

Von Eichenholz, Meerwasser und Bakterien

Untersuchungen zum Erhaltungszustand des Darsser Kraweelwracks

CLAUDIA VON LAAR und IRIS POLZIN

Zusammenfassung

Die zahlreichen Entdeckungen von historischen Kulturzeugnissen in den letzten Jahrzehnten ermöglichten umfangreiche Untersuchungen zum Erhaltungszustand wassergelagerter Hölzer. Die Abbauvorgänge im Holz sind komplex und von einer Vielzahl von Einflüssen und Faktoren abhängig. Deshalb sind für die Stabilisierung hölzerner Artefakte Zustandsuntersuchungen unerlässlich. Am Darsser Kraweel wurden Bohrwiderstandsmessungen mit spezifischen Analysen zu den veränderten Eigenschaften des Holzes kombiniert, um den Erhaltungszustand des Wracks näher charakterisieren zu können. Die Bohrwiderstandsmessungen belegten einen peripheren, unterschiedlich weit vorangeschrittenen Substanzverlust der Spanten. Die Ergebnisse der Untersuchungen an Probenmaterial des Wracks zum maximalen Wassergehalt, der Raumdichte oder dem Schwindungsverhalten des Eichenholzes ließen auf ein noch gut erhaltenes, in geringem Maße abgebautes Holz schließen.

Abstract

The numerous discoveries of historic cultural goods, especially within the past decades have made it possible to study extensively the condition of waterlogged wood. The decomposition of wood is very complex and depends on many influences and causes. That is why extensive examinations of the state of wooden archaeological artefacts are necessary for their stabilization. On the carvel-built Darss wreck drill resistance measurements were combined with specific analyses of the changed properties of wood to characterize the state of preservation more clearly. The drill resistance measurements showed a varyingly strong decay of the ribs starting from the surface. Physical analyses, such as the maximum moisture content, bulk density and rate of shrinkage were performed on oak samples of the wreck. The results pointed to a well-preserved, slightly degraded wet archaeological wood.

Ein Schiffswrack vom Darss

Die Halbinsel aus Fischland, Darss und Zingst ist ein Teil der Küstenlinie von Mecklenburg-Vorpommern. Eine Vielzahl von Fundplätzen versunkener Schiffe weist auf die Bedeutung dieses Küstenabschnitts als Verkehrs- und Handelsweg hin (MOHR 2001).

Im März 2005 wurde nach heftigen Stürmen ein Schiffswrack in der Brandung vor dem Darsser Weststrand angespült und drohte völlig auseinanderzubrechen. Fragmente dieses hölzernen Wracks konnten in einer Notbergung gesichert und vorübergehend auf dem Gut Darss gelagert werden. Erhalten war ein zusammenhängendes Teilstück der Backbordseite, bestehend aus 38 Spanten, 6 äußeren Plankengängen und 5 Plankengängen der Wegerung (Abb. 1) (FÖRSTER 2005).

Die Spanten und Planken des Fundstückes bestehen aus Eichenkernholz mit Splintholzanteil.

Proben des Wracks datieren dendrochronologisch in das 17. Jahrhundert (HEUSSNER 2006).

Das „Darsser Kraweel“, benannt nach dem Bergungsort und seiner besonderen Bauweise (siehe Beitrag FÖRSTER in diesem Band), ist ein in Al-

Abb. 1: Das geborgene Teilstück (Ostsee IV, Fischland, Fundplatz 32) war 12,20 m lang und 3,80 m breit (Foto C. von Laar).





Abb. 2: Sichtbare Schäden an Spant 28 durch die Schiffsbohrmuschel. Kennzeichnung der Bohrungen mit kleinen Schildern (Foto C. von Laar).



Abb. 3: Der „RESISTOGRAPH“ 3450, bestehend aus Bohrergerät, Akkupack und Verbindungskabel (Foto C. von Laar).

ter und Konstruktion bedeutsamer Fund. Das Wrack belegt, dass für hölzerne Artefakte in marinem Milieu gute Erhaltungsbedingungen vorhanden sind und sie über lange Zeiträume bewahrt werden. Dennoch findet in archäologischen Nasshölzern ein langsam fortschreitender, zunächst nicht erkennbarer Abbau der Holzstruktur durch Mikroorganismen statt. Hierbei entstehen Hohlräume in den Zellwänden, die durch Wasser aufgefüllt werden. Diese Einlagerung bewahrt die äußere Gestalt des Holzes, solange es in einer wassergesättigten Umgebung verbleibt. Bei der Bergung eines hölzernen Fundes ist der Umfang der Schädigung daher zunächst nicht sichtbar. Erst bei der Trocknung verdunstet das eingelagerte Wasser, daraufhin kollabiert die geschädigte Holzstruktur und das archäologische Holz reißt und schrumpft übermäßig. Durch den Substanzabbau werden wesentliche Eigenschaften des Holzes wie Festigkeit, Quellung und Schwindung erheblich verändert.

Im Hinblick auf spätere Konservierungsmaßnahmen stellte sich für das Darsser Kraweel daher die Frage: In welchem Maße ist die Holzsubstanz abgebaut und welche Veränderungen

sind durch Trocknungsprozesse nach der Bergung zu erwarten?

Zu dieser zentralen Fragestellung wurden im Sommer 2005 am Fachbereich Bauingenieurwesen der Hochschule Wismar umfangreiche Forschungen zum biologischen Abbau der geborgenen hölzernen Schiffskonstruktion durchgeführt.

Bohrwiderstandsmessungen werden erst seit kurzem bei archäologischen Hölzern angewendet, um den Abbau an Holzsubstanz quantitativ und zerstörungsarm zu ermitteln (VON LAAR 2003). Die Mobilität der Methode ermöglichte es, das gesamte Wrack kurz nach der Bergung zu untersuchen. Sie erlaubt Aussagen zum „inneren Zustand“ des Holzes und ist besonders für verdeckt liegende Hölzer geeignet. Ein gutes Beispiel hierfür sind die Spanten, die mittig mit den Planken der Wegerung und äußeren Planken verbunden waren. Im vorliegenden Beitrag werden die Untersuchungen an den Spanten als Teilergebnisse dieses Verfahrens vorgestellt.

Um strukturelle Veränderungen des Holzes durch Holz abbauende Organismen erfassen zu können, wurden begleitend physikalisch-mechanische Eigenschaften an Probenmaterial des Wracks untersucht. Hierbei sind die archäologischen Proben intaktem (rezentem) Holz für Vergleichszwecke gegenübergestellt worden und ergänzen die Befunde der Bohrwiderstandsmessungen.

Holz in Meerwasser

Der Erhaltungszustand hölzerner Schiffswracks wird durch komplexe Milieufaktoren beeinflusst. Die geologischen Bedingungen am Fundplatz sind ebenso von Bedeutung wie die mechanische Beanspruchung durch Wellengang, Sandtransport und Strömung. Das gesunkene Wrack wird zunehmend durch verschiedene Organismen besiedelt, denen die Ostsee einen Lebensraum bietet. Hierzu gehören Bakterien, Pilze, Muscheln, Krebse und Algen (GREGORY 2004). Einige Spezies bauen das Holz ab und führen es in den Stoffkreislauf zurück. Auf diese Weise gehen versunkene Schiffe als historische Quellen für Schiffbau und Handel verloren.

Zu den wichtigsten Zerstörern in kurzen Zeiträumen gehört die Schiffsbohrmuschel (*Teredo navalis* [Linnaeus]). Sie wurde in unregelmäßigen zeitlichen Abständen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns beobachtet, zuletzt

ist es Mitte der 1990er Jahre zu einem Massenaufreten gekommen (SORDYL et. al. 1998). Durch ihre starke Bohrtätigkeit bei hoher Populationsdichte stellt die Bohrmuschel nicht nur für hölzerne Küstenbauwerke eine Gefährdung dar, sondern auch für die Vielzahl historischer Schiffswracks, die schon seit Jahrhunderten unter Wasser liegen. Das mit Bohrgängen durchsetzte Holz verliert seine Stabilität und zerbricht unter dem Druck von Strömung und Wellenbewegung. Ausbreitung und Reproduktion der Schiffsbohrmuschel werden durch eine Reihe von Faktoren bestimmt. Hierzu zählen u. a. der Salzgehalt, die Wassertemperatur, die Tiefe und das Sauerstoffangebot (GREGORY 2004; HOLZAPFEL 2005; SORDYL et. al. 1998). Mit Sediment bedeckte Schiffswracks sind offenbar vor einer Besiedelung durch die Bohrmuschel geschützt, mutmaßlich weil es als mechanische Barriere für die freischwimmenden Larvenstadien der Schiffsbohrmuschel fungiert. Erst wenn Wrackbereiche durch Strömungen und Wasserbewegungen freigelegt werden, bieten sie eine Angriffsfläche.

Unter sauerstoffarmen Bedingungen, wie sie in tieferen Sedimentschichten vorhanden sind, können die Schiffsbohrmuschel und marine Pilze nicht überleben. Unter solchen Umweltbedingungen wird der Abbau der Holzsubstanz maßgeblich durch Bakterien hervorgerufen, die einem geringen Sauerstoffangebot gegenüber toleranter sind. Sie ernähren sich durch den Abbau organischer Substanzen aus den Zellwänden. Neuere Untersuchungen belegen, dass Erosionsbakterien unter nahezu anaeroben Bedingungen die bevorzugte Holz abbauende Spezies sind. Sie besiedeln die Zellhohlräume, dringen von dort aus in die einzelnen Zellwandschichten ein und bauen diese ab (BJÖRDAL/NILSSON 2001).

Unter den Begriffen Holzabbau und Fäule wird im vorliegenden Beitrag die Zerstörung der Holzzellwand durch Bakterien oder Pilze verstanden, welche die Zellwandkomponenten Cellulose, Lignin oder Hemicellulose abbauen.

Schadensanalyse am Wrack – Bohrwiderstandsmessungen

Das Holz der Spanten und Planken war ungleichmäßig dunkel verfärbt und besaß keine scharfen Kanten mehr. Die Holzoberfläche fühlte sich weich an, die Holzstruktur trat besonders an den Querschnittsflächen deutlich hervor. Auf der Oberseite der Wegerungsplanken waren Bereiche mit ausgeprägten schwarzen

Verfärbungen zu erkennen. Das Holz der Gesamtkonstruktion war jedoch fest erhalten und gab auch bei einer Begehung nicht nach. Insbesondere an verschiedenen freiliegenden Spanten ließen sich ca. 1–2 mm große, dicht nebeneinander liegende Eintrittslöcher wie auch oberflächennahe Fraßgänge der Schiffsbohrmuschel erkennen (Abb. 2). Zudem war das Wrack

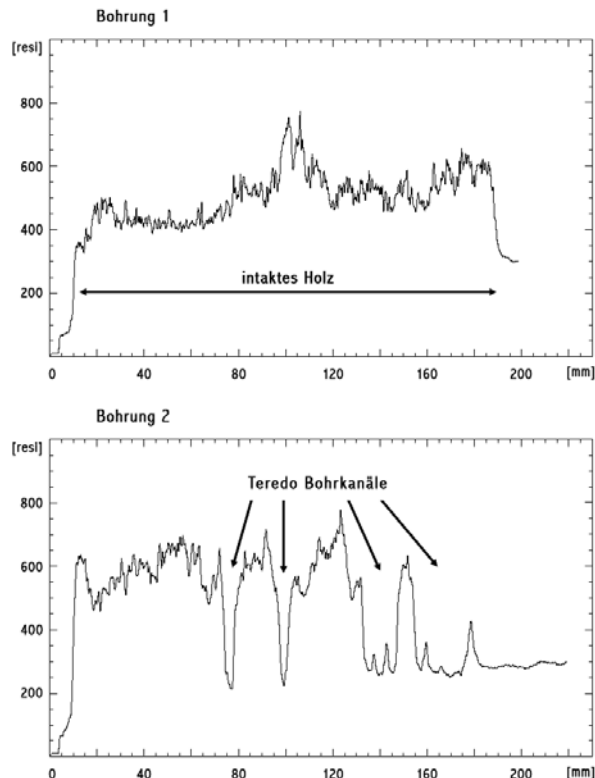


Abb. 4, Bohrung 1: Resistograph-Bohrung an Spant 4 zeigt ein typisches Bohrprofil aus Früh- und Spätholz an intaktem Holz. Bohrung 2: Charakteristisches Bohrprofil mit Bohrkanälen der Schiffsbohrmuschel (Grafik C. von Laar).



Abb. 5: Bohrwiderstandsmessungen am Wrack im März 2005 (Foto F. Rinn).

von der Brackwasserseepocke (*Balanus improvisus* [Darwin]) besiedelt, die an diesem Küstenabschnitt des Darss heimisch ist.

Am Wrack konnten Anfang April 2005 Bohrwiderstandsmessungen durchgeführt werden (VON LAAR 2005). Zu diesem Zeitpunkt lagerte es abgedeckt in einer offenen Halle des Gutes Darss. Für die praktische Unterstützung bei den Bohrungen sei an dieser Stelle Herrn F. Rinn gedankt.

Alle Untersuchungen erfolgten mit einem hochauflösenden Bohrwiderstandsmessgerät (RESISTOGRAPH® 3450-P, Firma Rinntech, Heidelberg). Es besteht aus dem eigentlichen Bohrgerät, einem Akkupack mit Drucker zur Stromversorgung und internem Datenspeicher sowie einem Verbindungskabel (Abb. 3).

Das Bohrgerät treibt eine dünne Nadel unter schneller Rotation mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit in das Holz hinein. Hartes und

weiches Holz setzen der Bohrnadel einen unterschiedlichen Widerstand entgegen. Die hierfür erforderliche Stromaufnahme des Motors wird gemessen und registriert. Das Bohrprofil wird in Abhängigkeit von der Bohrtiefe über einen Drucker zeitgleich zur Bohrung ausgegeben und zeigt eine holztypische Kurve aus Früh- und Spätholz (Abb. 4, Bohrung 1). Geschädigte Holzsubstanz wird durch einen Abfall im Bohrwiderstandsprofil deutlich.

Das Verfahren eignet sich besonders für große archäologische Hölzer, in denen Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 3 mm toleriert werden können.

Die Bezeichnung und Nummerierung der Schiffsbauteile durch Mitarbeiter des Landesamtes für Bodendenkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern wurde übernommen.

Insgesamt erfolgten 90 Bohrungen durch die Wegerungsplanken, Spanten und die äußeren Plankengänge (Abb. 5). Hierbei war die Bohrtiefe aufgrund der Bauweise des Bohrgerätes und der Nadellänge auf 43 cm begrenzt. Die Anzahl der Bohrungen konzentrierte sich auf Bereiche mit vorhandenen oder vermuteten Schäden, während die Abstände in visuell intakten Abschnitten größer gewählt wurden.

Zusätzlich wurde Probenmaterial von drei Spanten (SP 15, 18 u. 30) sowie von zwei Referenzhölzern aus intakter Eiche in die Untersuchungen einbezogen. Archäologisches und rezentes Material sind weitergehend auf ihr physikalisch-mechanisches Verhalten untersucht worden.

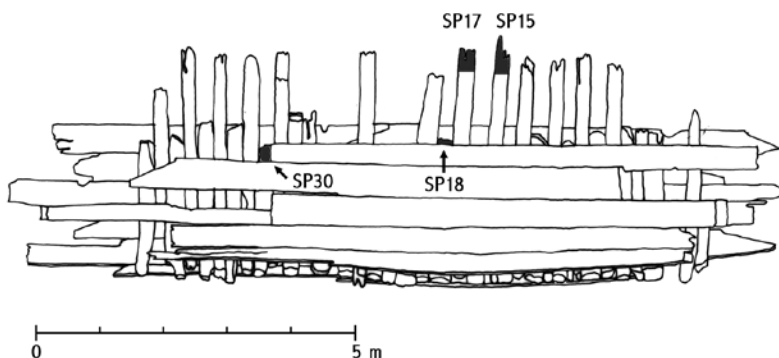


Abb. 6: Kennzeichnung der Probenentnahme an den Spanten 15, 17, 18 und 30 für weiterführende Laboruntersuchungen (Zeichnung M. Belasus, überarbeitet von C. von Laar/I. Polzin).

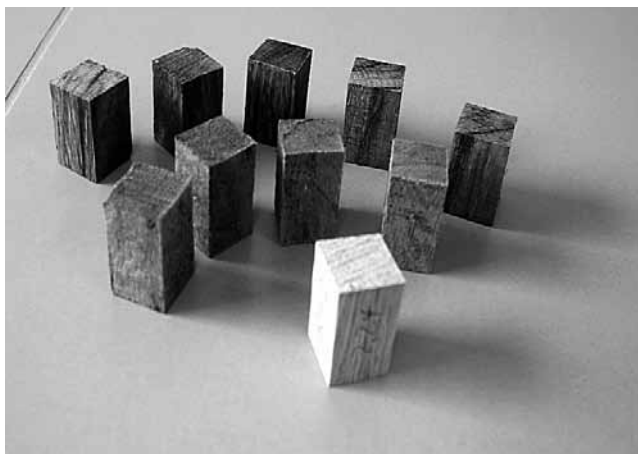


Abb. 7: Die Bestimmung der Dichte und der Schwindungsparameter erfolgte an Probekörpern mit den Abmessungen 2 x 2 x 3 cm (Foto I. Polzin).

Ergebnisse der Bohrwiderstandsmessungen an den Spanten

Am Schiffsfragment waren 38 Spanten vorhanden, der größte Teil der Spanten lag jedoch verdeckt zwischen Wegerungsplanken und äußeren Planken. Insgesamt wurden 29 Spanten mit zusammen 58 Bohrungen untersucht, 9 Spanten bei den Bohrungen nicht getroffen. Acht Bohrungen erfolgten allein an Spant 2, alle weiteren Spanten wurden durchschnittlich mit zwei Bohrungen erfasst.

Bei ca. 50% der Bohrungen konnten Schäden festgestellt werden, hierbei handelte es sich überwiegend um von der Oberfläche ausgehende Beschädigungen von 0,5 bis 5 cm auf der Oberseite (in Richtung der Wegerungsplanken), seltener auf der Unterseite (in Richtung der äußeren Plankengänge). Schäden von mehr

als 12 cm erbrachten die Bohrungen an zwei Spanten, Innenfäulen ließen sich an zwei weiteren Spanten feststellen. Bei der Auswertung wurden keine Oberflächenschäden unter 0,5 cm berücksichtigt (Holz fühlt sich weich an), weil dies bei einer Vielzahl der Planken und Spanten gegeben war.

Durch die Messungen konnte auch die Stärke der verdeckt liegenden Spanten ermittelt werden, sie variierte zwischen 16 und 22 cm, ein häufiges Maß war 18 cm.

Einzelne Spantenfragmente ragten aus der Holzkonstruktion heraus und waren nicht durch Planken verdeckt. Hier war partiell eine Vielzahl stecknadelgroßer Löcher sichtbar, die auf einen Befall durch die Schiffsbohrmuschel hindeuteten. In 6 Bohrungen an den Spanten SP 23, 28a und 33 ließen sich einzelne oder mehrere charakteristische Teredo-Bohrgänge nachweisen. Die Bohrgänge waren durch scharfe Einbrüche im Bohrprofil erkennbar und reichten oft bis in den Bereich der Grundlinie. Hierbei ist jedem Bohrgang eine Bohrmuschel zuzuordnen. Die Bohrgänge verlaufen überwiegend in Faserrichtung und sind gewunden. Bei einem starken Befall werden die Holzwände zwischen den Bohrgängen zunehmend dünner und brechen teilweise weg. Die Profileinbrüche sind dann im Bohrprofil erweitert und eine Zuordnung der einzelnen Bohrgänge nicht mehr möglich (Abb. 4, Bohrung 2). Der Bohrmuschelbefall war auf die freiliegenden Spantenfragmente beschränkt, in den anderen untersuchten Wrackbereichen und insbesondere den Planken der Wegerung ließen sich keine Bohrgänge nachweisen.

Untersuchungen zu den physikalisch-mechanischen Eigenschaften des archäologischen Holzes

Wesentliche allgemeine physikalisch-mechanische Eigenschaften des Holzes sind u. a. das Verhalten gegenüber Wasser, Rohdichte und Porosität, Festigkeit, das elastische Verhalten sowie Quell- und Schwindneigung. Um den Abbauzustand des archäologischen Nassholzes näher charakterisieren zu können, wurden die Raumdichte, der maximale Wassergehalt und verschiedene Schwindmaße am Probenmaterial ermittelt (POLZIN 2005). Für die vorgestellten Analysen erschien eine Orientierung an gültigen DIN-Normen sinnvoll, nur der maximale Feuchtigkeitsgehalt wurde nach Literaturangaben durchgeführt (HOFFMANN/PARAMESWARAN 1982).

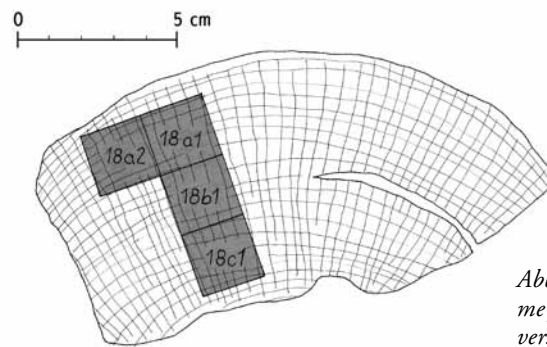


Abb. 8: Probekörperentnahme für die Schwindungsversuche am Spant Nr. 18 (Zeichnung I. Polzin, überarbeitet von C. von Laar).

Für die Untersuchungen konnten unmittelbar nach der Bergung die äußeren Partien von vier Spanten (SP15, 17, 18 und 30) des Wracks entnommen (Abb. 6) und in das Holzlabor der Hochschule Wismar transportiert werden. Das Probenmaterial war in sehr unterschiedlichem Maße erhalten. Ein deutlich abgebauter äußerer Randbereich von ca. 1 cm umschloss einen weniger abgebauten Kern. Die Oberfläche der Hölzer war weich und gab unter leichtem Druck nach. Einzelne Proben wiesen zudem erhebliche Risse auf, die Probe vom Spant mit der Nummer 17 war bereits in mehrere Einzelteile zerfallen. Sie konnte in die vorgestellten Untersuchungen nicht einbezogen werden, weil für die jeweiligen Verfahren bestimmte Prüfkörpergrößen erforderlich waren. Soweit es das Ausgangsmaterial zuließ, wurden Proben aus dem Innen- und Außenbereich entnommen.

Maximaler Wassergehalt

Der maximale Wassergehalt (u_{\max}) ist ein häufig angewendeter Abbauindikator für archäologische Hölzer. Er stellt einen Grenzzustand des Materials dar, bei dem das gesamte Hohlsystem einschließlich der abgebauten Fehlstellen mit Wasser gefüllt ist. Je mehr Holzsubstanz abgebaut ist, desto größer ist der Porenraum und entsprechend höher der maximale Wassergehalt.

Die Bestimmung erfolgte als Massenverhältnis nach Literaturangaben (HOFFMANN/PARAMESWARAN 1982). Die Probekörper (1x1x1,5/2 cm) besaßen im Ausgangszustand eine Feuchtmasse von 1 bis 2 g. Die in den Probekörpern vorhandene Luft wurde mittels Wasserstrahlpumpe in einem mit destilliertem Wasser gefüllten Vakuum-Exsikkator evakuiert. Unter „Zwang“ füllten sich alle Poren mit Wasser. Die Berech-

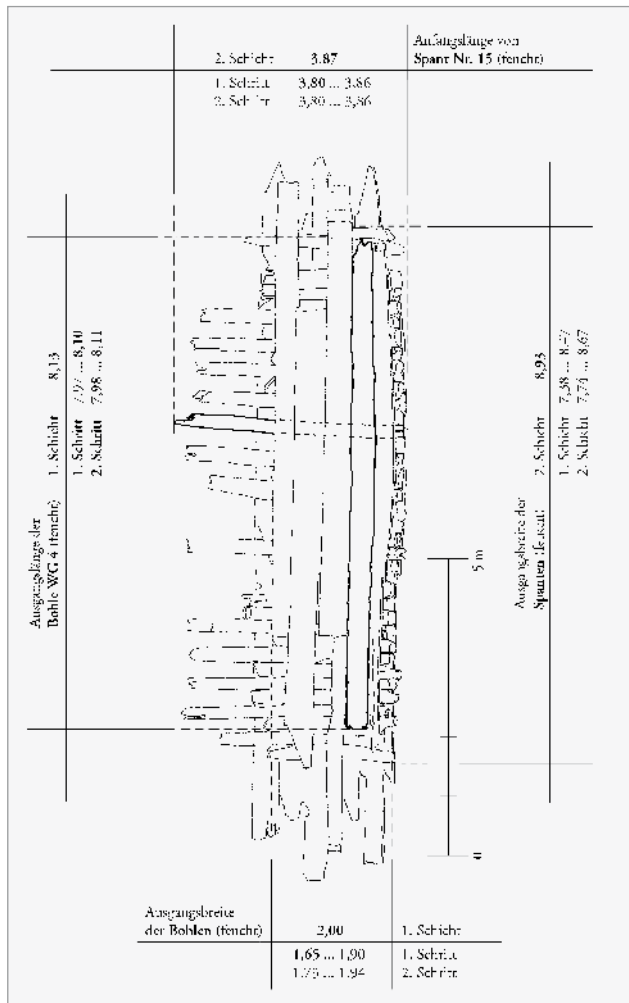


Abb. 9: Berechnetes Modell für das Schwindungsverhalten der Gesamtkonstruktion (Zeichnung, ALM M-V, überarbeitet I. Polzin).

Die Bestimmung des maximalen Wassergehaltes erfolgt auf der Grundlage der Beziehung

$$u_{\max}[\%] = \frac{100 \times (m - m_0)}{m_0}$$

Darin bezeichnen m_0 die Masse der darrtrockenen und m die Masse der maximal mit Wasser gefüllten Probe.

Probe	Anzahl der Probekörper	Maximaler Wassergehalt u_{\max} / %
RH 1	4	81...85...87
RH 2	4	71...76...79
SP 15 außen	4	114...120...128
innen	14	103...120...141
SP 30 außen	4	106...113...120
innen	6	91...104...118
Literaturwert für rezente Eiche ¹		80...90
Literaturwert für rezente Eiche ²		122
¹ ... I. BABINSKI/J. POSKROBKO 2000		RH = Rezentes Holz
² ... P. HOFFMANN/N. PARAMESWARAN 1982		

Tab. 1: Ergebnisse der Bestimmung des maximalen Wassergehaltes (Minimalwert ... Mittelwert ... Maximalwert [POLZIN 2005]).

Die Messungen des maximalen Wassergehaltes an 28 historischen Proben variierten im Mittel zwischen 90 % und 120 %. Die Ergebnisse von Spant 15 und 30 ergaben keine erheblichen Diskrepanzen zwischen dem Außen- und Innenbereich (Tab. 1). Eine Veränderung des Wertes für u_{\max} der archäologischen Holzproben gegenüber dem Wert für frische Eiche zeigte einen Substanzverlust auf. Im Vergleich zu Literaturwerten für rezentes Holz sind alle untersuchten Hölzer jedoch als nur wenig abgebaut zu bezeichnen (Tab. 1).

Schwindmaße

Holz ist ein hygroskopisches Material, das aus seiner Umwelt Wasser aufnimmt und wieder abgibt. Mit dieser Holz eigenschaft sind Volumen- und Formänderungen verbunden. Der Feuchtegehalt (u) des Holzes ist dabei vom Umgebungsklima abhängig. Eine Verringerung des Volumens wird als Schwinden, eine Vergrößerung als Quellen bezeichnet. Holz schwindet und quillt aufgrund seines anatomischen Aufbaus unterschiedlich stark in den drei Hauptrichtungen tangential, radial und longitudinal.

Intaktes Holz schwindet und reißt erst nach Unterschreiten eines bestimmten Feuchtegehaltes, der für Eichenholz zwischen 22 und 24 % liegt (LOHMANN 2003). Ist die Holzstruktur schon in Teilen abgebaut, beginnt der Prozess der Dimensionsänderung bereits bei höheren Holzfeuchten.

Die Bestimmung der Schwindmaße in radiale, tangentiale und longitudinale Richtung wie auch das Volumenschwindmaß, vereinfacht als Summe der einzelnen Schwindmaße berechnet, erfolgte an 12 archäologischen Probekörpern (Abb. 7) nach DIN 52184. Die Kennzeichnung der Probenahme ist am Querschnitt von Spant Nummer 18 dargestellt (Abb. 8).

Wie zu erwarten war, zeigte sich bei den historischen Proben eine deutliche Abhängigkeit der Schwindmaße von der Schnittrichtung des Holzes. Die höchsten Werte für die Volumenänderung lieferte das Schwindmaß in tangentialer Richtung, das Maß in radialer Richtung ist erheblich kleiner (Tab. 2) und in Faserrichtung (longitudinal) vernachlässigbar klein. Leider ist kein direkter Ergebnisvergleich der Referenzhölzer mit den historischen Proben möglich, da sie unterschiedliche Ausgangsfeuchten besaßen.

Alle archäologischen Proben sind als abgebaut zu charakterisieren. Besonders auffällig ist Spant 18 mit einem Volumenschwindmaß von

31,41 %, dem höchsten bestimmten Wert der Untersuchungen. In Anlehnung an Literaturwerte für rezente Hölzer wird der Abbaugrad als gering bis mittel bewertet (Tab. 2).

Raumdichtezahl

In intaktem Eichenholz nehmen die Feststoffe ein Drittel, der Porenraum etwa zwei Drittel des Holzvolumens ein.

Die Raumdichtezahl R ist ein Kennwert für die wasserfreie Holzsubstanz und wird als Quotient aus der Masse des trockenen Holzes bezogen auf das Volumen des vollständig gequollenen Holzes gebildet. Der Abbau von Holzsubstanz vermindert die Masse und erhöht die im Holz enthaltenen Hohlräume. Entsprechend weist abgebautes Holz geringere Raumdichtezahlen als rezentes Holz auf.

Die Bestimmung der Rohdichte zur Errechnung der Raumdichtezahl erfolgte mit Probekörpern in Anlehnung an die DIN 52182.

In Tabelle 2 sind die Bestimmungen der Raumdichtezahl an 9 rezenten und 14 archäologischen Holzproben zusammengefasst. Die Werte für das rezente Holz RH 2 bieten keine geeignete Vergleichsmöglichkeit, da die Ausgangsfeuchte zu niedrig war (die Holzfasern waren nicht vollständig gequollen).

Alle untersuchten archäologischen Hölzer wiesen im Mittel etwas kleinere Werte für die Raumdichte als das rezente Holz RH 1 auf. Insgesamt wurden die Mittelwerte durch die ge-

ringe Streuung gestützt. Das Holz der Spantenprobe SP 15 war stärker verändert im Vergleich zu den Proben aus SP 30. Die historischen Proben sind insgesamt jedoch nur als wenig abgebaut zu bewerten.

Schlussbetrachtung

Obwohl die Ergebnisse der Untersuchung zeigten, dass das Holz des Darsser Kraweels in vergleichbar gutem Zustand erhalten war, stellte sich die Frage: Was würde beispielsweise bei einer Trocknung ohne stabilisierende Trocknungsmaßnahmen geschehen?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein Modell mit folgenden Randbedingungen angenommen (Abb. 9):

1. Die im experimentell an Probekörpern bestimmten Parameter finden Anwendung auf das gesamte Material.
2. Die Betrachtungen beziehen sich nur auf die Dimensionen Breite und Länge von einzelnen Elementen der Konstruktion im lückenlosen Gefüge.
3. Jede Schicht (Planken der Wegerung, Spanten, äußere Planken) wird separat betrachtet. Die Veränderungen der Konstruktion als Ganzes sind schwerer abzuschätzen, da die einzelnen Schichten miteinander verbunden sind.

Zunächst wurde in einem 1. Schritt anhand

Probe	RH 1 (3) RH 2 (3)	Spant 15 (2) Spant 15 (5)	Spant 18 (4)*	Spant 30 (1)	Literaturwerte für rezente Eiche ¹
Feuchtigkeitsgehalt [%]**	8,85 12,48	97,58 114,47	119,69	84,87	
Tangentiales Schwindmaß [%]	3,94 3,93	14,73 13,30	21,00	9,19	7,8...10,0
Radiales Schwindmaß [%]	1,11 2,48	5,52 6,02	10,05	5,85	4,0...4,6
Volumenschwindmaß [%]	5,16 3,62	21,72 19,70	31,41	17,07	12,6...15,6
Probe	RH 1 (6) RH 2 (3)	Spant 15 (9)		Spant 30 (5)	
Feuchtigkeitsgehalt [%]**	36 9	111	n. b.	95	
Raumdichtezahl [g/cm ³]	0,557 0,631	0,490	n. b.	0,533	0,550
(...)	Anzahl der untersuchten Probestückzahlen				RH = Rezentes Holz
n. b.	nicht bestimmt				
*...	Die am Spant 18 entnommenen vier Proben sind in Abbildung 8 gekennzeichnet.				
**..	Ausgangsholzfeuchtigkeit				
¹	ANONYMUS 1939				

Tab. 2: Ausgewählte Ergebnisse (Mittelwerte) für die Bestimmung der Raumdichte und der Schwindmaße an rezentem und historischem Eichenholz (POLZIN 2005).

der ermittelten Schwindmaße (Tab. 2) die Länge im darrtrockenen Zustand bestimmt. Im 2. Schritt wurde die Dimensionsänderung bei einer Holzfeuchtigkeitsänderung um 12 % (von 0 auf 12 %) mittels Parametern aus der Norm DIN 1052 berechnet. Um das Ausmaß einer Trocknung in der beschriebenen Weise zu verdeutlichen, erfolgte die Angabe der Ergebnisse als Extremwerte für die ungünstigste und günstigste Variante.

Bei diesem Gedankenspiel würde sich im ungünstigsten Fall die Breite des Schiffes um 27 Zentimeter und die Länge um 1,20 Meter verringern (Abb. 9). Somit wird deutlich, dass eine konservatorische Stabilisierung der Oberflächen unumgänglich ist. Auch gering abgebautes Holz, das hohe Feuchtigkeiten besitzt, ist bei der Trocknung großen Dimensionsänderungen und damit Schädigungen der Konstruktion ausgesetzt.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr. rer. nat. CLAUDIA VON LAAR
 Dipl. Ing. (FH) IRIS POLZIN
 Hochschule Wismar
 University of Technology, Business and Design
 Fachbereich Bauingenieurwesen
 Postfach 1210
 D-23952 Wismar

Literatur

ANONYMUS 1939: Holzeigenschaftstafel Eiche. Holz Roh-Werkstoff 2, 1939, 47–48.

BABINSKY/PROSKROBKO 2000: L. BABINSKY/J. PROSKROBKO, Application of HPLC in Assessment of Twostep Impregnation with Polyethylene Glycols of Wooden Objects Retrieved from Archaeological Excavations. In: Biuletyn informacyjny konserwatorow dzieł sztuki (Journal of conservation-restoration) Vol. 11,4 (43), 2000, 99–103.

BJÖRDAL/NILSSON 2001: C. BJÖRDAL/T. NILSSON, Decomposition of waterlogged archaeological wood. Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference (Stockholm 2001) 235–244.

DIN 1052 (08.04): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Deutsches Institut für Normung e. V. (Berlin 2004).

DIN 52182 (09.76): Prüfung von Holz. Bestimmung der Rohdichte. Deutsches Institut für Normung e. V. (Berlin 1976).

DIN 52183 (11.77): Prüfung von Holz. Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes. Deutsches Institut für Normung e. V. (Berlin 1977).

DIN 52184 (05.79): Prüfung von Holz. Bestimmung der Quellung und Schwindung. Deutsches Institut für Normung e. V. (Berlin 1979).

FÖRSTER 2005: TH. FÖRSTER, Bericht zur archäologischen Bergung und Dokumentation des „Darsser Kraweels“ (Ostsee IV, Fischland, Fpl. 32). Landesamt für Bodendenkmalpflege/Archäologisches Landesmuseum Mecklenburg-Vorpommern (Lübstorf 2005).

GREGORY 2004: D. GREGORY, Degradation of wooden shipwrecks: threats. MOSS Newsletter. The monitoring theme II,4. Publisher: The national Board of Antiquities, Helsinki, Finland 2000 (Helsinki 2004).

HEUSSNER 2006: K.-U. HEUSSNER, Dendrochronologisches Gutachten des Deutschen Archäologischen Instituts in Berlin zu Ostsee IV, Fischland, Fundplatz 32 (Berlin 2006).

HOFFMANN/PARAMESWARAN 1982: P. HOFFMANN/N. PARAMESWARAN, Chemische und ultrastrukturelle Untersuchungen an wassergesättigten Eichenhölzern aus archäologischen Funden. Berliner Beitr. Archäometrie 7, 1982, 273–285.

HOLZAPFEL 2005: I. HOLZAPFEL, Die Bohrmuschel im Ostseeraum. Der Befall der Weichendalben im Nord-Ostsee-Kanal durch *Teredo navalis*. Diplomarbeit Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften (Lübeck 2005).

LOHMANN 2003: U. LOHMANN, Holz-Lexikon 4 (Leinfelden-Echterdingen 2003).

MOHR 2001: D. MOHR, Schiffswracks an der Ostseeküste von Fischland und Darss – eine Übersicht. Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie, NAU 8, 2001, 59–66.

POLZIN 2005: I. POLZIN, Das Kraweelwrack – ein archäologischer Schiffsfund – Zustandsuntersuchungen an neuzeitlichem Eichenholz. Unveröff. Diplomarbeit Fachbereich Bauingenieurwesen (Wismar 2005).

SORDYL et al.: H. SORDYL/R. BÖNSCH/J. GERCKEN/F. GOSSELCK/M. KREUZBERG/H. SCHULZE, Verbreitung und Reproduktion des Schiffsbohrwurms *Teredo navalis* L. an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns. Deutsche Gewässerkundl. Mitt. 42 (4), 1998, 142–149.

VON LAAR 2003: C. VON LAAR, Zustandsuntersuchungen an archäologischen Nasshölzern mit der Bohrwiderstandsmethode. Beitr. Erhaltung Kunst- u. Kulturgut 1, 2003, 85–93.

VON LAAR 2005: C. VON LAAR, Ergebnisse der Untersuchungen mit Bohrwiderstandsmessungen am Schiffswrack Darsser Kraweel. Landesamt für Bodendenkmalpflege/Archäologisches Landesmuseum Mecklenburg-Vorpommern (Lübstorf 2005).