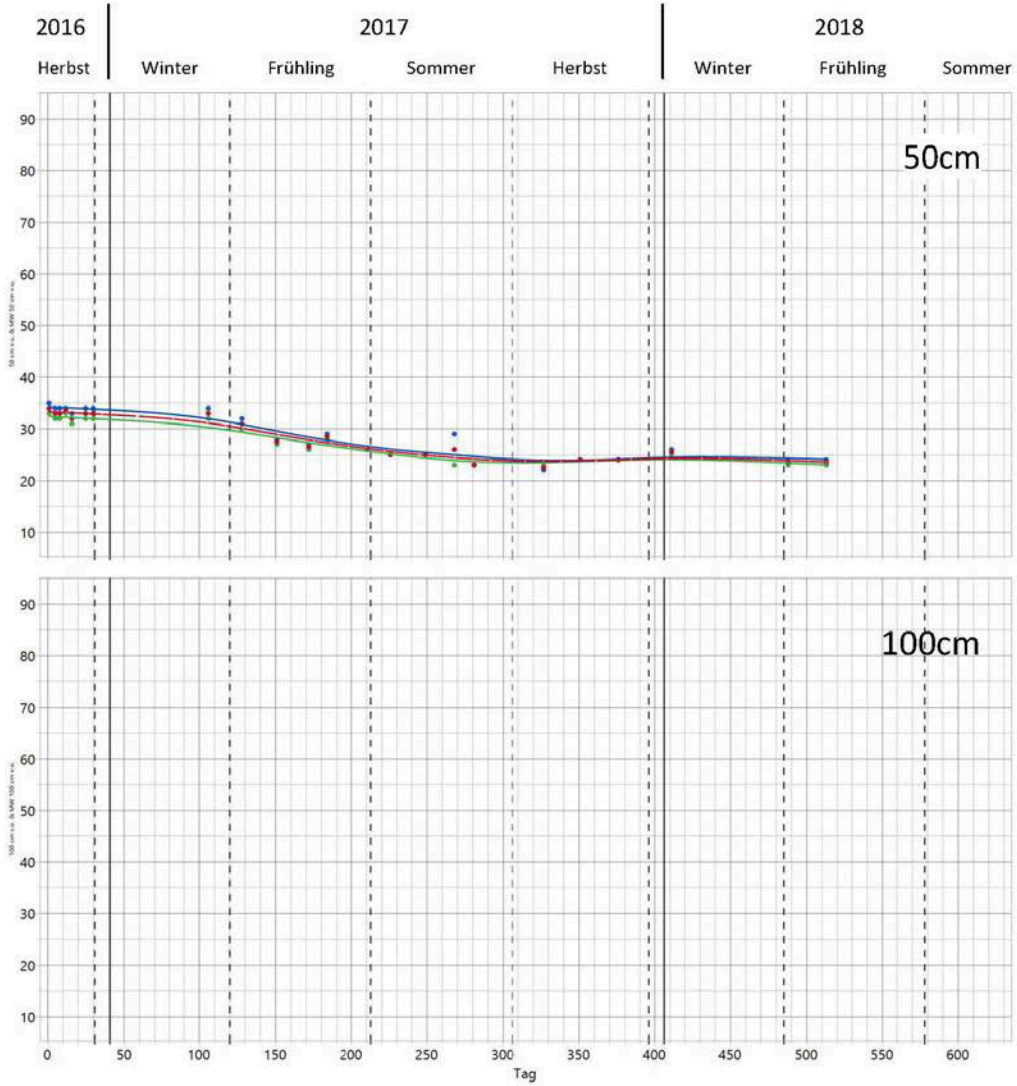


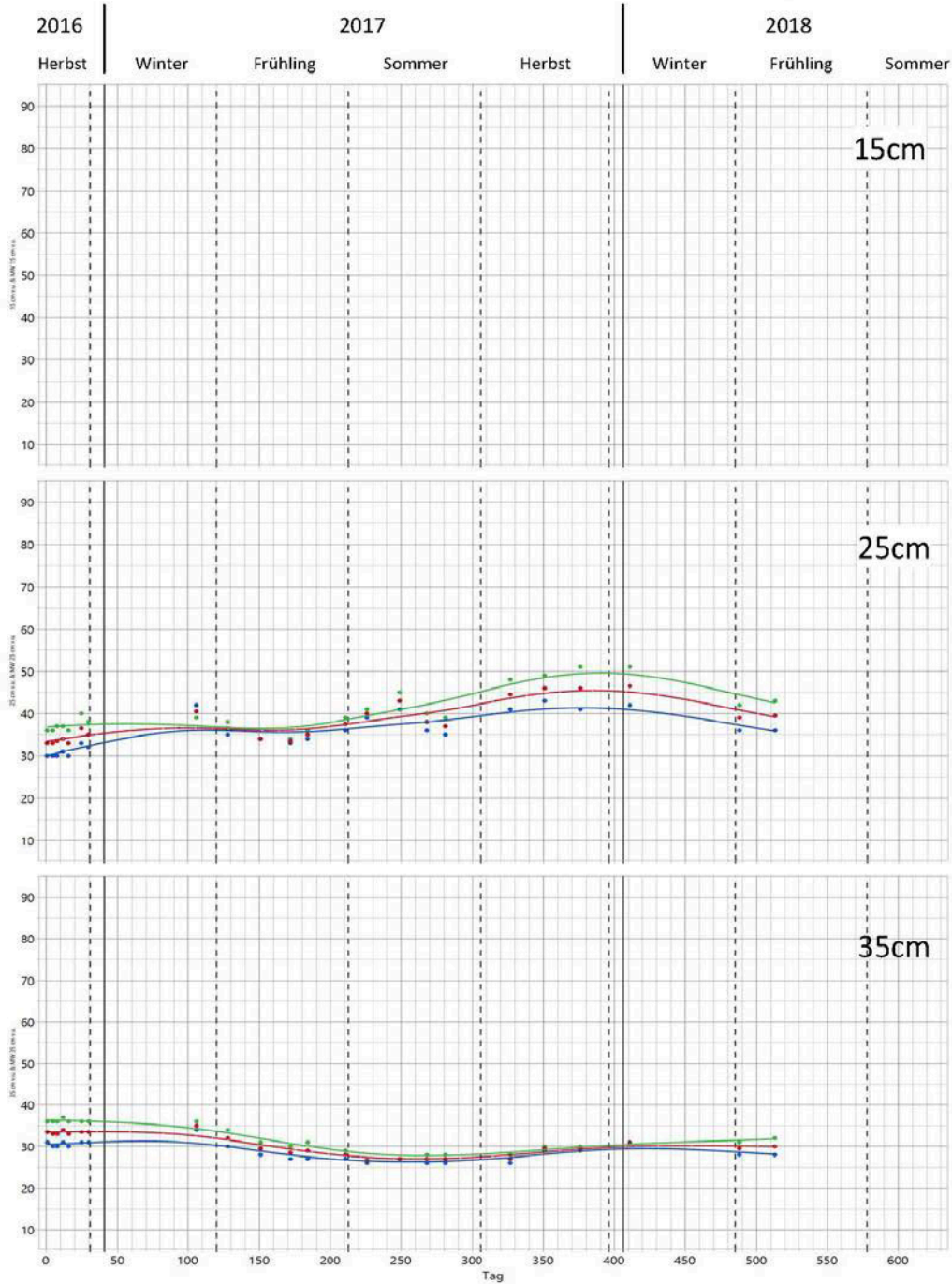


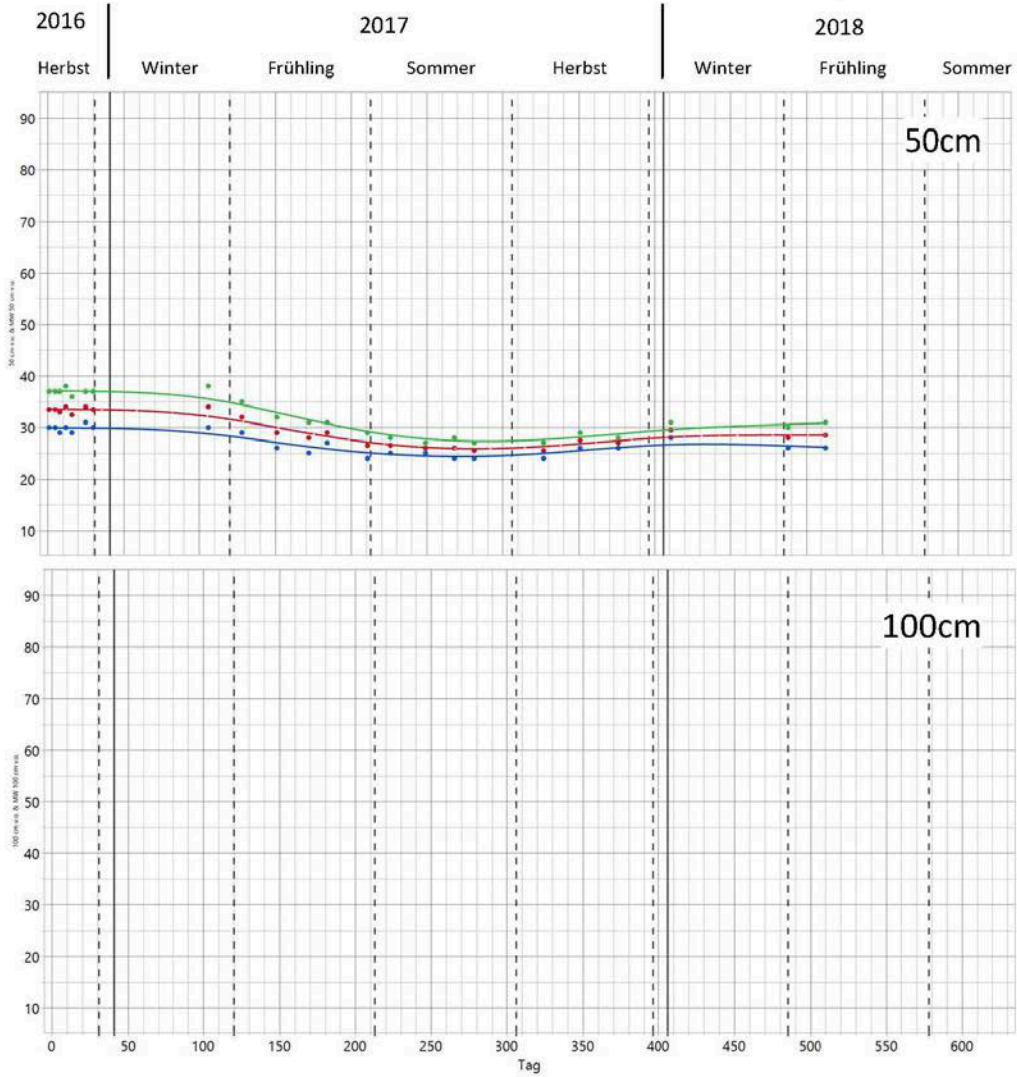


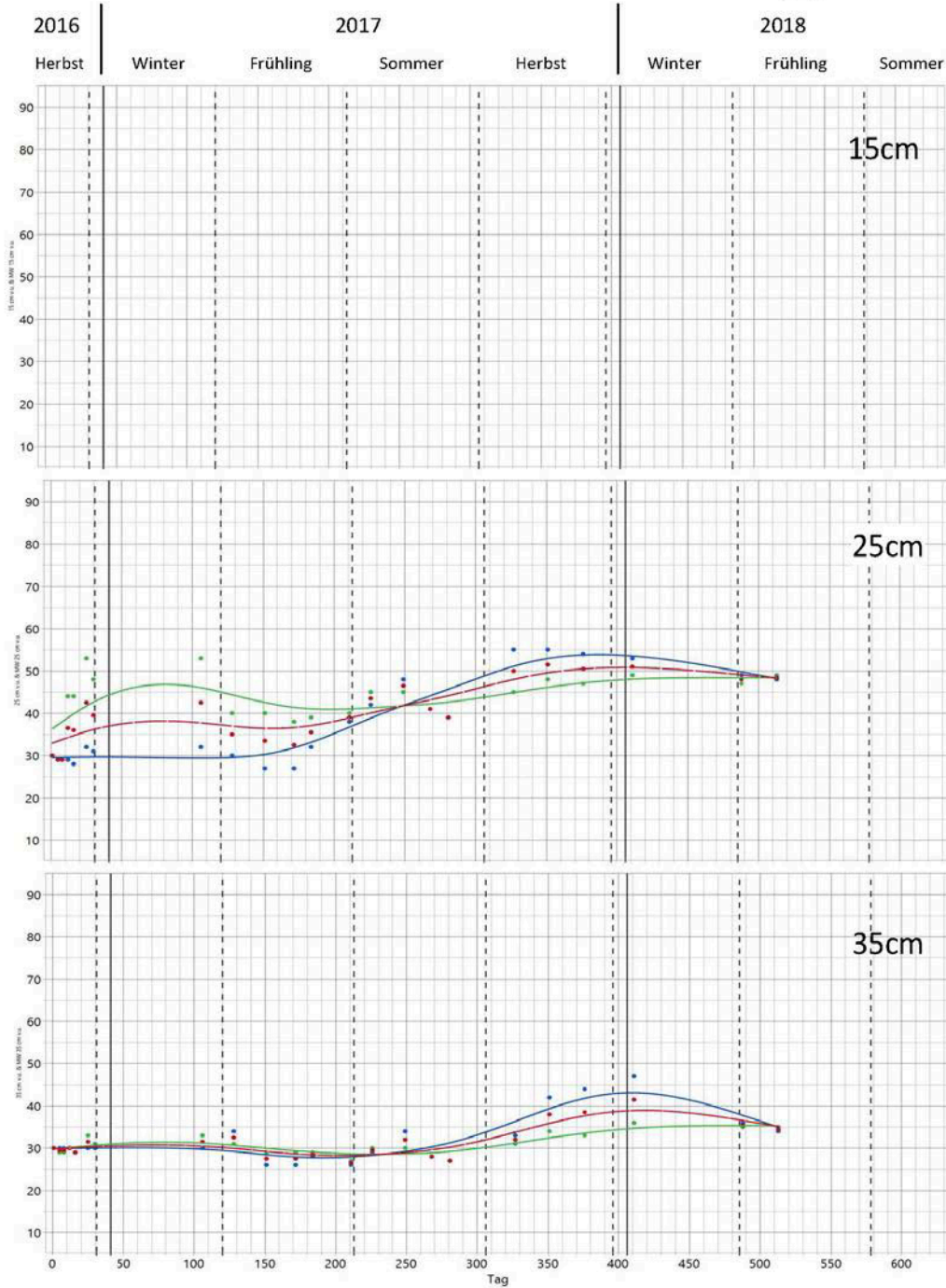


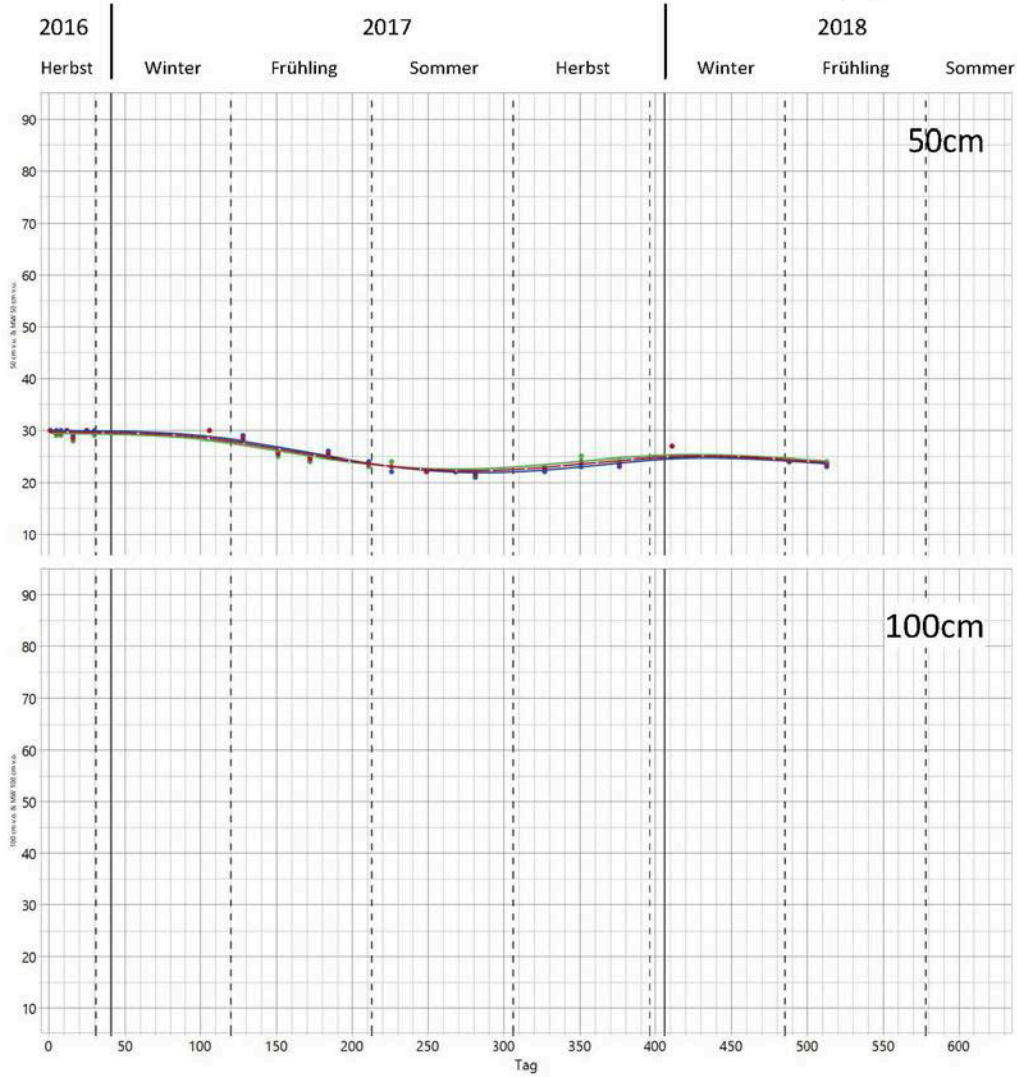


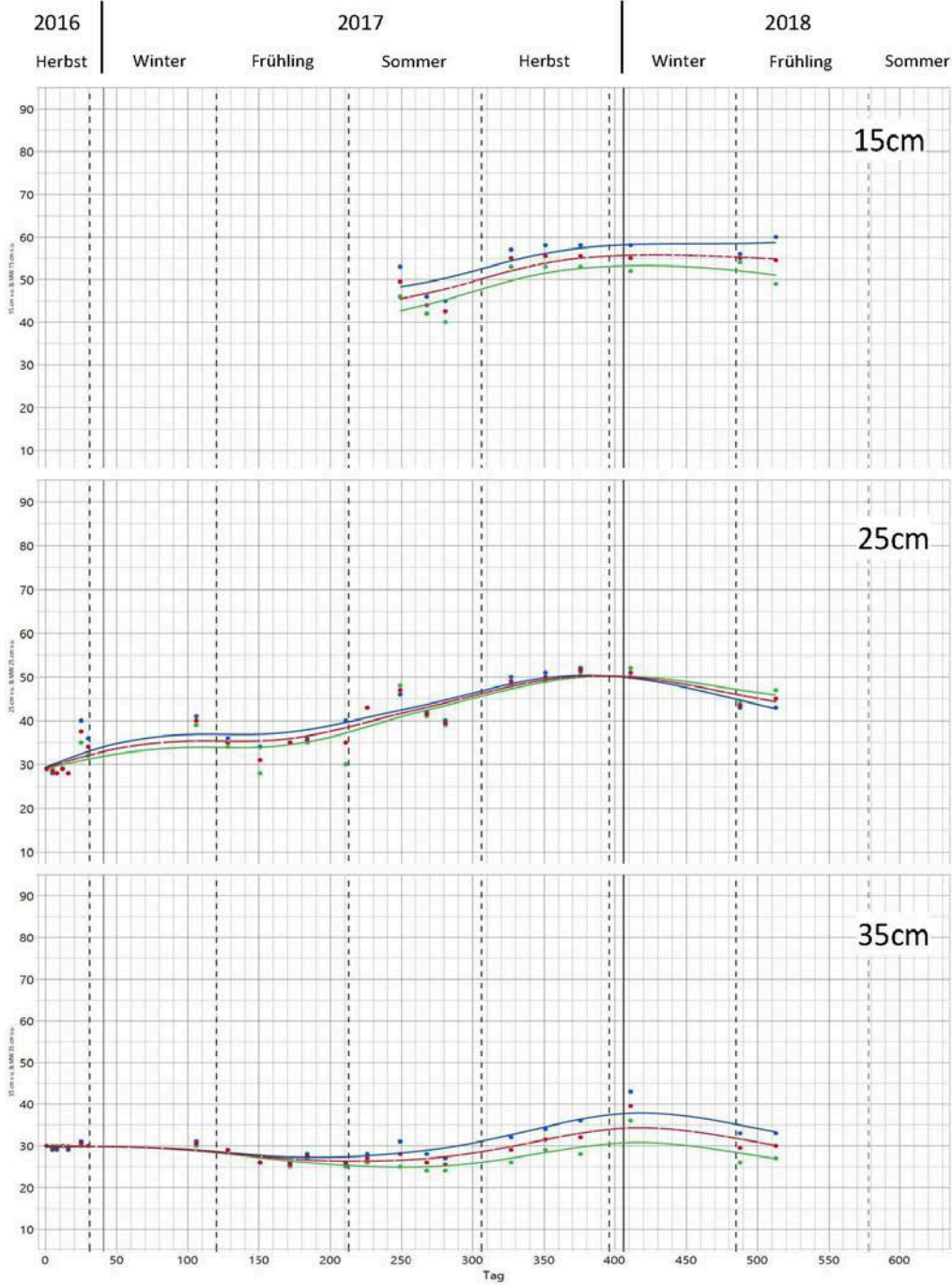


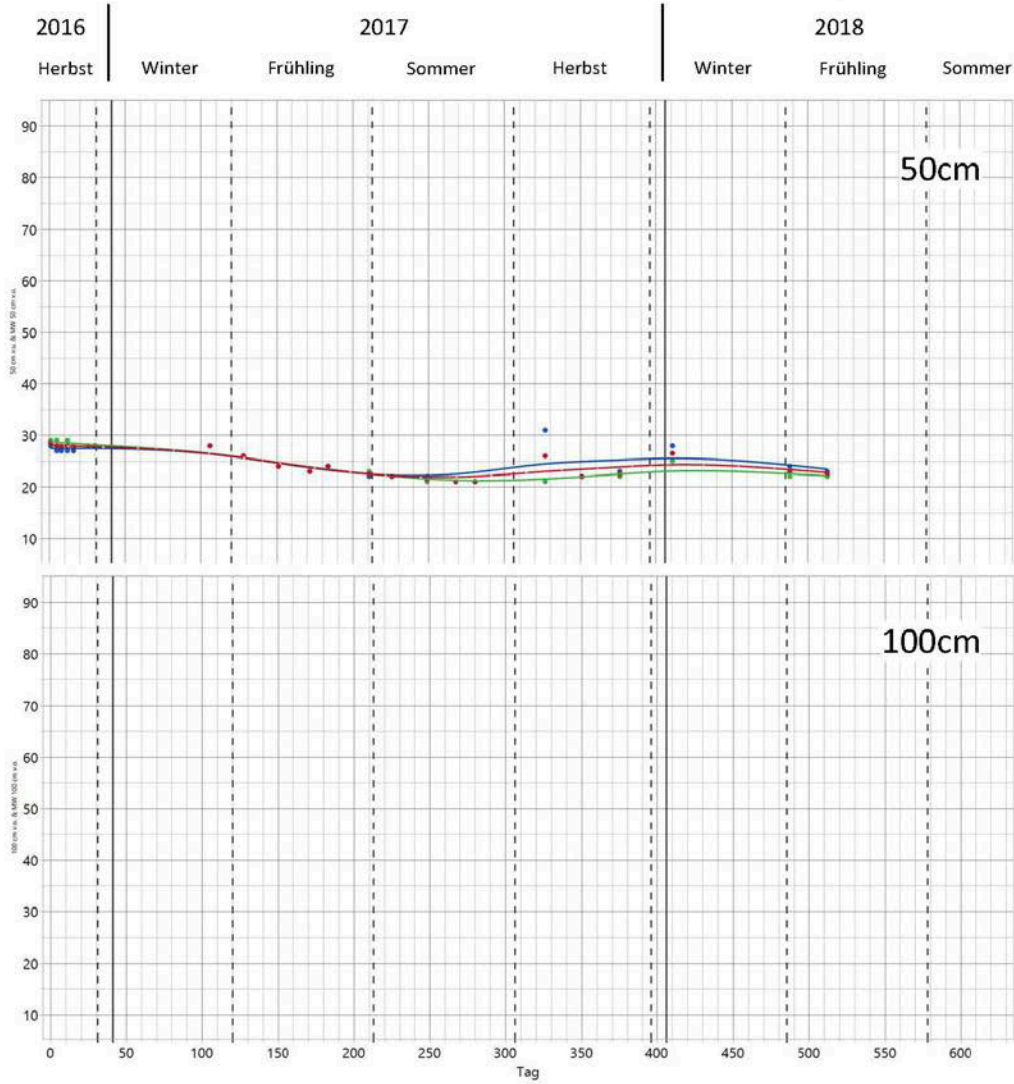


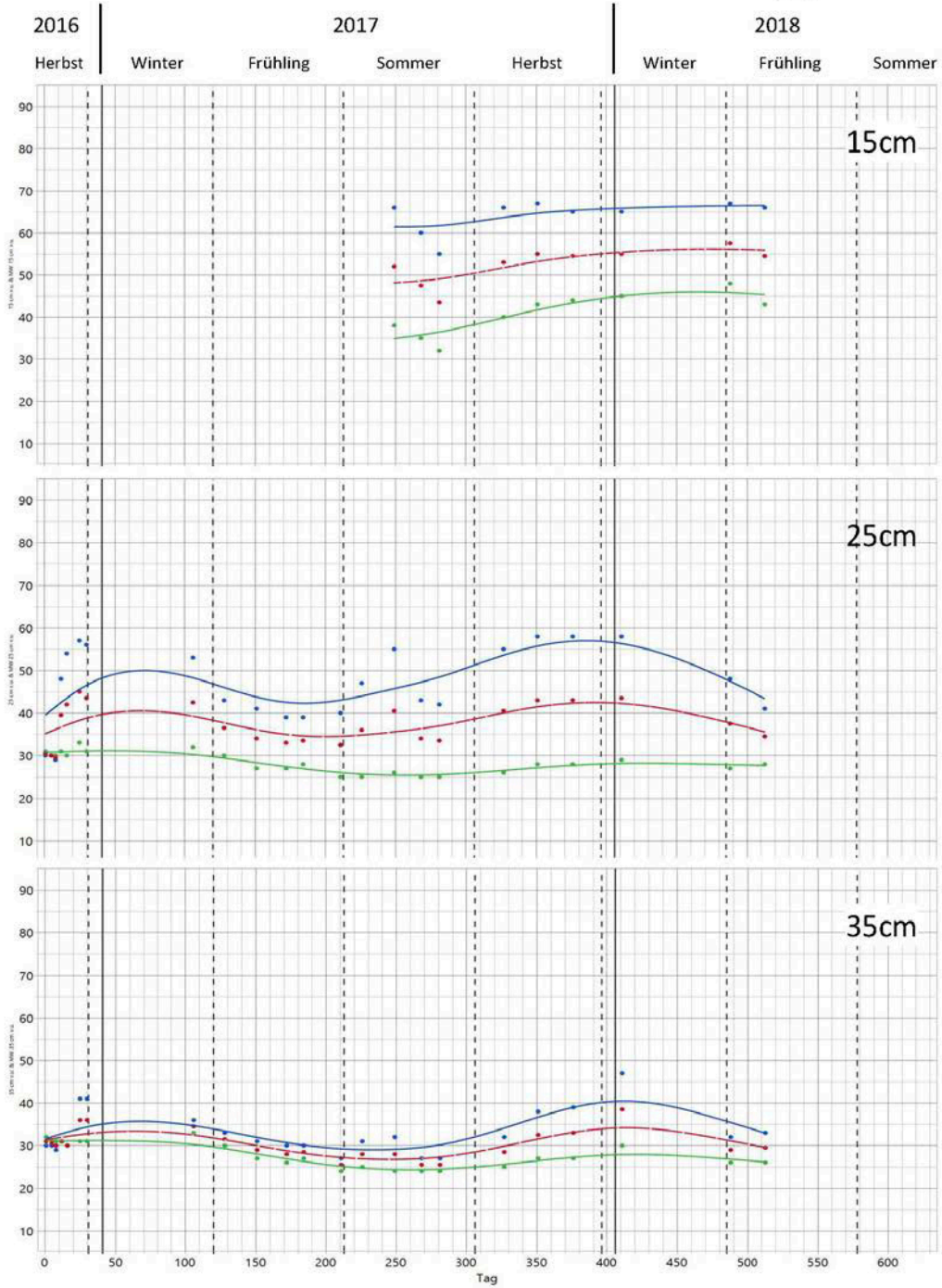


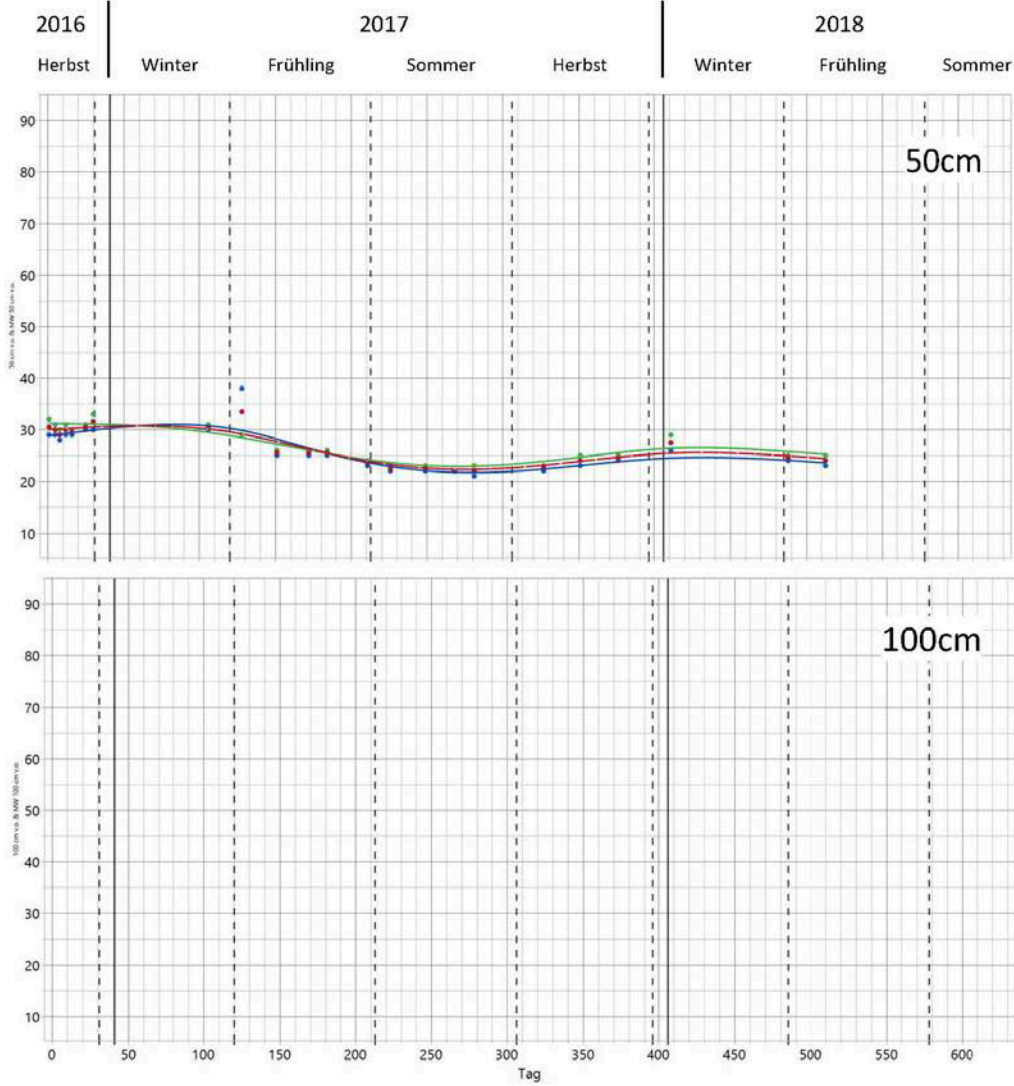












Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand durch die Zusammenarbeit vieler engagierter Kollegen und Mitarbeiter/-innen von Firmen und Forschungseinrichtungen. Das Interesse und der Einsatz der Mitwirkenden motivierten dazu, Fragestellungen anzugehen, die weit über die ursprünglichen Überlegungen hinausgingen.

Ermöglicht wurden die Untersuchungen durch die Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Die Firma Naue GmbH und Niedersachsenports schafften die Voraussetzungen mit ihrer bereitwilligen Unterstützung in Form von Material, sowie Maschinen- und Personaleinsatz für die praktischen Versuche. Niedersachsenforst stellte unbürokratisch Holz für Untersuchungen zur Verfügung.

Die Untersuchungen zur Ausbreitung der Holzbohrmuschel in Ems und Weser wären ohne die Hilfe der Fischer Jan Lohmann Bruhns, Ditzum, und Hans Egon Büsing, Nordenham-Großensiel, kaum möglich gewesen. Schön war es, nicht weit von der Nordsee entfernt mit diesen Praktikern auf dem Wasser sein zu dürfen und dabei mehr über das Leben am Fluss und die Veränderungen am und auf den Flüssen zu erfahren, auch wenn diese nicht nur positiv zu sehen sind.

Tatkräftig unterstützten uns die Herren K. Hermann Jonetzki und Michael Meyer von der Hamburg Port Authority AÖR - ohne sie wäre eine Probennahme im Hafen Hamburg nicht möglich gewesen.

Damit zur wissenschaftlichen Seite...

Im Thünen-Institut nahm Herr Dr. Jochen Trautner die molekularbiologische Bestimmung von *Phlebiopsis gigantea* vor, Frau Marie-Therese Lenz führte Pilzprüfungen durch, Frau Bettina Steffen bereitete die Daten der Holzfeuchtemessungen auf und Herr Thomas Schwarz führte für uns ICP-Untersuchungen durch.

Dr. Uwe Noldt nahm Insektenbestimmungen vor und stand für hilfreiche, fachliche Gespräche zur Verfügung.

Zu guter Letzt sei Frau Dipl.-Ing. Sandra Tilleke vom Institut für Bauphysik der Leibniz Universität Hannover erwähnt. Die Betrachtungen von Längsverbindungen an Rammpfählen zeigte auf, wie konstruktiv Verbesserungen vorgenommen werden könnten.

Allen vorgenannten Personen und Einrichtungen wird für ihre Unterstützung herzlichst gedankt.

DBU-Projekt AZ 32571/01

Praxisnahe Untersuchungen zum Schutz von Holz im Meerwasser

Teil: Pilzbesatz an Dalben und Hafenkonstruktionen (Wasserbauhölzer).



Abb. 1: Typische Dalben einer Hafenanlage mit sichtbaren Fäuleschäden (Nessmer-Siel, 22.01.2016); Eckbild: verdeckter Fäuleschaden nach Prüfung; das Holz war mit dem Daumen eindrückbar (Bild: T. Huckfeldt).

- Zeichen:** Dalben
- Projekt nr.:** DBU-AZ 32571/01 (Antragszeichen: 30193-23)
- Projekt-Träger:** DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt)
- über (Projektleiter)** Diplom-Holzwirt Dr. Johann Müller
Neudörpen 8
D-26892 Dörpen
- Projekt-Partner:** Institut für Holzqualität und Holzschäden
Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR
Essener Straße 4, D2, 22419 Hamburg

- Ortstermine (IF-Holz¹):**
1. Hafenstraße (Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH); Koordinaten: 53°37'25.4"N 7°09'38.7"E am 22.01.2016.
 2. Nessmer-Siel Hafen (Wichter Ee); Strandstraße, am ersten Parkplatz (gesehen vom Land aus; Koordinaten: 53°40'58"N 7°21'36"E) am 22.01.2016
 3. Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai; Koordinaten: 53°32'30" N 9°59'24"E), Großer Grasbrook (Hafen, Koordinaten: 53°32'26"N 9°59'12"E) am 30.03.2017.
 4. Hamburg, Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg, am 17.04.2018 (Abb. 33), Details siehe Punkt 2.7 im Abschlussbericht.

Die Ergebnisse der Untersuchung und Auswertung von insgesamt 146 Proben (labortechnische Untersuchung) „Untersuchungstermine an verschiedenen Standorten“ werden nachfolgend dargestellt; hierzu wurden 140 Pilz-, 2 Holzarten- und 4 Insektenbestimmungen durchgeführt (Tab. 2).

Der Bericht besteht aus 60 Seiten und enthält 42 Abbildungen sowie zwei Tabellen.

Fragestellung: Welche holzerstörenden Pilze treten an den Dalben und Hafenkonstruktionen (im Folgenden kurz „Dalben“) auf, und welche Bedeutung haben sie für die Langlebigkeit der Holzkonstruktion?

Bilderklärungen, Begriffe

Vor die „**Ergebnisse**“ haben wir ein kurzes Glossar gesetzt, damit die hier genutzte Terminologie richtig ausgelegt wird, da es im Internet und der älteren Literatur zu anderen Auffassungen kommt. Zudem ergibt sich ein Einblick in die Möglichkeiten und Grenzen der Lichtmikroskopie. Die Dalben-unspezifischen Texte stammen meist aus HUCKFELDT (2017) bzw. HUCKFELDT / SCHMIDT (2015) und wurden angepasst.

Dalben-Zonen

Die hier genutzten Bezeichnungen an den Dalben sind in Abb. 2 im Bild dargestellt. Aus dem Bereich unterhalb des Tidenbereiches (ggf. ständig im Meerwasser) wurden nach Datenlage keine Proben entnommen, daher wurde diese Zone nicht weiter berücksichtigt.

Fäuletypen

Je nachdem, wie und welche Bestandteile aus dem Holz gelöst werden bzw. wie es nach der Besiedlung und Nährstoff-Entnahme aussieht, werden verschiedene Fäuletypen unterschieden: Braun-, Weiß- und Moderfäule.

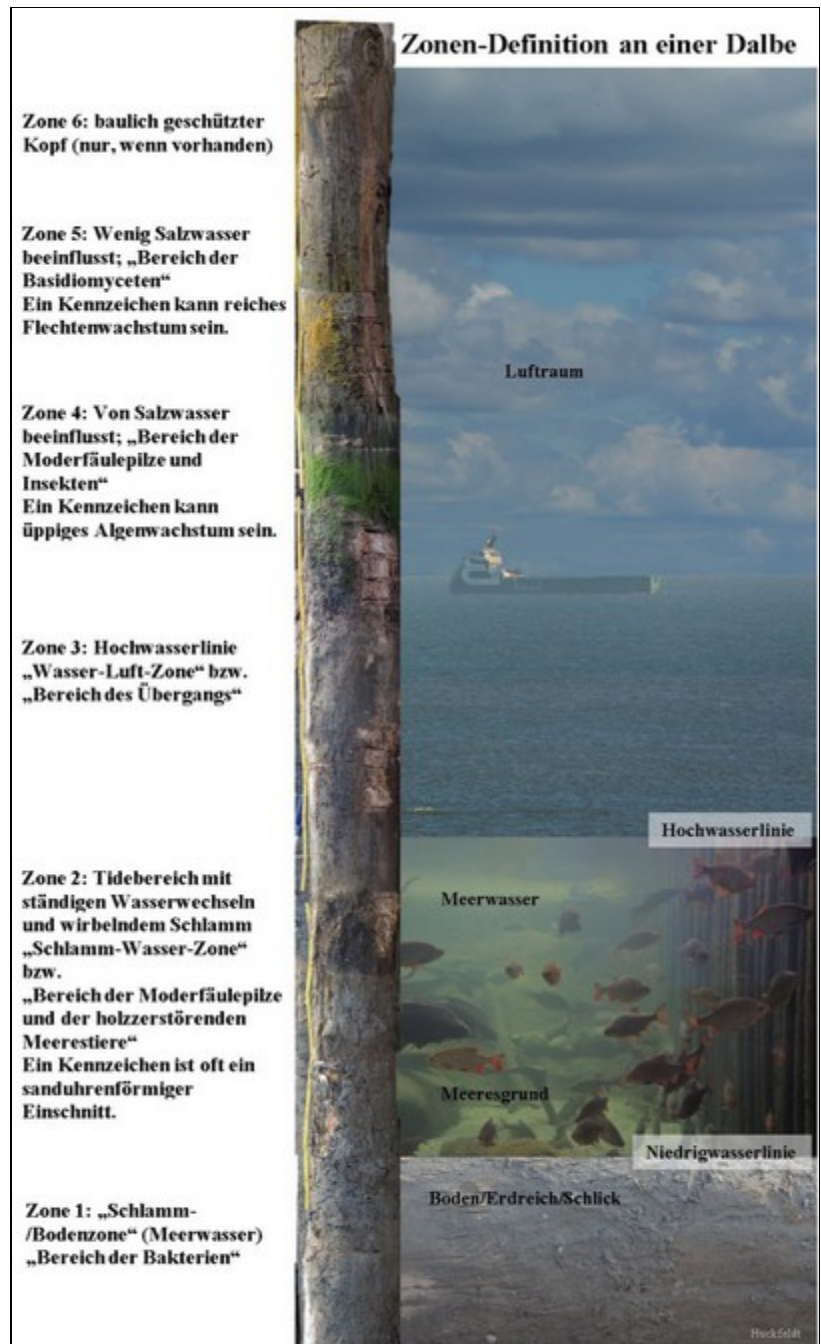


Abb. 2: Dalbe ist in den unterschiedlichen Höhen verschiedenen biotischen Belastungen ausgesetzt; Hauptschaden jeweils genannt (Bildmontage: T. Huckfeldt).

¹ Die Ortstermine mit Probennahmen von Herrn Dr. Müller sind in „Tab. 2: Diagnosen“ genannt.

Braunfäule

Braunfäulepilze bauen Cellulose, Hemicellulosen und Pektine ab. Mit dem Abbau verliert Holz schnell seine mechanischen Eigenschaften, noch bevor ein intensiverer Masseverlust eingesetzt hat (BARISKA et al., 1983). Braunfaules Holz schrumpft beim Trocknen meist in axialer Richtung, was zu dem typischen Würfelbruch mit Rissen quer und längs zur Holzfaser führt. Oder es kommt zu ringförmigem Zerfall (muschelähnlicher Bruch) des Holzes, wenn der Abbau im Frühholz schneller als im Spätholz voranschreitet.

Die Hyphen der Braunfäulepilze wachsen meistens im Lumen des Holzes – nur selten direkt in den Zellwänden – und zersetzen das Holz durch ihre Enzymabgabe etc. Der Abbau beginnt dabei oft in der Sekundärwand 1. Kavernen werden kaum gebildet, jedoch vermindert der starke Cellulose-Abbau die Polarisation des Holzes; dies ist ein Nachweis für einen Braunfäule-Befall (ANAGNOST, 1998; KREMER, 2002; LOHWAG, 1937; SCHNEIDER, 1922; Abb. 3). Zudem ergeben sich im stark abgebauten braunfaulen Holz oft Tüpfelschäden und feine Mikrorisse (Abb. 4).

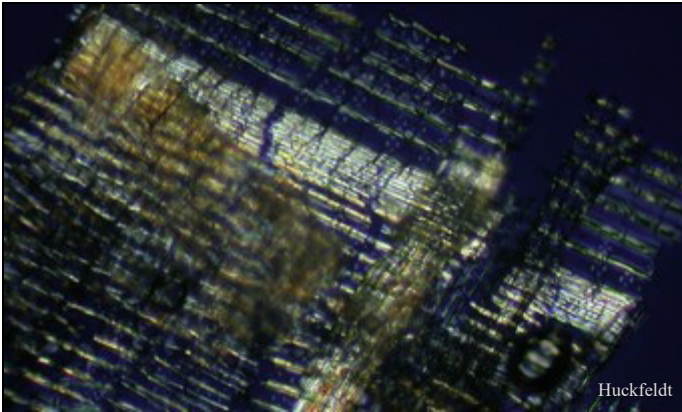


Abb. 3: Braunfaules Holz im polarisierten Licht - zerstörte Teile verlieren/vermindern ihre Polarisation – ca. 500-fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

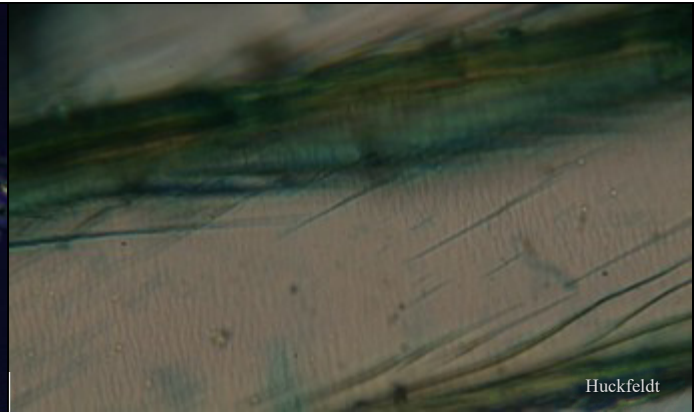


Abb. 4: Mikroskopische Durchlichtaufnahme: final zerstörtes braunfaules Holz; Hyphen wurden resorbiert, feine Risse sind entstanden – ein Trocknungsartefakt – ca. 1000-fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

Weißfäule

Weißfäulepilze bauen neben Cellulose, Pektinen (in geringerem Maße) und Hemicellulosen auch Lignin ab. Weißfaules Holz wird faserig, weich und meist im Verlauf des Abbauprozesses heller (deshalb die Bezeichnung: „Weißfäule“). Eine Rissbildung quer zur Faserrichtung erfolgt nicht. Die mechanischen Eigenschaften des Holzes bleiben daher im Vergleich zur Braunfäule länger erhalten, allerdings kann die Bruchschlagfestigkeit nach einem zweiwöchigen Pilzbefall im Labor um 20 % sinken (SEIFERT, 1968).



Abb. 5: Mikroskopische Durchlichtaufnahme: Weißfäule-Kaverne, die Zerstörung des Holzes verläuft streng von außen nach innen – ca. 1000-fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

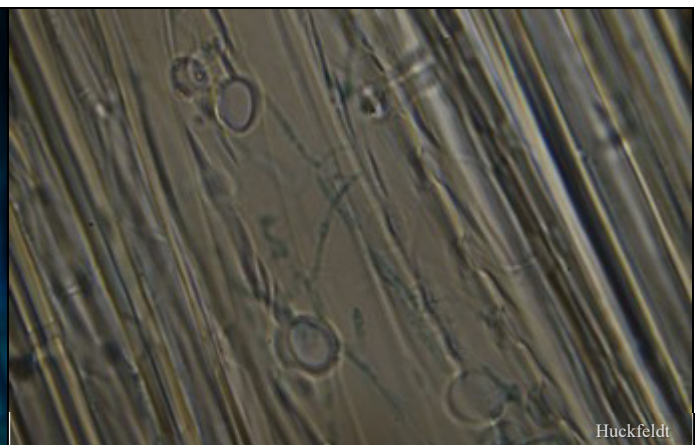


Abb. 6: Runde bis ovale Kavernen in der Zellwand mit feiner, durchwachsender Hyphe (blau) – ca. 1000-fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

Die Hyphen der Weißfäulepilze wachsen ebenfalls meist im Lumen. Der Holzabbau unterscheidet sich von dem oben beschriebenen. Der Abbau schreitet in den Holzzellen streng vom Lumen (innere Holz-Oberfläche) zur Mittellamelle fort, wobei die einzelnen Wandschichten meist gleich intensiv nacheinander abgebaut werden; es ergeben sich dabei Kavernen von z. T. unterschiedlicher Art (Abb. 5 und Abb. 6).

Moderfäule

Ähnlich wie bei der Braunfäule werden fast nur Cellulose und Hemicellulosen abgebaut. Daher zeigt trockenes moderfaules Holz oft einen Würfelbruch (Abb. 7). Dieser ist i.d.R. fein und wird oft als Braunfäule-ähnlicher Würfelbruch dargestellt, zuweilen tritt auch ein Holz-Abschilfern auf. Makroskopisch schwerer zu bestimmen sind Doppelbefälle mit von Weiß- und Moderfäulepilzen, da sie die Moderfäule dann oft weniger schwarzgrau sind und sich so farblich noch mehr der Braunfäule annähern. Jedoch sind die Abbaumechanismen andere: Ein Charakteristikum der Moderfäule ist ein kavernenförmiger Abbau der Holzzellwände (Abb. 8 und Abb. 9).

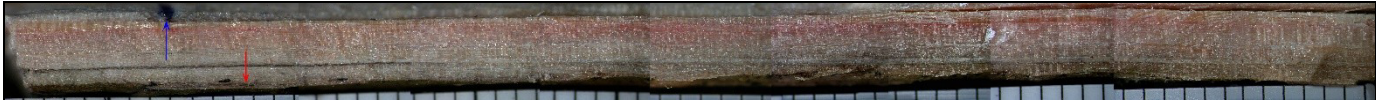


Abb. 7: Rundholz Nr. 2.: Probenanschnitt (Bildzusammenstellung), ca. 9 cm lang (rechts unten - im Wasser, links im Luft-raum); Holzabbau durch Moderfäulepilze (Hauptschaden) nach abnehmend (noch rechts nach links); Würfelbruch schwer zu sehen (roter Pfeil); Wasserspiegel (blauer Pfeil).



Abb. 8: Polarisationsaufnahme im Durchlicht; Längsschnitt Kiefernholz: spitz zulaufende, fast perlenschnurartig angeordnete Kavernen; Hyphen in den Kavernen nicht sichtbar – ca. 550-fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

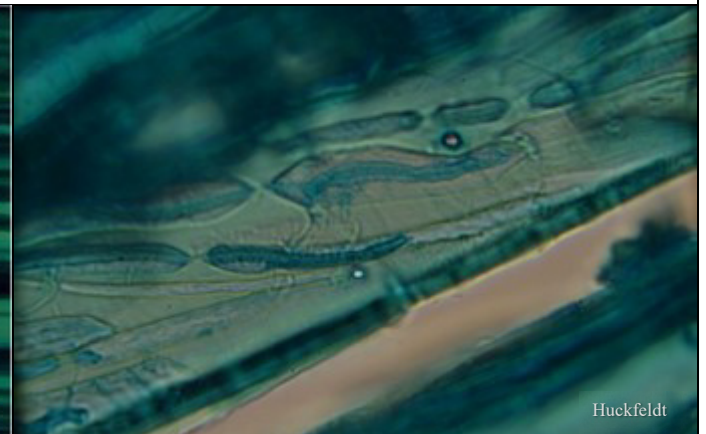


Abb. 9: Mikroskopische Durchlichtaufnahme; Längsschnitt Kiefernholz: spitz zulaufende, fast perlenschnurartig angeordnete Kavernen; Hyphen in den Kavernen erkennbar (gefärbt) – ca. 1000-fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

Bakterienfäule

Bakterien bauen wie Braun- und Moderfäulepilze insbesondere die Cellulose und Hemicellulosen ab, somit können flächige Schäden anhand der Polarisationsmikroskopie zugeordnet werden. Es werden drei Typen des Abbaus unterschieden, wovon hier zwei vorgestellt werden: a) Typ: Erosions-Bakterien und b) Typ: Tunnel-Bakterien. a) An Pfahlgründungen kann häufig das Abbaumuster „Erosion“ beobachtet werden (Abb. 10). Dieser flächige Abbautyp tritt vermehrt auf, wenn ein Übergang von aeroben zu anaeroben Bedingungen vorliegt. b) Tunnel-Bakterien wurden seltener nachgewiesen (Abb. 11), sie bilden sehr feine, oft kurzastige verzweigte Tunnel, an deren Spitze das Bakterium Holz abbaut. Die Verzweigungen entstehen, wenn sich das Bakterium zweiteilt (siehe Hinweis zu den Bakterien).

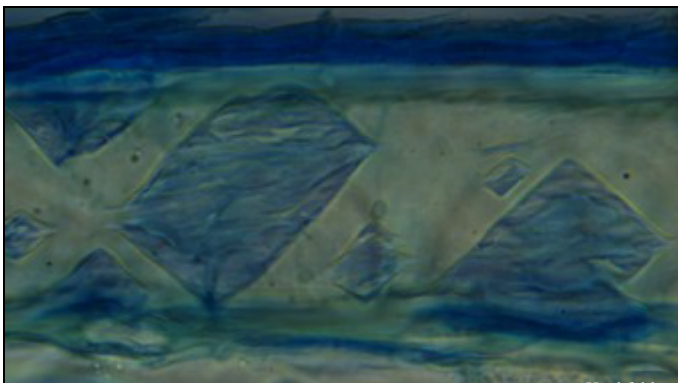


Abb. 10: Abbaubild, das einem Bakterien-Befall zugeschrieben wird; Typ: Erosion; zusammenfließende Kavernen bilden verschiedene Schadstellen (blau) – ca. 1200fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

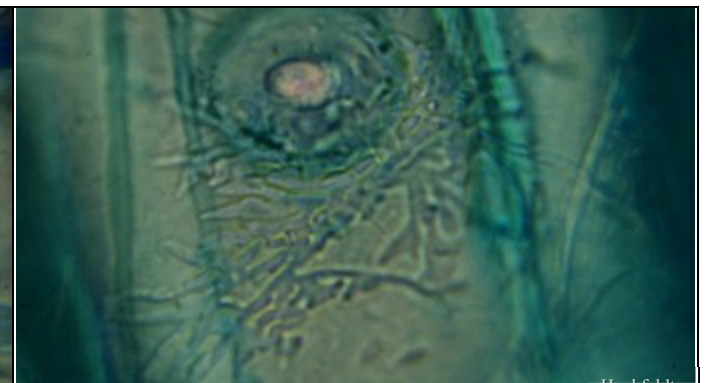


Abb. 11: Abbaubild, das einem Bakterien-Befall zugeschrieben wird; Typ: Tunnel; es entstehen sehr feine, z. T. vielfach verzweigte Kavernen – ca. 1400fach (Archivbild IF-HOLZ; T. Huckfeldt).

Ergebnisse:

Die Untersuchung der Arten-Diversität an Holzzerstörern an den Dalben zeigt ein differenziertes Bild:

1. In der Zone 1: (Schlamm-/Bodenzone – Meerwasser) liegen fast ausnahmslos Bakterien vor, als sehr langsam fortschreitende Holzzerstörer (Sie können aufgrund des sehr langsamen Abbaus meist vernachlässigt werden). Proben aus Süß- und Brackwasser lagen aus dieser Zone nicht vor. Pfahlgründungen unter Gebäuden zeigen aber einen analogen Befall.
2. In der Zone 2: (Tidebereich mit ständigen Wasserwechseln und wirbelndem Schlamm „Schlamm-Wasser-Zone“, Meerwasser, durch Gezeiten Meeresboden periodisch freiliegend) liegen fast ausnahmslos Moderfäulepilze als wichtigste pilzliche Schadenserreger vor, die als normale, natürliche Abnutzung von Dalben im Wasserbau gelten können. Aber die tierischen Schäden spielen eine große Rolle, größer noch als die Pilze, wenn der Salzgehalt für Bohrasseln und Bohrmuscheln ausreicht, jedoch wurden an den drei untersuchten Dalben mit Bohrassel- und Bohrmuschelbefall in den Bohrgangwänden massive Schäden durch die Tiere gefunden; hier liegt der Schluss nahe, dass die holzerstörenden Tiere von der Tätigkeit der Pilze und Bakterien zumindest profitieren, ggf. sind sie von ihnen abhängig². Im Brackwasser bei starkem Tidehub endet die Bakterienfäule z. T. erst 370³ cm über N.N. (z. B. Yacht-Zentrum Störtebeker), wobei ihre Bedeutung insgesamt für Dalben gering ist⁴. Moderfäulepilze sind an allen Untersuchungspunkten der Zone 2 nachgewiesen worden und haben ihre größte Bedeutung in dem Bereich bis zum Auftreten der Basidiomyceten-Fäule. Dieser Übergang liegt an Dalben (Hafen Hamburg) im oberen Bereich des Tidehubes. Eine stärkere Aktivität von Basidiomyceten ist erst oberhalb der Tidehub-Grenze zu beobachten, soweit Daten vorlagen.
3. Zone 3: Wasser-Luft-Zone ist der gedachte Horizont der Hochwasserlinie. Mit Probennahmen war diese Zone nicht zu erfassen; daher wurde ein Versuchsaufbau im Thünen-Institut genutzt (siehe 2.7. Abschlussbericht). An der wenig bewegten Wasseroberfläche des „Klotzteiches“⁵ wurde diese Zone genauer untersucht (Abb. 33). Hier ergab sich eine erste Kavernen-Bildungen im Süßwasser durch Moder- und Bakterienfäule am Wasserspiegel (ca. -0,5 und +0,5 cm). Unter Wasser drangen die Mikroorganismen weniger tief ins Holz ein (unter 1 mm) als über dem Wasserspiegel (bis 2,3 mm tief). 9-10 cm über dem Wasserspiegel entstanden nur noch selten Kavernen und diese waren dann zerstreut. Erwähnenswerte Unterschiede bei den verschiedenen Nadelholzarten ergaben sich nach dem kurzen Versuchszeitraum im Versuchsaufbau am Thünen-Institut kaum (vgl. Tab. 2⁶). Im salzigen Wasser⁷ ergab sich kein Befund im Versuchszeitraum⁸. Am Hafen Norddeich (Meerwasser) kam es dagegen in einem ähnlichen Zeitraum zu einer deutlichen Kavernenbildung, die vergleichbar ist mit den Süßwasser-Kontrollproben im „Klotzteich“⁵ am Thünen-Institut. Für Hafen-Dalben kann ein ähnliches Befalls-Szenarium angenommen werden, nur dass die Befallszone „Wasser-Luft“ aufgrund von hafenspezifischen Gezeiten und des sehr unterschiedlichen Wellenanlaufs an die einzelne Dalbe und auch schon an die einzelnen Dalbenseiten⁹ deutlich größer ist.
4. In dem Bereich der Zone 4 (dem Augenschein nach von Salzwasser beeinflusst; „Bereich der Moderfäulepilze“) oberhalb der Wasser-Luft-Zone (Meerwasser mit Tidehubzone) finden sich vor allem Moderfäulepilze und wenige Bakterien; Basidiomyceten sind rar.

² Hier besteht noch Forschungsbedarf.

³ Dies Angabe ist relativ und wahrscheinlich immer Abhängig von dem jeweiligen, mittleren Tidehub, der von Hafen zu Hafen unterschiedlich sein kann.

⁴ Schäden durch Bakterien können durchaus bedeutend werden, jedoch ist die Geschwindigkeit der direkten Ausbreitung im Holz gering und beträgt nach den vorliegenden Untersuchungen weniger als 1 mm im Jahr. Im Kernholz wahrscheinlich noch langsamer, hier besteht noch Forschungsbedarf.

⁵ Der sogenannte „Klotzteich“ ist ein Versuchsbecken des Thünen-Instituts, in dem schon viele Versuche zum Holzabbau durchgeführt wurden. Es ist ein offenes Betonbecken mit Holzeinbauten und geregelter Wasserstand (Überlauf), das von Gebäuden und Hecken umgeben ist, so dass der Wasserstand sehr gleichmäßig und die Wasseroberfläche beruhigt ist, zuweilen wird es von Enten aufgesucht, die zusammen mit Wind und Wetter für Biodiversität im Becken sorgen.

⁶ Bei Befallstiefe-Unterschieden von z. T. nur einem Millimeter ist eine verlässliche Tiefen-Untersuchung an sägeraum und nassem Holz bei kleiner Stichprobenzahl repräsentativ schwer möglich, hier sehen wir noch Forschungsbedarf (Abb. 7).

⁷ Ohne Zusatz von Mikroorganismen (Meerespilzen/-Bakterien), da das Versuchsziel ein anderes war (Wasseraufstieg).

⁸ Untersucht wurde nur ein Pfahl aus dem Salzwasser-Bottich, da nach dem Augenschein keine Schäden sichtbar waren.

⁹ Dies ist erkennbar an dem unterschiedlich hochwachsenden Algen-Bewuchs und dem Seepocken-Besatz.

5. In dem Bereich der Zone 5 (wahrscheinlich¹⁰ wenig Salzwasser beeinflusst; „Bereich der Basidiomyceten“) oberhalb der Tidehubzone (mit Meerwassereinfluss) finden sich vor allem Moderfäulepilze und wenige Bakterien; Basidiomyceten wie z. B. a) Gallert-, Schicht- sowie Rindenpilze mit schwachem Abbau-potenzial im Splintholz und an dauerfeuchten Kernholz-Bereichen und b) einige massive Fäule-Erreger wie Braunfäuletrameten, Sägeblättlinge, Trameten und Rotrandiger Baumschwamm, sind selten.

Zudem ergaben sich weitere Aspekte:

1. Es zeigt sich, dass die Pilzaktivität von Moderfäulepilzen an diesen Standorten von der Sauerstoff-Verfügbarkeit abhängt.
2. Im Vergleich zwischen den Proben aus dem Yacht-Zentrum (Salzgehalte ca. 3,5 %) und Hamburger Hafen, zu denen Bildmaterial und aufsteigende Untersuchungsreihen vorlagen, zeigt sich im Meerwasser eine Tendenz zur Verschiebung der Schadenszone nach oben. Siehe hierzu die Salzanalysen von Dr. Melcher.
3. Die frühen Stadien (Inkubationszeit bis 18 Monate im Freiland) zeigten eine interessante Kavernen-Verteilung (Ergebnis aus „Klotzteich“ und Hafen Norddeich). Die Erreger der Moderfäule- und Bakterienkavernen dringen von außen nach innen ins Holz ein (von Rissen etc. abgesehen). Das ist lange bekannt. Bei guter Sauerstoffversorgung dringen die Moderfäulepilze jedoch schneller ins Holz ein (mit Kavernenbildung). Kavernenbildende Bakterien dringen nur sehr langsam ins Holz vor. So wurden Moderfäulepilz-Kavernen in bis zu 2 mm Tiefe nachgewiesen, Bakterien-Kavernen aber nur in bis zu 1 mm Tiefe. Bei längeren Standzeiten drehte sich die Verteilung um: Im inneren Bereich des Holzes wurden dann nur Bakterien-Kavernen nachgewiesen (i.d.R. bei einer Befallstiefe über 2 mm). An einer Dalbe im Hamburger Museumshafen (Mahatma-Gandhi-Brücke) mit der Standzeit von einem Jahr waren Moderfäule- und Bakterienkavernen fast gleich tief nachweisbar (ca. 0,1 mm, soweit messbar).
4. In einem Fall wurde ein Holz mit einem Vorschaden (Rohholzbefall) durch einen Schichtpilz (*Phlebiopsis gigantea*) im Klotzteich untersucht (Rundh.Nr. 5). Hier zeigte sich, dass sich dieser Befall während der bisherigen Versuchsdauer räumlich verschob und es sogar zu einer Fruchtkörperbildung kam. Oberhalb von ca. 50 cm war dem Augenschein nach kein Befall an den Klotzteich-Hölzern mehr erkennbar, obwohl einige Hölzer in fast ganzer Länge streifig bewachsen waren. Unterhalb von ca. 50 cm kam es am Rundholz Nr. 5 fast rundherum zur Fruchtkörperbildung. An je einem Lärchen- und Douglasienstamm scheint der *Phlebiopsis gigantea*-Befall vertrocknet zu sein (je mehr als 50 cm über dem Wasserspiegel). Die bekannte Empfehlung, vorinfizierte Hölzer auszusortieren, wurde bestätigt.

Unseres Erachtens lässt sich ein wesentlicher Teil des Pilzbewuchses oberhalb der Moderfäulepilz-Zone vermeiden. Ist dies erwünscht, ergibt sich die Notwendigkeit, den baulichen Holzschutz¹¹ zu verbessern, da auch schwache holzerstörende Pilze mit den Jahren/Jahrzenten zu starken Fäulen führen können (vgl. z. B. LIESE, 1928). Dabei zeigt sich ein altbekanntes Muster bei Wasserbau-Pfählen, vergleichbar den Schäden an Masten und Schwellen: Der Ausfall einzelner Bauteile erscheint beliebig, folgt aber einer Gaußschen Kurve. Bei einer großen Anzahl von Pfählen/Hölzern fallen die ersten schon nach einigen Jahren aus (BOLLMUS et al., 2014; NOWOTNY, 1928). Dies wird auch hier der Fall sein, nur ist die Stichprobenzahl zu klein. Oft wird bei Angaben wie der „mittleren Lebensdauer“ übersehen, dass erst, wenn 50 % ausgefallen sind, die mittlere Lebensdauer erreicht ist. Hiervon sind Dalben in gleicher Weise betroffen. Vermutlich ist hierfür die Inhomogenität des Holzes der einzelnen Holzarten verantwortlich. Dieses Phänomen ist auch an anderen, ähnlich stark belasteten Produkten, wie z. B. Masten, Eichen-Zaunpfählen (BRISCHKE/ROLF-KIEL, 2009) und Hölzer in Testfeldern (RAPP et al., 2010) zu beobachten.

Dalben-Ausfälle wurden im oberen Bereich (z. B. Hamburger Hafen; Abb. 20) durch Basidiomyceten oder in der Wasserzone durch Meerestiere und Moderfäulepilze hervorgerufen. Hierbei haben die Meerestiere zu den stärksten Schäden geführt (z. B. Yacht-Zentrum Störtebeker; Abb. 13).

Die meisten anderen der in Tab. 1 bzw. Tab. 2 genannten Pilze sind frühe Holz-Besiedler (initiale Abbauphase, z. B. *Stereum hirsuta* und *Dacrymyces stillatus*), einige zeigen erdähnliche Verhältnisse in Konstruktionen an

¹⁰ An den Proben aus dieser Zone, an denen der Salzgehalt bestimmt wurde, konnte keine erhöhte Salzkonzentration nachgewiesen werden, jedoch liegen nicht zu allen Proben-Entnahme-Punkten Salzanalysen vor. Auch kann diese Zone an Dalben – ohne eine Salzkonzentrations-Bestimmung – kaum sicher benannt werden, so dass hier noch Forschungsbedarf besteht.

¹¹ Die Option des chemischen Holzschutzes steht u. E. nicht zur Verfügung, da die DIN 68800-1 dem baulichen Holzschutz Vorrang einräumt und es derzeit keine zugelassenen Mittel für den Einsatzzweck gibt.

(z. B. *Mycena galericulata* und *Gloeoporus taxicola*) und eine dritte Gruppe wächst an Holz in jedem Abbaustadium (z. B. Braunsporrindenpilz und Braunfäuletrameten/Saftporlinge). Ungewöhnlich waren bei den Pilzen zwei Aspekte: a) Die Seltenheit von Blättlingen (*Gloeophyllum* spp.) an den untersuchten Stichproben, die häufiger zu erwarten gewesen wären, da die Blättlinge im Freiland an Hölzern mit der vorliegenden Gebrauchsklasse häufig sind (JAHN et al., 1990; KRIEGLSTEINER, 1991), und b) das zweimalige Auftreten der Gelben Braunfäuletramete (*Antrodia xantha*) im Freiland¹². Diese Art ist bislang im Norden Deutschlands im Freiland nicht nachgewiesen¹³. Die Gruppe der Moderfäulepilze und Bakterien zeigt die sauerstoffarmen Bereiche an und Bereiche mit nur Bakterienbeschädigungen den fast sauerstofffreien Bereich. Ein Anzeichen für vorinfiziertes Bauholz ist das Vorkommen des Rotrandigen Baumschwamms¹⁴ (HUCKFELDT/SCHRÖTER, 2005).

Unterhalb der Hochwasserzone gibt es keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen Himmelsrichtung und Befall. Auch oberhalb der Hochwasserzone war kein klarerer Zusammenhang zwischen der Himmelsrichtung und der Art des Fäule-Erregers herstellbar, da hierzu die Stichprobenanzahl zu klein war.

Tab. 1: Häufigkeit von Fäulepilzen an den Dalben			
Deutscher Name¹⁵	Lateinscher Name/Bezeichnung	Fäule-Aktivitäts-Hinweis, Fäuletyp, Häufigkeit	
Moderfäulepilze	Ascomyceten (fast immer)	langsam, oft von außen nach innen, m	70
Bakterienbeschädigungen (siehe Hinweise)		sehr langsam von außen nach innen, bb	40
Zerfließende Gallerträne	<i>Dacrymyces stillatus</i>	schwach (bevorzugt oberflächliches Splintholz), b	15
Gallerträne (inkl. Verdachtsfälle)	<i>Dacrymyces</i> spp.	schwach (bevorzugt oberflächliches Splintholz), b	7
Braunfäule-Erreger: nicht bestimmbar	Basidiomycet	-, b	6
Braunfäuletrameten/Saftporlinge	<i>Antrodia</i> -/ <i>Oligoporus</i> spp.	stark, b	5
Weißfäule-Erreger (Hauptschaden): n.n.	Basidiomycet	-, w	4
Zahnchenrindenpilz (inkl. Verdachtsfälle)	<i>Hyphodontia</i> sp.	schwach, w	4
Braunsporrindenpilz (inkl. Verdachtsfälle)	<i>Coniophora</i> sp.	stark, b	3
Gelbe Braunfäuletramete	<i>Antrodia xantha</i>	stark, b	2
Rotrandiger Baumschwamm	<i>Fomitopsis pinicola</i>	bis stark, b	2
Beste Annäherung: Seitling	<i>Pleurotus</i> sp.	bis stark, w	2
Ascomycet (Fragmente)	Ascomycet	unbekannt	1
Judasohr	<i>Auricularia auricula-judae</i>	schwach, w	1
Zusammenfließender Reibeisenpilz	<i>Cerocorticium confluens</i>	schwach, w	1
Brauner Braunsporrindenpilz	<i>Coniophora puteana</i>	stark, b	1
Schichtpilze ohne Gattungszuordnung	<i>Corticiaceae</i>	schwach, w	1
Karstens Rindenpilz	<i>Dacryobolus karstenii</i>	schwach, w	1
Drüsling	<i>Exidia</i> sp.	schwach, w	1
Häutiger Lederfältling	<i>Gloeoporus taxicola</i>	unbekannt	1
Zaunblättling	<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	stark, b	1
Flaumiger Rindenpilz	<i>Hyphoderma puberum</i>	schwach (bevorzugt Splintholz), w	1
Schuppiger Sägeblättling	<i>Lentinus lepideus</i>	bis stark, b	1
Rosablättriger Helmling	<i>Mycena galericulata</i>	unklar, gefunden nur an final faulem Holz	1
Schleimpilz	<i>Myxomyceten</i>	kein Fäulepilz	1
Artengruppe Schicht- und Rindenpilze	<i>Phanerochaete</i> / <i>Phlebiopsis</i> sp.	schwach (bevorzugt Splintholz; Rotstreifigkeit), w	1
Beste Annäherung: Weichporenschwamm	<i>Pycnoporellus</i> sp. (cf)	unklar	1
Harz-Rindenpilz	<i>Resinicium bicolor</i>	schwach bis mäßig, w	1
Striegeliger Schichtpilz	<i>Stereum hirsuta</i> ¹⁶	schwach (bevorzugt Splintholz), w	1
Ockerfarbene Tramete	<i>Trametes multicolor</i>	stark, w	1
Tramete	<i>Trametes</i> sp.	stark, w	1
Summe (Mehrfachbefälle vorhanden)			179
b = Braunfäule, bb = Bakterienfäule ¹⁷ , m = Moderfäule, w = Weißfäule			

¹² In Gebäuden ist *Antrodia xantha* durchaus häufig, auch im Norden (HUCKFELDT/SCHMIDT, 2015).

¹³ Hinweis: Von der DBU wird ein Projekt zur Biodiversität von Pilzen gefördert, in dem hierzu ggf. schon weitere Erkenntnisse zur Verbreitung von *Antrodia xantha* vorliegen könnten.

¹⁴ Dies unterstreicht die Mutmaßung, dass für die Deko-Dalben zweitklassiges Holz verwendet wurde.

¹⁵ Algen, Flechten, Bläue- und Schimmelpilze wurden hier nicht erfasst, da sie an fast allen Proben vorhanden waren.

¹⁶ Bestimmung nach Bildmaterial, Süßwasser, 40 cm über Wasser, an Eiche, Hafen Lübeck.

¹⁷ Ein Bakterien-Befall im Holz kann eindeutig nur im Transmissions-Elektronenmikroskop nachgewiesen werden. In dem vorgelegten Bericht kann nur eine gut begründete Ansicht dargestellt werden, die auch durch eigene Untersuchungen gestützt wird (REHBEIN et al., 2009). Der Abbau ähnelt dem von NILSSON (1974) und den oben genannten Autoren dargestellten Bild von Schäden durch Bakterien. Außerdem fehlen fast immer Hyphen im Holz.

Laboruntersuchung

Tab. 2: Diagnosen der untersuchten Proben			
Labor u. Abb.-Nr.	Standort, Nr. /Bezeichnung; Probenahme-Datum	Diagnose(n)	Probennehmer
Probe 1.	Greetsiel; ca. 1,5 m über Wasser (keine Tide – Brack-/Süß); 15.11.2015.	Braunfäule-Erreger: Schuppiger Sägeblättling (<i>Lentinus lepideus</i> – Familie: Lentinaceae).	M
Probe 2.	P1: Norddeich; Dalbe oben, Holz außerhalb des Salzbereiches; Bild: 15.11.28., Nd.FK; 28.11.2015.	Weißfäule-Erreger: Judasohr (<i>Auricularia auricula-judae</i> – Familie: Auriculariaceae), Holzart: Basralocus/Angelique (<i>Dicorynia paraensis</i>).	M
Probe 3.	P2: Norddeich; Dalbe oben, Holz wahrscheinlich außerhalb des Salzbereiches; 17.10.2015.	Moderfäulepilze (mäßig stark) und schwache Bakterienfäule, zudem Bläue- und Schimmelpilze; Holzart: Basralocus/Angelique (<i>Dicorynia paraensis</i>).	M
Probe 4.	Harlesiel; Dalbe oben, außerhalb des Salzwassereinflusses von unten; Bild: 15.11.28; Harlesiel.FK.jpg; 15.11.2015.	Weißfäule-Erreger: Drüsling (<i>Exidia</i> sp. – Familie: Tremellaceae); wenn Laubholz dann Drüsling (<i>Exidia glandulosa</i>), wenn Nadelholz dann Teerfleck Drüsling (<i>Exidia plana</i> var. <i>pithya</i>), zudem Moderfäulepilze (Intensität?).	M
Probe 5.	P1: Bensorsiel; Halbe Höhe zwischen Hochwasserlinie und Kopfende, also weder Einfluss durch Salzaufstieg, noch durch Hirnholzauffeuchtung; FK.Gall.jpg; 15.11.2015.	Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae in der Nebenfruchtform.	M
Probe 6.	P2: Bensorsiel: FK am Pfahl an der Westseite des Hafenbeckens, 3 m über Hochwasser, 0,5 m unter oberem Ende, weiß gestrichen.	Weißfäule-Erreger: Rosablättriger Helmling (<i>Mycena galericulata</i>); Braunfäule-Erreger: unklar, zu wenig Material. Bild: 15.11.28.Bens.FK.jpg; 15.11.2015	M
Probe 7.	P3: Bensorsiel: Halbe Höhe zwischen Hochwasserlinie und Kopfende, also weder Einfluss durch Salzaufstieg, noch durch Hirnholzauffeuchtung; 15.11.25. 15.11.2015.	Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae); Doppelbefall mit Kellerschwamm / Braunsporrindenpilz (<i>Coniophora</i> sp. – Familie: Coniophoraceae).	M
Probe 8. Abb. 31 f.	P4: Lärche, Entnahmestelle 2, oberhalb Hochwasser, Salzaufstieg möglich, ca. 25 cm über mittleres Hochwasser, ca. 5,3 m vom Hirnholz, Mycel im Riss	Braunfäule-Erreger: Zaunblättling (<i>Gloeophyllum sepiarium</i> – Familie der Polyporaceae s. l.; Coriolaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze	M
Probe 9. Abb. 12	Nessmer-Siel ¹⁸ ; Pfahl 1; 0,8 m über Kai, Südseite, an Nadelholz, Splint; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtform.	H
Probe 10.	Nessmer-Siel; Pfahl 4; 1,8 m über Kai, Westseite, an Nadelholz, Splint; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae).	H
Probe 11.	Nessmer-Siel; Pfahl 5; 1,6 m über Kai, Westseite; Nadelholz, Splint; 22.01.2016.	Mehrfachbefall: Weißfäule-Erreger: Gruppe der Schichtpilze - Karstens Rindenpilz (<i>Dacryobolus karstenii</i>) und Moderfäulepilze, zudem Schimmel- und Bläuepilze.	H
Probe 12. Abb. 13	P1: Yacht-Zentrum ¹⁹ Störtebeker GmbH; Pfahl ^{20,21} (NO/N): 9; 50-60 cm	Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> –	H

¹⁸ Ob auch Kernholz befallen war, ließ sich nicht feststellen, da die Genehmigung fehlte, größere Probestücke zu entnehmen. Den Betreiber bitte über den festgestellten Schaden informieren. Danke!

¹⁹ Untersucht wurden hier drei gezogene Dalben: 2, 4 und 9 (Proben: P1-P18; Abb. 13).

²⁰ Die Frage, die sich zuerst bei der Probenserie P1-P18 vom Gelände des „Yacht-Zentrum Störtebeker“ stellte, ob die Gallertränen bevorzugt auf einer Pfahlseite vorkommen, konnte aufgrund der geringen Stichprobenzahl (3) nicht geklärt werden. Es scheint, als ob sie in der Spritzwasserzone (Salzwasser) nicht oder kaum Fruchtkörper bilden würden. Ob dies generell für Meerwasser gilt, konnte nicht mehr geklärt werden.

Die Moderfäulepilze wachsen nach zwei Probenahmen ab ca. NN abwärts bis in die Schlickzone, wo sie von Bakterien abgelöst werden.

²¹ Dem Augenschein nach handelt es sich bei dieser Gruppe (P1-P18) um Nadelholz.

	unter der Spitze; 22.01.2016 ²² .	Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtform, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	
Probe 13. Abb. 22	P2: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl (NO): 9; 10-25 cm unter der Spitze; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallertträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtform, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 14.	P3: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (NO); 150-170 cm unter der Spitze; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallertträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtform, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 15.	P4: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (U); 50 cm unter NN; 22.01.2016.	Moderfäulepilze (oberflächlich), Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 16. Abb. 23	P5: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (U); 280 cm unter NN; 22.01.2016.	Moderfäulepilze (oberflächlich), zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 17. Abb. 21	P6: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (SW-SO); (0-) 20-30 cm unter der Spitze; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallertträne (<i>Dacrymyces</i> sp. – Familie: Dacryomycetaceae); Weißfäule-Erreger: Zähnchenrindenpilz (<i>Hyphodontia</i> sp.), wahrscheinlich <i>Hyphodontia alutacea</i> ; Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 18.	P7: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (S); ca. 150 cm unter der Spitze; 22.01.2016.	Weißfäule-Erreger: Zähnchenrindenpilz (<i>Hyphodontia</i> sp.), wahrscheinlich <i>Hyphodontia alutacea</i> , und Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 19.	P8: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 3 (verschiedene Höhen und Seiten); 22.01.2016.	Insektenschaden: Hausbockkäfer (<i>Hylotrupes bajulus</i>), zudem Moderfäulepilze.	H
Probe 20.	P9: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (U); 280-340 cm unter NN (Bereich der tierischen Schäden); 22.01.2016.	Moderfäulepilze und Bakterienschäden (intensiv); zudem Insektenschäden; Holzart: Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>).	H
Probe 21.	P10: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 4 (W); 20-30 cm unter der Spitze (15 mm tief im Holz; z. T. streifiger Befall); 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallertträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtform; Holzart: Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>).	H
Probe 22.	P11: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 4 (W); 40-60 cm unter der Spitze; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: wahrscheinlich Kellerschwamm / Braunsporrindenpilz (<i>Coniophora</i> sp. – Familie: Coniophoraceae); Holzart: Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>).	H
Probe 23.	P12: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (U); 400 cm unter NN im Schlick; 22.01.2016.	Bakterienschäden; Holzart: Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>).	H
Probe 24.	P13: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (U); 150 cm unter NN (unter Algenbewuchs); 22.01.2016.	Moderfäulepilze (3 mm tief) und Bakterienschäden; Holzart: Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) (schwach); Holzart: Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>).	H
Probe 25.	P14: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (W); 120 cm über NN; 22.01.2016.	Weißfäule-Erreger: Zähnchenrindenpilz (<i>Hyphodontia</i> sp.), wahrscheinlich <i>Hyphodontia alutacea</i> , und Braunfäule-Erreger: Arten-Gruppe der Weißen Porenschwämme (<i>Antrodia</i> sp. – Braunfäuletrameten / <i>Oligoporus</i> spp. – Saftporlinge – Familie: Polyporaceae).	H
Probe 26.	P15: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (N); (0-) 45-55 (-220) cm unter der Spitze; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallertträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtform.	H
Probe 27.	P16: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (N); 90-100 cm unter der Spitze; 22.01.2016.	Braunfäule-Erreger: Gallertträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtform.	H
Probe 28.	P17: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (U); 100 cm unter NN;	Moderfäulepilze und Bakterienschäden.	H

²² Hinweis: Die Pfähle 2 und 3 waren nur von einer bzw. zwei Seiten einsehbar. Der Pfahl 9 konnte gedreht werden.
 Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

	Ost, Gruppe 8, Pfahl 4, ca. 1,5 m über Wasser; 22.01.2016.		
Probe 29.	P18: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (U); 540 cm unter NN im Schlick; 22.01.2016.	Moderfäulepilze im Splintholz (bis 1 mm tief) und Bakterien-schäden.	H
Probe 30.	P1 ²³ : Harlesiel Westseite: 8. Pfahl von Nord (Rundholz) Entnahme Westseite, 1 m über HW; 15.11.2015.	Mehrfachbefall/-Schaden: Braunfäule-Erreger: Brauner Kellerschwamm / Braunsporrindenpilz (<i>Coniophora puteana</i> – Familie: Coniophoraceae), zudem Moderfäulepilze, Insektenschaden, Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 31.	P2: Harlesiel Westseite: 9. Pfahl von Nord (Schnittholz); Entnahme Westseite, 2 m über HW; 15.11.2015.	Mehrfachbefall: Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger: Hinweise auf Schichtpilze ohne Gattungszuordnung, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 32.	P3: Harlesiel Westseite: 18. Pfahl von Nord (Schnittholz); Entnahme Westseite, 1,50 - 1,70 m über HW; 15.11.2015.	Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger (Hauptschaden): nicht bestimmbar, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 33.	P4: Harlesiel Westseite: 29. Pfahl von Nord (Schnittholz); Entnahme Westseite, 1 m über HW; 15.11.2015.	Mehrfachbefall: Braunfäule-Erreger: nicht bestimmbar (Hauptschaden), Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger: Artengruppe der Schicht- und Rindenpilze: Zusammenfließender Reibeisenpilz (<i>Cerocorticium confluens</i> – Familie: Hyphodermataceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 34.	P5: Harlesiel Ostseite: 4. Pfahl von Nord (Rundholz, Nadelholz); Entnahme SW und S-Seite, 2,5 - 3 m über HW; 15.11.2015.	Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 35.	P6: Harlesiel Ostseite: 7a. Pfahl von Nord, (Hausbockkäfer) doppelt gestellt, nördlicher Pfahl; Entnahme Ostseite 1,50 - 1,70 m über HW; 7.b Pfahl von Nord (Rundholz) doppelt gestellt, südlicher Pfahl; Entnahme SW-Seite, 2,50 m über HW; 15.11.2015.	Mehrfachbefall: Moderfäulepilze (Hauptschaden) und Braunfäule-Erreger: nicht bestimmbar (kleinräumig), sowie Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 36.	P7: Harlesiel Ostseite: 3. Pfahl von Süd (Kiefer?); Entnahme Südseite, 2,50 m über HW; 15.11.2015.	Mehrfachbefall: Braunfäule-Erreger: Arten-Gruppe der Weißen Porenschwämme (<i>Antrodia</i> sp., auch Braunfäuletrameten genannt – Familie der Polyporaceae) und Hinweise auf <i>Botryobasidium</i> sp., zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 37.	P8: Harlesiel Nordseite: 7. Pfahl von Nord (Rundholz); 15.11.2015.	Mehrfachbefall: Braunfäule-Erreger: wahrscheinlich Gallerträne (<i>Dacrymyces</i> sp.) und Moderfäulepilze (oberflächlich), zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 38.	P9: Harlesiel Ostseite, nördlich versetzt (Reederei Warrings), gekürzter Pfahl am Standort Nordseite (Rundholz); Entnahme am Hirn-Ende SW 2 m über HW; 15.11.2015.	Braunfäule-Erreger: Zerfließende Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae).	M
Probe 39.	P10: Neuharlingersiel: 3. Pfahl von Süd (Kiefer?); Entnahme Nord und Südseite 1,50 m und 3 m über HW, 15.11.2015.	Weißfäule-Erreger: hochwahrscheinlich Ockerfarbene Tramete (<i>Trametes multicolor</i> = <i>T. ochracea</i> – Familie: Polyporaceae).	M
Probe 40.	P11: Neuharlingersiel: 3. Pfahl und 4. Pfahl an Südseite; 15.11.2015; weit außerhalb Salzeinfluss.	Weißfäule-Erreger: Judasohr (<i>Auricularia auricula-judae</i> – Familie: Auriculariaceae).	M

²³ Kaimauer-Kante, 1 m über Hochwasser (HW), nur 1 Rundholz, Rest dieser Serie vermutlich Tropenholz.

Probe 41. Abb. 15	P1: Hamburg ²⁴ , Hafen Zusatzprobe: Dalben im Museumshafen (Am Sandtorkai); Pfahl 1; etwas über dem oberen Befestigungsholz; 30.03.2017.	Braunfäule-Erreger: Nebenfruchtform der Zerfließenden Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 42.	P2: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, erstes Deko-Dalben-Paar am Anleger Elbphilharmonie; Zusatzprobe (P7), am Anleger; 30.03.2017.	Mehrfachbefall: Moderfäulepilze, Braunfäule-Erreger: Hinweise auf Gallerträne (<i>Dacrymyces</i> sp.) vorhanden und Weißfäule-Erreger: nicht bestimmbar, zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 43.	P3: Einfahrt Museumshafen, unterhalb der Mahatma-Gandhi-Brücke; Osten, ca. 150 cm über Wasser (ca. 240 cm über N.N.), ca. 1 Jahr alt; 05.03.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 44. Abb. 16	P1 ²⁵ : Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 1; Westen, ca. 50 cm über Wasser (220 cm N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 0-2 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien (ca. 1 mm tief), Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden).	H
Probe 45.	P2: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 2, Westen, ca. 105 cm über Wasser (275 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 05.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 0-15 mm tief - Spandicke) und hochwahrscheinlich Bakterien (ca. 0,5 mm tief).	H
Probe 46.	P3: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 3; Westen, ca. 155 cm über Wasser (325 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 0-12 mm tief bis massiv; bei 20 mm Tiefe vereinzelt) und hochwahrscheinlich Bakterien (ca. 0,7 mm tief), Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 47.	P4: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 4; Westen, ca. 200 cm über Wasser (370 cm über N.N.), mit Moos-/Algenbesatz; 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 0-15 (-20) mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien (unklar, ggf. an der Oberfläche), Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 48.	P5: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 5; Westen, ca. 230 cm über Wasser (400 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 0-8 mm tief – Spandicke; Splintholz fehlt, da abgefällt) und Braunfäule-Erreger: Art nicht bestimmbar, zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 49.	P6: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 6, (Holz außen); Westen, ca. 250 cm über Wasser (420 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.	Moderfäulepilze, Weißfäule-Erreger: Gruppe der Schichtpilze - Rindenpilz (<i>Hyphoderma</i> spp.) beste Annäherung: Flaumiger Rindenpilz (<i>Hyphoderma puberum</i> - Familie: Hyphodermaceae).	H

²⁴ Alle im Hamburger Hafen genommenen Proben stammen von Dalben/Deko-Dalben, die dicht an der Kaimauer standen. Die Fäuleschäden liefen an den Probestellen rundherum, daher wurde auf eine Angabe der Seite verzichtet. Diese wäre aber leicht anhand der Bilder von Herrn Dr. Müller zu bestimmen, der die Probennahme dokumentierte.

Wichtig ist in diesem Kontext bei der Bewertung von Großpilzbefall (z. B. *Fomitopsis*, *Antrodia*), dass bei der Zusammenhanges-Beurteilung von Schäden und Himmelsrichtungen von Orten der Fäule und nicht von der Lage der Fruchtkörper ausgegangen werden kann. Bei Kleinpilzen, wie *Dacrymyces* kann die Lage der Fruchtkörper gleich dem Fäule-Ort sein. Hier ergaben sich Probleme, da oft nicht alle Seiten der Dalben sondiert werden konnten und eine schadensfreie Methode nicht zur Verfügung stand.

²⁵ **Lage der Proben-Serie und weitere Informationen:** Bezeichnung: Hamburger Hafen, Elbnordseite; Dalben im Hafen – Großer Grasbrook, erstes Deko-Dalben-Paar am Anleger der Elbphilharmonie; davon die rechte Dalbe (Abb. 16)“ (Bezeichnung / Angaben) Probennahme vom 30.03.2017. Die Holzart ist nach Herrn Jonetzki Kiefer.

Tidenhub: Wasserstand um 11:55 h: 85 cm über N.N., fallend (Pegel: Kehrwinderspitze); Probennahme war um 10:19 h abgeschlossen (Abb. 1) – Wasserstand um 10:19 h ca. 170 cm über N.N. [Ausgehend vom mittleren Tidenhub von 363 cm (Messwerte: St-Pauli). Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2017; unter <http://www.bsh.de/de>].

Probe 50. Abb. 17	P1 ²⁶ : Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 1; Westen, ca. 60 cm über Wasser (ca. 205 cm über N.N.); 30.03.2017.	Mischfäule ²⁷ ca. 0,5 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 0-7 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (stark: ca. 1,5 mm tief), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.	H
Probe 51.	P2: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 2; Westen, ca. 100 cm über Wasser (ca. 245 cm über N.N.); 30.03.2017.	Mischfäule ca. 0,7 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 0-9 mm tief - Spandicke) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (stark: 0-2 mm tief), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.	H
Probe 52.	P3: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 3; Westen, ca. 140 cm über Wasser (ca. 285 cm über N.N.); 30.03.2017.	Mischfäule ca. 1 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 0-7 mm tief - Spandicke) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (stark: 0-2 mm tief), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.	H
Probe 53.	P4: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 4; Westen, ca. 190 cm über Wasser (ca. 335 cm über N.N.); 30.03.2017.	Mischfäule ca. 1 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 1-5 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (unklar, ggf. an der Oberfläche); Weißfäule-Erreger (ca. 5-16 mm tief – Spandicke, zusammen mit Moderfäule): Artengruppe Schicht- und Rindenpilze, wahrscheinlich Zystidenrindenpilz (<i>Phanerochaete</i> sp. oder <i>Phlebiopsis</i> sp.), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.	H
Probe 54.	P5: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 5 (Holz außen); Westen, ca. 205 cm über Wasser (ca. 350 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 0-8 mm tief – Spandicke) und Braunfäule-Erreger: Art nicht bestimmbar, zudem Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe 55.	P6: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 6 (Holz innen, äußerer Teil abgefault); Westen, ca. 230 cm über Wasser (ca. 375 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze, Weißfäule-Erreger (sehr kleinräumig): Art nicht bestimmbar und Braunfäule-Erreger (Hauptschaden): Hinweise auf Kellerschwamm / Braunsporrindenpilz (<i>Coniophora</i> sp. – Familie: Coniophoraceae) vorhanden, zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe 56.	P7: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 7 (Holz außen); Westen, ca. 240 cm über Wasser (ca. 395 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger: Harz-Rindenpilz (<i>Resinicium bicolor</i> – Familie: Corticiaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe, 57. Abb. 28	P8: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 8 (Fruchtkörper); Osten, ca. 355 cm über Wasser (ca. 510 cm über N.N.); 30.03.2017.	Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (<i>Fomitopsis pinicola</i> – Familie: Polyporaceae).	H
Probe 58. Abb. 18	P1 ²⁸ : Hamburg, Museumshafen (Am	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H

²⁶ **Lage der Probe:** Bezeichnung: Hamburger Hafen, Elbnordseite; Dalben im Hafen– Großer Grasbrook, zweites Deko-Dalben-Paar am Anleger der Elbphilharmonie; davon die erste Dalbe (Abb. 17)“, Probennahme vom 05.03.2017. Die Holzart ist nach Herrn Jonetzki Kiefer.

Tidenhub: Wasserstand um 11:55 h: 85 cm über N.N., fallend (Pegel: Kehrwinderspitze); Probennahme war um 10:47 h abgeschlossen (Abb. 1) – Wasserstand um 10:47 h ca. 145 cm über N.N.

²⁷ Hier Bezeichnung für die matschig-schleimige Holzoberfläche (Holz hier humusähnlich – eindeutige Differenzierungen sind in diesem Bereich nicht möglich – mutmaßlich liegt ein eng verzahnter Moderfäulepilz- und hochwahrscheinlich Bakterienfäule-Schaden vor.) Über die mögliche Abrasion kann nichts ausgesagt werden.

²⁸ **Lage der Probe (P1 bis P8) P1-6 im Bereich des Tidenhubes:** Bezeichnung: Hamburger Hafen, Elbnordseite; Dalben im Museumshafen (Am Sandtorkai), Südseite des Hafenbeckens, Kai-Südseite, eine der mittleren Dalbe (Abb. 1)“ (Bezeichnung / Angaben) Probennahme vom 30.03.2017; Holz: Nadelholz: Douglasie

Tidenhub: Wasserstand um 11:55 h, 85 cm über N.N., fallend (Pegel: Kehrwinderspitze); Probennahmen war um 11:37 h abgeschlossen (Abb. 1) – Wasserstand um 11:37 h ca. 100 cm über N.N. [Ausgehend vom mittleren Tidenhub von 363 cm (Messstelle: St-Pauli). Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2017; unter <http://www.bsh.de/de>].

	Sandtorkai), mittlere Dalbe ²⁹ ; Probenpunkt 1; Westen, ca. 60 cm über Wasser (160 cm über N.N.); 30.03.2017.		
Probe 59.	P2: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 2; Westen, ca. 100 cm über Wasser (200 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe 60.	P3: Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 3; Westen, ca. 140 cm über Wasser (240 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe 61.	P4: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 4; Westen, ca. 180 cm über Wasser (280 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem liegen Hinweise auf Weißfäule-Erreger vor (ohne genauere Zuordnung) Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe 62.	P5: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 5; Westen, ca. 220 cm über Wasser (320 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Weißfäule-Erreger: beste Annäherung Seitling (<i>Pleurotus</i> spp.– Familie: Lentinaceae) und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe 63.	P6: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 6; Westen, ca. 260 cm über Wasser (360 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Weißfäule-Erreger: beste Annäherung Seitling (<i>Pleurotus</i> spp.– Familie: Lentinaceae) und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe 64. Abb. 26	P7: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 7; oberes Befestigungsholz am Kai; 30.03.2017.	Weißfäule-Erreger: Häutiger Lederfältling (<i>Meruliopsis / Gloeoporus taxicola</i>).	H
Probe 65. Abb. 25	P8: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 8, Dalben im Museumshafen (Am Sandtorkai); ca. Peer Mitte; 30.03.2017.	Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (<i>Fomitopsis pinicola</i> – Familie: Polyporaceae)	H
Probe 66. Abb. 19	Probe 1 ³⁰ : Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 1; Osten, ca. 55 cm über Wasser (145 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 1 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien (ca. 0,5 mm tief), mit Algenbesatz.	H
Probe 67.	Probe 2: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 2; Osten, ca. 95 cm über Wasser (185 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 1,5 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien (ca. 0,7 mm tief), mit Algenbesatz.	H
Probe 68.	Probe 3: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 3; Osten, ca. 130 cm über Wasser (220 cm über N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 1,3 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien (ca. 0,7 mm tief), mit Algenbesatz.	H
Probe 69.	Probe 4: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 4; Nord-Ost, ca. 190 cm über Wasser (280 cm N.N.); 30.03.2017.	Moderfäulepilze (ca. 2-5 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien (ca. 2-3 mm tief), mit Algenbesatz.	H

²⁹ Die Dekorations-Dalben (nostalgische Dalben) im Grasbrookhafen wurden wahrscheinlich ohne besondere Anforderungen geordert. Sie stehen auf der Nordseite im Hafenbecken. Die Dalben im Museumshafen auf der Südseite sind Funktionsdalben. Auf der Nordseite stehen wieder – wie im Grasbrookhafen – funktionslose Dekorations-Dalben (nicht untersucht). Dalben aus Nadelholz, z. B. Douglasie.

³⁰ **Lage der Probe (P 1-7), P1-6 im Bereich des Tidenhubes:** Bezeichnung: Hamburger Hafen, Elbnordseite; Dalben im Museumshafen (Am Sandtorkai), Kai-Südseite achte Dalbe von Westen“ (Bezeichnung / Angaben) Probennahme vom 30.03.2017; Holz: Nadelholz – Art: Douglasie

Tidenhub: Wasserstand um 11:55 h, 85 cm über N.N., fallend (Pegel: Kehrwiederspitz); Probennahme war um 11:45 h abgeschlossen (Abb. 1) – Wasserstand um 11:45 h ca. 90 cm über N.N.

Probe 70.	Probe 5: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 5; Nord-Ost, ca. 220 cm über Wasser (310 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.	Moderfäulepilze (bis 7 mm tief - Spandicke), hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 1 mm tief) und Hinweise auf Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces</i> sp. – Familie: Dacryomycetaceae) vorhanden, zudem Insektenschäden (frühe Stadien), Bläue- und Schimmelpilze.	H
Probe 71.	Probe 6: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 6; Nord-Ost, ca. 275 cm über Wasser (365 cm über N.N.); 30.03.2017.	Weißfäule-Erreger: <i>Tramete</i> (<i>Trametes</i> sp. – Familie Polyporaceae s. l. oder ähnliche Gattung) und Moderfäulepilze (bis 7 mm tief – Spandicke, siehe Diagnose), wahrscheinlich Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces</i> sp. – Familie: Dacryomycetaceae) und Bakterienschäden (kaum noch), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.	H
Probe, Abb. 24 und Abb. 27	Probe 7: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Dalben im Museumshafen, Probenpunkt 7; Kopf des Balkens; 30.03.2017.	Braunfäule-Erreger (2x): Gelbe Braunfäuletramete, auch Gelbe Braunfäuletramete (<i>Antrodia xantha</i> ³¹ – Familie: Polyporaceae) und: Zerfließende Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> – Familie: Dacryomycetaceae).	H
Probe 73.	Dou Nd; 2017.	Braunfäule-Erreger: Gruppe der Weißen Porenschwämme / Braunfäuletramete (<i>Antrodia</i> ³² sp. – Familie: Polyporaceae).	M
Probe 74.	LA Nd; Kontrollpfahl; 2017.	Braunfäule-Erreger: Gelbe(r) Porenschwamm / Braunfäuletramete (<i>Antrodia xantha</i> – Familie: Polyporaceae).	M
Probe 75.	LA Geotex; 2017.	Braunfäule-Erreger: Artengruppe der Weißen Porenschwämme (<i>Antrodia</i> / <i>Oligoporus</i> spp., auch Saftporlinge genannt – Familie: Polyporaceae).	M
Probe 76.	Rammpfähle aus Bensorsiel: Probe 1, Lärche Hirnende; ca. 15.10.2017.	Braunfäule-Erreger: wahrscheinlich Gallerträne (<i>Dacrymyces</i> spp. – Familie: Dacryomycetaceae), zudem Basidiomycet ohne Zuordnung (Fäuletyp unklar), Schleimpilz, Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 77.	Rammpfähle aus Bensorsiel: Probe 2, Lärche, 1 m unter Hirnende, Splintholz; ca. 15.10.2017.	Ohne Befund bezüglich holzzerstörender Pilze, nachgewiesen wurde ein kleiner Ascomycet, zudem Schimmelpilze.	M
Probe 78.	Rammpfähle aus Bensorsiel: Probe 3, Lärche, Westseite, ca. 1,5 m unter HW, Rammschäden; ca. 15.10.2017.	Braunfäule-Erreger: gute Übereinstimmung besteht mit der Gattung <i>Pycnoporellus</i> sp. – Familie der Polyporaceae oder ähnliche Gattungen, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 79.	Rammpfähle aus Bensorsiel: Probe 4, Douglasie, Hirnende; ca. 15.10.2017.	Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 80.	Rammpfähle aus Bensorsiel: Probe 5, Douglasie, 1 m unter Hirnende, Splintholz; ca. 15.10.2017.	Ohne Befund bezüglich holzzerstörender Pilze, nachgewiesen wurden Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 81.	Rammpfähle aus Bensorsiel: Probe 6, Douglasie, Westseite, Baumkante, Splint, ca. 2 m über HW; ca. 15.10.2017.	Braunfäule-Erreger: Zerfließende Gallerträne (<i>Dacrymyces stillatus</i> Nees: Fr. – Familie: Dacryomycetaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 82.	Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: Probe 1, Lärche, Kontrollpfahl, Westseite, ca. 2 m über HW, 16.09.2017.	Braunfäule-Erreger: Weißer Porenschwamm / Braunfäuletramete (<i>Antrodia</i> sp. – Familie: Polyporaceae) hochwahrscheinlich Breitsporiger Weißer Porenschwamm / Braunfäuletramete (<i>Antrodia vaillantii</i> – Familie: Polyporaceae).	M
Probe 83.	Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahr-	Braunfäule-Erreger: nicht näher bestimmbar und Weißfäule-Erreger: nicht näher bestimmbar, zudem Bläue-	M

³¹ Hinweis: Für *Antrodia xantha* wird auch der neue Name *Amyloporia xantha* diskutiert (JUSTO et al., 2017).

³² Die Porling-Systematik verändert sich seit Jahren hin und her, so dass wir hier eine konservative Interpretation der Gattungen vornehmen. Mehr zur Aufteilung der Weißen Porenschwämme in mindestens fünf Gattungen (*Amyloporia*, *Antrodia*, *Anthoporia*, *Fibroporia* und *Oligoporus*) kann in JUSTO et al. (2017) nachgelesen werden.

	rinne gezogen: Probe 2, Lärche 1, Westseite, ca. 2 m über HW, 16.09.2017.	und Schimmelpilze.	
Probe 84.	Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahr- rinne gezogen: Probe 3, Lärche, Kon- trollpfahl, Ostseite, ca. 2 m über HW, 16.09.2017.	Moderfäulepilze, Basidiomycet ohne eindeutige Zuord- nung (Fäuletyp unklar, vergleichbar einer leichten Rot- streife), Insektenschaden, zudem Bläue- und Schimmel- pilze.	M
Probe 85.	Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahr- rinne gezogen: Probe 4, Lärche 1, Ost- seite, ca. 1,5 m über HW, 16.09.2017.	Ohne Befund bezüglich holzerstörender Pilze, nachge- wiesen wurden Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 86.	Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahr- rinne gezogen: DOU, Radialriss Rich- tung Nordseite, ca. 1 m über HW, 16.09.2017.	Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 87.	Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahr- rinne gezogen: Probe 6, DOU, Radial- riss Richtung Südostseite, ca. 2,5 m über HW, 16.09.2017.	Moderfäulepilze und Braunfäule-Erreger: nicht näher be- stimmbar, zudem Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 88.	Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahr- rinne gezogen: Probe 7, DOU, 0,5 m über HW, 16.09.2017.	Weißfäule-Erreger: Schicht- oder Rindenpilz (<i>Hypho- derma</i> , <i>Hyphodontia</i> spp. o. ä. – Familie: Corticiaceae), Moderfäulepilze, sowie Bläue- und Schimmelpilze; Holzart: Gemeine Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>).	M
Probe 89.	Neuwerk ³³ , Bauernhafen auf der Insel- Südseite, Probe 1: Hafenbecken West- seite Pfahl 1 von Süd, 18.10.2017	Moderfäulepilze, zudem Insektenschaden (Rüsselkäfer - Familie: Curculionidae), Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 90.	Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel- Südseite, Probe 2: Pfahl 2 von Süd, 18.10.2017.	Moderfäulepilze und Braunfäule-Erreger: Gallerträne (<i>Dacrymyces</i> – Familie: Dacryomycetaceae), zudem In- sektenschaden, Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 91. Abb. 29 und Abb. 30	Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel- Südseite, Probe 3: Hafenbecken Ostseite Pfahl 5 von Süd, 18.10.2017.	Moderfäulepilze, zudem Insektenschaden (Rüsselkäfer - Familie: Curculionidae – Lebendnachweis), Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 92.	Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel- Südseite, Probe 4: Hafenbecken Nord- seite Pfahl 6 von Ost, 18.10.2017.	Moderfäulepilze, zudem Insektenschaden (Rüsselkäfer - Familie: Curculionidae), Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 93.	Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel- Südseite, Probe 5: Pfahl 7, von Ost 18.10.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterienschä- den, zudem Bläue- und Schimmelpilze; Holzart: Ge- meine Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>).	M
Probe 94.	Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel- Südseite, Probe 6: Pfahl 11 von Ost, 18.10.2017.	Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterienschä- den (Probe wirkt in Teilen braunfäul; dies lässt sich je- doch mikroskopisch nicht erhärten), zudem Insekten- schaden, Bläue- und Schimmelpilze.	M
Probe 95.	P1 ³⁴ : Versuche im Außentank: Auf Kie- fer, weißes Mycel; 20.09.2016.	Weißfäule-Erreger: Artengruppe der Schicht- und Rin- denpilze: wahrscheinlich Zystidenrindenpilz (<i>Phanero- chaete</i> sp. oder ähnliche Gattung) und Schimmelpilze.	?
Probe 96.	P2: Versuche im Außentank: Auf Kie- fer, weißes Mycel; 20.09.2016.	Weißfäule-Erreger: Artengruppe der Schicht- und Rin- denpilze: wahrscheinlich Zystidenrindenpilz (<i>Phanero- chaete</i> sp. oder ähnliche Gattung) und Schimmelpilze. Sequenziert als Großer Zystidenkammopilz (<i>Phlebiopsis gigantea</i> = <i>Phanerochaete gigantea</i>) von Dr. Trautner (Thünen-Institut).	?

³³ Die Proben wurden zwischen der Hochwasserlinie (HW) und ca. 1 m über Hochwasserlinie genommen (Dr. Müller). Ha-
fenbecken fällt bei Ebbe weitgehend trocken (Probe 1-6). Auffällig war hier die dunkle Verfärbung des Holzes. Zudem gibt
es helle Oberflächen an einigen Flächen. Die genauen Höhenangaben zu dieser Probenserie (1-6) liegen nicht vor.

³⁴ Vorliegende Informationen: „Einstellversuch bei uns in Kooperation mit Dr. Müller. Das Kiefersplintmaterial stammte
von Pfosten, die etwa 2 Wochen vor der Probennahme von Dr. Müller eingeschnitten worden waren.“ Diese Proben wurden
nicht in die Bewertung aufgenommen.

Probe 97.	P3: Versuche im Außentank: Auf Kiefer, weißes Mycel; 20.09.2016.	Oberfläche gealtert (Abbau-Art unklar), Schimmelpilze.	?
Probe 98.	P1a, Hafen Norddeich ³⁵ , 20 cm von oben (ca. 30 cm über Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz, keine Seepocken.	M/H
Probe 99.	P1c, Hafen Norddeich, 50 cm von oben (bei Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz, keine Seepocken.	M/H
Probe 100.	P1e, Hafen Norddeich, 100 cm von oben (ca. 50 cm unter Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz, keine Seepocken.	M/H
Probe 101.	P2a, Hafen Norddeich, 20 cm von oben (ca. 30 cm über Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i> ³⁶).	M/H
Probe 102.	P2c, Hafen Norddeich, 50 cm von oben (bei Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 103.	P2e, Hafen Norddeich, 100 cm von oben (ca. 50 cm unter Hochwasserlinie).	Wenige Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm, verschiedene Typen), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 104.	P3a, Hafen Norddeich, 20 cm von oben (ca. 30 cm über Hochwasserlinie).	Wenige Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm, verschiedene Typen), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 105.	P3c, Hafen Norddeich, 50 cm von oben (bei Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 106.	P3e, Hafen Norddeich, 100 cm von oben (ca. 50 cm unter Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 107.	P4a, Hafen Norddeich, 20 cm von oben (ca. 30 cm über Hochwasserlinie).	ohne Befund, mit Algenbesatz/Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 108.	P4c, Hafen Norddeich, 50 cm von oben (bei Hochwasserlinie).	Wenige Moderfäulepilze (oberflächlich, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich wenige Kavernen, unter 1 mm), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 109.	P4e, Hafen Norddeich, 100 cm von oben (ca. 50 cm unter Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, viele Kavernen, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 1 mm), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 110.	P5a, Hafen Norddeich, 20 cm von oben (ca. 30 cm über Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächlich, viele Kavernen, unter 1 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, ca. 4 Zellreihen tief), mit Algenbesatz und Seepocken (wahrscheinlich <i>Semibalanus balanoides</i>).	M/H
Probe 111.	P5c, Hafen Norddeich, 50 cm von oben (bei Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (oberflächlich, unter 3 mm).	M/H

³⁵ Die Proben (98-112) wurden am 10.05.2016 eingebaut und am 26.03.2018 ausgebaut; die Proben-Abschnitte ragten bei Hochwasser ca. 50 cm aus dem Wasser. Holzart: Kiefer, viel Splintholz, alle Oberflächen gealtert, Kantholz ca. 5 x 8 cm (angeschraubt an verschiedene Dalben). Genaue Lage der Proben: siehe ggf. Berichtsteil von Dr. Müller.

³⁶ Die Seepocken wurden nicht genauer untersucht, hierzu fehlte uns der Auftrag - Bestimmung nach dem Augenschein.

Probe 112.	P5e, Hafen Norddeich, 100 cm von oben (ca. 50 cm unter Hochwasserlinie).	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2 mm) und hochwahrscheinlich Bakterien-schäden (oberflächlich, unter 1 mm, unscharf auflaufend).	M/H
Probe 113. Abb. 42	L 15 (-0,5 cm unter Wasser), Salzwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief).	H
Probe 114.	L 15 (0,5 cm über Wasser), Salzwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief).	H
Probe 115.	L 15 (10 cm über Wasser), Salzwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief).	H
Probe 116.	L 15 (15 cm über Wasser), Salzwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief).	H
Probe 117. Abb. 34	Rundholz Nr. 1 (<i>Pinus sylvestris</i>): (-0,5 cm unter Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2 mm); Holzoberfläche gealtert.	H
Probe 118.	Rundholz Nr. 1 (<i>Pinus sylvestris</i>): (0,5 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2 mm); Holzoberfläche gealtert.	H
Probe 119.	Rundholz Nr. 1 (<i>Pinus sylvestris</i>): (10 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (wenige, oberflächliche Kavernen, unter 2 mm); Holzoberfläche gealtert, Algenbesatz.	H
Probe 120.	Rundholz Nr. 1 (<i>Pinus sylvestris</i>): (15 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (wenige, oberflächliche Kavernen, unter 2 mm); Holzoberfläche gealtert, Algenbesatz.	H
Probe 121. Abb. 35	Rundholz Nr. 2 (<i>Pseudotsuga menziesii</i>): (-0,5 cm unter Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 0,5 mm) und hochwahrscheinlich Bakterien-schäden (oberflächlich, unter 0,3 mm).	H
Probe 122.	Rundholz Nr. 2 (<i>Pseudotsuga menziesii</i>): (0,5 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 1 mm tief), Bakterien-schäden nicht nachgewiesen.	H
Probe 123.	Rundholz Nr. 2 (<i>Pseudotsuga menziesii</i>): (10 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 4 mm tief), verursacht durch Ascomycet? –	H
Probe 124.	Rundholz Nr. 2 (<i>Pseudotsuga menziesii</i>): (15 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief), zudem Algen und Bläuepilze.	H
Probe 125. Abb. 36	Rundholz Nr. 3 (<i>Larix decidua</i>): (-0,5 cm unter Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 1,5 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien-schäden (oberflächlich, unter 0,5 mm ³⁷), zudem Bläuepilze.	H
Probe 126.	Rundholz Nr. 3 (<i>Larix decidua</i>): (0,5 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2,2 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien-schäden (oberflächlich, unter 0,5 mm), zudem Bläuepilze.	H
Probe 127.	Rundholz Nr. 3 (<i>Larix decidua</i>): (10 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief).	H
Probe 128.	Rundholz Nr. 3 (<i>Larix decidua</i>): (15 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief).	H
Probe 129. Abb. 37	Rundholz Nr. 5 (<i>Pinus sylvestris</i>): (-0,5 cm unter Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 1,2 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterien-schäden (oberflächlich, unter 0,5 mm), zudem Algen und Bläuepilze.	H
Probe 130.	Rundholz Nr. 5 (<i>Pinus sylvestris</i>): (0,5 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Weißfäule-Erreger: Artengruppe Schicht- und Rindenpilze: Großer Zystidenkamm-pilz (<i>Phlebiopsis gigantea</i> = <i>Phanerochaete gigantea</i>) und Bläuepilze	H
Probe 131.	Rundholz Nr. 5 (<i>Pinus sylvestris</i>): (10 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-	Weißfäule-Erreger: Artengruppe Schicht- und Rindenpilze: Großer Zystidenkamm-pilz (<i>Phlebiopsis gigantea</i> =	H

³⁷ In diesem Bereich scheinen die Kavernen der Moderfäulepilze zu fehlen.

	Institut.	<i>Phanerochaete gigantea</i>) und Bläuepilze.	
Probe 132.	Rundholz Nr. 5 (<i>Pinus sylvestris</i>): (15 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Weißfäule-Erreger: Artengruppe Schicht- und Rindenpilze: Großer Zystidenkamppilz (<i>Phlebiopsis gigantea</i> = <i>Phanerochaete gigantea</i>), wenige Moderfäulepilze und Bläuepilze	H
Probe 133. Abb. 40	Rundholz Nr. 9 (<i>Picea abies</i>): (-0,5 cm unter Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 1 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden (oberflächlich, unter 0,5 mm), zudem Bläuepilze.	H
Probe 134.	Rundholz Nr. 9 (<i>Picea abies</i>): (0,5 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2 mm tief, oft im Spätholz), Weißfäule-Erreger und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden (oberflächlich, zerstreut, unter 0,5 mm), zudem Bläuepilze.	H
Probe 135.	Rundholz Nr. 9 (<i>Picea abies</i>): (10 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief), zudem Bläuepilze.	H
Probe 136.	Rundholz Nr. 9 (<i>Picea abies</i>): (15 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief), zudem Bläuepilze.	H
Probe 137. Abb. 41	Rundholz Nr. 13 (<i>Picea abies</i>): (-0,5 cm unter Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2,0 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden (oberflächlich, unter 0,5 mm), zudem Bläuepilze.	H
Probe 138.	Rundholz Nr. 13 (<i>Picea abies</i>): (0,5 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 2,3 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden (oberflächlich, unter 0,5 mm), zudem Bläuepilze.	H
Probe 139.	Rundholz Nr. 13 (<i>Picea abies</i>): (10 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 0,3 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden in einigen Tüpfeln, zudem Bläuepilze.	H
Probe 140.	Rundholz Nr. 13 (<i>Picea abies</i>): (15 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut.	Moderfäulepilze (oberflächliche Kavernen, unter 0,3 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden in einigen Tüpfeln, zudem Bläuepilze.	H
L.-Nr. = Laufende Nummer; P = Probe; Verantwortlich für die Probennahme: H = Dr. Huckfeldt; M = Dr. Müller; Verantwortlich für die Dokumentation vor Ort: Dr. Müller.			

Die Diagnose der Befälle im Einzelnen:

Bezeichnung: Probe 1: Greetsiel; ca. 1,5 m über Wasser (keine Tide – Brack-/Süß); 15.11.2015.

Braunfäule-Erreger: Schuppiger Sägeblättling (*Lentinus lepideus* – Familie: *Lentinaceae*).

Probenbeschreibung: ein verschimmelter Fruchtkörper; Holzart nach Bild nicht bestimmbar (15.10.17.Greets.FK.jpg).

Fruchtkörper: ca. 9 cm hoch, Hut: 6 cm im Durchmesser, 1,5 cm dick, Rand z. T. umgeschlagen, nach Bild mehr-hütig, ohne deutlichen Pilzduft, da verschimmelt. **Stiel:** 7 cm lang, um 1 cm dick, schwach seitlich ansetzend. **Hutoberseiten:** hellbraun, ockerbraun (Hauptfarbe) bis dunkelbraun, mit Schuppen. **Lamellen:** hellbraun (Hauptfarbe) bis braun, mäßig dichtstehend, etwas wellig, 2-5 mm tief, am Stiel etwas herablaufend, Lamellenscheiden gesägt; Velum am Hutrand fehlt. **Fruchtfleisch:** cremefarben bis braun, ohne andere Farbtöne, festfleischig, nicht bröckelnd.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** hyalin, dünn- bis schwach dickwandig (unter 1 µm dick), bis 2,5-4 µm im Durchmesser (kaum ondulierender Durchmesser), septiert, mit Schnallen an den Septen, wenig verzweigt. **Gefäßhyphen (breite Grundhyphen):** fehlen. **Basidien:** 6-7 µm breit, ca. 18-32 µm lang, mit Basalschnallen und 4 Sterigmen, diese ca. 2-3 µm lang. **Sporen:** 9,5-10 x 3-4 µm, kaum gebogen, hyalin, dünnwandig, glatt, Apikulus: vorhanden, jod-negativ. **Zystiden (Zystiolen):** unauffällig, ähnlich den Basidien, 3,5-5 µm breit, ca. 28-46 µm lang, mit Basalschnallen.

Bezeichnung: Probe 2: P1: Norddeich; Dalbe oben, Holz außerhalb des Salzbereiches; Bild: 15.11.28., Nd.FK; 28.11.2015.

Weißfäule-Erreger: Judasohr (*Auricularia auricula-judae* – Familie: *Auriculariaceae*), Holzart: Basralocus/Angelique (*Dicorynia paraensis*).

Probenbeschreibung: Fruchtkörper (frühe bzw. unklare Abbauphase); Holzart wahrscheinlich: *Dicorynia* sp. (Angelique); Bild: 15.11.28.Nd.FK.Westhafen.Basra.jpg (bitte prüfen!).

Fruchtkörper: frisch: Konsistenz von Ohren; ca. 2,7 x 1,7 x 0,7 cm groß, trocken: hornartig, faltig, Kanten eingerollt, brüchig, bis 1 mm dick, dunkel-rotbraun bis braunschwarz. **Rand** glatt. **Stiel** fehlt, aber Basis etwas stielähnlich zusammengezogen.

Myzel: fehlt. **Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: in Matrix eingebunden, gut färbbar in Malachitgrün. **Grundhyphen:** hyalin, 1-2 (-2,5) µm im Durchmesser, dünnwandig,

Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Gesellschafter:
Dipl.-Holzwirt Dr. Mathias Rehbein
Mobil: 0163 / 15 34 483

Seite
18 von 60

Gesellschafter:
Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt
Mobil: 0160 / 32 62 615

septiert, ohne Schnallen, unregelmäßige, feine Schleimschicht (Matrix), gut färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Basidien:** hyalin, dünnwandig, mit 3 Quer-Septen geteilt, mit seitlichen Epibasidien. **Basidiosporen:** hyalin, dünn- bis etwas dickwandig (Zellwände z. T. im gleichen Abstand zueinander), 18-19 x 7-8 µm, leicht gebogen. **Zystiden:** nicht nachgewiesen. **Mikrokonidien, Faserhyphen** und **Gefäßhyphen** fehlen (Gattungsmerkmal!). **Haare (Oberseite):** zahlreich, nicht verzweigt, 80-130 lang, an der Basis 5-7 (-8) µm breit, hyalin, dünn- bis dickwandig, hohl, färbbar in Kongorot, jod-negativ.

Ergebnis der lichtmikroskopischen Holzartenbestimmung

Die untersuchte Probe entspricht nach makro- und mikroskopischen Strukturmerkmalen vollständig Hölzern aus der botanischen Familie der **FABACEAE-CAESALPINIOIDEAE**.

Beste Übereinstimmung, aufgrund nachfolgend aufgeführter struktureller Merkmale, besteht mit dem Holz der botanischen Gattung/Art ***Dicorynia guianensis* Amsh., *D. paraensis* Benth.**

Handelsbezeichnung **Angélique, Basralocus**.

Strukturmerkmale:

- Farbe braun
- Gefäße vorhanden, gruppiert
- Gefäße meist in kurzen rad. Reihen
- Gefäßdurchmesser 200-260 µm
- Gefäßdurchbrechungen einfach
- Gefäßtüpfel wechselständig, 6-8 µm im Durchmesser
- Tüpfel verziert
- Kreuzungsfeldtüpfel deutlich behöft Fasern von mittlerer Wandstärke
- Axialparenchym diffus zoniert, Strangförmig
- Holzstrahlen vorhanden, 1-2 (-3) Zellen breit, heterozellular
- Mit einer Reihe Kantenzellen

Bezeichnung: Probe 3: P2: Norddeich; Dalbe oben, Holz wahrscheinlich außerhalb des Salzbereiches; 17.10.2015.

Moderfäulepilze (mäßig stark) und schwache Bakterienfäule, zudem Bläue- und Schimmelpilze; Holzart: Basralocus/Angélique (*Dicorynia paraensis*).

Probenbeschreibung: Holzteil (frühe bzw. unklare Abbauphase); Holzart wahrscheinlich: *Dicorynia* sp. (Angélique).

Fruchtkörper/Stränge/Myzel: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Moderfäulepilzen.

Hyphensystem: fehlt - von Braun- und Weißfäulepilze.

Polarisationsmikroskopie: Die Polarisation des Holzes ist Befallsbereich kaum/nicht vermindert.

Moderfäulepilze: mäßig viele spitz zulaufende Kavernen insbesondere an der Oberfläche des Holzes vorhanden.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht sicher nachgewiesen.

Bakterienschaden: Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen; Typ: Erosion.

Anmerkung: *Dicorynia paraensis* und Schimmelpilze nicht weiter beschrieben.

Bezeichnung: Probe 4: Harlesiel; Dalbe oben, außerhalb des Salzwassereinflusses von unten; Bild: 15.11.28; Harlesiel.FK.jpg; 15.11.2015.

Weißfäule-Erreger: Drüsling (*Exidia* sp. – Familie: Tremellaceae); wenn Laubholz dann Drüsling (*Exidia glandulosa*), wenn Nadelholz dann Teerfleck Drüsling (*Exidia plana* var. *pithya*), zudem Moderfäulepilze (Intensität?).

Probenbeschreibung: Fruchtkörper und sehr kleine moder- und weißfaule Holzfragmente (bis finale Abbauphase; abiotische Faktoren unklar); Holzart möglicherweise: Laubholz, ggf. Nadelholz; Bild: 15.11.28.Harlesiel.FK.jpg (bitte prüfen!).

Fruchtkörper: trocken: Konsistenz von Horn; ca. 1-2 cm groß, trocken: hornartig, faltig, Kanten eingerollt, brüchig, bis 1 mm dick, braunschwarz bis schwarz. **Rand** glatt. **Stiel** fehlt, aber Basis etwas stielähnlich zusammengezogen; nach dem Bild aus einem Riss wachsend; Holz stark von Flechten/Algen. **Stränge/Myzel:** fehlt.

Hyphensystem: in feine Matrix eingebunden, Hyphen gut färbbar in Malachitgrün. **Grundhyphen (Trama):** hyalin, 1-2 (-3) µm im Durchmesser, dünnwandig, septiert, mit Schnallen, auch weite offene Schnallen vorhanden, mit unregelmäßiger feiner Schleimschicht (Matrix) umgeben, gut färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Grundhyphen (Hymenium):** hyalin bis braun, 1-2 (-3) µm im Durchmesser, dünn. bis etwas dickwandig, septiert, mit Schnallen, kompakter gewachsen. **Basidien:** hyalin, dünnwandig, mit 2 Längs-Septen (4-zellig). **Basidiosporen:** hyalin, dünn- bis etwas dickwandig (Zellwände z. T. im gleichen Abstand zueinander), 13-15 (-16) x 4-5 µm, leicht gebogen. **Zystiden:** nicht nachgewiesen. **Mikrokonidien, Faserhyphen** und **Gefäßhyphen** fehlen. **Haare (Oberseite):** fehlen.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 5: P1: Bengersiel; Halbe Höhe zwischen Hochwasserlinie und Kopfende, also weder Einfluss durch Salzaufstieg, noch durch Hirnholzauffeuchtung; FK.Gall.jpg; 15.11.2015.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: Dacryomycetaceae in der Nebenfruchtform.

Probenbeschreibung: sehr kleine, braunfaule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein, Fäule auffällig hellbraun, bis finale Abbauphase).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, gelb bis orangegelb, nicht glasig (alt: blass werdend bis braun bis braun-schwarz), bis 3 mm im Durchmesser (1 mm hoch), oft zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: gelänlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig. **Myzel / Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breiten Hyphen: 4-6 µm), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert,

Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Gesellschafter:
Dipl.-Holzwirt Dr. Mathias Rehbein
Mobil: 0163 / 15 34 483

Seite
19 von 60

Gesellschafter:
Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt
Mobil: 0160 / 32 62 615

immer ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). Mikrokonidien: fehlen. Makrokonidien: hyalin, dickwandig, 4-6 x 6-8 µm, 0-1 Septe (aus breiten Grundhyphen entstehend)

Bezeichnung: Probe 6: P2: Bensorsiel: FK am Pfahl an der Westseite des Hafenbeckens, 3 m über Hochwasser, 0,5 m unter oberem Ende, weiß gestrichen.

Weißfäule-Erreger: Rosablättriger Helmling (*Mycena galericulata*); **Braunfäule-Erreger:** unklar, zu wenig Material.

Probenbeschreibung: braun - und weißfäule Holzrestchen und ein Fruchtkörper (Würfelbruch bis 1,2 cm groß, Holz auch faserig, bis finale Abbauphase)

Fruchtkörper: gegliedert in Hut und Stiel, einzelhütig, fleischig, mit deutlichen hellen Lamellen, diese jedoch z. T. zersetzt. Oberseite: fein filzig, braun bis dunkelbraun, etwas schuppig (Ursprungsfarbe: ocker-gaubraun). Hut: rund bis oval. Lamellen: weißlich (alt altrosa), unverzweigt, mäßig dicht stehend, den Stiel erreichend, breit angewachsen, mit Lamelletten. Stiel: zentral, weiß, hohl; Basis: unklar.

Hyphensystem: Grundhyphen: hyalin bis hellbraun, 1,5-10 µm im Durchmesser, septiert, selten kollabiert, dünnwandig bis leicht dickwandig. Faserhyphen: fehlen. Basidien: 35-40 x 6-7 µm, keulenähnlich, meist 2 Sterigmen. Sporen: hyalin, glatt- und etwas dickwandig (Zellwand unter 1 µm dick), 7-7,5 x 8-9 µm, oval, symmetrisch; Apikulus deutlich. Zystiden: hyalin, mit feinen fingerförmigen Auswüchsen, ohne Kristallbelang, bauchig, Enden nicht verdickt.

Anmerkung: *Mycena galericulata* ist kein primärer Holzzerstörer; dieser sollte gesucht werden. Ich bitte um Rückmeldung, ob dies möglich ist.

Bezeichnung: Probe 7: P3: Bensorsiel: Halbe Höhe zwischen Hochwasserlinie und Kopfende, also weder Einfluss durch Salzaufstieg, noch durch Hirnholzauffeuchtung; 15.11.2015.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: Dacryomycetaceae); **Doppelbefall mit Kellerschwamm / Braunsporrindenpilz** (*Coniophora* sp. – Familie: Coniophoraceae).

Probenbeschreibung: sehr kleine, braunfäule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein, Fäule auffällig hellbraun, bis finale Abbauphase; Probe klein).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, gelb bis orange-gelb, nicht glasig (alt: blass werdend bis braun bis braun-schwarz), bis 3 mm im Durchmesser (1 mm hoch), oft zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: gelänlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig. Mycel / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breiten Hyphen: 4-5,5 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, immer ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). Mikrokonidien: fehlen. Makrokonidien: mäßig viele, hyalin, dickwandig, 5-6 x 7-13 µm (Reifegrad unklar), 0-1 Septe (aus breiten Grundhyphen entstehend).

Bezeichnung: Probe 8: P4: Lärche, Entnahmestelle 2, oberhalb Hochwasser, Salzaufstieg möglich, ca. 25 cm über mittleres Hochwasser, ca. 5,3 m vom Hirnholz, Mycel im Riss

Braunfäule-Erreger: Zaunblättling (*Gloeophyllum sepiarium* – Familie der Polyporaceae s. l.; Coriolaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze

Probenbeschreibung: Mycel an braunfaulen Holz (deutlicher Würfelbruch bis 6,5 cm groß, Abbaumuster auch etwas muschelähnlich, finale Abbauphase; Probe eingekürzt).

Mycel: helleres Unter- und dunkleres Obermycel vorhanden. Untermycel: dünn (bis 1 mm dick), weiß bis cremefarben (Hauptfarbe), ohne Strangansätze. Obermycel: hellbraun, rötlich-gelbbraun bis sattbraun, im Tastgefühl etwas weich, fleischig.

Stränge/Fruchtkörper: fehlen.

Hyphensystem: Obermycel: Grundhyphen: hyalin bis hellbraun mit braunen Ein- und Auflagerungen, dünnwandig, 2-4 µm im Durchmesser, septiert, mit deutlichen einfachen Schnallen (mit „Nase“) an den Septen, teilweise kollabiert, mit Kongorot färbbar, mit Kongorot anfärbbar, jod-negativ. Faserhyphen: hyalin, hellbraun bis dunkelbraun, dickwandig, 2-3 (-3,5) µm im Durchmesser, Lumen: breit bis klein, aber deutlich sichtbar, gut in Baumwollblau-Milchsäure färbbar, jod-negativ. Gefäßhyphen fehlen (Gattungs-Merkmal). Kristalle: vorhanden, auch als feiner Belag auf den Hyphen.

Untermycel: Grundhyphen: wie vor, aber 1-3 µm im Durchmesser. Faserhyphen: wie vor, aber nur hyalin, 2-3 µm im Durchmesser.

Bezeichnung: Probe 9: Nessmer-Siel; Pfahl 1; 0,8 m über Kai, Südseite, an Nadelholz, Splint; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtförm.

Probenbeschreibung: sehr kleine, braunfäule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein, Fäule auffällig hellbraun, bis finale Abbauphase; Probe klein).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, gelb bis orange-gelb, nicht glasig (alt: blass werdend bis braun bis braun-schwarz), bis 3 mm im Durchmesser (1 mm hoch), oft zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: gelänlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig.

Mycel / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breiten Hyphen: 4-5,5 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, immer ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). Mikrokonidien: fehlen. Makrokonidien: mäßig viele, hyalin, dickwandig, 5-6 x 7-13 µm (Reifegrad unklar), 0-1 Septe (aus breiten Grundhyphen entstehend).

Bezeichnung: Probe 10: Nessmer-Siel; Pfahl 4; 1,8 m über Kai, Westseite, an Nadelholz, Splint; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: *Dacryomycetaceae*).

Probenbeschreibung: braunfaules Holz mit kleinen Fruchtkörpern (Würfelbruch fein, Bruchbild kurzfasrig; bereichsweise bis finale Abbauphase; Probe klein).

Mycel / Stränge: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Bläuepilze.

Fruchtkörper (*Dacryomyces*): frisch, kleine Köpfchen, z. T. zerlaufend, rund, gelblich, 0,5-2 mm im Durchmesser, bis 1 mm hoch, einzeln oder in kleinen Gruppen; trocken: wachs- bis hornartig fest, braun.

Hyphensystem: Grundhyphen: hyalin bis hellbraun, 1,5-4 (-5) µm im Durchmesser, dünnwandig, septiert, mit deutlichen Schnallen an den Septen, unregelmäßige, mit schwach körnige Schleimschicht (punktiert). Basidien: gegabelt, oberer Teil: 3-5 x 15-15 µm; Unterteil: 4-6 x 30-31 µm. Basidiosporen: hyalin, dünn- bis schwach dickwandig, leicht gebogen, 12-13 x 5,5-6 µm, 1-2 Septen (Reifegrad unklar). Hyphidien: hyalin, zuweilen oben verzweigt. Zystiden: fehlen. Makrokonidien: hyalin, dickwandig, 4-6 x 6-14 µm (Reifegrad unklar), aus breiten Grundhyphen entstehend.

Bezeichnung: Probe 11: Nessmer-Siel; Pfahl 5; 1,6 m über Kai, Westseite; Nadelholz, Splint; 22.01.2016.

Mehrfachbefall: Weißfäule-Erreger: Gruppe der Schichtpilze - Karstens Rindenpilz (*Dacryobolus karstenii*) und Moderfäulepilze, zudem Schimmel- und Bläuepilze.

Probenbeschreibung: weiß- und moderfaules Holz mit hellen Fruchtkörpern/Mycel (bis finale Abbauphase, als Innenfäule; äußere, intaktere Schicht sehr dünn).

Fruchtkörper: resupinat, gel-ähnlich (frisch) bis wachsähnlich fest (trocken), glatt bis sehr schwach warzig, aber nicht zahnchenähnlich, weißlich, creme bis hellbraun-ocker (wenn trocken), unter 1 mm dick. Trama: fest, wachsähnliche Konsistenz, weiß.

Mycel: spärlich, weißlich, auch in Holzspalten und -ritzen und am Fruchtkörper-Rand.

Hyphensystem: Nur Grundhyphen (monomitisch), diese hyalin, mäßig bis stark verzweigt, 1,5-4,5 µm Durchmesser, septiert, mit deutlichen Schnallen an den Septen, dünn- bis etwas dickwandig (in Holznähe etwas dicker), in Kongorot färbbar. Faserhyphen und Gefäßhyphen fehlen. Basidien: 4-5 x 40-43 µm, vier Sterigmen und Basalschnalle, ohne Taillierung, säulenförmig. Sporen: zahlreich, lanzettförmig, etwas gebogen, 5-5,5 x 1-1,2 µm, hyalin, dünnwandig, mit Apikulus, nicht amyloid. Zystiden (schwach Lamprozystiden): gerundet, Basis meist schlanker, (nicht septiert) 6-7 (-12) x 45-125 (260) µm, dünnwandig, an der Basis etwas dicker, mit kleiner Basalschnalle, Spitze mit Kristallbelag, in KOH quellend.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen.

Anmerkung: Schimmel- und Bläuepilze nicht weiter beschrieben.

Hinweis: die Fäule-Tiefe und die Fäule-Verteilung in der Dalbe sind unklar, da sonst Schussfolgerungen zur Himmelsrichtung erschwert sind. Bitte vor Ort nachgeprüft. Danke! Ich bitte dann ggf. um Rückmeldung.

Anmerkung: Die Stichprobenartige, kurze Ansicht der Dalben war m. E. kaum zielführend. Es fehlen zu spannende Daten.

Bezeichnung: Probe 12: P1: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl, (NO/N): 9; 50-60 cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: *Dacryomycetaceae*) in der Nebenfruchtform, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Pfahl: ca. 2,5 m aus dem Wasser ragend (nach Algenresten), Nadelholz

Probenbeschreibung: hell-braunfaule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein, Fäule auffällig hellbraun, bis finale Abbauphase – Abbau oberflächennah).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, gelb bis orangegelb, nicht glasig (alt: blass werdend, braun bis braun-schwarz), bis 2,5 mm im Durchmesser (um 1 mm hoch), selten zerfließen/zerlaufen, Konsistenz: gelänlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig (fast wie Harz; beim Schneiden oft zerspringend).

Mycel / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breite Hyphen: 4-5,5 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, immer ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). Mikrokonidien: fehlen. Makrokonidien: mäßig viele, hyalin, tonnenförmig, dickwandig, 5-6 x 7-13 µm (Reifegrad unklar), 0-1 Septe (aus breiten Grundhyphen entstehend).

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 13: P2: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl (NO): 9; 10-25 cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: *Dacryomycetaceae*) in der Nebenfruchtform, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: sehr kleine, braunfaule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein bis 3 mm tief, Fäule auffällig hellbraun, bis finale Abbauphase).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, rot bis leuchtend ziegelrot, nicht glasig (alt: blass werdend, braun bis braun-schwarz), bis 2 mm im Durchmesser (0,5 mm hoch), z. T. zerfließen/zerlaufen, Konsistenz: gelänlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig. **Mycel / Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breite Hyphen: 3-6 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, Septen immer ohne Schnallen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). Mikrokonidien: fehlen. Makrokonidien: wenige (frühes Reifestadium), hyalin, tonnenförmig, dickwandig, 4-5 x 6-9 µm (Reifegrad unklar), 0-1 Septe (aus breiten Grundhyphen entstehend).

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 14: P3: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (NO); 150-170 cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: *Dacryomycetaceae*) in der Nebenfruchtform, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: sehr kleine, braunfaule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein, Fäule ca. 1 mm tief, Fäule auffällig hellbraun (ggf. auch aufgrund von Lichtalterung des Holzes), bis finale Abbauphase).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, orange bis gelbrot-braun, nicht glasig (alt: blass werdend bis braun bis braun-schwarz), bis 2 mm im Durchmesser (unter 1 mm hoch), z. T. zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: gelähnlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig. **Mycel / Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breiten Hyphen: 3-6 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, Septen immer ohne Schnallen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). **Mikrokonidien:** fehlen. **Makrokonidien:** wenige (frühes Reifestadium), hyalin, tonnenförmig, dickwandig, 4-5 x 9-11 µm (Reifegrad unterschiedlich), 0-1 Septe (aus breiten Grundhyphen entstehend).

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 15: P4: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (U); 50 cm unter NN; 22.01.2016.

Moderfäulepilze (oberflächlich), Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moderfaule Holzteile (Schimmel- und Bläuepilz-Bewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein, Fäule 1-10 mm tief, bis finale Abbauphase).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche etwas schleimig (wenn nass, auch durch Algen).

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen/unklar, abgesehen von Schimmelpilzen; spärlich.

Hyphensystem (Fäulepilze): fehlt.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Anmerkung: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Fäulepilzen nachgewiesen.

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 16: P5: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (U); 280 cm unter NN; 22.01.2016.

Moderfäulepilze (oberflächlich), zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moderfaules Holzteil unter Algenbelag (Schimmel- und Bläuepilz-Bewuchs an der Oberfläche, Fäule bis 20 mm tief, bis finale Abbauphase).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche etwas schleimig (wenn nass, auch durch Algen).

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen/unklar, abgesehen von Schimmelpilzen; spärlich.

Hyphensystem (Fäulepilze- Basidiomyceten): fehlt.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Anmerkung: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Fäulepilzen nachgewiesen.

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 17: P6: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (SW-SO); (0-) 20-30 cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces* sp. – Familie: *Dacryomycetaceae*); Weißfäule-Erreger: Zähnchenrindenpilz (*Hyphodontia* sp.), wahrscheinlich *Hyphodontia alutacea*; Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moder-, weiß- und braunfaules Holzteil (Würfelbruch kaum ausgeprägt; Holz faserig, Oberfläche bis frühe finale Abbauphase; innen finale Abbauphase (ca. 5-15 cm tief³⁸); Braunfäule in Teilen vergleichsweise hell); beschichtet.

Stränge/Fruchtkörper/Mycel: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Bläuepilze.

Hyphensystem: **Substrathyphen (Gallerträne):** 1,5-3 µm Durchmesser, dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, ohne Schnallen an den häufigen Septen (Querwänden). Zudem Bläue- und Schimmelpilze vorhanden.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes war in den abgebauten Bereichen vermindert.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Anmerkung: Beschreibung *Hyphodontia* siehe Probe 7.

Bewertung: Hier liegt ein Mischbefall vor.

³⁸ Da die Pfähle wenig beschädigt werden durften, war die Fäule-Tiefe nicht genau auslotbar.

Bezeichnung: Probe 18: P7: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (S); ca. 150 cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Weißfäule-Erreger: Zähnchenrindenpilz (*Hyphodontia* sp.), wahrscheinlich *Hyphodontia alutacea*, und Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: große, weiße Fruchtkörper an moder-, braun- und weißfaulem Holz (Würfelbruch bis 1,5 cm, Braun- und Weißfäule: finales Abbaustadium), ohne Mycel.

Fruchtkörper (*Hyphodontia*): resupinat, nicht geschichtet, wattig-weich bis weich-fleischig, glatt bis sehr schwach gezähnt/warzig (unter 0,5 mm hoch), weiß bis weißlich, unter 1 mm dick, Warzen/Zähnchen unter 1 mm lang. **Trama:** locker, watteähnlich, weiß. **Mycel/Stränge:** fehlen.

Hyphensystem (*Hyphodontia*): **Grundhyphen:** hyalin, verzweigt, septiert (in Teilen stark), dünn- bis etwas dickwandig (etwas dicker, insbesondere im Subikulum), 2-3 µm, mit vielen deutlichen Schnallen, z. T. massiv von Kristallen durchzogen. **Faserhyphen, Gefäßhyphen** und **Konidien** fehlen. **Basidien:** hyalin, 4-4,5 x 9-12 µm, mit vier Sterigmen (2-4 µm lang), mit kleiner Basalschnalle. **Sporen:** langgestreckt, kaum gebogen, Apikulus klein, ca. 2,5-3 x 5-5,5 µm, hyalin, dünnwandig. **Zystiden (mit Kristallen):** selten. **Zystiden (ggf. Zystidien):** zahlreich, 22-45 µm lang, dünnwandig (Zellwand unter 1 µm dick), säulenförmig, etwas unförmig, rund endend, mit Basalschnalle, z. T. mit Gelhaube.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes war in den abgebauten braunfaulen Bereichen vermindert.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Hinweis zu den Zähnchenrindenpilzen: Sie verursachen eine langsam fortschreitende Weißfäule, meist an morschem Holz, Schäden an verschiedenartigem Bauholz sind beschrieben.

Bezeichnung: Probe 19:P8: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 3 (verschiedene Höhen und Seiten); 22.01.2016.

Insektenschaden: Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus*), zudem Moderfäulepilze.

Probenbeschreibung: insektengeschädigte und moderfaule Holzteile (Insektenschaden bis stark).

Mycel und Stränge: fehlen, abgesehen von Schimmelpilzen. **Fruchtkörper:** fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen – **Grund-, Faser- und Gefäßhyphen** fehlen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen waren vorhanden. Außerdem waren Hyphen von Bläue- und Schimmelpilzen vorhanden.

Gänge/Genagsel (*Hylotrupes*): helles, lockeres, nicht verklebtes Bohrmehl mit walzenförmigen Kotpapillen, unterschiedlich groß (da verschiedene Larvengrößen); benagtes Holz z. T. mit deutlichen Riffelmarken, z. T. mit deutlichem Platzfraß. Ausflugslöcher: an der Probe nicht vorhanden/nicht auswertbar/unklar (bitte Anmerkung im Methodenteil beachten). **Larven, Käfer- und Käferteile:** fehlen.

Bezeichnung: Probe 20: P9: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (U); 280-340 cm unter NN (Bereich der tierischen Schäden); 22.01.2016.

Moderfäulepilze und Bakterienschäden (intensiv); zudem Insektenschäden; Holzart: Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*).

Pfahl: ca. 3,8 m aus dem Wasser ragend (nach Algenresten), Nadelholz: Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*)

Probenbeschreibung: moderfaules Holz (bis finale Abbauphase).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass).

Mycel: fehlt, abgesehen von Schimmel- und Moderfäulepilzen; spärlich. **Fruchtkörper/Stränge:** fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bewertung: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Fäulepilzen nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 21: P10: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 4 (W); 20-30 cm unter der Spitze (15 mm tief im Holz; z. T. streifiger Befall); 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacryomyces stillatus* – Familie: *Dacryomycetaceae*) in der Nebenfruchtform; Holzart: Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*).

Probenbeschreibung: braunfaules Holz mit kleinen leuchtend roten Fruchtkörpern (Würfelbruch fein - oberflächennah, Bruchbild kurzfasrig; bereichsweise bis finale Abbauphase, dann z. T. streifig, bis 15 mm tief).

Mycel / Stränge: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Bläuepilze.

Fruchtkörper (*Dacryomyces*): frisch, kleine Köpfchen, z. T. zerlaufend, rund, rötlich, 1-2 mm groß, bis 1 mm hoch, einzeln oder in kleinen Gruppen; trocken: wachs- bis hornartig fest, braun.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** hyalin bis hellbraun, 1,5-2,5 µm im Durchmesser, dünnwandig, septiert, ohne Schnallen an den Septen, unregelmäßige, mit schwach punktierter Schleimschicht. **Basidien:** gegabelt, oberer Teil: 1,5-2,5 x 15-20 µm; Unterer Teil: 2-4 x 25-45 µm. **Basidiosporen:** hyalin, dünn- bis schwach dickwandig, leicht gebogen, 11-12 x 5,5-6 µm, 1-3 Septen (reif: 3). **Hyphidien:** hyalin, zuweilen oben verzweigt. **Zystiden:** fehlen. **Makrokonidien:** fehlen.

Bewertung des Befalls: Schwache Bedeutung, da nur oberflächennah; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 22: P11: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 4 (W); 40-60 cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: wahrscheinlich Kellerschwamm / Braunsporrindenpilz (*Coniophora* sp. – Familie: Coniophoraceae); **Holzart:** Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*).

Probenbeschreibung: braunfaules Holz (Würfelbruch fein, Bruchbild kurzfasrig, bis finale Abbauphase), ohne Mycel/Stränge.

Fruchtkörper, Mycel und Stränge: fehlen, abgesehen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Substrathyphen: spärlich in einer von vier Stichproben, hyalin, verzweigt, 1-2 µm im Durchmesser, ohne Schnallen, mit feinen Septen, schwach tailliert, einige Septen schwach bogenförmig (unklar), dünnwandig; Holz von Bläue- und Schimmelpilzen durchwachsen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 23: P12: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (U); 400 cm unter NN im Schlick; 22.01.2016.

Bakterienschäden; Holzart: Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*).

Probenbeschreibung: Holzspan mit Schlick bedeckt, mit Bakterienbefall (Holz dem Augenschein nach nagelfest, abgesehen von den ersten Millimetern).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: fehlen, abgesehen von wenigen Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Hyphen, die sich Fäulepilzen (Basidiomyceten) zuordnen ließen, wurden im Substrat nicht nachgewiesen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist im Bereich der Kavernen deutlich vermindert.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich). Von außen nach innen nahm die Kavernen-Dichte ab.

Bezeichnung: Probe 24: P13: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (U); 150 cm unter NN (unter Algenbewuchs); 22.01.2016.

Moderfäulepilze (3 mm tief) und Bakterienschäden; Holzart: Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) (*schwach*); Holzart: Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*).

Probenbeschreibung: moderfaules Holzteil (Schimmelpilz-Bewuchs an der Oberfläche, Fäule bis 12 mm tief, bis finale Abbauphase).

Holz: grau bis grau-schwarzlich, Oberfläche etwas schleimig (wenn nass, auch durch Algen).

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen/unklar, abgesehen von Schimmelpilzen; spärlich.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend, im Gangsystem der Tiere bis 3 mm tief nachweisbar.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen. Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab.

Anmerkung: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Fäulepilzen nachgewiesen.

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 25: P14: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 4 (W); 120 cm über NN; 22.01.2016.

Weißfäule-Erreger: Zähnchenrindenpilz (*Hyphodontia* sp.), wahrscheinlich *Hyphodontia alutacea*, und **Braunfäule-Erreger:** Arten-Gruppe der Weißen Porenschwämme (*Antrodia* sp. – Braunfäuletrameten / *Oligoporus* spp. – Saftporlinge – Familie: Polyporaceae).

Probenbeschreibung: weiß- und braunfaule Holzteile, ohne Mycel (Würfelbruch unregelmäßig; Bruchbild auch muschelförmig; bis finale Abbauphase; Probe eingekürzt) mit Fruchtkörpern.

Anmerkung: Beschreibung von *Hyphodontia* siehe Probe 7.

Mycel/Fruchtkörper/Stränge (BF): fehlen, abgesehen von Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Grundhyphen fehlen. Substrathyphen: hyalin, dünn- bis etwas dickwandig, 2-3 (-4) µm im Durchmesser, mit deutlichen Schnallen (in einer von drei Stichproben) und breiten und flachen Medaillonschnallen (bis 5 µm breit), Kristallanlagerungen selten; zudem Hyphen von Schimmel- und Bläuepilzen im Holz vorhanden.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden in den weißfaulen Bereichen nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nicht nachgewiesen.

Polarisationsmikroskopie: Die Polarisation der Holzzellwände war deutlich vermindert, dies deutet auf einen Befall mit Braunfäulepilzen hin.

Bezeichnung: Probe 26: P15: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (N); (0-) 45-55 (-220) cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: Dacryomycetaceae) in der Nebenfruchtförm.

Pfahl: ca. 3,5 m aus dem Wasser ragend (nach Algenwuchs), Nadelholz.

Probenbeschreibung: hell braunfaule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Würfelbruch fein, Fäule auffällig hellbraun, mittlere bis finale Abbauphase – Abbau oberflächennah, bis 8 mm tief).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, gelb bis orange-gelb, nicht glasig (alt: blass werdend, braun bis braun-schwarz), bis 2 mm im Durchmesser (um 1 mm hoch), selten zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: gelähnlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig (fast wie Harz; beim Schneiden oft zerspringend).

Mycel / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breite Hyphen: 4-6 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, immer ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). Mikrokonidien: fehlen. Makrokonidien: zahlreich, hyalin, tonnenförmig, dickwandig, 3,5-5 x 6-11 µm (Reifegrad unterschiedlich), 1-3 Septen (aus breiten Grundhyphen entstehend).

Bewertung des Befalls: Mit schwacher Bedeutung, da Fäule nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 27: P16: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (N); 90-100 cm unter der Spitze; 22.01.2016.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: *Dacryomycetaceae*) in der Nebenfruchtform.

Probenbeschreibung: braunfaule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Fäule auffällig hellbraun, bis finale Abbauphase – Abbau oberflächennah, 1-5 mm tief).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, gelb bis orange-gelb, nicht glasig (alt: blass werdend, braun bis braun-schwarz), bis 3 mm im Durchmesser (1 mm hoch), z. T. zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: gelähnlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig.

Mycel / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breite Hyphen: 4-5,5 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, immer ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). Mikrokonidien: fehlen. Makrokonidien: mäßig viele, hyalin, dickwandig, 3,5-5 x 7-11 µm (Reifegrad unklar), 1-3 dickwandige Septen (aus breiten Grundhyphen entstehend), Bildung auch in Ketten.

Bewertung des Befalls: Mit schwacher Bedeutung, da Fäule nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 28: P17: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (U); 100 cm unter NN; Ost, Gruppe 8, Pfahl 4, ca. 1,5 m über Wasser; 22.01.2016.

Moderfäulepilze und Bakterienschäden.

Probenbeschreibung: moderfauler Holzspan, z. T. mit Algen bedeckt, mit Bakterienbefall.

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: fehlen, abgesehen von wenigen Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Hyphen, die sich Fäulepilzen (Basidiomyceten) zuordnen ließen, wurden im Substrat nicht nachgewiesen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes war im Bereich der Kavernen deutlich vermindert.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz (sehr zahlreich), von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab.

Bewertung des Befalls: Mit schwacher Bedeutung, da Fäule nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 29: P18: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl 2 (U); 540 cm unter NN im Schlick; 22.01.2016.

Moderfäulepilze im Splintholz (bis 1 mm tief) und Bakterienschäden.

Probenbeschreibung: Holzspan, mit Schlick bedeckt, mit Bakterienbefall (Holz dem Augenschein nach nagelfest).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: fehlen, abgesehen von wenigen Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Hyphen, die sich Fäulepilzen (Basidiomyceten) zuordnen ließen, wurden im Substrat nicht nachgewiesen, aber Schimmelpilze (ggf. Vorschaden).

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist im Bereich der Kavernen deutlich vermindert.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden oberflächennah nachgewiesen (meist im Splintholz).

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen. Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab.

Bezeichnung: Probe 30: P1: Harlesiel Westseite: 8. Pfahl von Nord (Rundholz) Entnahme Westseite, 1 m über HW; 15.11.2015.

Mehrfachbefall/-Schaden: Braunfäule-Erreger: Brauner Kellerschwamm / Braunsporrindenpilz (*Coniophora puteana* – Familie: *Coniophoraceae*), zudem Moderfäulepilze, Insektenschaden, Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: feine Stränge/Mycel an braunfaulem Holz (grober Würfelbruch, Holz z. T. dunkel verfärbt; bis finale Abbauphase; Probe eingekürzt).

Mycel: spärlich, dünn, unter 1 mm dick, weißlich, cremefarben bis braun, als dünner Belag, mäßig fest am Holz haftend, von Schmutz überlagert. **Stränge:** sehr spärlich.

Hyphensystem: braune Teile deutlich sklerotisiert. Grundhyphen: hyalin, verzweigt, dünnwandig, 2-5 µm im Durchmesser, septiert, ohne Schnallen an den Septen, sehr undeutliche Wirtelschnallen, Zellwand glatt, selten mit feinen braunen Tropfen (1,5-4 µm im Durchmesser),

Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Gesellschafter:
Dipl.-Holzwirt Dr. Mathias Rehbein
Mobil: 0163 / 15 34 483

Seite
25 von 60

Gesellschafter:
Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt
Mobil: 0160 / 32 62 615

mit Kongorot wenig färbbar. Gefäßhyphen: hyalin bis braun, kaum verzweigt, 9-11 µm im Durchmesser, dünn- bis dickwandig (Zellwand unter 2,5 µm dick, etwas ondulierend), intensiv von Grundhyphen umwachsen, mit Kongorot gut und Baumwollblau-Milchsäure mäßig färbbar, jod-negativ. Faserhyphen: braun, mäßig dickwandig bis dickwandig, 2-4 µm im Durchmesser, selten septiert, kaum färbbar, jod-negativ; Lumen: durchgängig sichtbar (im Mycel seltener).

Moderfäulepilze: spitz zulaufenden Kavernen zerstreut im Holzes nachgewiesen.

Anmerkung: Insektenschaden nicht weiter beschrieben.

Bezeichnung: Probe 31:P2: Harlesiel Westseite: 9. Pfahl von Nord (Schnittholz); Entnahme Westseite, 2 m über HW; 15.11.2015.

Mehrfachbefall: Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger: Hinweise auf Schichtpilze ohne Gattungszuordnung, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moder- und weißfaule Holzteile (Weißfäule mittlere bis finale Abbauphase, besonders an der Oberfläche – ggf. im Splintholz).

Fruchtkörper/Mycel / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen/Gefäßhyphen: fehlen. Substrathyphen: ähnlich denen von Schichtpilzen

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen zahlreich vorhanden.

Polarisationsmikroskopie: Die Polarisation der Holzzellwände war nicht/kaum vermindert.

Hinweis: Es wird mehr Material benötigt, wenn die Diagnose weiter untermauert werden soll.

Anmerkung: Zumindest bei Befällen mit Gallertränen und Schichtpilzen sollte festgehalten werden, ob Kern- oder Splintholz vorliegt.

Bezeichnung: Probe 32:P3: Harlesiel Westseite: 18. Pfahl von Nord (Schnittholz); Entnahme Westseite, 1,50 - 1,70 m über HW; 15.11.2015.

Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger (Hauptschaden): nicht bestimmbar, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moder- und weißfaulen Holz, ohne Mycel/Stränge/Fruchtkörper (ohne Würfelbruch, mittlere bis finale Abbauphase; weißfaule Holz deutlich faserig).

Mycel / Stränge / Fruchtkörper: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Bläuepilzen.

Hyphensystem: Substrathyphen von Hausfäulepilzen: ohne sicheren Nachweis, aber Hyphen von Moderfäule-, Bläue- und Schimmelpilzen vorhanden.

Moderfäulepilze: zahlreiche spitz zulaufende Kavernen nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Polarisationsmikroskopie: Die Polarisation der Holzzellwände war nicht/kaum vermindert.

Hinweise zur Probe: Das vorliegende Probenmaterial ohne Oberflächenmycel ist kaum geeignet für eine Bestimmung, weil viele wichtige Merkmale fehlen. Die Ursache liegt im Bewuchs mit Moderfäule-, Bläue- und Schimmelpilzen und den kaum vorhandenen anderen Hyphen. Es wird mehr Material benötigt, wenn eine Diagnose des Weißfäule-Erregers erstellt werden soll.

Bezeichnung: Probe 33: P4: Harlesiel Westseite: 29. Pfahl von Nord (Schnittholz); Entnahme Westseite, 1 m über HW; 15.11.2015.

Mehrfachbefall: Braunfäule-Erreger: nicht bestimmbar (Hauptschaden), Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger: Artengruppe der Schicht- und Rindenpilze: Zusammenfließender Reibeisenpilz (*Cerocorticium confluens* – Familie: Hyphodermataceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Fruchtkörperteil an braun-, moder- und weißfaulem Holz (mit Würfelbruch, mittlere bis finale Abbauphase), verschimmelt.

Fruchtkörper (Reibeisenpilz): klein, 2-5 x 3 mm groß resupinat, abhebbar, unter 1 mm dick, wenig empfindlich, aber trocken brüchig, weißlich, creme, hellockerbraun bis hellbraun (Druckstellen dunkler), Rand: gleichfarbig, wachsartig. Fruchtschicht: glatt, uneben bis warzig (Unebenheiten auch durch Tierfraß), dicht, nicht durchscheinend, beim Trocknen aufreißend (dann fein-rissig). Trama (Subikulum): locker, etwas heller, nicht fest verwachsen, mit Kristallen.

Mycel: fehlt, nur als Rand des Fruchtkörpers, zudem Schimmelpilze. **Stränge**: fehlen.

Hyphensystem (Reibeisenpilz): monomitisch. Grundhyphen: hyalin, verzweigt, dünnwandig, im Subikulum auch etwas dickwandig, 2-3 µm im Durchmesser, im Subikulum etwas breiter, Septen mit deutlichen, großen und kleinen Schnallen. Basidien: hyalin, keulenähnlich, etwas wellig, 7-8 µm breit, 37-53 µm lang, mit kleiner Basalschnalle, 4 Sterigmen. Zystiden: fehlen. Sporen: mäßig zahlreich, hyalin, dünnwandig, glatt, 5-6 x 7-8 µm, oval bis etwas tropfenförmig, mit deutlichem Apikulus, gut in Kongorot färbbar, jod-negativ, nicht cyanophil. Kristalle: wenig.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Moderfäulepilze: zahlreiche spitz zulaufende Kavernen nachgewiesen.

Polarisationsmikroskopie: Die Polarisation der Holzzellwände war in braunfaulen Teilen vermindert.

Hinweise zur Probe: Das vorliegende Probenmaterial ohne Oberflächenmycel des Braunfäule-Erregers ist nur mäßig geeignet für eine Bestimmung, weil viele wichtige Merkmale fehlen. Die Ursache liegt im Bewuchs mit Moderfäule-, Bläue- und Schimmelpilzen und den kaum vorhandenen anderen Hyphen. Es wird mehr Material des Braunfäule-Erregers benötigt, wenn hierzu eine Diagnose erstellt werden soll.

Bezeichnung: Probe 34: P5: Harlesiel Ostseite: 4. Pfahl von Nord (Rundholz, Nadelholz); Entnahme SW und S-Seite, 2,5 - 3 m über HW; 15.11.2015.

Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: *Dacrymycetaceae*), zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: braunfaules Holz mit kleinen Fruchtkörpern (oberflächlicher Würfelbruch fein, Bruchbild kurzfasrig; bereichsweise bis finale Abbauphase; Probe klein).

Mycel / Stränge: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Bläuepilze.

Fruchtkörper (*Dacrymyces*): frisch, kleine Köpfchen, z. T. zerlaufend, rund, gelblich bis rot, 0,5-2 mm im Durchmesser, bis 1 mm hoch, einzeln oder in kleinen Gruppen; trocken: wachs- bis hornartig fest, braun.

Hyphensystem: Grundhyphen: hyalin bis hellbraun, 1,5-2,5 µm im Durchmesser (daneben breiten Hyphen: 3-4 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, septiert, ohne Schnallen an den Septen, unregelmäßige, mit schwach körnige Schleimschicht (punktiert). Basidien: gegabelt, oberer Teil: 3-4 x 12 µm; Unterteil: 4-5 x 18 µm. Basidiosporen: nicht nachgewiesen. Hyphidien: hyalin, zuweilen oben verzweigt. Zystiden: fehlen. Makrokonidien: hyalin, dickwandig, 3-4 x 5-6 µm (Reifegrad unklar), aus breiten Grundhyphen entstehend.

Bezeichnung: Probe 35: P6: Harlesiel Ostseite: 7a. Pfahl von Nord, (Hausbockkäfer) doppelt gestellt, nördlicher Pfahl; Entnahme Ostseite 1,50 - 1,70 m über HW; 7.b Pfahl von Nord (Rundholz) doppelt gestellt, südlicher Pfahl; Entnahme SW-Seite, 2,50 m über HW; 15.11.2015.

Mehrfachbefall: Moderfäulepilze (Hauptschaden) und Braunfäule-Erreger: nicht bestimmbar (kleinräumig), sowie Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moder- und braunfaules Holz, ohne Mycel/Stränge/Fruchtkörper (ohne Würfelbruch, mittlere bis finale Abbauphase; weißfäule Holz deutlich faserig), stark verschimmelt.

Fruchtkörper / Oberflächenmycel / Stränge: fehlen, abgesehen von Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Substrathyphen von Hausfäulepilzen: nicht nachweisbar. Hyphen von Bläue- / Schimmelpilzen vorhanden.

Moderfäule: in fünf von fünf Stichproben waren viele bis massenhaft spitz zulaufende Kavernen vorhanden.

Polarisationsmikroskopie: Die Polarisation der Holzzellwände war nicht/kaum verändert, abgesehen von den spitz zulaufenden Kavernen; anders jedoch im braunfaulen Teilen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden sicher nicht nachgewiesen.

Hinweise zur Probe: Das vorliegende Probenmaterial ohne Oberflächenmycel des Braunfäule-Erregers ist nur mäßig geeignet für eine Bestimmung, weil viele wichtige Merkmale fehlen. Die Ursache liegt im Bewuchs mit Moderfäule-, Bläue- und Schimmelpilzen und den kaum vorhandenen anderen Hyphen. Es wird mehr Material des Braunfäule-Erregers benötigt, wenn hierzu eine Diagnose erstellt werden soll.

Bezeichnung: Probe 36: P7: Harlesiel Ostseite: 3. Pfahl von Süd (Kiefer?); Entnahme Südseite, 2,50 m über HW; 15.11.2015.

Mehrfachbefall: Braunfäule-Erreger: Arten-Gruppe der Weißen Porenschwämme (*Antrodia* sp., auch Braunfäuletrameten genannt – Familie der Polyporaceae) und Hinweise auf *Botryobasidium* sp., zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moder- und braunfaules Holz mit wenig Mycel (ohne Würfelbruch, mittlere bis finale Abbauphase; Bruchbild muschelähnlich).

Mycel: sehr spärlich, schneeweiß, weißlich (Hauptfarbe), 0,1-1 mm dick, weich-fleischig im Holz.

Stränge: fehlen.

Fruchtkörper: unklar, sehr klein, steril; ggf. Porenansätze: 4-6 je mm, verschimmelt.

Hyphensystem: Grundhyphen: nur Fragmente, hyalin, dünn- bis dickwandig (Zellwand 0,4-1 µm dick), septiert, stark zersetzt, verzweigt. Faserhyphen: zahlreich, hyalin, 1,5-3 (-3,5) µm im Durchmesser, geradlinig gestreckt, biegsam, dickwandig, unverzweigt; Lumen z. T. sehr fein.

Bindehyphen: wie vor, 1,5-3 µm im Durchmesser, öfter verzweigt. Gefäßhyphen: selten, hyalin, 9-15 µm im Durchmesser, dünnwandig (mit blasigen Erweiterungen), ggf. nicht zu *Antrodia* gehörend. Kristalle: zahlreich, lose und an den Hyphen liegend, unförmig. Konidiosporen fehlen.

Hinweis: Material sonderbar, eine molekularbiologische Prüfung wäre sinnvoll.

Bezeichnung: Probe 37: P8: Harlesiel Nordseite: 7. Pfahl von Nord (Rundholz); 15.11.2015.

Mehrfachbefall: Braunfäule-Erreger: wahrscheinlich Gallerträne (*Dacrymyces* sp.) und Moderfäulepilze (oberflächlich), zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: moder- und braunfaules Holz (Würfelbruch kaum ausgeprägt, Oberfläche bis frühe mittlere Abbauphase; Braunfäule in Teilen vergleichsweise hell); viele Flechten.

Stränge/Fruchtkörper/Mycel: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Bläuepilze.

Hyphensystem: Substrathyphen: 1,5-3 µm Durchmesser, dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, ohne Schnallen an den häufigen Septen (Querwänden). Zudem Bläue- und Schimmelpilze vorhanden.

Polarisation: die Polarisation des Holzes ist in den abgebauten Bereichen etwas vermindert.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen in zwei von drei Stichproben nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Holzes. Das vorliegende Probenmaterial ohne Oberflächenmycel ist mäßig geeignet für eine Bestimmung, weil viele wichtige Merkmale fehlen. Die Ursache liegt im Bewuchs mit Bläue- und Schimmelpilzen und den wenigen vorhandenen anderen Hyphen. Das Ergebnis der Untersuchung der vorliegenden Holzprobe ist deshalb mit Einschränkungen zu bewerten.

Bezeichnung: Probe 38: P9: Harlesiel Ostseite, nördlich versetzt (Reederei Warrings), gekürzter Pfahl am Standort Nordseite (Rundholz); Entnahme am Hirn-Ende SW 2 m über HW; 15.11.2015.

Braunfäule-Erreger: Zerfließende Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: Dacryomycetaceae).

Probenbeschreibung: sehr kleine, braunfaule Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Bläuepilzbewuchs an der Oberfläche, Würfelbruch fein, Fäule auffällig hellbraun, bis finale Abbauphase; Probe klein).

Fruchtkörper: kleine Köpfchen, rund, gelb bis orange-gelb, nicht glasig (alt: blass werdend bis braun bis braun-schwarz), bis 3 mm im Durchmesser (1 mm hoch), oft zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: gelänlich, einzeln oder in kleinen Gruppen, nicht gestielt, trocken: hornartig.

Mycel / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** 1,5-2,5 µm Durchmesser (daneben breiten Hyphen: 4-5,5 µm – konidiogene Zellen), dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, breitere Hyphen deutliche tailliert, immer ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). **Mikrokonidien:** fehlen. **Makrokonidien:** mäßig viele, hyalin, dickwandig, 5-6 x 7-13 µm (Reifegrad unklar), 0-1 Septe (aus breiten Grundhyphen entstehend).

Bezeichnung: Probe 39: P10: Neuharlingersiel: 3. Pfahl von Süd (Kiefer?); Entnahme Nord und Südseite 1,50 m und 3 m über HW, 15.11.2015.

Weißfäule-Erreger: hochwahrscheinlich Ockerfarbene Tramete (*Trametes multicolor* = *T. ochracea* – Familie: Polyporaceae).

Hinweis: m.E. liegt ein Laubholz vor; Holzpartikel aber sehr klein, bitte Vorort etc. prüfen.

Probenbeschreibung: weißfaule Holzteilchen und Fruchtkörper (Holz vermutlich faserig).

Fruchtkörper: insgesamt feste, konsolenähnliche (etwas abstehende), zäh-lederige, trocken etwas holzige Fruchtkörper. **Poren:** unklar.

Trama: weiß (Hauptfarbe) bis creme, korkähnlich-fest. **Oberfläche:** fein filzig bis striegelig-filzig, gelblich, bis graubraun mit braun-orangerfarbenem Ton; unter dem Tomentum (striegelig-filzige Oberfläche) ohne dünne, schwarze Linie.

Hyphensystem: trimitisch. **Grundhyphen:** hyalin, verzweigt bis stark verzweigt, septiert, dünnwandig, 2-4 µm im Durchmesser, Zellwand unter 1 µm dick, mit wenigen deutlichen Schnallen; Zellwände wenig färbbar; Lumen: breit, deutlich. **Faserhyphen:** hyalin, mäßig dick- bis dickwandig, geradlinig, 3-4 µm im Durchmesser, Lumen: sehr schmal bis deutlich, unverzweigt, ohne Schnallen, kaum färbbar in Kongorot, jod-negativ. **Bindehyphen:** hyalin, dickwandig, glatt, stark verzweigt, 1-2,5 µm im Durchmesser, jod-negativ. **Basidien:** und **Sporen:** nicht nachweisbar. **Zystiden:** fehlen. **Konidien** und **Gefäßhyphen** fehlen. **Kristalle:** wenige vorhanden.

Bezeichnung: Probe 40: P11: Neuharlingersiel: 3. Pfahl und 4. Pfahl an Südseite; 15.11.2015; weit außerhalb Salzeinfluss.

Weißfäule-Erreger: Judasohr (*Auricularia auricula-judae* – Familie: Auriculariaceae).

Probenbeschreibung: Fruchtkörper und Holzteile (frühe bzw. unklare Abbauphase).

Mycel / Stränge: fehlen.

Fruchtkörper: frisch: Konsistenz von Ohren, trocken: hornartig, faltig, Kanten eingerollt, brüchig, bis 1 mm dick (bis 2,2 x 1,2 x 1,3 mm groß, oft kleiner), dunkel-rotbraun bis braunschwarz. **Rand** glatt. **Stiel** fehlt, aber Basis etwas stielähnlich zusammengezogen.

Hyphensystem: in Matrix/Schleim eingebunden, gut färbbar in Malachitgrün. **Grundhyphen:** hyalin, 1-2 (-4) µm im Durchmesser, dünnwandig, septiert, mit Schnallen³⁹, unregelmäßige, feine Schleimschicht, gut färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Basidien:** i.d.R. nur Fragmente, hyalin, dünnwandig, mit 3 Quer-Septen geteilt, mit seitlichen Epibasidien, ca. 35-55 µm lang, 5-7 µm breit. **Basidiosporen:** hyalin, dünn- bis etwas dickwandig (Zellwände z. T. im gleichen Abstand zueinander), 14-16 x 6-7 µm, leicht gebogen. **Zystiden:** nicht nachgewiesen. **Mikrokonidien**, **Faserhyphen** und **Gefäßhyphen** fehlen (Gattungsmerkmal!). **Haare:** auf der „Oberseite“, zahlreich, nicht verzweigt, 105-145 lang, an der Basis 5-7 µm breit, hyalin, dickwandig (an der Spitze zuweilen dünnwandig), nicht hohl, färbbar in Kongorot, jod-negativ.

Hinweis: Zur Untersuchung wurde ein mittelgroßer Fruchtkörper ausgewählt. Es war nicht erkennbar, ob dieser zum 3. Pfahl oder zum 4. Pfahl gehörte.

Bezeichnung: Probe 41: P1: Hamburg, Hafen Zusatzprobe: Dalben im Museumshafen (Am Sandtorkai); Pfahl 1; etwas über dem oberen Befestigungsholz; 30.03.2017.

Braunfäule-Erreger: Nebenfruchtform der Zerfließenden Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: Dacryomycetaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Braunfäule geschädigte Holzteile mit kleinen Fruchtkörpern (Würfelbruch fein; Braunfäule vergleichsweise hell, bis finale Abbauphase); Holz-Oberfläche unbeschichtet ohne intakte äußere Schicht, mit Flechten und Algenbesatz.

Mycel und Stränge: fehlen.

Fruchtkörper: klein, zerflossen/zerlaufen, einzeln, ungestielt, gelb bis orange-gelb, glasig (alt: verblichen bis braun), 1-3 mm im Durchmesser („Kopf“), trocken: hornartig (im feuchten Zustand: mit schmierigen Pusteln).

Hyphensystem: **Grundhyphen:** 2,5-4,5 µm im Durchmesser, dünn- bis schwach dickwandig, hyalin, septiert, ohne Schnallen an den Septen, unregelmäßige Schleimschicht. **Basidien** und **Sporen:** fehlen. **Konidien:** massenhaft, lang gestreckt-elliptisch, 4,5-4,5 x 5-7 µm, kaum gebogen, hyalin, dünnwandig, glatt, ohne Apikulus, jod-negativ, wenig färbbar.

³⁹ Die Angaben in der Literatur, ob Schnallen vorliegen, gehen auseinander (vgl. BREITENBACH/KRÄNZLIN, 1986 und KRIEGLSTEINER, 2000). Je nach Zustand der Fruchtkörper scheinen sie leicht oder auch kaum erkennbar zu sein.

Bezeichnung: Probe 42: P2: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, erstes Deko-Dalben-Paar am Anleger Elbphilharmonie; Zusatzprobe (P7), am Anleger; 30.03.2017.

Mehrfachbefall: Moderfäulepilze, Braunfäule-Erreger: Hinweise auf Gallerträne (Dacrymyces sp.) vorhanden und Weißfäule-Erreger: nicht bestimmbar, zudem Insektenschaden, Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: nasses, insektengeschädigtes, weiß-, und moder- braunfaules Holzteil (Nadelholz), ohne Mycel (Würfelbruch fein, bis finale Abbauphase, Weißfäule faserig; Probe eingekürzt), mit Flechten und Algenbesatz.

Abbaubild: inhomogen, 3-4 eng verzahnte Fäule-Bilder; zudem ist das Holz von Bläue- und Schimmelpilze durchwachsen.

Fruchtkörper, Mycel und Stränge: fehlen, abgesehen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Substrathyphen: spärlich in einer von drei Stichproben, hyalin, verzweigt, 1-2 µm im Durchmesser, ohne Schnallen, mit feinen Septen, schwach tailliert, dünnwandig.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden zahlreich nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nachgewiesen.

Gänge/Genagel: lockere bis verklebte Kotpapillen, z. T. etwas tonnenförmig, braun, etwas unregelmäßig Partikel, unregelmäßige Gänge, Ausflughöcher unklar (in der Nähe Werftkäfer-Larven – nach Dr. Noldt – telefonische Mitteilung).

Polarisationsmikroskopie: Die Polarisation der Holzzellwände war im faulen Holz fast erloschen, dies deutet auf einen Befall mit Braunfäulepilzen hin (ANAGNOST, 1998; LOHWAG, 1937; SCHNEIDER, 1922).

Bezeichnung: Probe 43:P3: Einfahrt Museumshafen, unterhalb der Mahatma-Gandhi-Brücke; Osten, ca. 150 cm über Wasser (ca. 240 cm über N.N.), ca. 1 Jahr alt; 05.03.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Holzspan ca. 8 mm dick, ohne Mycel (im Randbereich etwas weich, kaum 0,1 mm tief, dem Augenschein nach nagelfest).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: fehlen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von Fäulepilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Polarisation: im äußerten Randbereich deutlich vermindert bis fehlt.

Bakterien: Eindeutige Zuordnung unklar, aber im Randbereich bis 0,1 mm Tiefe wahrscheinlich vorhanden in Verbindung mit finalem Befall durch Moderfäulepilze.

Moderfäulepilze: nachgewiesen bis ca. 0,1 mm Tiefe.

Weißfäulepilze/Braunfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Materials. Hyphen die sich Hausfäulepilzen zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 44:P1: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 1; Westen, ca. 50 cm über Wasser (220 cm N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 0-2 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 1 mm tief), Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden).

Hinweis: Pilz-Beschreibung siehe Probe 33.

Bezeichnung: Probe 45: P2: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 2, Westen, ca. 105 cm über Wasser (275 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 05.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 0-15 mm tief - Spandicke) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 0,5 mm tief).

Probenbeschreibung: helles Mycel und Fruchtkörper an weißfaulem Holzteil (frühe Abbauphase; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper: resupinat, wattig-weich bis weich-fleischig, rissig, flach bis schwach hydroid (durch kleine Zähne), weiß (frisch), gelblich-hell-ocker bis hellcreme, unter 1 mm dick, mäßig fest haftend, aber nicht abhebbar, Fruchtschicht bricht in kleine Spalten auf (etwas rissig).

Mycel/Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: hyalin, verzweigt, septiert (in Teilen sehr stark), dünn- bis etwas dickwandig (insbesondere im Subikulum), 2-3 µm, mit vielen Schnallen. Faserhyphen, Gefäßhyphen und Konidien fehlen. Basidien: hyalin, 4-5 x 13-15 µm, mit zwei bis vier Sterigmen (ca. 2 µm lang). Sporen: zahlreich, oval, etwas asymmetrisch, Apikulus, 2,5-3 x 4-4,5 µm, hyalin, dünnwandig. Zystiden (mit Kristallen): fehlen.

Bezeichnung: Probe 46:P3: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 3; Westen, ca. 155 cm über Wasser (325 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 0-12 mm tief bis massiv; bei 20 mm Tiefe vereinzelt) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 0,7 mm tief), Bläue- und Schimmelpilze.

Hinweis: Pilz-Beschreibung siehe Probe 33.

Bezeichnung: Probe 47: P4: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 4; Westen, ca. 200 cm über Wasser (370 cm über N.N.), mit Moos-/Algenbesatz; 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 0-15 (-20) mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden (unklar, ggf. an der Oberfläche), Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: helle Fruchtkörperteile an weiß- und schwach moderfaulem Holzspan (Weißfäule: initiale bis mittlere Abbauphase; Moderfäule: schwach).

Fruchtkörper: klein, nur wenige cm² groß, resupinat, unter 1 mm dick, wenig empfindlich, weißlich bis creme (hellbraun), Rand: gleichfarbig, wachsig. **Fruchtschicht:** glatt, nicht warzig, dicht, nicht durchscheinend, beim Trocknen aufreißend (dann fein-rissig). **Trama (Subikulum):** locker, etwas heller, nicht fest verwachsen, mit Kristallen. **Mycel:** fehlt, nur als Rand des Fruchtkörpers. **Stränge:** fehlen. **Hyphensystem:** monomitisch. **Grundhyphen:** hyalin, verzweigt, dünnwandig, im Subikulum auch etwas dickwandig, 1,5-3,5 µm im Durchmesser, im Subikulum etwas breiter, Septen mit deutlichen großen und kleinen Schnallen. **Basidien:** oft etwas undeutlich, hyalin, keulenähnlich, ca. 8-9 µm breit, 17-21 µm lang, mit Basalschnalle. **Zystiden:** fehlen. **Sporen:** hyalin, dünnwandig, glatt, 6-8 x 7 µm, oval bis etwas tropfenförmig, mit deutlichem Apikulus, gut in Kongorot färbbar, jod-negativ. **Kristalle:** wenig.

Bezeichnung: Probe 48: P5: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 5; Westen, ca. 230 cm über Wasser (400 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 0-8 mm tief – Spandicke; Splintholz fehlt, da abgefällt) und Braunfäule-Erreger: Art nicht bestimmbar, zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Fruchtkörper, Weißfäule bis ca. 5 cm Tiefe, ungefähr 1 m über Wasserkante; Weiß- und moderfauler Holzrest mit kleinem Fruchtkörper.

Fruchtkörper: klein, resupinat, unter 0,5 mm dick, wenig empfindlich, weißlich bis creme (hellbraun), trocken brüchig, etwas hautartig, stark gealtert, Rand: gleichfarbig, hellbraun bis braun (eingetrocknet). **Fruchtschicht:** glatt, nicht warzig, dicht, nicht durchscheinend. **Trama (Subikulum):** locker, etwas heller, nicht fest verwachsen, mit Kristallen.

Mycel: fehlt, nur als Rand des Fruchtkörpers. **Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: monomitisch. **Grundhyphen:** hyalin, gruppiert liegend bis schichtartig angeordnet, verzweigt, dünnwandig, im Subikulum auch etwas dickwandig, 1,5-3 µm im Durchmesser, Septen mit deutlichen, großen und kleinen Schnallen. **Basidien:** nicht nachgewiesen. **Zystiden:** fehlen. **Sporen:** fehlen. **Kristalle:** wenig.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen im Substrat nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 49: P6: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 2. Deko-Dalbe; Probenpunkt 6, (Holz außen); Westen, ca. 250 cm über Wasser (420 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.

Moderfäulepilze, Weißfäule-Erreger: Gruppe der Schichtpilze - Rindenpilz (*Hyphoderma* spp.) beste Annäherung: Flaumiger Rindenpilz (*Hyphoderma puberum* - Familie: Hyphodermaceae).

Probenbeschreibung: Fruchtkörper, Weißfäule; weiß- und moderfauler Holzrest mit Fruchtkörperteil (fortgeschrittener Abbau, stark gealtert).

Fruchtkörper: fest, creme bis hellbraun, fein zoniert, konsolenförmig, zäh-lederig, trocken: etwas holzig, 3 x 2 cm im Durchmesser und 0,6 cm hoch, mit 3-4 Poren je mm, Poren ungleichmäßig geformt; Röhren bis 2 mm lang, einige Bereiche zerrissen. **Trama (Fruchtfleisch):** weiß bis creme. **Oberseite:** etwas striegelig-filzig – kurz behaart (unter 1 mm), weiß bis cremefarben mit hellbraunem Rand.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** hyalin, verzweigt, dünn- bis schwach dickwandig, Septen mit Schnallen, 1,5-3 µm im Durchmesser. **Faserhyphen:** hyalin, dickwandig, glatt, etwas drahtartig, 2-3,5 µm im Durchmesser; ohne Septen. **Bindehyphen:** hyalin, dickwandig, glatt, stark verzweigt, 1,5-2,5 µm im Durchmesser. **Basidien:** nicht nachgewiesen. **Zystiden:** fehlen. **Sporen:** fehlen.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen im Substrat nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 50: P1: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 1; Westen, ca. 60 cm über Wasser (ca. 205 cm über N.N.); 30.03.2017.

Mischfäule ca. 0,5 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 0-7 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienbeschäden (stark: ca. 1,5 mm tief), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes, bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche; dem Augenschein nach im Inneren gesünder).

Holz: Oberfläche grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün; ins Innere hinein heller holzfarben werdend. **Mycel/Fruchtkörper/Stränge:** fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz (außen auch im Frühholz), von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienbeschäden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase; ggf. auch Schäden durch Ascomyceten). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „H. z. den Bakterien“).

Larven: nicht weiter beschrieben (Bildmaterial zu Herrn Noldt).

Gänge/Genagsel: oft unregelmäßig, eher lockere Kotpapillen, unregelmäßige Gänge an unter der Holzoberfläche im sehr weichen Holz, ca. 0,5-1 mm Durchmesser.

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen, aber Bläue- und Schimmelpilz-Hyphen.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 51: P2: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 2; Westen, ca. 100 cm über Wasser (ca. 245 cm über N.N.); 30.03.2017.

Mischfäule ca. 0,7 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 0-9 mm tief - Spandicke) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (stark: 0-2 mm tief), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes, bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche; dem Augenschein nach im Inneren gesünder).

Holz: Oberfläche grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün; ins Innere hinein heller holzfarben werdend.

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz (außen auch im Frühholz), von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase; ggf. auch Schäden durch Ascomyceten). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen, aber Bläue- und Schimmelpilz-Hyphen. Insektenschäden nicht weiter beschrieben.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 52: P3: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 3; Westen, ca. 140 cm über Wasser (ca. 285 cm über N.N.); 30.03.2017.

Mischfäule ca. 1 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 0-7 mm tief - Spandicke) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (stark: 0-2 mm tief), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes, bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche; dem Augenschein nach im Inneren gesünder).

Holz: Oberfläche grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün; ins Innere hinein heller holzfarben werdend.

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen (unklar).

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase; ggf. auch Schäden durch Ascomyceten). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen, aber Bläue- und Schimmelpilz-Hyphen. Insektenschäden nicht weiter beschrieben.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 53: P4: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 4; Westen, ca. 190 cm über Wasser (ca. 335 cm über N.N.); 30.03.2017.

Mischfäule ca. 1 mm tief, Moderfäulepilze (ca. 1-5 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (unklar, ggf. an der Oberfläche); Weißfäule-Erreger (ca. 5-16 mm tief – Spandicke, zusammen mit Moderfäule): Artengruppe Schicht- und Rindenpilze, wahrscheinlich Zystidenrindenpilz (*Phanerochaete* sp. oder *Phlebiopsis* sp.), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze (ggf. Altschaden), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes, bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün.

Mycel: nur in Ritzen und Spalten des Holzes, weiß bis creme, fleischig, unter 0,5 mm dick, am Substrat anhaftend.

Stränge/Fruchtkörper: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: z. T. in Bündeln liegend (etwas miteinander verklebt), hyalin, dünn- bis dickwandig, septiert, ohne Schnallen. **Faserhyphen:** fehlen, aber einige Grundhyphen, sehr dickwandig. **Gefäßhyphen:** fehlen. **Zystiden:** etwas unklar, hyphenähnlich, zahlreich, hyalin, mit Kristallbesatz. **Konidien:** fehlen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz (außen auch im Frühholz), von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv - späte finale Abbauphase). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Larven, Käfer- und Käferteile: nicht weiter beschrieben.

Hinweis: Es wurden eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen, zudem Bläue- und Schimmelpilz-Hyphen. Insektenschäden nicht weiter beschrieben.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 54: P5: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 5 (Holz außen); Westen, ca. 205 cm über Wasser (ca. 350 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 0-8 mm tief – Spandicke) und Braunfäule-Erreger: Art nicht bestimmbar, zudem Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: braunfaules Holz (Würfelbruch fein, bis finale Abbauphase an der Oberfläche).

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nicht eindeutig nachgewiesen (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Bauteil ist stark angegriffen.

Bezeichnung: Probe 55: P6: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 6 (Holz innen, äußerer Teil abgefault); Westen, ca. 230 cm über Wasser (ca. 375 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze, Weißfäule-Erreger (sehr kleinräumig): Art nicht bestimmbar und Braunfäule-Erreger (Hauptschaden): Hinweise auf Kellerschwamm / Braunsportrindenpilz (*Coniophora* sp. – Familie: Coniophoraceae) vorhanden, zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes, weiß-, braun- und moderfaules Holz (Würfelbruch fein; Abbaubild kurzfasrig; bis finale Abbauphase).

Fruchtkörper, Mycel und Stränge: fehlen, abgesehen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Hyphensystem: Substrathyphen: spärlich in einer von drei Stichproben, hyalin, verzweigt, 1-2 µm im Durchmesser, ohne Schnallen, mit Septen, einige Septen schwach bogenförmig (undeutlich), dünnwandig, in braunen Holzbereichen z. T. mit braunen Verfärbungen; Kristalle im Holz vorhanden; Holz von Bläue- und Schimmelpilze durchwachsen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nachgewiesen.

Moderfäulepilze: vergleichsweise wenige, spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen.

Hinweis: Insektenschaden nicht weiter beschrieben.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Bauteil in dieser stark angegriffen.

Bezeichnung: Probe 56: P7: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 7 (Holz außen); Westen, ca. 240 cm über Wasser (ca. 395 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze und Weißfäule-Erreger: Harz-Rindenpilz (*Resinicium bicolor* – Familie: Corticiaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: weißfaule Holz mit weißen Mycel und Strängen (ohne Würfelbruch, Holz deutlich weißfaul, bis finale Abbauphase; Probe klein).

Mycel: spärlich, schneeweiß, weiß (Hauptfarbe), bereichsweise schwach cremefarben, dünn, 0,1-0,5 mm dick, empfindlich, etwas verschimmelt; bewachsenes Holz vergleichsweise hell. Stränge: weiß, bis 0,5 mm im Durchmesser, etwas anliegend, schwach filzig, nicht fest verwachsen, i.d.R. leicht abhebbar.

Hyphensystem: in den Strängen verklebt. Grundhyphen: hyalin, dünnwandig, 1-3,5 µm im Durchmesser, septiert (nicht oder kaum tailiert), oft kollabiert, mit häufigen, deutliche Schnallen, verzweigt. Gefäßhyphen und Faserhyphen fehlen. Zystiden (Stern-): mit deutlichem Stiel (ca. 5-6 µm lang, um 1-2 µm dick, oft kollabiert) mit Kristallbeatz, auch zerstört, mit Basalschnalle. Kristalle: vorhanden, auch als partialer, lockerer Mantel um die Hyphen herum, auch als große Rosetten. Konidien: fehlen.

Bezeichnung: Probe 57: P8: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 8 (Fruchtkörper); Osten, ca. 355 cm über Wasser (ca. 510 cm über N.N.); 30.03.2017.

Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola* – Familie: Polyporaceae).

Probenbeschreibung: kleine, helle Mycelknoten, an braunfaulem Holz (bis finale Abbauphase), z. T. mit Flechtenbewuchs.

Stränge/Mycel: fehlen.

Fruchtkörper-Ansatz (Primordien): ca. 2,5 x 4 x 2,8 cm groß creme (im Anschnitt weiß bis pfahlweiß), mit grau, und graubraunen kleinen Flecken, knollig geformt, ohne Resten von Guttationstropfen. Trama: cremefarben bis hellbraun, fest, korkartig. Unterseite: fehlt (Porenschicht).

Hyphensystem (Trama): Grundhyphen: hyalin, verzweigt, dünn- bis dickwandig, 2-3 µm im Durchmesser, selten kollabiert, septiert, Schnallen deutlich, etwas biegsam, in Kongorot und Baumwollblau-Milchsäure färbbar, jod-negativ. Faserhyphen stellen den Hauptteil der Hyphenmasse (ohne die Kruste); sie sind hyalin, dickwandig, geradlinig (bereichsweise wellig), aber biegsam, Durchmesser: 3-5 (-8) µm, fast fehlend, kaum färbbar, jod-negativ; Lumen: immer deutlich, kaum in Kongorot und schwach mit Baumwollblau-Milchsäure färbbar, jod-negativ. Gefäßhyphen fehlen. Bindehyphen: hyalin, dickwandig, 1,5-2,5 µm im Durchmesser, z. T. kurzarmig verzweigt, gewunden, etwas knorrig. Konidiosporen: fehlen.

Bezeichnung: Probe 58: P1: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 1; Westen, ca. 60 cm über Wasser (160 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: kleiner Holzrest bis 6 mm dick, ohne Mycel, mit Auflagerungen aus: u.a. Algen, Sand und Partikeln diese ca. 0,5-1 mm dick (im Randbereich bis finale Abbauphase, tieferliegende Bereiche augenscheinlich nagelfest; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: von Hausfäulepilzen fehlen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von Hausfäulepilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Polarisation: im Randbereich deutlich vermindert bis fehlt.

Bakterien: Eindeutige Zuordnung unklar, aber im Randbereich bis 0,5-1 mm Tiefe wahrscheinlich vorhanden in Verbindung mit finalem Befall durch Moderfäulepilze.

Moderfäulepilze: Nachgewiesen bis ca. 2,5 mm Tiefe.

Weißfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Braunfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Materials. Hyphen die sich Hausfäulepilzen zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 59: P2: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 2; Westen, ca. 100 cm über Wasser (200 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: kleiner Holzrest bis 8 mm dick, ohne Mycel, mit Auflagerungen aus: u.a. Algen, Sand und Partikeln diese ca. 0,5-1 mm dick (im Randbereich bis finale Abbauphase, tieferliegende Bereiche augenscheinlich nagelfest; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: von Hausfäulepilzen fehlen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von Hausfäulepilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Polarisation: im Randbereich deutlich vermindert bis fehlt.

Bakterien: Eindeutige Zuordnung unklar, aber im Randbereich bis 0,5-1 mm Tiefe wahrscheinlich vorhanden in Verbindung mit finalem Befall durch Moderfäulepilze.

Moderfäulepilze: Nachgewiesen bis ca. 2,5 mm Tiefe.

Weißfäulepilze: nicht nachgewiesen. **Braunfäulepilze:** nicht nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Materials. Hyphen die sich Hausfäulepilzen zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 60: P3: Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 3; Westen, ca. 140 cm über Wasser (240 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: kleiner Holzrest bis 8 mm dick, ohne Mycel, mit Auflagerungen aus: u.a. Algen, Sand und Partikeln diese ca. 0,5-1 mm dick (im Randbereich bis finale Abbauphase, tieferliegende Bereiche augenscheinlich nagelfest; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: von Hausfäulepilzen fehlen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von Hausfäulepilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Polarisation: im Randbereich deutlich vermindert bis fehlt.

Bakterien: Eindeutige Zuordnung unklar, aber im Randbereich bis 0,5-1 mm Tiefe wahrscheinlich vorhanden in Verbindung mit finalem Befall durch Moderfäulepilze.

Moderfäulepilze: Nachgewiesen bis ca. 3 mm Tiefe.

Weißfäulepilze: nicht nachgewiesen. **Braunfäulepilze:** nicht nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Materials. Hyphen die sich Hausfäulepilzen zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 61: P4: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 4; Westen, ca. 180 cm über Wasser (280 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem liegen Hinweise auf Weißfäule-Erreger vor (ohne genauere Zuordnung) Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: kleiner Holzrest bis 5 mm dick, ohne Mycel, mit Auflagerungen aus: u.a. Algen, Sand und Partikeln diese ca. 0,5-1 mm dick (im Randbereich bis finale Abbauphase, tieferliegende Bereiche initiale weißfäule; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: von Hausfäulepilzen fehlen.

Hyphensystem: ab ca. >3 mm Tiefe wurde ein Hyphensystem von Hausfäulepilzen nachgewiesen, Zuordnung: wahrscheinlich Weißfäule-Erreger initiale Abbauphase. Substrathyphen: hyalin, dünnwandig, 1-2,5 µm im Durchmesser, verzweigt, im Bereich der Moderfäule auch mit massivem Kristallbesatz, tieferliegende Bereiche ohne Kristalle.

Polarisation: im Randbereich deutlich vermindert bis fehlt.

Bakterien: Eindeutige Zuordnung unklar, aber im Randbereich bis 0,5-1 mm Tiefe wahrscheinlich vorhanden in Verbindung mit finalem Befall durch Moderfäulepilze.

Moderfäulepilze: Nachgewiesen bis ca. 3 mm Tiefe.

Weißfäulepilze: im Bereich von >3 mm Tiefe. Eindeutige Zuordnung unklar, da Weißfäule-Kavernen selten bis fehlen (initiale Abbauphase).

Braunfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Materials. Es wurden Hyphen eines (wahrscheinlich) Weißfäule-Erregers im Substrat nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 62: P5: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 5; Westen, ca. 220 cm über Wasser (320 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Weißfäule-Erreger: beste Annäherung Seitling (*Pleurotus* spp.– Familie: Lentinaceae) und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: kleiner Holzrest bis 1,1 cm dick, mit sehr wenig Mycel, mit im Vergleich zu den Proben P1-P4 deutlich kompakteren und festeren Auflagerungen aus: u.a. Algen, Sand und Partikeln diese ca. 0,5-1 mm dick (im Randbereich bis finale Abbauphase, tieferliegende Bereiche deutlich faserig, bis finale Abbauphase; Probe eingekürzt).

Mycel: sehr spärlich, im Holz liegend, wattig, unter 0,2 mm dick, weiß.

Fruchtkörper/Stränge: von Hausfäulepilzen fehlen.

Hyphensystem: ab ca. >2 mm Tiefe wurde ein Hyphensystem von Hausfäulepilzen nachgewiesen, Zuordnung: Weißfäule-Erreger bis finale Abbauphase. **Grundhyphen:** hyalin, dünnwandig, 1-2,5 µm im Durchmesser, mit einfachen und etwas erweiterten Schnallen an den Septen, z. T. mit einem feinen Kristallbesatz an den Hyphen (z. T. auch unregelmäßig); mäßig mit Kongorot anfärbbar, jod-negativ. **Bin-dehyphen/Faserhyphen:** fehlen. **Gefäßhyphen:** fehlen. **Zystiden:** bereichsweise zahlreich, mit deutlichen feinem Stiel (unter 1 µm im Durchmesser, ca. 4-10 µm lang) und runden bis ovalen, blasigem Ende, 6-8 µm im Durchmesser.

Polarisation: im Randbereich deutlich vermindert bis fehlt.

Bakterien: Eindeutige Zuordnung unklar, aber im Randbereich bis 0,5-1 mm Tiefe wahrscheinlich vorhanden in Verbindung mit finalem Befall durch Moderfäulepilze.

Moderfäulepilze: Nachgewiesen bis ca. 3 mm Tiefe.

Weißfäulepilze: im Bereich von >3 mm Tiefe.

Braunfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Materials. Es wurden Hyphen eines Weißfäule-Erregers im Substrat nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 63: P6: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 6; Westen, ca. 260 cm über Wasser (360 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterien, zudem Weißfäule-Erreger: beste Annäherung Seitling (*Pleurotus* spp.– Familie: Lentinaceae) und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: kleiner Holzrest bis 1 cm dick, mit sehr wenig Mycel, mit im Vergleich zu den Proben P1-P4 deutlich kompakteren und festeren Auflagerungen aus: u.a. Algen, Sand und Partikeln diese ca. 0,5-1 mm dick (im Randbereich bis finale Abbauphase, tieferliegende Bereiche deutlich faserig, bis finale Abbauphase; Probe eingekürzt).

Mycel: spärlich, im Holz liegend, wattig, unter 0,2 mm dick, weiß.

Fruchtkörper/Stränge: von Hausfäulepilzen fehlen.

Hyphensystem: ab ca. >2 mm Tiefe wurde ein Hyphensystem von Hausfäulepilzen nachgewiesen, Zuordnung: Weißfäule-Erreger bis finale Abbauphase. **Grundhyphen:** hyalin, dünnwandig, 1,5-3 µm im Durchmesser, mit einfachen und etwas erweiterten Schnallen an den Septen, z. T. mit einem feinen Kristallbesatz an den Hyphen (z. T. auch unregelmäßig); mäßig mit Kongorot anfärbbar, jod-negativ. **Bin-dehyphen/Faserhyphen:** fehlen. **Gefäßhyphen:** fehlen. **Zystiden:** bereichsweise zahlreich, mit deutlichen feinem Stiel (unter 1 µm im Durchmesser, ca. 4-10 µm lang) und runden bis ovalen, blasigem Ende, 6-8 µm im Durchmesser.

Polarisation: im Randbereich deutlich vermindert bis fehlt.

Bakterien: Eindeutige Zuordnung unklar, aber im Randbereich bis 0,5-1 mm Tiefe wahrscheinlich vorhanden in Verbindung mit finalem Befall durch Moderfäulepilze.

Moderfäulepilze: Nachgewiesen bis ca. 5 mm Tiefe.

Weißfäulepilze: im Bereich von >3 mm Tiefe.

Braunfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden drei Stichproben des Materials. Es wurden Hyphen eines Weißfäule-Erregers im Substrat nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 64: P7: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 7; oberes Befestigungsholz am Kai; 30.03.2017

Weißfäule-Erreger: Häutiger Lederfältling (*Meruliopsis* / *Gloeoporus taxicola*).

Probenbeschreibung: frische r Fruchtkörper an weißfaulem Holz (finale Abbauphase, Holz faserig; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper: resupinat, schwach bis deutlich merulioide (vgl. Hausschwamm); deutlich faltig gewunden, dünn (bis 2 mm dick), Rand: weiß bis creme, trocken: etwas brüchig; ohne besonderen Pilzgeruch. **Fruchtschicht:** orange-rot, trocken dunkelrot, ockerfarb-braun, eigentliche Fruchtschicht nur 0,1 mm dick. **Trama:** weiß bis weißlich, ca. 2 mm dick. Mycel am Holz spärlich, weiß.

Mikroskopische Merkmale (Fruchtkörper): monomitisch. **Grundhyphen:** hyalin, dünn- und glattwandig, verzweigt, vgl. oft septiert, schwach tailliert, 2,5-5 (-7) µm im Durchmesser, septiert, immer ohne Schnallen. **Faserhyphen** und **Gefäßhyphen** fehlen. **Sporen:** hyalin, allantoid (deutlich gebogen), dünn- und glattwandig, schmal tonnenförmig, 4-5 x 1,2-1,4 µm. Apikulus undeutlich, jod-negativ. **Basidien:** zahlreich, hyalin, dünnwan-dig, 20-30 x 3,5-4 µm, säulenförmig, mit Sterigmen (2-4 µm lang), Basalschnalle unklar; palisadenförmig angeordnet.

Hinweis: Nachweise von vergleichbaren Standorten liegen vor. Allgemein ist *Meruliopsis taxicola* eine im Norden seltene, aber im Süden Deutschlands mäßig häufige Art. Die Art scheint demnach ein erhöhtes Wärmebedürfnis zu haben. Im Freiland kommt die Art an hängenden und liegenden Zweigen von Kiefern vor und ist zirkumpolar in humiden Bereichen verbreitet (KRIEGLSTEINER, 2000). Das Vorkommen hier ist wohl dem Umstand zu verdanken, dass kein baulicher Holzschutz vorlag, weder zur Wand hin, noch vor Niederschlägen. Ein Ausfall war vorprogrammiert.

Bezeichnung: Probe 65: P8: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 8, Dalben im Museumshafen (Am Sandtorkai); ca. Peer Mitte; 30.03.2017.

Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola* – Familie: Polyporaceae)

Probenbeschreibung: feste Fruchtkörperteile, an braunfaulem Holz (bis finale Abbauphase), verschimmelt.

Fruchtkörper: ca. 7t x 6b x 14h, deutlich konsolenförmig, roter Rand. **Oberseite:** runzelig, ohne Haare, grau bis braun-schwarz, krustig, mit harzähnlichen Einlagerungen. **Fruchtfleisch (Trama):** hellbraun bis creme, fest, korkartig bis holzig. **Unterseite:** hellgrau-braun bis creme-weiß, mit runden Poren, 2-3,5 je mm, einige Poren etwas aufgespalten. **Trama:** hellbraun, korkähnlich-fest, 4-7 mm dick.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** hyalin, verzweigt, dünn- bis etwas dickwandig (Zellwand unter 1 µm), 2-3,5 (-4) µm im Durchmesser, selten kollabiert, septiert, deutliche Schnallen, in Baumwollblau-Milchsäure und Kongorot färbbar. **Faserhyphen** stellen den Hauptteil der Hyphenmasse; sie sind hyalin, dickwandig, geradlinig, aber biegsam, Durchmesser: 4-6 (-8) µm, nicht mit Kongorot färbbar, jod-negativ; Lumen: meist sehr klein, fast fehlend. **Gefäßhyphen** fehlen. **Bindehyphen:** selten, hyalin, verzweigt, dickwandig, Durchmesser: 2-3 µm, Lumen: sehr klein, schwach sichtbar. **Sporen:** unklar. **Basidien:** keulenförmig, dünnwandig, ca. 15-18 x 5 µm, mit Basalschnalle. **Zystiden:** unklar/sehr selten. **Hyphensystem (Deckschicht):** Hyphen in Harzähnliche Masse einlagert. **Grundhyphen:** wie vor, 3-6 µm. **Faserhyphen:** wie vor, 3-6 µm im Durchmesser. **Hyphensystem (Trama):** Hyphen locker. **Grundhyphen:** wie vor. **Faserhyphen:** wie vor, 4-6 µm im Durchmesser. **Bindehyphen:** wie vor, 1-2 µm im Durchmesser.

Hinweis: Die Baumschwämme werden in Gebäuden nur selten an feucht eingebautem und vorinfiziertem Bauholz gefunden (MEZ, 1908; BECH-ANDERSEN, 1995; HUCKFELDT / SCHMIDT, 2006). Erste Gebäudenachweise sind über 100 Jahre alt (HENNING, 1903); Folgenachweise finden sich nur zerstreut in der mykologischen Literatur (u. a. KREISEL, 1961; PLANK, 1979). Der Rotrandige Baumschwamm kommt an Laub- und Nadelholz vor. Alle gängigen Bauhölzer werden vom Rotrandigen Baumschwamm befallen; Nachweise fehlen jedoch für Robinie und Tropenholz (KRIEGLSTEINER, 2000). Außerhalb von Gebäuden werden z. B. Masten befallen.

Bezeichnung: Probe 66: Probe 1: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafengebäudes; Probenpunkt 1; Osten, ca. 55 cm über Wasser (145 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 1 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 0,5 mm tief), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün.

Mycel / Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschäden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase; ggf. auch Schäden durch Ascomyceten). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 67: Probe 2: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafengebäudes; Probenpunkt 2; Osten, ca. 95 cm über Wasser (185 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 1,5 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 0,7 mm tief), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün.

Mycel / Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschäden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase; ggf. auch Schäden durch Ascomyceten). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 68: Probe 3: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafengebäudes; Probenpunkt 3; Osten, ca. 130 cm über Wasser (220 cm über N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 1,3 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 0,7 mm tief), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün.

Mycel / Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase; ggf. auch Schäden durch Ascomyceten). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 69: Probe 4: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 4; Nord-Ost, ca. 190 cm über Wasser (280 cm N.N.); 30.03.2017.

Moderfäulepilze (ca. 2-5 mm tief) und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 2-3 mm tief), mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün.

Myzel / Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 70: Probe 5: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 5; Nord-Ost, ca. 220 cm über Wasser (310 cm über N.N.), mit Algenbesatz; 30.03.2017.

Moderfäulepilze (bis 7 mm tief - Spandicke), hochwahrscheinlich Bakterienschäden (ca. 1 mm tief) und Hinweise auf Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces* sp. – Familie: *Dacryomycetaceae*) vorhanden, zudem Insektenschäden (frühe Stadien), Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase an der Oberfläche).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen grün.

Myzel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden nachgewiesen (in der Außenschicht war jedoch keine Differenzierung möglich – Befall zu intensiv späte finale Abbauphase). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen.

Bewertung des Befalls auf dieser Höhe: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; tiefere Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 71: Probe 6: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Probenpunkt 6; Nord-Ost, ca. 275 cm über Wasser (365 cm über N.N.); 30.03.2017.

Weißfäule-Erreger: *Tramete* (*Trametes* sp. – Familie *Polyporaceae* s. l. oder ähnliche Gattung) und Moderfäulepilze (bis 7 mm tief – Spandicke, siehe Diagnose), wahrscheinlich Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces* sp. – Familie: *Dacryomycetaceae*) und Bakterienschäden (kaum noch), zudem Insektenschäden, Bläue- und Schimmelpilze, mit Algenbesatz.

Probenbeschreibung: bakterien-, braun- moder- und weißfauler Holzspan mit Algenbewuchs und wenig Myzel im Holz liegend (Holz schwach faserig, bis finale Abbauphase).

Myzel: spärlich, weiß bis hellgrau, fein, unter 0,5 mm dick, wattig bis etwas festfleischig.

Hyphensystem (*Trametes*): Grundhyphen: hyalin, verzweigt, dünnwandig, Septiert, mit Schnallen, 1,5-4,5 (-6) µm im Durchmesser. Faserhyphen: hyalin, glatt- und dickwandig, oft geradlinig bis etwas gewunden, 2-4 µm im Durchmesser. Bindehyphen: stärker verzweigt, hyalin, glatt- und dickwandig, 1-2,5 µm im Durchmesser.

Hyphensystem (*Dacrymyces*): Substrathyphen (Gallerträne): 1,5-3 µm Durchmesser, dünnwandig (aber Schleimbelag), hyalin (durchscheinend), septiert, ohne Schnallen an den häufigen Septen (Querwänden). Zudem Bläue- und Schimmelpilze vorhanden.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend; Befall dadurch wie gebändert (Früh- und Spätholz).

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Bakterienschaden: unklar, ggf. vereinzelt.

Bezeichnung: Probe 72: Probe 7: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafensbeckens; Dalben im Museumshafen, Probenpunkt 7; Kopf des Balkens; 30.03.2017.

Braunfäule-Erreger (2x): Gelbe Braunfäuletramete, auch Gelbe Braunfäuletramete (*Antrodia xantha* – Familie: Polyporaceae) und: Zerfließende Gallerträne (*Dacrymyces stillatus* – Familie: Dacryomycetaceae).

Probenbeschreibung: Fruchtkörperbruchstücke am braunfaulen Holz (bis finale Abbauphase).

Fruchtkörper: resupinat, weißlich, gelb (Hauptfarbe), auch creme bis hellgelblich (im Inneren), bis 15 mm dick. **Poren:** 4-5 Poren je Millimeter, bis ca. 1 mm tief, oft flacher, oft zugewachsen. **Porenform:** unregelmäßig rund, etwas eckig, kaum aufgerissen oder lang gestreckt. **Trama:** weiß, gelblich bis cremefarben, etwas kreideähnlich brüchig (durch Kristalleinlagerungen); einige Teile reagieren mit Jod-Lösung (bläulich). **Rand:** weißlich bis creme, meist schmal.

Hyphensystem (Mycel): **Grundhyphen:** hyalin, verzweigt, dünn- bis dick- und glattwandig, 2-3,5 µm im Durchmesser, septiert, mit deutlichen Schnallen an den Septen, Medaillonschnallen unklar, färbbar in Kongorot. **Faserhyphen:** hyalin, unverzweigt, dickwandig, geradlinig, biegsam, Durchmesser: 2-4 (-5) µm (Durchmesser etwas ondulierend, ohne deutliche blasige Erweiterungen); z. T. jod-positiv (deutlich blau), wenig färbbar in Kongorot; Lumen: durchgehend deutlich (0,3-1 µm). **Bindehyphen:** wie vor, aber 1-2 µm im Durchmesser, stark verzweigt. **Gefäßhyphen:** fehlen. **Kristalle:** hyalin, unförmig, auch als Mantel.

Anmerkung: Gallerträne nicht weiter beschrieben.

Hinweis: Der Gelbe Porenschwamm (bei Mykologen: Gelbliche Braunfäuletramete) gehört zur Gruppe der Weißen Porenschwämme (*Antrodia*, *Oligoporus*), die neben Kellerschwamm, Hausschwamm und Hausporling zu den wirtschaftlich wichtigen holzzerstörenden Fäulepilzen zählen. In Gebäuden wurde er früh von MEZ (1908) beschrieben. Die Gelbliche Braunfäuletramete ist, wie die Blättlinge, besonders widerstandsfähig gegenüber wechselnden Feuchtigkeits-Verhältnissen. Sie liebt Wärme und tritt deshalb gern an feuchtwarmen Hölzern von Treibhäusern, Kalt- und Warmdächern auf, außerdem dann, wenn Maßnahmen zum baulichen Holzschutz zu wenig Beachtung finden. Aus England sowie Dänemark liegen Berichte von Schäden aus Treibhäusern vor und aus den USA sowie Dänemark von Masten, Holzschiffen und Holzdecks (CARTWRIGHT/FINDLAY, 1958; DUNCAN/LOMBARD, 1965; ESLYN, 1986; BECH-ANDERSEN, 1995). Die Gelbliche Braunfäuletramete bevorzugt Nadelholz und Holzwerkstoffe, zuweilen wird aber auch Eichenholz befallen, zudem in der Natur Weiden (BLANCHETTE et al., 1994). In Europa liegen Belege von Kiefer, Fichte, Tanne und Lärche vor und aus den USA auch von Douglasie (DUNCAN/LOMBARD, 1965; RYVARDEN/GILBERTSON, 1994; CETTO, 1994). Natürliche Fundorte in Süddeutschland sind Nadelholzstümpfe, liegende Stämme und auch Äste (LUSCHKA, 1993; KRIEGLSTEINER, 1991, 2000; LAUX, 2001). Hierbei werden sonnige Standorte vom Pilz bevorzugt (RYVARDEN/GILBERTSON, 1994; BECH-ANDERSEN, 1995).

Bezeichnung: Probe 73: Dou Nd; 2017.

Braunfäule-Erreger: Gruppe der Weißen Porenschwämme / Braunfäuletramete (*Antrodia* sp. – Familie: Polyporaceae).

Probenbeschreibung: helles Mycel an Holz und braunfaulem Holz (Würfelbruch bis 4,5 cm groß; kurzfasriges Bruchbild, finale Abbauphase), verschimmelt.

Mycel: schneeweiß bis weiß, kaum vergilbt, unter 1 mm dick, wattähnlich, weich-fleischig bis fest-fleischig (schwach styroporähnlich), nicht kalkähnlich zerfallend.

Fruchtkörper / Stränge: fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** hyalin bis hellbraun, dünn- bis dickwandig (Zellwand bis 1 µm dick), 1,5-3 µm im Durchmesser, mit einfachen Schnallen und deutlichen Medaillonschnallen, ohne braunen Tropfen im Mycel, gut färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Faserhyphen:** zahlreich, hyalin, unverzweigt, dickwandig, geradlinig, etwas unterschiedlich dick, biegsam, Durchmesser in Kongorot: 2-3 µm, Lumen durchgehend deutlich (0,3-1 µm), nicht färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Bindehyphen:** wie vor aber oft verzweigt, 1-3 µm im Durchmesser, nicht färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Gefäßhyphen (im Mycel):** kaum entwickelt, hyalin, etwas verzweigt, dünn- bis dickwandig. **Kristalle:** zahlreich, auch als dichter kristalliner Mantel.

Bezeichnung: Probe 74: LA Nd; Kontrollpfahl; 2017.

Braunfäule-Erreger: Gelbe(r) Porenschwamm / Braunfäuletramete (*Antrodia xantha* – Familie: Polyporaceae).

Probenbeschreibung: helles Mycel an braunfaulem Holz (Würfelbruch fein; kurzfasriges Bruchbild, bis finale Abbauphase).

Mycel: schneeweiß (Hauptfarbe), weiß bis creme, nicht vergilbt, unter 0,5 mm dick, wattähnlich, weich-fleischig bis fest-fleischig (nicht styroporähnlich).

Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** hyalin, dünn- bis etwas dickwandig (Zellwand unter 1 µm dick), 1,5-3,5 µm im Durchmesser, mit Schnallen und deutliche, schlanke Medaillonschnallen, verzweigt, gut färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Faserhyphen:** hyalin, unverzweigt, dickwandig, geradlinig, etwas unterschiedlich dick, biegsam, Durchmesser in Kongorot: 1,5-4 µm (in Jod etwas quellend, Durchmesser schwach ondulierend und mit blasigen Erweiterungen/Enden); jod-positiv (z. T. deutlich bläulich), schwach färbbar in Kongorot, Lumen durchgehend deutlich (0,3-1 µm). **Bindehyphen:** selten, wie vor aber oft verzweigt, 1-2 µm im Durchmesser. **Gefäßhyphen:** sehr selten, wenig entwickelt, hyalin, verzweigt, dünn- bis dickwandig, gut färbbar mit Kongorot, jod-negativ. **Kristalle:** zahlreich, auch als dichter kristalliner Mantel.

Bezeichnung: Probe 75: LA Geotex; 2017.

Braunfäule-Erreger: Artengruppe der Weißen Porenschwämme (*Antrodia* / *Oligoporus* spp., auch Saftporlinge genannt – Familie: Polyporaceae).

Probenbeschreibung: helle Mycelien in braunfauler Holzprobe (Würfelbruch, Bruchbild auch muschelähnlich, bis finale Abbauphase).

Mycel: weiß bis weißlich (Hauptfarbe), unter 1 mm dick, etwas watteartig, abhebbar, empfindlich.

Stränge/Fruchtkörper: fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** oft nur Fragmente, hyalin, verzweigt, dünn- bis dickwandig (Zellwand bis 1 µm dick), 3-5 (-6) µm im

Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Gesellschafter:
Dipl.-Holzwirt Dr. Mathias Rehbein
Mobil: 0163 / 15 34 483

Seite
37 von 60

Gesellschafter:
Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt
Mobil: 0160 / 32 62 615

Durchmesser, septiert, glattwandig, gewöhnliche Schnallen an den Septen vorhanden (entsprechend dem Hyphendurchmesser), zudem Medaillonschnallen, kaum kollabiert, oft mit unregelmäßig geformtem, sehr feinem Kristallbesatz insbesondere in den äußeren Schichten des Mycel, mit Kongorot und Baumwollblau-Milchsäure färbbar, jod-negativ. Faserhyphen: selten, hyalin, unverzweigt, dickwandig, geradlinig, gleichmäßig dick, Durchmesser in Kongorot: 0,8-1,2 µm, nicht färbbar mit Kongorot, jod-negativ. Gefäßhyphen: wohl entwickelt, hyalin, Balken fehlen, 8-19 µm im Durchmesser, dünn- bis dickwandig (Zellwand: bis 2 µm im Durchmesser), mäßig mit Kongorot färbbar, jod-negativ. Kristalle: z. T. auch als lückenhafter bis dichter und dicker Mantel, unförmig oder als Rosetten. Konidiosporen: selten, hyalin, dickwandig, 13 x 7 µm groß.

Bezeichnung: Probe 76: Rammföhle aus Benersiel: Probe 1, Lärche Hirnende; ca. 15.10.2017.

Braunfäule-Erreger: wahrscheinlich *Gallerträne* (*Dacrymyces* spp. – Familie: *Dacryomycetaceae*), zudem **Basidiomycet ohne Zuordnung (Fäuletyp unklar), Schleimpilz, Bläue- und Schimmelpilze.**

Probenbeschreibung: Holzteile mit diversen Auflagerungen, Algen, Sandanhaftungen etc. mit sehr wenig feinem weißem Mycel, zudem Schleimpilz (Holzteile Großteiles augenscheinlich nagelfest, kleinräumig bis finale Abbauphase; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper: fehlen.

Mycel: spärlich, fein, weiß, wattig, unter 0,2 mm dick. Stränge: fehlen, abgesehen vom Schleimpilz.

Hyphensystem: Grundhyphen: 1,5-3 (-4) µm Durchmesser, dünnwandig, hyalin, septiert, Typ 1 ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick), Typ 2 mit schnallen an den Septen. Zudem Hyphen von Bläue- und Schimmelpilzen vorhanden.

Bezeichnung: Probe 77: Rammföhle aus Benersiel: Probe 2, Lärche, 1 m unter Hirnende, Splintholz; ca. 15.10.2017.

Ohne Befund bezüglich holzerstörender Pilze, nachgewiesen wurde ein kleiner Ascomycet, zudem Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Holzprobe, ohne Mycel mit Algen und Flechten, Holzoberfläche gealtert und z. T. etwas faserig und ausgeblühen (Holz augenscheinlich nagelfest; Probe eingekürzt).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: fehlen, abgesehen vom Ascomycet (nicht weiter bestimmt).

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von holzerstörenden Pilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen. Nachgewiesen wurden Hyphen von Schimmelpilzen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist intakt. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachzuweisen, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen fehlen in drei von drei Stichproben.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Anmerkung: Untersucht wurden drei Stichproben des Holzes. Hyphen, die sich Hausfäulepilzen zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 78: Rammföhle aus Benersiel: Probe 3, Lärche, Westseite, ca. 1,5 m unter HW, Ramm-schäden; ca. 15.10.2017.

Braunfäule-Erreger: gute Übereinstimmung besteht mit der Gattung *Pycnoporellus* sp. – Familie der *Polyporaceae* oder ähnliche Gattungen, zudem **Bläue- und Schimmelpilze.**

Probenbeschreibung: im Randbereich braunfäule Holzteile mit Flechten und weiteren Anhaftungen, Holzoberfläche gealtert, mit sehr wenig Mycel (im Randbereich bis finale Abbauphase, Holz bereichsweise leicht gelblich verfärbt, kurzfasriges Bruchbild; Probe eingekürzt).

Mycel: sehr spärlich, in einer Ritze/Spalte des Holzes, weiß, wattig, unter 0,2 mm dick (Material aufgebraucht). Stränge: fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: hyalin, verzweigt, dünn- bis mäßig dickwandig, 2-4 µm im Durchmesser, septiert, an den Septen leicht blasig erweitert, glattwandig, Schnallen an den Septen fehlen, mäßig färbbar mit Kongorot. Gefäßhyphen/Faserhyphen: fehlen.

Bezeichnung: Probe 79: Rammföhle aus Benersiel: Probe 4, Douglasie, Hirnende; ca. 15.10.2017.

Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Holzteile mit diversen Anhaftungen, Algen und Flechten, Holzoberfläche gealtert, ohne Mycel (frühe bis fortgeschrittene Abbauphase im Randbereich, ab ca. 2 mm Tiefe augenscheinlich nagelfest; Probe eingekürzt).

Mycel: fehlt, abgesehen von wenigen Schimmelpilzen.

Stränge: fehlen. **Fruchtkörper:** fehlen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von holzerstörenden Pilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen. Nachgewiesen wurden Hyphen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen im Randbereich nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist an der Oberfläche leicht vermindert, ansonsten intakt. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachzuweisen, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten.

Bezeichnung: Probe 80: Ramppföhle aus Benersiel: Probe 5, Douglasie, 1 m unter Hirnende, Splintholz; ca. 15.10.2017.

Ohne Befund bezüglich holzerstörender Pilze, nachgewiesen wurden Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Holzteile mit diversen Anhaftungen, Holzoberfläche gealtert und bereichsweise stark ausgebleicht, ohne Mycel (Holz augenscheinlich nagelfest; Probe eingekürzt).

Mycel: fehlt, abgesehen von wenigen Schimmelpilzen. **Stränge:** fehlen. **Fruchtkörper:** fehlen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von holzerstörenden Pilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen. Nachgewiesen wurden Hyphen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist an der Oberfläche leicht vermindert, ansonsten intakt. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachzuweisen, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten.

Bezeichnung: Probe 81: Ramppföhle aus Benersiel: Probe 6, Douglasie, Westseite, Baumkannte, Splint, ca. 2 m über HW; ca. 15.10.2017.

Braunfäule-Erreger: Zerfließende Gallerträne (*Dacryomyces stillatus* Nees: Fr. – Familie: Dacrymycetaceae), zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: braunfauler Holzrest mit kleinen Fruchtkörpern (Holzoberfläche gealtert, kurzfasriges Bruchbild, bereichsweise bis finale Abbauphase).

Fruchtkörper: kleine Köpfcchen, rund, orangegelb, unter 0,5 mm im Durchmesser, auch zerflossen/zerlaufen, Konsistenz: hornartig-fest.

Mycel: spärlich, weiß, unter 0,2 mm dick. **Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** 1,5-4 (-5) µm Durchmesser, dünn- bis leicht dickwandig, hyalin, septiert, ohne Schnallen an den Septen, z. T. mit unregelmäßiger Schleimschicht (unter 1 µm dick). **Basidien/Basidiosporen:** nicht nachgewiesen. **Makrokonidien:** hyalin, dickwandig, 15 x 5 µm, 0-1 Septe.

Bezeichnung: Probe 82: Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: Probe 1, Lärche, Kontrollpfahl, Westseite, ca. 2 m über HW, 16.09.2017.

Braunfäule-Erreger: Weißer Porenschwamm / Braunfäuletramete (*Antrodia* sp. – Familie: Polyporaceae) hochwahrscheinlich Breitsporiger Weißer Porenschwamm / Braunfäuletramete (*Antrodia vaillantii* – Familie: Polyporaceae).

Probenbeschreibung: braunfaule Holzreste mit wenig, hellen Mycel (feiner Würfelbruch, kurzfasriges Bruchbild, bis finale Abbauphase; Probe eingekürzt), etwas verschimmelt.

Mycel: weiß (Hauptfarbe) bis creme (jedoch verschmutzt), unter 1 mm dick, ohne erkennbare Zuwachszonen, mehlig, als feiner Belag.

Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem: etwas mikrobiell angegriffen. **Grundhyphen:** hyalin, dünn- bis dickwandig (Zellwand bis 1 µm dick), 1,5-4 (-5 µm) im Durchmesser, mit Schnallen und Medaillonschnallen, verzweigt, selten kollabiert. **Faserhyphen:** nicht nachgewiesen. **Gefäßhyphen:** hyalin, ohne Balken, verzweigt, septiert, tailliert, 8-10 µm im Durchmesser, dünn- bis mäßig dickwandig. **Kristalle:** zahlreich. **Konidiosporen:** fehlen.

Bezeichnung: Probe 83: Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: Probe 2, Lärche 1, Westseite, ca. 2 m über HW, 16.09.2017.

Braunfäule-Erreger: nicht näher bestimmbar und Weißfäule-Erreger: nicht näher bestimmbar, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: braun- und weißfaule Holzreste, Oberfläche gealtert/ausgebleicht, ohne Mycel (kurzfasriges Bruchbild, Abbau auch deutlich faserig, bis finale Abbauphase; Probe eingekürzt).

Mycel: fehlt, abgesehen von Schimmelpilzen. **Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: **Substrathyphen:** selten, mikrobiell abgebaut, hyalin, dünnwandig, septiert, verzweigt, mit Schnallen, 1,5-3 µm im Durchmesser. Zudem Bläue- und Schimmelpilze vorhanden.

Bezeichnung: Probe 84: Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: Probe 3, Lärche, Kontrollpfahl, Ostseite, ca. 2 m über HW, 16.09.2017.

Moderfäulepilze, Basidiomycet ohne eindeutige Zuordnung (Fäuletyp unklar, vergleichbar einer leichten Rotstreife), Insektenschaden, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Holzteile, oberflächlich gealtert, Holzfasern an der Holzoberfläche abstehend, ohne Mycel, mit Fruchtkörpern von Moderfäulepilzen (frühe Abbauphase im Randbereich; Probe eingekürzt), Insektenschaden nicht weiter beschrieben.

Mycel: fehlt, abgesehen von Schimmelpilzen.

Stränge: fehlen. **Fruchtkörper:** fehlen, abgesehen von Moderfäulepilzen.

Hyphensystem: **Substrathyphen:** hyalin, verzweigt, 1,5-2 µm im Durchmesser, dünnwandig, mit kleinen Schnallen, mit Kristallbesatz. **Faserhyphen** und **Gefäßhyphen:** nicht nachgewiesen. Zudem Hyphen von Bläue- und Schimmelpilzen vorhanden.

Moderfäulepilze: wenige spitz zulaufende Kavernen im Randbereich nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist an der Oberfläche leicht vermindert, ansonsten intakt. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachzuweisen, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten.

Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Gesellschafter:
Dipl.-Holzwirt Dr. Mathias Rehbein
Mobil: 0163 / 15 34 483

Seite
39 von 60

Gesellschafter:
Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt
Mobil: 0160 / 32 62 615

Bezeichnung: Probe 85: Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: Probe 4, Lärche 1, Ostseite, ca. 1,5 m über HW, 16.09.2017.

Ohne Befund bezüglich holzerstörender Pilze, nachgewiesen wurden Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: kleine Holzreste, oberflächlich gealtert, ohne Mycel (Holz augenscheinlich nagelfest).

Fruchtkörper, Stränge und Mycel: fehlen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von holzerstörenden Pilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen. Nachgewiesen wurden Hyphen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist intakt. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachzuweisen, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen fehlen in drei von drei Stichproben.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 86: Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: DOU, Radialriss Richtung Nordseite, ca. 1 m über HW, 16.09.2017.

Moderfäulepilze, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: Holzteile mit diversen Anhaftungen, Holzoberfläche gealtert, ohne Mycel, mit Fruchtkörpern von Moderfäulepilzen (frühe Abbauphase im Randbereich; Probe eingekürzt).

Mycel: fehlt, abgesehen von wenigen Schimmelpilzen.

Stränge: fehlen. **Fruchtkörper:** fehlen, abgesehen von Moderfäulepilzen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem von holzerstörenden Pilzen wurde in drei von drei Stichproben nicht nachgewiesen. Nachgewiesen wurden Hyphen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen im Randbereich nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist an der Oberfläche leicht vermindert, ansonsten intakt. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachzuweisen, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten.

Bezeichnung: Probe 87: Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: Probe 6, DOU, Radialriss Richtung Südostseite, ca. 2,5 m über HW, 16.09.2017.

Moderfäulepilze und Braunfäule-Erreger: nicht näher bestimmbar, zudem Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: braun- und moderfaule Holzteile ohne Mycel, Holzoberfläche gealtert, mit Fruchtkörpern von Moderfäulepilzen (Holz bereichsweise gelblich verfärbt – Ursache unklar, kurzfasriges Bruchbild, bis finale Abbauphase im Randbereich; Probe eingekürzt).

Mycel: fehlt, abgesehen von Schimmelpilzen.

Stränge: fehlen. **Fruchtkörper:** fehlen, abgesehen von Moderfäulepilzen.

Hyphensystem: Ein Hyphensystem des Braunfäule-Erregers ist am vorliegenden Probenmaterial nicht mehr nachzuweisen, ursächlich hierfür ist u. a. der intensive Bewuchs durch Bläue- und Schimmelpilze.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen insbesondere im Randbereich nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist bereichsweise vermindert bis fehlt, dies deutet auf einen fortgeschrittenen Befall durch Braunfäule-Erreger hin.

Bezeichnung: Probe 88: Norddeich, am 28.07.2017 aus Fahrinne gezogen: Probe 7, DOU, 0,5 m über HW, 16.09.2017.

Weißfäule-Erreger: Schicht- oder Rindenpilz (*Hyphoderma*, *Hyphodontia* spp. o. ä. – Familie: Corticiaceae), Moderfäulepilze, sowie Bläue- und Schimmelpilze; Holzart: Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*).

Probenbeschreibung: weiß-, und moderfaule Holzreste mit wenig, feinem Mycel und kristallinen Auflagerungen (bis fortgeschrittene Abbauphase, kurzfasriges Bruchbild im Randbereich, Abbaubild auch leicht faserig; Probe eingekürzt).

Mycel: in einer Ritze/Spalte des Holzes, fein, weiß wattig, unter 0,3 mm dick. **Stränge:** fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** hyalin, dünnwandig, 1,5-3 µm im Durchmesser, septiert, mit deutliche Schnallen, verzweigt, mit deutlich sichtbarem Lumen. **Faserhyphen:** fehlen (=Gattungs-Merkmal). **Gefäßhyphen:** nicht nachgewiesen. **Zystiden:** hyalin, mit kugeligen Enden, ohne Kristallbesatz. **Kristalle:** hyalin, auch als lockerer bis dichter kristalliner Mantel. Zudem Hyphen von Schimmelpilzen vorhanden.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen im Randbereich vorhanden.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 89: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 1: Hafenbecken Westseite Pfahl 1 von Süd, 18.10.2017

Moderfäulepilze, zudem Insektenschaden (Rüsselkäfer - Familie: Curculionidae), Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes und moderfaules Holzteil (Würfelbruch von Insektenschaden überlagert, bis finale Abbauphase).

Mycel/Fruchtkörper und Stränge: fehlen, abgesehen von Moderfäule- und Bläuepilzen.

Hyphensystem: Bei drei von drei Stichproben wurden Schimmelpilz-Hyphen nachgewiesen. Hyphen von Basidiomyceten wurden in drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: In drei von drei Stichproben fanden sich bis zu massenhaft spitz zulaufende Kavernen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist in vielen Teil-Bereichen intakt, abgesehen von den Kavernen. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachweisbar, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten. Nur die Polarisation in den Kavernen war stark vermindert und im final zerstörten Holz auch fast erloschen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Larven, Käfer- und Käferteile: fehlen.

Gänge/Genagel: lockere bis etwas verklebte Kotpapillen, z. T. schwach tonnenförmig, braun, etwas unregelmäßig Partikel, unregelmäßige Gänge, 1-2 mm im Durchmesser, z. T. zusammenfließend, Ausflughöcher unklar.

Anmerkung zur Probe: Doppelbefälle sind bei Befall mit Moderfäulepilzen häufig.

Hinweis: Zur Klärung der Frage, ob eine Braunfäule vorliegt, ist mehr Material nötig.

Bezeichnung: Probe 90: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 2: Pfahl 2 von Süd, 18.10.2017.

Moderfäulepilze und Braunfäule-Erreger: Gallerträne (*Dacrymyces* – Familie: *Dacryomycetaceae*), zudem Insektenschaden, Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: braunfäule Holzprobe (Würfelbruch kaum ausgeprägt, Oberfläche bis frühe finale Abbauphase (Braunfäule in Teilen vergleichsweise hell); beschichtet.

Stränge/Fruchtkörper/Mycel: fehlen, abgesehen von Schimmel- und Bläuepilze.

Hyphensystem: Substrathyphen: 1,5-3 µm Durchmesser, dünnwandig, hyalin (durchscheinend), septiert, ohne Schnallen an den häufigen Septen (Querwänden), mit Schleimschicht. Zudem Bläue- und Schimmelpilze vorhanden.

Polarisation: die Polarisation des Holzes ist in den abgebauten Bereichen ist etwas vermindert.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden Stichproben nachgewiesen.

Bewertung: Untersucht wurden fünf Stichproben des Holzes. Das vorliegende Probenmaterial ohne Oberflächen-mycel ist mäßig geeignet für eine Bestimmung, weil wichtige Merkmale fehlen. Die Ursache liegt im Bewuchs mit Bläue- und Schimmelpilzen und den wenigen vorhandenen anderen Hyphen. Das Ergebnis der Untersuchung der vorliegenden Holzprobe ist deshalb mit Einschränkungen zu bewerten.

Anmerkung: Insektenschaden nicht weiter beschrieben.

Bezeichnung: Probe 91: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 3: Hafenbecken Ostseite Pfahl 5 von Süd, 18.10.2017.

Moderfäulepilze, zudem Insektenschaden (Rüsselkäfer - Familie: *Curculionidae* – Lebendnachweis), Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes und moderfaules Holzteil (Würfelbruch von Insektenschaden überlagert, bis finale Abbauphase).

Mycel/Fruchtkörper und Stränge: fehlen, abgesehen von Moderfäule- und Bläuepilzen.

Hyphensystem: Bei drei von drei Stichproben wurden Schimmelpilz-Hyphen nachgewiesen. Hyphen von Basidiomyceten wurden in drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: In drei von drei Stichproben fanden sich bis zu massenhaft spitz zulaufende Kavernen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist in vielen Teil-Bereichen intakt, abgesehen von den Kavernen und der Oberfläche. Folglich ist eine massive Aktivität von Braunfäulepilzen nicht nachweisbar, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Larven, Käfer- und Käferteile: vorhanden (siehe Abb. 29 und Abb. 30).

Gänge/Genagel: lockere bis etwas verklebte Kotpapillen, z. T. schwach tonnenförmig, braun, etwas unregelmäßig Partikel, unregelmäßige Gänge, 1-2 mm im Durchmesser, z. T. zusammenfließend, Ausflughöcher unklar.

Anmerkung zur Probe: Doppelbefälle sind bei Befall mit Moderfäulepilzen und Rüsselkäfern häufig.

Das Ergebnis der Holzartenbestimmung im Einzelnen:

Probenbeschreibung: Holzteile final abgebaut, einige holzanatomische Merkmale sind durch den finalen Abbau nicht mehr nachzuweisen.

Die untersuchte Probe entspricht nach makro- und mikroskopischen Strukturmerkmalen vollständig Hölzern aus der botanischen Familie der **PINACEAE**.

Beste Übereinstimmung besteht mit dem Holz der Gattung ***Pinus* spp. (Kiefer)**.

Innerhalb der Gattung *Pinus* besteht, aufgrund nachfolgend aufgeführter struktureller Merkmale, gute Übereinstimmung mit dem Holz der botanischen Art ***Pinus sylvestris* (Gemeine Kiefer)**.

Strukturmerkmale:

- Gefäße fehlen
- Kreuzungsfeldtüpfel Fenster-Typ
- Spätholztracheiden dickwandig
- Tüpfel in Radialwänden 1-reihig bis 2/3 Faserbreite
- Holzstrahlen 1-reihig, mit Harzkanälen
- Holzstrahltracheiden vorhanden
- Holzstrahltracheiden nicht glattwandig

Bezeichnung: Probe 92: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 4: Hafenbecken Nordseite Pfahl 6 von Ost, 18.10.2017.

Moderfäulepilze, zudem Insektenschaden (Rüsselkäfer - Familie: Curculionidae), Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes und moderfaules Holzprobe (ohne Würfelbruch überlagert, bis mittlere Abbauphase; Fäule-schaden eher oberflächlich).

Mycel/Fruchtkörper und Stränge: fehlen, abgesehen von Moderfäule- und Bläuepilzen.

Hyphensystem: Bei drei von drei Stichproben wurden Schimmelpilz-Hyphen nachgewiesen. Hyphen von Basidiomyceten wurden in drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: In drei von drei Stichproben fanden sich bis zu massenhaft spitz zulaufende Kavernen.

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist in vielen Teil-Bereichen intakt, abgesehen von den Kavernen. Folglich ist eine massive Akti-vität von Braunfäulepilzen nicht nachweisbar, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten. Nur die Polarisation in den Kavernen war stark vermindert und im final zerstörten Holz auch fast erloschen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Larven, Käfer- und Käferteile: fehlen.

Gänge/Genagel: lockere bis etwas verklebte Kotpapillen, z. T. schwach tonnenförmig, braun, etwas unregelmäßig Partikel, unregelmä-ßige Gänge, 1-2 mm im Durchmesser, z. T. zusammenfließend, Ausflughöcher unklar.

Anmerkung zur Probe: Doppelbefälle sind bei Befall mit Moderfäulepilzen häufig.

Hinweis: Zur Klärung der Frage, ob eine Braunfäule vorliegt, ist mehr Material nötig.

Bezeichnung: Probe 93: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 5: Pfahl 7, von Ost 18.10.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterienschäden, zudem Bläue- und Schimmelpilze; Holzart: Ge-meine Kiefer (*Pinus sylvestris*).

Probenbeschreibung: bakterien- und moderfaules Holz (bis finale Abbauphase).

Holz: grau bis grauschwarz, Oberfläche schleimig (wenn nass) und durch Algen graugrün.

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Fäulepilze - Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden zerstreut nachgewiesen. Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist in vielen Teil-Bereichen intakt, abgesehen von den Kavernen. Folglich ist eine massive Akti-vität von Braunfäulepilzen nicht nachweisbar, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten. Nur die Polarisation in den Kavernen war stark vermindert und im final zerstörten Holz auch fast erloschen.

Hinweis: Es wurden keine eindeutigen Hyphen von Basidiomyceten nachgewiesen.

Bezeichnung: Probe 94: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 6: Pfahl 11 von Ost, 18.10.2017.

Moderfäulepilze und hochwahrscheinlich Bakterienschäden (Probe wirkt in Teilen braunfaul; dies lässt sich je-doch mikroskopisch nicht erhärten), zudem Insektenschaden, Bläue- und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: insektengeschädigtes, bakterien- und moderfaules Holzteil (ohne Würfelbruch überlagert, bis finale Abbauphase).

Mycel/Fruchtkörper und Stränge: fehlen, abgesehen von Moderfäule- und Bläuepilzen.

Hyphensystem: Bei drei von drei Stichproben wurden Schimmelpilz-Hyphen nachgewiesen. Hyphen von Basidiomyceten wurden in drei Stichproben nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: In drei von drei Stichproben fanden sich bis zu massenhaft spitz zulaufende Kavernen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen lassen, wurden zerstreut bis zahlreich nachgewiesen. Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab (siehe „Hinweis zu den Bakterien“).

Polarisation: Die Polarisation des Holzes ist in vielen Teil-Bereichen intakt, abgesehen von den Kavernen. Folglich ist eine massive Akti-vität von Braunfäulepilzen nicht nachweisbar, da diese die Cellulose als Verursacher der Polarisation abgebaut hätten. Nur die Polarisation in den Kavernen war stark vermindert und im final zerstörten Holz auch fast erloschen.

Larven, Käfer- und Käferteile: fehlen.

Gänge/Genagel: lockere bis etwas verklebte Kotpapillen, z. T. schwach tonnenförmig, braun, etwas unregelmäßig Partikel, unregelmä-ßige Gänge, 1-2 mm im Durchmesser, z. T. zusammenfließend, Ausflughöcher unklar.

Anmerkung zur Probe: Doppelbefälle sind bei Befall mit Moderfäulepilzen häufig.

Hinweis: Zur Klärung der Frage, ob eine Braunfäule vorliegt, ist mehr Material nötig.

Bezeichnung: Probe 95: P1: Versuche im Außentank: Auf Kiefer, weißes Mycel; 20.09.2016.

Weißfäule-Erreger: Artengruppe der Schicht- und Rindenpilze: wahrscheinlich Zystidenrindenpilz (*Phanerocha-ete* sp. oder ähnliche Gattung) und Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: feines, weißes Mycel, ohne Holz.

Mycel: weiß bis creme, etwas festfleischig, unter 2 mm dick, locker, aber deckend. **Stränge:** fehlen, bzw. sehr fein. **Fruchtkörper:** fehlen.

Hyphensystem: **Grundhyphen:** z. T. in Bündeln liegend (etwas miteinander verklebt), hyalin, dünn- bis dickwandig (Zellwand bis 2 µm dick), 2-6 µm im Durchmesser, septiert, Schnallen fehlen. **Faserhyphen:** fehlen, aber einige Grundhyphen, sehr dickwandig, zuweilen ver-zweigt, 2-6 µm im Durchmesser. **Gefäßhyphen:** fehlen. **Zystiden:** nur in holznähe, hyphenähnlich, hyalin, Ende selten erweitert, 4-5,5 x 30-60 µm, mit Kristallbesatz an den Enden. **Kristalle:** nur in holznähe, regelmäßig, auch als dichter Mantel vorhanden.

Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Gesellschafter:
Dipl.-Holzwirt Dr. Mathias Rehbein
Mobil: 0163 / 15 34 483

Seite
42 von 60

Gesellschafter:
Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt
Mobil: 0160 / 32 62 615

Bewertung: Der Schaden ist vergleichbar einer Rotstreifigkeit (siehe Merkblatt)

Bezeichnung: Probe 96: P2: Versuche im Außentank: Auf Kiefer, weißes Mycel; 20.09.2016.

Weißfäule-Erreger: Artengruppe der Schicht- und Rindenpilze: wahrscheinlich Zystidenrindenpilz (*Phanerochaete* sp. oder ähnliche Gattung) und Schimmelpilze. Sequenziert als Großer Zystidenkammpilz (*Phlebiopsis gigantea* = *Phanerochaete gigantea*) von Dr. Trautner (Thünen-Institut).

Probenbeschreibung: feines, weißes Mycel, fast ohne Holz (initiale Weißfäule).

Mycel: weiß bis creme, etwas festfleischig, unter 2 mm dick, locker, aber deckend.

Stränge: fehlen, bzw. sehr fein ins Mycel eingebettet. **Fruchtkörper:** fehlen.

Hyphensystem: Grundhyphen: z. T. in Bündeln liegend (etwas miteinander verklebt), hyalin, dünn- bis dickwandig (Zellwand bis 2 µm dick), 2-6 µm im Durchmesser, septiert, Schnallen fehlen. Faserhyphen: fehlen, aber einige Grundhyphen, sehr dickwandig, zuweilen verzweigt, 2-6 µm im Durchmesser. Gefäßhyphen: fehlen. Zystiden: nur in Holznähe, hyphenähnlich, hyalin, Ende selten erweitert, 4-5,5 x 21-54 µm, mit Kristallbesatz an den Enden. Kristalle: nur an Hyphen, die dicht am Holz liegen, regelmäßig, auch als dichter Mantel vorhanden.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die einer Weißfäule ähnlich sind, wurden insbesondere in den Parenchymzellen nachgewiesen.

Bewertung: Der Schaden ist vergleichbar einer Rotstreifigkeit (siehe Merkblatt).

Bezeichnung: Probe 97: P3: Versuche im Außentank: Auf Kiefer, weißes Mycel; 20.09.2016.

Oberfläche gealtert (Abbau-Art unklar), Schimmelpilze.

Probenbeschreibung: kleine Schimmelpilz-Konidienlager an schmierigem, „gealtertem“ Holzspänchen (Schaden oberflächlich - ca. 10-20 Zellreihen tief reichend; das Holz ist insgesamt gesehen dem Augenschein nach nagelfest [soweit nachweisbar], die oberflächennahen Bereiche gealtert, verschimmelt/verschmutzt, verfärbt).

Mycel: fehlen, abgesehen von Bläue- und Schimmelpilzen.

Stränge: fehlen.

Hyphensystem (Hausfäulepilz): nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: spitz zulaufende Kavernen wurden nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht sicher nachgewiesen.

Braunfäule-Erreger: keine Hinweise auf eine Braunfäule vorhanden.

Bläuepilze: vorhanden.

Anmerkung: Die Probe ist für die Fragestellung zu klein; Schimmelpilz nicht weiter beschrieben.

Bezeichnung: Probe 98- 112 (zusammengefasst): P1a, Hafen Norddeich, 20 cm von oben (ca. 30 cm über Hochwasserlinie). und folgende

Anmerkung: Die Probenreihe ist sehr einheitlich im Befall, nicht jedoch in der Verteilung (siehe oben). Daher wird nur eine Probe detailliert beschrieben.

Probenbeschreibung: oberflächlich moderfaules Holzteil (oft Bläue-Bewuchs an der Oberfläche)

Holz: hellbraun-grau bis holzfarben, Oberfläche etwas geschädigt; innen nagelfest.

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen/unklar, abgesehen von Bläuepilzen; diese spärlich.

Hyphensystem (Fäulepilze- Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen ließen, wurden nur an der Oberfläche nachgewiesen (bis 0,5 mm tief). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab.

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; alle tieferen Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 113- 116 (zusammengefasst): L 15 (-0,5 cm unter Wasser), Salzwasser, Thünen-Institut. und folgende

Ohne Befund, Oberfläche gealtert (wenige Zellreihen tief).

Anmerkung: Die Probenreihe ist sehr einheitlich, daher wird nur eine Probe detailliert beschrieben.

Probenbeschreibung: Holzteil (oft Bläue-Bewuchs an der Oberfläche)

Holz: holzfarben, Oberfläche etwas geschädigt; nagelfest.

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen, abgesehen von Bläuepilzen; diese spärlich.

Hyphensystem (Fäulepilze- Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Weißfäulepilze: nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: nicht nachgewiesen.

Bewertung des Befalls: Es sollte geprüft werden, ob der fehlende Befall auf die ggf. fehlenden Mikroorganismen im Wasser zurückzuführen ist.

Bezeichnung: Probe 117-129 und 133-140 (zusammengefasst): Rundholz Nr. 1 (*Pinus sylvestris*): (-0,5 cm unter Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut. und folgende

Anmerkung: Die Probenreihe ist sehr einheitlich im Befall, nicht jedoch in der Verteilung (siehe oben). Daher wird nur eine Probe detailliert beschrieben.

Probenbeschreibung: oberflächlich bakterien- und moderfaules Holzprobe (oft mit Bläue-Bewuchs an der Oberfläche)

Holz: hellbraun-grau bis holzfarben, Oberfläche etwas geschädigt; innen nagelfest (soweit die Spantiefe reichte).

Mycel/Fruchtkörper/Stränge: fehlen/unklar, abgesehen von Bläuepilzen.

Hyphensystem (Fäulepilze- Basidiomyceten): nicht nachgewiesen.

Moderfäulepilze: Spitz zulaufende Kavernen wurden nachgewiesen, oft insbesondere im Spätholz, von außen nach innen in der Kavernen-Dichte abnehmend.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nicht nachgewiesen.

Bakterienschaden: Feine Kavernen, die sich Bakterien zuordnen ließen, wurden nur an der Oberfläche nachgewiesen (bis 0,5 mm tief). Von außen nach innen nimmt die Kavernen-Dichte ab.

Bewertung des Befalls: Ohne Bedeutung, da nur oberflächlich; alle tieferen Bereiche erschienen nagelfest.

Bezeichnung: Probe 130 - 132 (zusammengefasst): Rundholz Nr. 5 (*Pinus sylvestris*): (0,5 cm über Wasser), Süßwasser, Thünen-Institut. und folgende

Weißfäule-Erreger: Artengruppe Schicht- und Rindenpilze: Großer Zystidenkammpilz (*Phlebiopsis gigantea* = *Phanerochaete gigantea*) und Bläuepilze

Probenbeschreibung: flacher, heller Fruchtkörper.

Fruchtkörper: weiß bis cremefarben, watteartig-fest bis styroporähnlich, dicht, bis 1 mm dick (trocken, dann auch etwas rissig).

Hyphensystem: Grundhyphen: hyalin, dünn- bis etwas dickwandig, 2-4,5 µm im Durchmesser, septiert, Schnallen fehlen. Andere Hyphentypen (Faser- oder Gefäßhyphen) konnten nicht gefunden werden, jod-negativ. **Zystiden:** 75-85 µm lang, mit dichten und dicken Kristallschopf, dickwandig. **Sporen:** dünnwandig, glatt, 2,5-3 (-3,5) x 6-7 µm, etwas ungleichmäßig geformt, tonnenförmig, etwas allantoid (wurstförmig), mit Apikulus. **Basidien:** hyalin, oft keulenförmig, nach oben breiter, 4,5-6 x 18-28 µm. **Substrathyphen:** hyalin, dünn- bis dickwandig (Zellwand bis 1,5 µm dick), 2-4 (-6) µm im Durchmesser, septiert, Schnallen fehlen/unklar.

Weißfäulepilze: Kavernen, die sich einer Weißfäule zuordnen ließen, wurden nachgewiesen.

Grundlagen / Grenzen der Untersuchungen / Bedingungen

Untersuchungen der Unterzeichner

In-Augenscheinnahme der Dalben in zugänglichen Bereichen (siehe Liste der Ortstermine).

Fremde Sachverhalte, Unterlagen und Untersuchungen

Siehe Literaturliste.

Bedingungen

Sind die Ergebnisse der Untersuchungen, soweit diese Herrn Dr. Mathias Rehbein und Dr. Tobias Huckfeldt zustehen, durch Urheberrechte geschützt, so wird dem Auftraggeber mit Übergabe des Gutachtens das nicht ausschließliche, durch den Auftraggeber übertragbare, zeitlich und örtlich unbegrenzte Recht übertragen, diese Ergebnisse in unveränderter oder veränderter Form auf alle Nutzungsarten beliebig zu nutzen (insbesondere zu vervielfältigen, vervielfältigen zu lassen und zu verarbeiten) und Dritten für alle Nutzungsarten Nutzungsrechte einzuräumen. Unbeschadet dessen behalten Dr. Mathias Rehbein und Dr. Tobias Huckfeldt für ihre eigenen Zwecke in Forschung und Lehre ein nicht ausschließliches, kostenloses, zeitlich und örtlich unbegrenztes Nutzungsrecht an den Ergebnissen und Rechten.

Hinweis zu den Bakterien:

Ein Befall/Schaden mit holzzerstörenden Bakterien im Holz kann unseres Wissens bislang nur eindeutig im Transmissions-Elektronenmikroskop nachgewiesen werden. In dem vorgelegten Forschungsbericht kann nur eine gut begründete Ansicht dargestellt werden, die auch durch eigene Untersuchungen gestützt wird (z. B. REHBEIN et al., 2009, 2011). Eine Untersuchung am Transmissions-Elektronenmikroskop wäre ggf. möglich, Preis auf Anfrage.

Allgemeine Hinweise:

Zu beachten ist, dass sich die oben gestellte(n) Diagnose(n) nur auf das vorliegende Material bezieht / beziehen. Ziel der Diagnose(n) ist die Identifikation von holzzerstörenden Pilzen/Insekten/Holzarten. Es kann nicht beurteilt werden, ob die von uns untersuchte(n) Probe(n) repräsentativ ist (sind). Die Probenahme liegt stets im Verantwortungsbereich des Probennehmers, auch wenn Bildmaterial oder andere Informationen mit eingesandt werden, soweit nicht von uns selbst erhoben.

Institut für Holzqualität und Holzschäden – Dr. Rehbein und Dr. Huckfeldt GbR

Gesellschafter:
Dipl.-Holzwirt Dr. Mathias Rehbein
Mobil: 0163 / 15 34 483

Seite
44 von 60

Gesellschafter:
Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt
Mobil: 0160 / 32 62 615

Methodik: Die Analyse gründet sich auf die makro- und mikroskopische Untersuchung der Proben (Morphologie) und Angaben des Auftraggebers. Untersucht wurden die frischen Proben nach Überführung in Leitungswasser und das getrocknete Material, das mit Ethanol benetzt und dann in Leitungswasser überführt wurde. Gefärbt wurde mit Kongorot in wässriger Lösung, mit Melzers-Reagenz und mit Baumwollblau in Milchsäure (CLÉMENÇON 2009; ERB & MATHEIS 1983; HUCKFELDT & SCHMIDT 2015). Die mikroskopische Bestimmung erfolgte u. a. nach BERNICCHIA & GORJÓN (2010), ERIKSSON et al. (1973-1988), GINNS (1974, 1978), JÜLICH (1984) und NAKASONE (1984). Die Differenzierung/Abgrenzung der Sägeblättlinge (*Lentinus* spp.) folgt, soweit möglich, u. a. BAVENDAMM (1952), BECH-ANDERSEN (1995), COCKCROFT (1979), HUCKFELDT / SCHMIDT (2006). Die Differenzierung und Abgrenzung von *Auricularia* sp. folgt u. a. JÜLICH (1984), BREITENBACH/KRÄNZLIN (1986), HANSEN (1997), JAHN (1990) und KRIEGLSTEINER (2000). Die Differenzierung und Abgrenzung der Gallertpilze folgt u. a. JÜLICH (1984), BREITENBACH/KRÄNZLIN (1986), HANSEN (1997), JAHN (1990) und KRIEGLSTEINER (2000). Die Differenzierung bzw. Abgrenzung der Kellerschwämme / Braunsporrindenpilze folgt u. a. BAVENDAMM (1936), GINNS (1982), HARMSSEN (1982), HUCKFELDT / SCHMIDT (2015) und KEMPER (1937). Die Differenzierung und Abgrenzung der Schicht- und Rindenpilze folgt, soweit möglich, u. a. BERNICCHIA/GORJÓN (2010), ERIKSSON et al. (1973-1988), JÜLICH (1984), KRIEGLSTEINER (2000) und LANGER (1994). Abgrenzung der Porenschwamm-Artengruppe folgt, soweit möglich, u. a. BERNICCHIA (2005), JÜLICH (1984), KRIEGLSTEINER (2000), RYVARDEN / GILBERTSON (1993-1994) und RYVARDEN / MELO (2014). Die Differenzierung /Abgrenzung der Seitlinge (*Pleurotus* spp.) folgt u. a. BECH-ANDERSEN (1995), BREITENBACH/ KRÄNZLIN (1991), CARTWRIGHT/FINDLAY (1958), HILBER (1982), HUCKFELDT/SCHMIDT (2015).

Bewertungsmuster für Substratmycel: Können Substrathyphen im Holz nachgewiesen werden, sind in der Regel begründete Diagnosen des Schaderregers / einer Schaderregergruppe in Gebäuden, hilfsweise auch im Freien, möglich (Die Ergebnisse sind dann nur als Richtwert zu verstehen; daher eignen sich Substratmycel-Ergebnisse von Freilandproben⁴⁰ kaum für eine w. Publikation). Das verwendete Bewertungsmuster für Hausfäulepilze entspricht der uns verfügbaren Literatur/Erfahrung (u. a. HARTIG, 1885; BAVENDAMM, 1936; PROCTOR, 1941; THEDEN, 1944; JUTTE/ZABEL, 1974; HARMSSEN, 1982; BLANCHETTE et al., 1978; WEIß et al., 2000 und HUCKFELDT, 2003). Hiernach können sehr eng verwandte oder ähnliche Arten nicht getrennt werden. So ist eine Unterscheidung nur in Gruppen möglich. Zudem ist die Fläche einer untersuchten Stichprobe klein, deshalb kann Doppelbefall bei heterogen durchwachsenen Proben nicht ausgeschlossen werden. Hier kann das Umfeld zur Sicherung der Diagnose herangezogen werden.

Die Bestimmung der Holzart(en) folgt u.a. den Vorgaben der IAWA, der Datenbank Commercial timbers von H. G. Richter und M. J. Dallwitz (Version 2015-onwards), InsideWood 2004-onwards, Published on the Internet, <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>; Grosser, D. 1977 Die Hölzer Mitteleuropas. Springer Verlag, Wagenführ, R. 2007 Holzatlas. Fachbuchverlag Leipzig und Schweingruber, F.H., 1990: Anatomie europäischer Hölzer: Ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer. Bern, Stuttgart.

Literatur

- Alfredsen, G.; Solheim, H.; Jenssen, K. M. (2005) Evaluation of decay fungi in Norwegian buildings. Stockholm: Intern. Res. Group Wood Pre., Doc. No. 05-10562
- Anagnost, S. E. (1998) Light microscopic diagnosis of wood decay. IAWA Journal 19, S. 141-167
- Bariska, M.; Osuky, A.; Bosshard, H. H. (1983) Änderung der mechanischen Eigenschaften von Holz nach Abbau durch Basidiomyceten. Holz als Roh- und Werkstoff 40, S. 241-245
- Bavendamm, W. (1936) Erkennen, Nachweis und Kultur der holzverfärbenden und holzersetzenen Pilze. In: Abderhalben E. (Hrsg.) Handbuch d. biol. Arbeitsmethoden, Urban & Schwarzenberg, Berlin, Teil 2, S. 943-1113
- Bavendamm, W. (1952) Holzschädlingstafeln: *Lentinus lepideus* (Buxb.) Fr., Pflanzliche Holzschädlinge. Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbek, Holz Roh- Werkstoff 10, S. 337-338
- Bech-Andersen, J. (1995) The dry rot fungus and other fungi in houses. Hussvamp Laboratoriet ApS, Holte, Dänemark, 139 S.
- Bernicchia, A. (2005) Polyporaceae s. l. Fungi Europaei 10
- Bernicchia, A.; Gorjón, S. P. (2010) Corticiaceae s. l. Fungi Europaei 12
- Blanchette, R. A.; Shaw, C. G.; Cohen, A. L. (1978) A SEM study of the effects of bacteria and yeasts in wood decay brown- and white-rot fungi. Scanning Electron Microscopy 11, S. 61-67

⁴⁰ Die Ursache ist die ungemein größere Artenvielfalt im Freiland im Vergleich zu Wohngebäuden, zumal wenn in einem bisher wenig bekannten Biotop gearbeitet wird.

- Bollmus, S.; Gellerich, A.; Brischke, C.; Melcher, E. (2014): Review: Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz. Stand der aktuellen Diskussion. Holztechnologie. S 56 (2), S. 44-51
- Breitenbach, J.; Kränzlin, F. (1986) Pilze der Schweiz. Bd. 2, Nichtblätterpilze. Mykologia, Luzern
- Breitenbach, J.; Kränzlin, F. (1991) Pilze der Schweiz. Bd. 3, Röhrlinge und Blätterpilze, Teil 1. Mykologia, Luzern, 364, S.
- Brischke, C.; Rolf-Kiel, H. (2009) Durability of European Oak (*Quercus* spp.) in ground contact – A case study on fence posts in service. Eur. J. Wood Prod., 67 S. 9 Seiten
- Cartwright, K. St. G.; Findlay, W. P. K. (1958) Decay of timber and its prevention. His Majesty's Stationery Office, London, 2. Aufl., 332 S.
- Cléménçon, H. (2009): Methods of working with macrofungi. Laboratory cultivation and preparation of larger fungi for light microscopy. - IHW-Verlag, Eching, 88 S.
- Cockcroft, R. (1979) Some wood-destroying basidiomycetes. Volume 1 of a collection of monographs. Intern. Res. Group Wood Pre., Papua New Guinea, 186 S.
- Erb, B.; Matheis, W. (1983): Pilzmikroskopie. - Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 166 S.
- Eriksson, J.; Hjortstam, K.; Larsson, K.-H.; Ryvarden, L. (1973-1988) The Corticiaceae of North Europe. Vol. 1-8. Fungiflora, Oslo
- Ginns, J. H. (1982) A monograph of the genus *Coniophora* (Aphyllorphales, Basidiomycetes). Opera Botanica 61, S. 1-61
- Guillitte, O. (1992) Epidémiologie des attaques. 2. Auflage: In: La mэрule et autres champignons nuisibles dans les бatiments. Jardin Botanique National de Belgique Domaine de Bouchout, S. 34-42
- Hansen, L.; Knudsen, H.; Dissing, H.; Ahti, T.; Ulvinen, T.; Gulden, G.; Ryvarden, L.; Persson, O.; Strid, A. (1997) Nordic macromycetes, heterobasidioid, aphyllorphoid and gastromycetoid basidiomycetes. Vol. 3. Nordsvamp, Kopenhagen, 444 S.
- Harmsen, L. (1982) Trэnedrydende svampe i gavntrэe. Ballerup, Svampe 5, S. 11-58
- Hartig, R. (1885) Die Zerstörung des Bauholzes durch Pilze. Der echte Hausschwamm. J. Springer, Berlin
- Hilber, O. (1982) Die Gattung *Pleurotus* (Fr.) Kummer, unter besonderer Berücksichtigung des *Pleurotus-eryngii*-Formenkomplexes. Bibliotheca Mycologica 87, Verlag J. Cramer, Lehre, 464 S.
- Huckfeldt, T. (2003) Ökologie und Cytologie des Echten Hausschwammes (*Serpula lacrymans*) und anderer Hausfäulepilze. Mitteilungen BFH 113
- Huckfeldt, T. (2015) Praxiswissen Sachkundenachweis Holzschutz am Bau, Teil: Hausfäulepilze und holzverfärbende Pilze. Eine Fortbildungsveranstaltung des ELBCAMPUS Kompetenzzentrum Handwerkskammer Hamburg in Zusammenarbeit mit dem DHBV Deutscher Holz- und Bautenschutz Verband e. V. und IF-Holz; S. 49
- Huckfeldt, T. (2017) Merkblatt: Gallertränen (*Dacryomyces* spp.) – Dacryomycetaceae. IF-Holz, Hamburg, 2 S.
- Huckfeldt, T.; Rehbein, M. (2015) Fäule-Schäden an Spielplätzen und ihre Vermeidung. Holzcentralblatt 2015 (26), S. 620-622
- Huckfeldt, T.; Schmidt, O. (2015) Hausfäule- und Bauholzpilze. 2. Auflage. Rudolf Müller Verlag, Köln, 610 S.
- Huckfeldt, T.; Schröter, Ch. (2005) Baumschwämme, seltene „Gäste“ im Haus. Schützen Erhalten 2005 (3), S. 6-8
- Jahn, H.; Reinartz, H.; Schlag, M. (1990) Pilze an Bäumen: Saprophyten und Parasiten, die an Holz wachsen. Patzer, Berlin, 2. Aufl., 272 S.
- Jülich, W. (1984) Basidiomyceten 1. Teil, Die Nichtblätterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze. In: Gams, H. (Hrsg.) Kleine Kryptogamenflora Bd. IIB/1, Fischer, Stuttgart
- Justo, A.; Miettinen, O.; Floudas, D.; Ortiz-Santana, B.; Sjökvist, E.; Lindner, D.; Nakasone, K.; Niemelä, T.; Larsson, K.-H.; Ryvarden, L.; Hibbett, D. S. (2017) A revised family-level classification of the Polyporales (Basidiomycota). Fungal Biology, doi: 10.1016/j.funbio.2017.05.010.
- Jutte, S. M.; Zabel, R. A. (1974) Initial wood decay stages as revealed by scanning electron microscopy. Part II. Proceedings of the Workshop on Scanning Electron Microscope and the Plant Sciences. IIT Research Institute, Chicago, USA.
- Kemper, W. (1937) Zur Morphologie und Zytologie der Gattung *Coniophora*, insbesondere des sogenannten Kellerschwammes. Dissertation Forstlichen Hochschule Hann.-Münden. 124 S.
- Kremer, B. P. (2002) Das große Kosmos-Buch der Mikroskopie. Kosmos, Stuttgart, 317 S.
- Krieglsteiner, G. J. (1991) Verbreitungsatlas der Großpilze Deutschlands (West). Ulmer, Stuttgart, 1016 S.
- Krieglsteiner, G. J. (2000) Die Großpilze Baden-Württembergs. Bd. 1, E. Ulmer, Stuttgart
- Langendorf, G. (1988) Holzschutz: Ein Handbuch für Baufachleute. VEB Fachbuchverlag, Leipzig
- Langer, G. E. (1994) Die Gattung *Hyphodontia* John Eriksson. J. Cramer, Berlin
- Leibersberger, K. (1970) Holzmasse und Holzschutz. Elektrizitätswirtschaft (69) 23, S. 619-624
- Liese, J. (1928) Zerstörung des Holzes durch Pilze und Bakterien. In: Mahlke, F.; Troschel, E.; Liese, J. (Hrsg.) Handbuch der Holzkonservierung. 2. Auflage, Springer, Berlin, S. 34-105
- Lohweg, K. (1937) Polarisationsmikroskopische Untersuchung pilzbefallener Hölzer. Mikrochemie 23, S. 198-203
- Mahlke, F.; Troschel, E.; Liese, J. (1950) Handbuch der Holzkonservierung. Springer, Berlin/ Göttingen / Heidelberg
- Mez, C. (1908) Der Hausschwamm und die übrigen holzerstörenden Pilze der menschlichen Wohnungen. Ihre Erkennung, Bedeutung und Bekämpfung. R. Lincke, Dresden
- Moser, M.; Peintner (2007) Farbatlas der Basidiomyceten in 24 Lieferungen, Elsevier, München
- Neubert, H.; Nowotny, W.; Baumann, K. (1993) Die Myxomyceten. Bd. 1-3, K. Baumann, Gomaringen, 343 S.
- Nilsson, T. (1974) Microscopic studies on the degradation of cellophane and various cellulosic fibres by wood-attacking microfungi. Studia Forestalia Suecica 117
- Nowotny, R. (1928) Stangen und Leitungsmaste. In: Mahlke, F.; Troschel, E.; Liese, J. (Hrsg.) Handbuch der Holzkonservierung. 2. Auflage, Springer, Berlin, S. 340-358
- Proctor, J. R. (1941) Penetration of the wall of wood cells by the hyphae of wood-destroying fungi. Yale Uni.: Sch. Forest., Bulletin 47
- Rapp, A. O.; Augusta, U.; Brandt, K.; Melcher, E. (2010) Natürliche Dauerhaftigkeit verschiedener Holzarten. Ergebnisse aus acht Jahren Feldversuch. Wiener Holzschutzfrage 2010, S. 43-49
- Rehbein, M., Koch, G., Schmitt, U., Huckfeldt, T. (2012, z. B. im Internet erhältlich) Topochemical and transmission electron microscopic studies of bacterial decay in pine (*Pinus sylvestris* L.) harbour foundation piles. Micron
- Rehbein, M.; Koch, G.; Klein, P. (2009) Moorleiche: Frau von Peiling, Holzbiologische Befundes vom Sarg. Restauro 5, S. 320-325
- Reid, D. A. (1974) A monograph of the British Dacrymycetales. Trans. Br. mycol. Soc. 62, S. 433-494
- Rypáček, V. (1966) Biologie holzersetzender Pilze. G. Fischer, Jena
- Ryvarden, L.; Gilbertson, R. L. (1993-1994) European polypores. Band 1-2, Fungiflora, Oslo, Norwegen
- Ryvarden, L.; Melo, I. (2014) Poroid fungi of Europe. Synopsis Fungorum 31, Fungiflora, Oslo, Norwegen
- Schlechte, G. (1986) Holzbewohnende Pilze. Jahn & Ernst, Hamburg
- Schmidt, O. (2006) Wood and tree fungi. Biology, damage, protection, and use. Springer, Berlin, Heidelberg, 334 S.

- Schneider, H. (1922) Die botanischen Mikrotechniken. Ein Handbuch der mikroskopischen Arbeitsverfahren. Fischer Verlag, Jena, 458 S.
- Seifert, K. (1968) Zur Systematik der Holzfäulen, ihre chemischen und physikalischen Kennzeichen. Holz Roh- Werkstoff 26, S. 208-215
- Seifert, K. A. (1983) Decay of wood by the dacrymycetales. Mycologia 75, S. 1011-1018
- Sellier, R.; Chassain, M. (1976) Observation sur le mode dissémination des Spores d'un champignon myxomycètes par insecte diptère mycétophilide. Bull. Soc. Sc. nat. Ouest de la France 74, S. 81-85
- Theden, G. (1944) Vergleichende mikroskopische Untersuchungen des im Holz befindlichen Myzels von Bauholzpilzen. Hedwigia 82, S. 93-98
- Wälchli, O. (1970) Zur Frage der Verbreitung holzerstörender Pilze in verschiedenen Höhenlagen. Schweizer Zeitung für Forstwesen 121, S. 811-823
- Weber, H. (1993) Allgemeine Mykologie. G. Fischer, Stuttgart, 541 S.
- Weiß, B.; Wagenführ, A.; Kruse, K. (2000) Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen. DRW, Leinfelden-Echterdingen
- Winter, S.; Schmidt, D.; Schopbach, H. (2004) Schimmelpilzbildung bei Dachüberständen und an Holzkonstruktionen, Fraunhofer IRB, Stuttgart
- Wöldecke, K. (1998) Die Großpilze Niedersachsens und Bremens. (Hrsg: Niedersächsisches. Landesamt Ökologie, Hildesheim

Dank

Wir danken herzlich für die tatkräftige Unterstützung durch Herrn Jonetzki und Herrn Meyer von der HPA, ohne die eine Probennahme nicht möglich gewesen wäre. Wir danken herzlich Herrn Dr. Trautner (Thünen Institut) für die molekularbiologische Bestimmung von *Phlebiopsis gigantea*.

Für Fragen stehen wir Ihnen gern zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Hamburg, 23.05.2018

Tobias Huckfeldt / Mathias Rehbein

Anhänge: 1. Informationen und Beispiele nachgewiesener Pilze; 2. Bilder an den Entnahmestellen

Anhang 1: Informationen zu den nachgewiesenen Pilzen und Organismen

Hinweis zu den Bakterien

Ein Befall/Schaden mit holzerstörenden Bakterien im Holz kann eindeutig nur im Transmissions-Elektronenmikroskop nachgewiesen werden. In dem vorgelegten Gutachten kann nur eine gut begründete Ansicht dargestellt werden, die auch durch eigene Untersuchungen gestützt wird (z. B. REHBEIN et al., 2009, 2011).

Informationen zu den Schleimpilzen

Allgemeines

Schleimpilze sind keine Pilze und keine Tiere oder Pflanzen; sie gehören vier verschiedenen Unterreichen an. Die vier Unterreiche zusammen bilden das Reich der höher organisierten Vielzeller. Diesem Reich werden die Bakterien und Urbakterien gegenübergestellt (WEBER, 1993).

Lebensweise

Schleimpilze werden im Wald an morschen Hölzern oft im Verbund mit holzerstörenden Pilzen gefunden (JAHN et al., 1990). Deshalb kann neben dem aufgetretenen Schleimpilz auch ein echter holzerstörender Pilz vorliegen. Nach diesem muss ggf. in der Konstruktion gesucht werden. Eine Einschätzung der möglichen Notwendigkeit kann aber nur vor Ort erfolgen. Hinweise auf Fäulepilze können sein: modriger oder auffälliger Geruch, Einsinken von Konstruktionsteilen, Weichwerden von Holz, etc.

Wie die Pilze zeigen auch die Schleimpilze ein enormes Formenspektrum. Schleimpilze können Holz nicht angreifen, sie ernähren sich allgemein von Bakterien, Algen und Pilzen – auch von Schimmel- und Hausfäulepilzen –, so dass bei Schleimpilzbefall oft keine oder kaum Hyphen / Mycelien vorhanden sind. Schleimpilze vertilgen oft aber nicht alle Bakterien, Algen und Pilze im Sinne einer Reinigung, andere naheliegende Bauteile können z. B. einen massiven Schimmelpilzschaden aufweisen. Zudem werden Schleimpilze ihrerseits von manchen Schimmelpilzen als Nährstoffgrundlage genutzt (NEUERT et al., 1993).

Verbreitung

In der Natur können die Fruchtkörper häufiger im Frühjahr beobachtet werden (NEUERT et al., 1993). In Gebäuden treten sie ganzjährig auf. Sporen von Schleimpilzen werden vom Wind verbreitet (Hauptverbreitungsart), auch Insekten können zur Verbreitung beitragen, z. B. Fliegen (SELLIER/CHASSAIN, 1976). Die genaue Entfernung, die eine Spore zurücklegen kann, ist nicht bekannt. Allgemein wird angenommen, dass Sporen dieser Größenordnung und Form kilometerweit vertragen werden. Es gibt die Annahme, dass sich dunkelfarbige⁴¹ Sporen mit hohen Luftströmungen auf der gesamten nördlichen Hemisphäre ausbreiten können. Dies würde die zirkumpolare Ausbreitung vieler Pilze erklären. *Reticularia lycoperdon* gilt als weltweit verbreitet (NEUERT et al., 1993).

Informationen zu den Gallertränen (aus HUCKFELDT, 2017)

Die Gallertränen (*Dacryomyces* spp.) sind die häufigsten holzerstörenden Pilze an bewittertem Holz überhaupt (JAHN et al., 1990). Allerdings scheint Holzschützern die Bedeutung der Gallertränen erst seit den 80er-Jahren bewusst zu sein, da diese Pilze in grundlegenden früheren Lehrbüchern des Themenkreises meist fehlen (u. a. MEZ, 1908; MAHLKE et al., 1950; CARTWRIGHT/FINDLAY, 1958; LANGENDORF, 1988). Die Zerfließende Gallerträne (*Dacryomyces stillatus*) beispielsweise ist ein eher unauffälliger Pilz, obwohl ihre Fruchtkörper leuchtend gelb bis orange sind. Sie sind aber i. d. R. klein und kurzlebig und treten insbesondere bei feuchtkühler Witterung auf (insbesondere im Herbst, aber auch während verregneten Frühling-/Sommer-Wochen) – „auffallend jedoch in Feuchtperioden“ (BREITENBACH/KRÄNZLIN, 1986).

Es wird Laub- und Nadelholz und auch Tropenholz angegriffen (BECH-ANDERSEN, 1995; HANSEN et al., 1997; ALFREDSEN et al., 2005; HUCKFELDT/SCHMIDT, 2015; MOSER / PEINTNER, 2007). Ein Vorkommen an Bauholz ist seit ca. 20 Jahren bekannt (SCHLECHTE, 1986). Die Gallertränen verursachen eine Braunfäule mit Würfelbruch, jedoch erscheint die Braunfäule relativ hell (SEIFERT, 1983). Die Holzoberfläche der befallenen Hölzer ist zudem oft vergraut und verwittert, so dass der Eindruck einer Weißfäule entstehen kann. Die Abbauraten sind – zumindest in Laboruntersuchungen – trotz der kleinen Fruchtkörper hoch. Die Abbauleistung beträgt z. B. bei der Zerfließenden Gallerträne im Standard-Erdeingrabeversuch an Douglasie bis 15,5%, an Erle bis 22,3% und an Weihrauch-Kiefer bis 35,2% in 12 Wochen (SEIFERT, 1983). Gleichwohl sind die Schäden in der Praxis meist von kleinerer Natur und meist oberflächlich und viele Bauteile verbleiben jahrelang am Standort, meist ohne Funktionsbeeinträchtigung.

⁴¹ Dunkle Sporen haben einen besseren UV-Lichtschutz als helle Sporen und überleben daher im Sonnenlicht länger.

Anhang 2: Bilder von den Entnahmestellen (Termine mit Dr. Huckfeldt)



Abb. 12: Übersicht und Detail Nessmer-Siel (links); Südseite; rechts Probennahme: 22.01.2016; Pfahl 1; 0,8 m über Kai, Südseite, Nadelholz, Splint (Bild: T. Huckfeldt).

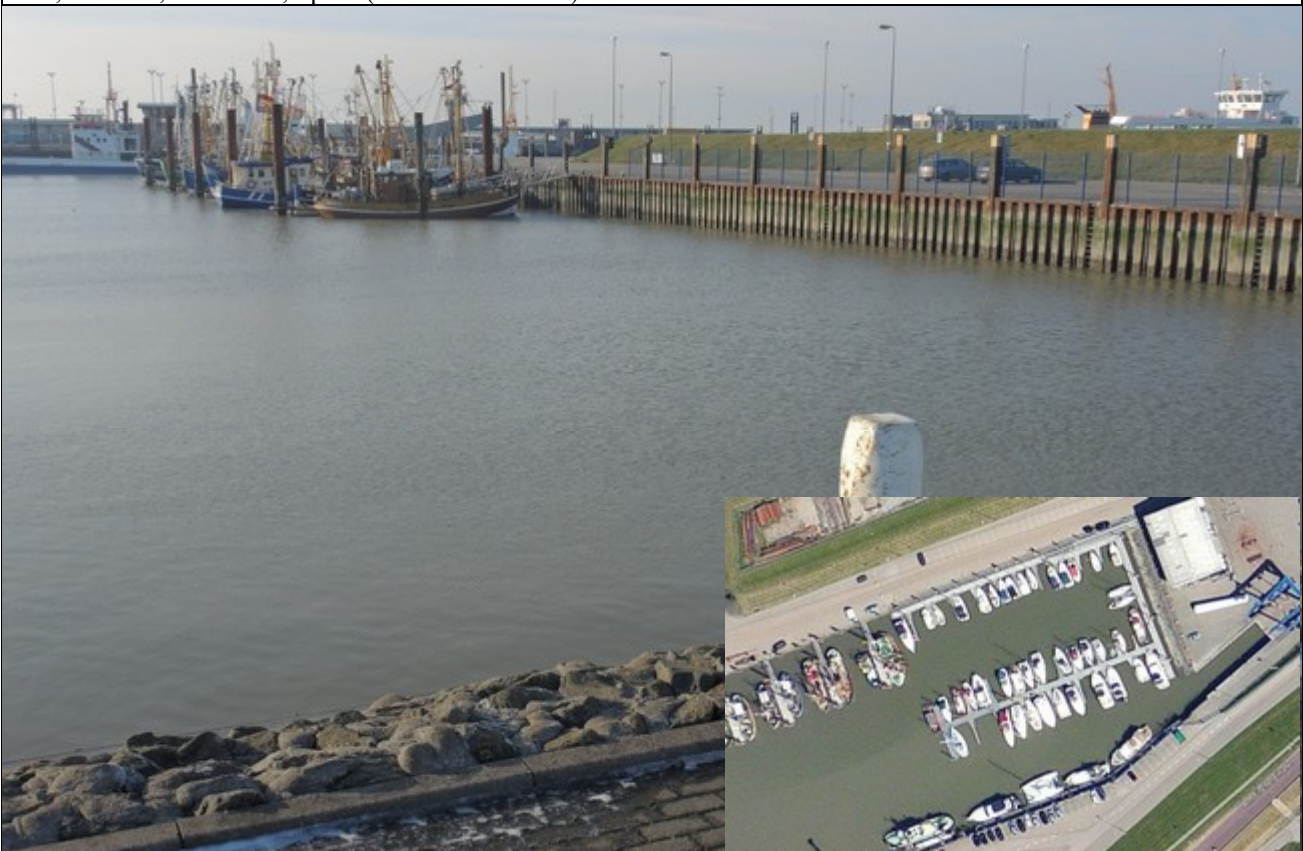


Abb. 13: Übersicht Hafenbecken an der Hafenstraße (Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH), Dalben ausgebaut; Bild: T. Huckfeldt; Kleines, rechtes Bild zeigt Hafenanlagen-Bild (www.bing.com®) vor dem Ausbau der Dalben; Koordinaten: 52.625020 / 7.163793); Probe 1 bis 18; Probennahme: 22.01.2016.



Abb. 14: Übersicht der Dalben an der Hafenstraße (Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH); Probenahme: 22.01.2016 (Bild: T. Huckfeldt).

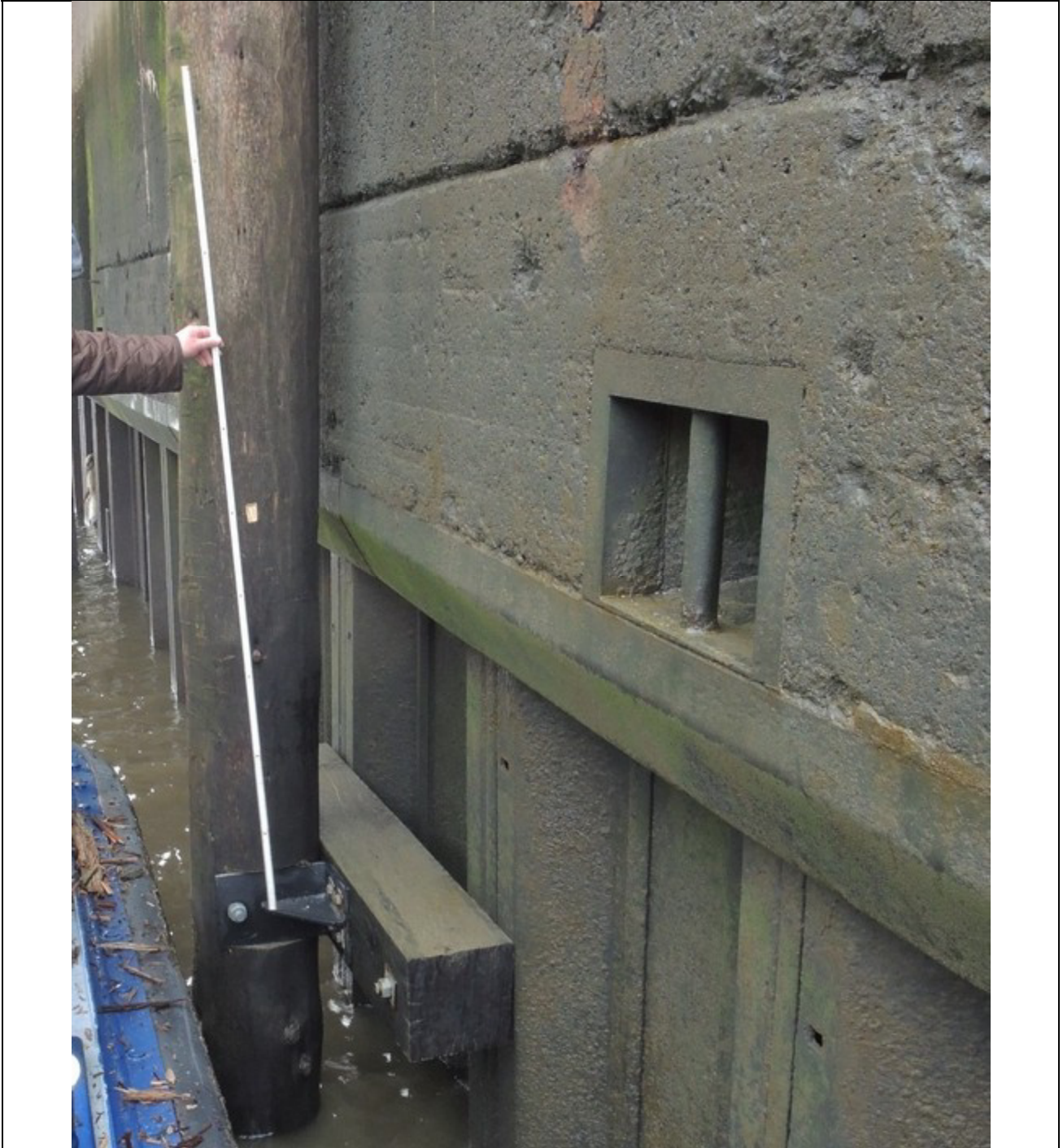


Abb. 15: Hamburg, Einfahrt Museumshafen, unterhalb der Mahatma-Gandhi-Brücke; Proben 1-4; Südseite des Hafenbeckens, Kontrollprobe „neue Dalbe“ (ca. 1 Jahr alt) ca. 150 cm über Wasseroberfläche; Probenahme: 30.03.2017 (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 16: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, erstes Deko-Dalben-Paar am Anleger Elbphilharmonie, Dalbe mit Verteilung der Probenpunkte; erster Probennahme-Punkt ca. 50 cm über der Wasseroberfläche; Probennahme: 30.03.2017 (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 17: Hamburg, Hafen am Großen Grasbrook, zweites Deko-Dalben-Paar am Anleger Elbphilharmonie, Dalbe mit Verteilung der Probenpunkte; erster Punkt ca. 60 cm über der Wasseroberfläche; Probennahme: 30.03.2017 (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 18: Hamburg, Museumshafen, Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens, Dalbe (achte von Osten) mit Verteilung der Probenpunkte; erster Punkt ca. 60 cm über der Wasseroberfläche; Probennahme: 30.03.2017 (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 19: Hamburg, Museumshafen, Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens, Dalbe (zweite von Osten) mit Verteilung der Probenpunkte; erster Probennahme-Punkt ca. 50 cm über der Wasseroberfläche; Probennahme: 30.03.2017 (Bild: T. Huckfeldt).

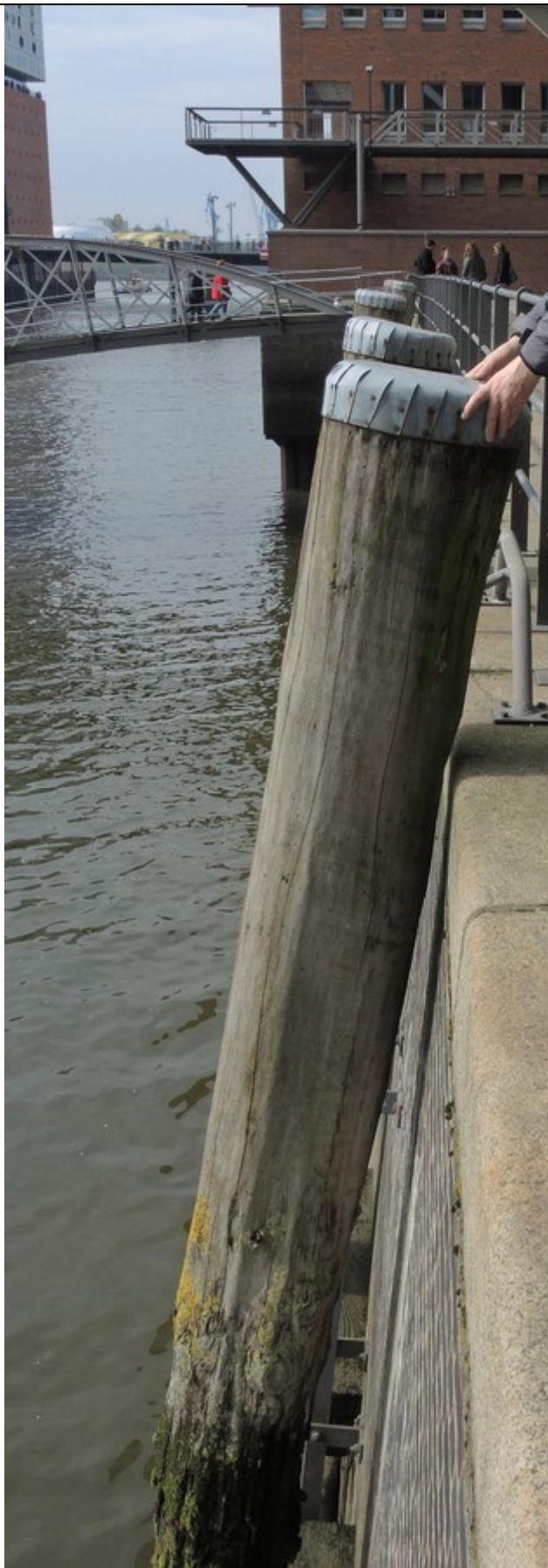


Abb. 20: Hamburg, Museumshafen, Am Sandtorkai; Nordseite des Hafenbeckens, ohne Probennahme, massiv geschädigte, sich an die Haufenmauer anlehende Dalbe, die sich hätte umkippen lassen; Schaden wurde dem Hafermeister am 30.03.2017 gemeldet durch Dr. Müller (Bild: T. Huckfeldt).

Anhang 3: Bild-Beispiele der nachgewiesenen Pilze und Organismen



Abb. 21: Karstens Rindenpilz (*Dacryobolus karstenii*), Fundstelle: P6: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (SW-SO); (0-) 20-30 cm unter der Spitze (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 22: Braunfäule-Erreger: Zerfließende Gallerträne (*Dacrymyces stillatus*); P5: Fundstelle: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl (NO): 9; 10-25 cm unter der Spitze (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 23: Moderfäulepilze und Bakterienbeschädigungen, nach innen hin abnehmend; Maßstab in Millimetern; Fundstelle: P5: Yacht-Zentrum Störtebeker GmbH; Pfahl: 9 (U); 280 cm unter NN (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 24: Braunfäule-Erreger: Gelber Porenschwamm / Gelbe Braunfäuletramete (*Antrodia xantha*); Fundstelle: Hamburg; Am Sandtorkai; Südseite des Hafenbeckens; Dalben im Museumshafen, Probenpunkt 7; Kopf des Balkens (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 25: Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*); Fundstelle: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 1; Westen, ca. 60 cm über Wasser (160 cm über N.N.) (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 26: Häutiger Lederfältling (*Meruliopsis / Gloeoporus taxicola*); Fundstelle: Hamburg, Museumshafen (Am Sandtorkai), mittlere Dalbe; Probenpunkt 7; oberes Befestigungsholz am Kai (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 27: Braunfäule-Erreger: Zerfließende Gallerträne (*Dacrymyces stillatus*); Fundstelle: Hamburg; Am Sandtor-kai; Südseite des Hafenbeckens; Dalben im Museumshafen, Probenpunkt 7; Kopf des Balkens (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 28: Braunfäule-Erreger: Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*); Fundstelle: Hamburg, Hafen – Großer Grasbrook, 3. Deko-Dalbe; Probenpunkt 8 (Fruchtkörper); Osten, ca. 355 cm über Wasser (ca. 510 cm über N.N.) (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 29: Cremefarbene, kleine Larven des Rüsselkäfers mit deutlicher Kopfkapsel; Fundstelle: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 3: Hafenbecken Ostseite Pfahl 5 von Süd, 18.10.2017 (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 30: Vollinsekt eines Rüsselkäfers in Seitenansicht: braunes kompaktes Tier mit Rüssel; Fundstelle: Neuwerk, Bauernhafen auf der Insel-Südseite, Probe 3: Hafenbecken Ostseite Pfahl 5 von Süd, 18.10.2017 (Bild: T. Huckfeldt); Bestimmung: Dr. Noldt: Treibholz-Rüssler – *Pselachus spadix*.



Abb. 31: Probenübersicht P4: Lärche, Entnahmestelle 2; Pilzprobe am Papier (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 32: Mycel des Zaunblättling (*Gloeophyllum sepiarium*) (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 33: Übersicht Klotzteich mit den Probe-Dalben/-Balken im Süßwasser (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 34: Rundholz Nr. 1. Probenahme-Ort (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 35: Rundholz Nr. 2. Probenahme-Ort (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 36: Rundholz Nr. 3. Probenahme-Ort (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 37: Rundholz Nr. 5. Probenahme-Ort (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 38: Rundholz Nr. 5. Probenahme-Ort, Fruchtkörper von *Phlebiopsis gigantea* (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 39: Rundholz Nr. 5. Probenahme-Ort, Detail des Fruchtkörpers von *Phlebiopsis gigantea* (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 40: Rundholz Nr. 9. Probenahme-Ort (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 41: Rundholz Nr. 13. Probenahme-Ort (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 42: L15, Salzwater, Übersicht (Bild: T. Huckfeldt).



Abb. 43: L15, Salzwater, Detail (Bild: T. Huckfeldt).