

STUDIE ÜBER DIE FOLGEN DER LANGZEITLAGERUNG VON ARCHÄOLOGISCHEM NASSHOLZ IN DEIONISIERTEM WASSER

Die Zwischenlagerung von archäologischem Nassholz in Wasser ist in der restauratorischen Praxis üblich, um nach der Bergung irreversible Schäden durch Trocknung zu vermeiden. Diese Lagerung dauert nicht selten mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte an. Währenddessen wird Nassholz zwar vor der Austrocknung geschützt, jedoch ist es im Wasser weiterhin einer Vielzahl mikrobieller Abbauprozesse ausgesetzt. Diese holzersetzenden Mikroorganismen und ihre spezifischen Abbauvorgänge werden seit Jahrzehnten erforscht¹, dennoch ist nur sehr wenig darüber bekannt in welchem Maße sie archäologische Nassholzobjekte während ihrer Lagerung im Wasser tatsächlich schädigen.

Einzelne Nassholzproben, die seit 2009 am Römisch-Germanischen Zentralmuseum für das Forschungsprojekt »Massenfunde in archäologischen Sammlungen« (gefördert durch das Programm zur Konservierung und Restaurierung von mobilem Kulturgut [KUR]) gelagert werden, zeigten bei einer Nachuntersuchung 2012 deutliche Masseveränderungen. Aus dieser Feststellung heraus ist die Idee entstanden, diese offensichtlich während der Wasserlagerung aufgetretenen Veränderungen im Zuge einer Seminararbeit genauer zu untersuchen. Von besonderem Interesse waren dabei die Fragen, ob an den sehr unterschiedlichen Holzproben des KUR-Projektes gleichartige Veränderungen zu beobachten sind und ob sich mit diesen Beobachtungen eventuell auch eine Prognose für zukünftige Nassholzobjekte erstellen lässt.

Das KUR-Projekt

Das KUR-Projekt »Massenfunde in archäologischen Sammlungen« widmete sich den Konservierungsmethoden von Eisen und Nassholzfunden. Projektträger war die Archäologische Staatssammlung in München in Kooperation mit dem RGZM in Mainz. Der Schwerpunkt für die Untersuchungen zur Eisenkonservierung lag in München, der Forschungsschwerpunkt zur Untersuchung der Nassholzkonservierungsmethoden in Mainz. Ziel war es, bekannte und aktuell gebräuchliche Konservierungsmethoden miteinander zu vergleichen.

Sieben Institutionen aus vier verschiedenen Ländern partizipierten an dem Teilprojekt Nassholzkonservierung und konservierten zur Verfügung gestellte Probekörper, die im Anschluss wieder nach Mainz zurückgebracht und ausgewertet wurden. Bei einer Tagung im Juni 2012 konnten die Ergebnisse des Teilprojektes vorgestellt und parallel dazu in einer Datenbank im Internet veröffentlicht werden².

Zu den fest definierten Parametern, nach denen die Holzproben für das KUR-Projekt ausgewählt wurden, zählten eine bestimmte Mindestgröße der einzelnen Probekörper sowie ein möglichst breites Spektrum an Holzarten und Abbaugraden³. Nach diesen Kriterien erstellte man Probenreihen, von denen letztendlich 23 Reihen ausgewählt wurden. Insgesamt handelte es sich um knapp 800 Proben, deren Vorzustand man vor der Ausgabe an die Projektteilnehmer im Dezember 2009 präzise erfasste.

Holzart	Abbaugrad		
	1	2	3
Fichte	0	3	0
Fichte/Lärche	0	6	0
Eiche	6	5	22
Erle	6	0	0
Buche	7	0	0
Tanne	1	0	0
Anzahl	20	14	11

Abb. 1 Zusammensetzung der Holzproben. – (Tabelle S. Kaiser).

Neben den Bestimmungen der Holzart, dem Abbaugrad, der Fotodokumentation und der holzchemischen Zusammensetzung wurden auch die Dimensionen und Massen der einzelnen Stücke aufgenommen. Dies geschah mittels 3D-Streifenlichtscanner, Messschieber und Waage⁴.

Die Vielfalt der für das Projekt zur Verfügung gestellten Holzobjekte, wie beispielsweise Pfosten, Schiffs-

planken oder Äste, brachte es mit sich, dass aus den Objekten eine unterschiedliche Anzahl an Probestücken herausgesägt werden konnte. Daher sind die Hölzer einiger Versuchsreihen komplett für das KUR-Projekt aufgebraucht worden, wohingegen Reststücke anderer Reihen im Museum für Antike Schifffahrt in Mainz verblieben. Diese übrig gebliebenen, unkonservierten Stücke bildeten das Untersuchungsmaterial für die Studie.

Bei 14 der 23 Versuchsreihen blieben verwertbare Reststücke übrig. Waren pro Versuchsreihe mehr als fünf Reststücke vorhanden, wurden lediglich fünf davon ausgewählt um die Studie überschaubar und im Rahmen einer Seminararbeit auswertbar zu halten. Insgesamt sind auf diese Weise 45 Proben zusammengelassen. Diese Proben lassen sich folgenden Holzarten zuweisen: Fichte, Fichte/Lärche⁵, Eiche, Erle, Buche und Tanne. Lediglich bei der Eiche waren alle drei Abbaugrade⁶ vertreten (**Abb. 1**).

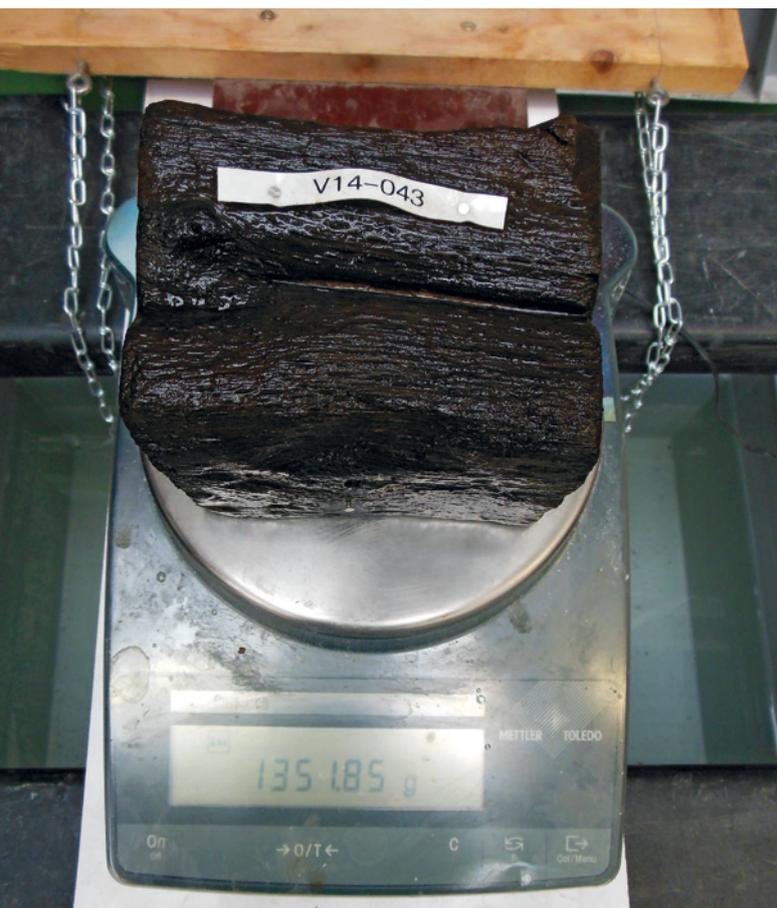


Abb. 2 a Wägung an der Luft. – b Wägung unter Wasser. – (Fotos S. Kaiser).

Alle 45 Proben wurden etwa vier Jahre unter den exakt gleichen Bedingungen gelagert. Im Detail heißt das, dass die Proben in großen Kunststoffwannen mit deionisiertem Wasser⁷ bei Raumtemperatur aufbewahrt wurden. Um die Sauerstoff- und Lichtzufuhr möglichst gering zu halten und das Wasser vor Verdunstung und Staub zu schützen, sind Folien auf die Wasseroberfläche aufgelegt und die Wannen zusätzlich mit Deckeln verschlossen worden.

Massen, Volumen und Messmethoden

Für die Studie wurden die Massen an der Luft und unter Wasser sowie das Volumen der Probekörper der Jahre 2009 und 2013 miteinander verglichen (s. **Anhang**)⁸.

Masse an der Luft und unter Wasser

Die Ermittlung der Masse an der Luft und der Masse unter Wasser ist ein Standardprozess bei der Nassholzkonservierung, da sich mit diesen Werten der Abbaugrad des Holzes zerstörungsfrei ermitteln lässt⁹. Die Wägung erfolgte mit einer Digitalwaage. Für die Ermittlung der Masse unter Wasser wurde eine einfache Hängevorrichtung mit einem Drahtkorb benutzt (**Abb. 2**).

Volumen

Das Volumen von Nassholz wird im RGZM nicht standardmäßig ermittelt. Da es aber einen enormen Informationswert hat, wenn man etwas über die Dimensionsstabilität eines Objektes beispielsweise nach einer Konservierung erfahren möchte, wurde es in die KUR-Untersuchungsmerkmale aufgenommen; auch bei der Frage nach dem Abbau von Holzmasse handelt es sich um ein wichtiges Kriterium. Das Volumen wurde mit einem Streifenlichtscanner¹⁰ ermittelt, wofür zunächst mit dem Scanner Oberflächenpunkte der Probekörper aufgenom-

men wurden (**Abb. 3**)¹¹. Der Punktabstand betrug 0,25 mm. Anschließend konnten mithilfe einer speziellen Software (ATOS) diese Punkte mit Nachbarpunkten zu Dreiecken verbunden werden, so dass ein Netz aus einer Vielzahl von Dreiecken entstand. Die tendenziell dunkle und stark reflektierende Oberfläche der Nassholzproben kann während des Scannvorgangs Probleme bereiten; ebenso wie Vertiefungen und Hinterschneidungen zu Löchern im errechneten Netz führen können, die manuell geschlossen werden müssen. Dies ist erforderlich, da das Volumen nur bei einem geschlossenen Netz berechnet werden kann.

Die errechneten Netze der Jahre 2009 und 2013 wurden danach mit der sogenannten »Best-Fit-Registrierung« übereinandergelegt. Dabei bestimmt der Rechner selbstständig den optimalen Sitz der beiden Netze im Verhältnis zueinander¹².

Ergebnisse der Auswertung der KUR-Proben

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertungen vorgestellt. Alle Ergebnisse werden in jeweils zwei Diagrammen visualisiert, die die prozentuale Änderung im Bezug zur Gesamtanzahl und die Veränderungen im Bezug zu den Abbaugraden darstellen.

Ergebnisse der Massenermittlung an der Luft

Das Diagramm (**Abb. 4**) zeigt, dass der Großteil der Proben (78 % aller Stücke bzw. 35 Proben) während ihrer mehrjährigen Lagerung an Masse abgenommen hat, wohingegen 22 % aller Stücke, was zehn Hölzern entspricht, an Masse zugenommen haben. Betrachtet man die Häufigkeiten der Masseveränderung, stellt man fest, dass der Massenverlust bei zwei Drittel aller Proben bis zu 5 % beträgt (**Abb. 5**). Alle elf Probekörper mit Abbaugrad 3, dem geringsten Abbaugrad, verzeichnen einen Massen-

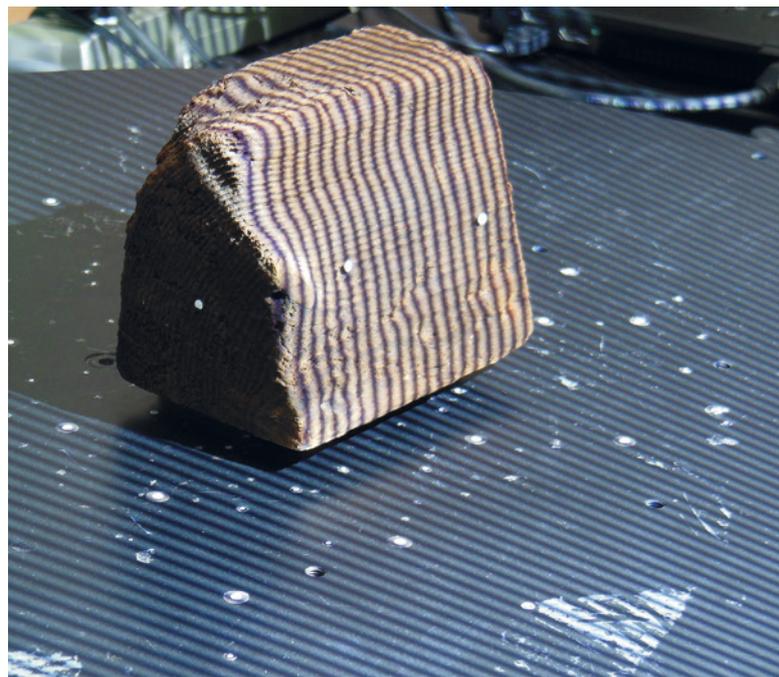


Abb. 3 Scannen im Museum für Antike Schifffahrt in Mainz 2013. – (Foto S. Kaiser).

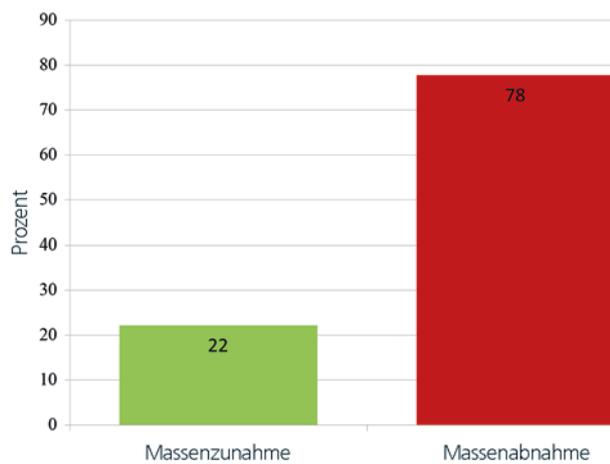


Abb. 4 Massenveränderung in Bezug auf die Gesamtanzahl (in %). – (Diagramm S. Kaiser).

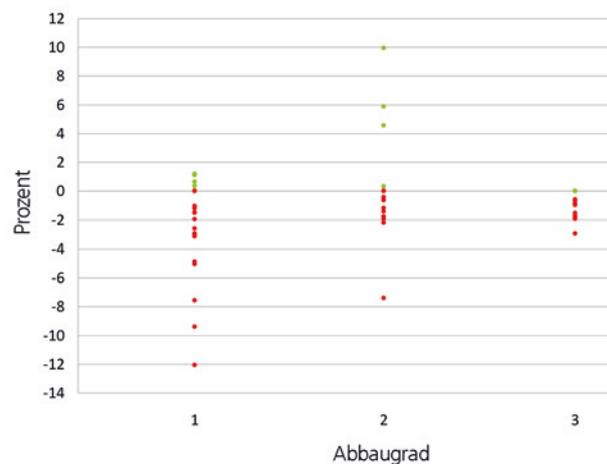


Abb. 5 Prozentuale Massenveränderung in Bezug auf den Abbaugrad. – (Diagramm S. Kaiser).

verlust; nur zwei Drittel der bereits stärker abgebauten Hölzer des Abbaugrades 2 haben dagegen an Masse verloren, während drei Viertel der am stärksten abgebauten Hölzer des Abbaugrades 1 von Massenverlust betroffen sind (Abb. 5).

Die Massenzunahme einiger Holzproben ist eine sonderbare Beobachtung – wäre doch zu erwarten, dass alle Stücke an Masse verlieren bzw. unverändert bleiben. Erklären lässt sich die Massen-

zunahme einiger Hölzer des Abbaugrades 1 und 2 damit, dass diese Proben offensichtlich nicht komplett wassergesättigt waren oder es immer noch nicht sind. Luftgefüllte Hohlräume wurden bzw. werden immer noch durch Wasser ersetzt, was zu einer Massenzunahme der Probe führt. Es überrascht, dass stark abgebaute Hölzer mit hohem Wassergehalt nicht zwingend vollständig wassergesättigt sind. Luftgefüllter Porenraum wäre eher

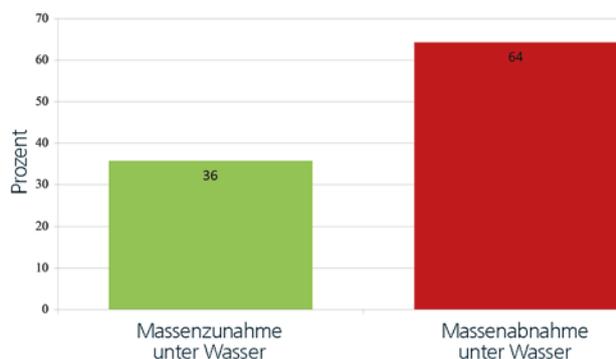


Abb. 6 Massenveränderung bei der Wägung unter Wasser in Bezug auf die Gesamtanzahl (in %). – (Diagramm S. Kaiser).

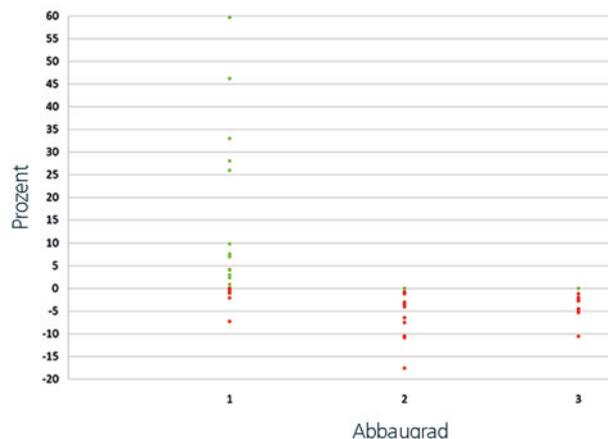


Abb. 7 Prozentuale Massenveränderung bei der Wägung unter Wasser in Bezug auf den Abbaugrad. – (Diagramm S. Kaiser).

bei schwach abgebauten Hölzern mit niedrigem Wassergehalt zu erwarten.

Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang allerdings Proben, die nur sehr geringe Massenveränderungen erfahren haben, die im Bereich des Messfehlers liegen könnten. Doch wo setzt man die Schwelle des Messfehlers an? Eine Massenveränderung von 5 g kann in jedem Fall als möglicher Messfehler angesehen werden, da sich ganz leicht einige Gramm Wasser mehr oder weniger auf der Oberfläche eines Nassholzes befinden können, je nachdem wie viel Wasser nach der Entnahme aus der Kunststoffwanne ablaufen konnte¹³. Fünf Proben haben bis zu 5 g an Masse zugenommen. Werden diese aus den Auswertungen herausgenommen, dann hat sich die Zahl der Proben mit Massenzunahme bereits halbiert. Es gibt aber auch sechs Proben, die bis zu 5 g verloren haben. Doch auch wenn diese Stücke aus der Auswertung ausgeklammert werden, bleibt die Aussage fast unverändert. In diesem Fall hätten 15 % aller Proben an Masse zugenommen, wohingegen 85 % aller Proben an Masse verloren hätten.

Ergebnisse der Massenermittlung unter Wasser

Auch bei der Massenermittlung unter Wasser zeigt sich der gleiche Trend wie bei den an der Luft gewo-

genen Proben. Zwei Drittel aller Proben, 27 Stücke, haben an Masse verloren, wohingegen 36 % aller Proben, 15 Stücke, an Masse zunahmen (Abb. 6)¹⁴. Aufgefächert auf ihre relative Häufigkeit fällt auf, dass knapp die Hälfte aller Holzproben bis zu 5 % an Masse verloren haben (Abb. 7).

Bei den Veränderungen in Bezug auf die Abbaugrade fällt auf, dass die weniger und mittelstark abgebauten Hölzer alle an Masse verloren haben. Drei Viertel aller stark abgebauten Hölzer weisen dagegen eine Massenzunahme auf (Abb. 7).

Die Ergebnisse der beiden Diagramme (Abb. 6-7) zeigen, dass der Anteil an Holzproben die an Masse zunahm größer ist als bei der Wägung an der Luft. Auch die prozentualen Veränderungen sind deutlich höher. Wie auch schon bei der Wägung an der Luft lässt sich eine Massenzunahme eigentlich nur durch luftgefüllte Hohlräume erklären, die nach und nach mit Wasser gefüllt wurden.

Die fünf auffälligen Ausreißer, die nach den Berechnungen zwischen 25 und 60 % an Masse zunahm, lassen sich vielleicht durch ein ganz ähnliches Phänomen erklären. Alle fünf gehören zur Probenreihe V24. Bei diesen Stücken handelt es sich um Astabschnitte, die noch einen Teil ihrer Borke besitzen. Wie auf Abbildung 8 zu erkennen ist, hat sich im Laufe der Wasserlagerung ein Teil der Borke, insbesondere im linken Bereich des Schildes, abgelöst. Warum nimmt das Objekt dann aber an Masse zu und nicht ab? Vermutlich war die Borke schon



Abb. 8 a Zustand 2009. – b Zustand 2013. – (a Foto W. Muskalla, RGZM; b Foto S. Kaiser).

beim Wiegen des Vorzustandes teilweise abgelöst, so dass sich ein Spalt zwischen Holz und Borke bildete. Es wäre möglich, dass sich in genau diesem Spalt Luft sammelte, die bei der Wägung für Auftrieb sorgte. Nun, da die Rinde zum Teil verloren ist, ist auch die Luft verschwunden und das Objekt wurde schwerer.

Natürlich können auch bei der Wägung unter Wasser Messungenauigkeiten entstehen. Beim Einlegen eines Holzstückes in den Drahtkorb der Wiegevorrichtung pendelt dieser und die Gewichtsanzeige

der Waage verändert sich ständig. Da es relativ lange dauert bis sich diese Bewegung legt, wurde zunächst abgewartet bis die stärksten Schwingungen abgeklungen sind. Anschließend konnte durch die Waage ein Durchschnittswert berechnet werden, der erfahrungsgemäß sehr nahe am »wahren« Messwert liegt, der nach dem Auspendeln abzulesen ist¹⁵. Im Allgemeinen ist dieser Messfehler bei der Wägung unter Wasser aber mit Sicherheit deutlich kleiner anzusetzen als das bei der Wägung an der Luft der Fall ist.

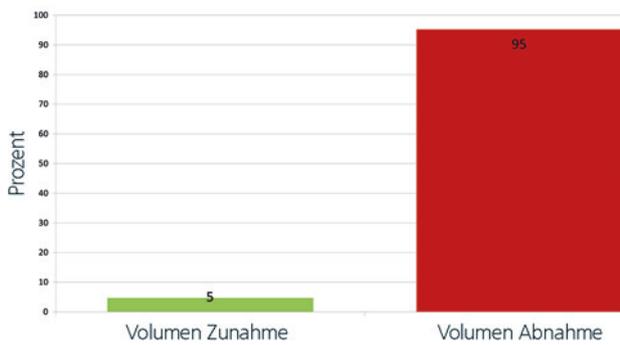


Abb. 9 Volumenänderung in Bezug auf die Gesamtanzahl (in %). – (Diagramm S. Kaiser).

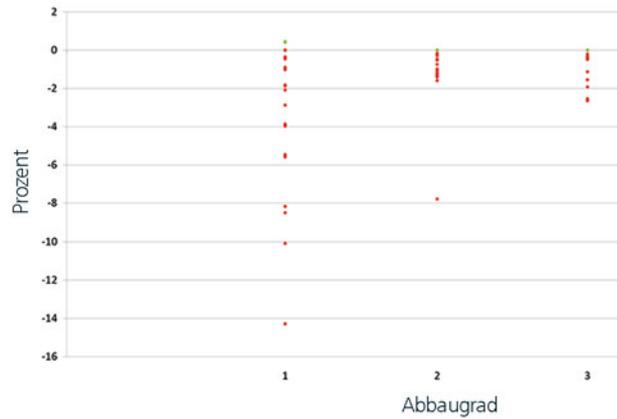


Abb. 10 Prozentuale Volumenveränderung in Bezug auf den Abbaugrad. – (Diagramm S. Kaiser).

Veränderung des Volumens

Die Messungen (**Abb. 9**) zeigen, dass nahezu alle Probenkörper eine Reduzierung des Volumens nach der vierjährigen Lagerung aufweisen. Lediglich 5 %, also 2 der 42 mit dem Scanner erfassten Proben weisen einen Volumenzuwachs auf¹⁶. Bei der Häufigkeitsverteilung ist der Bereich bis zu 5 % an Volumenverlust am stärksten vertreten (**Abb. 10**). Alle Hölzer der Abbaugrade 2 und 3 haben an Volumen verloren. Nur zwei Proben des Abbaugrades 1 haben an Volumen zugenommen (**Abb. 10**).

Es verwundert nicht, dass die weichen, empfindlichen Oberflächen archäologischer Hölzer während der Wasserlagerung größtenteils einen Substanzverlust aufweisen, von dem gelöste Holzfasern auf dem Grund der Wasserbehälter zeugen. Ungewöhnlicher ist die Volumenzunahme zweier Proben, auch wenn diese mit 0,4 % nur sehr gering ausfällt. In reellen Zahlen bedeutet das, dass das Holz mit der Nummer V07_039 genau 3,03 cm³ hinzugewonnen und der Probenkörper V07_044 einen Zuwachs von 1,78 cm³ zu verzeichnen hat. Ein Volumenzuwachs der beiden Holzproben durch Holzquellung ist eher unwahrscheinlich, insbesondere da es sich bei den beiden Proben um stark angegriffene Hölzer des Abbaugrades 1 handelt. Auch in diesem Fall eröffnet ein Blick auf die Fotos der Objekte eine mögliche Erklärung (**Abb. 11**). Beide Holzstücke haben stark zerklüftete Oberflächen, die vom Scanner wahr-

scheinlich nicht vollständig erfasst werden konnten. Hat der Bearbeiter der Scannerdaten im Jahr 2013 die Fehlstellen im Netz nicht exakt gleich geschlossen wie der Bearbeiter der Daten im Jahr 2009, wovon ausgegangen werden kann, dann wird der Messwert ungenau. Je mehr Fehlstellen das Netz aufweist desto höher ist die Fehlerwahrscheinlichkeit.

Fazit

Diese Studie hat gezeigt, dass bei einem großen Anteil der untersuchten Proben nach einer vierjährigen Wasserlagerung ein Substanzverlust zu beobachten ist. Diese Veränderungen wurden aufgesplittet nach Masse und Volumen untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass etwa drei Viertel aller Proben an Masse verloren. Die größte Gruppe weist dabei einen Substanzverlust von bis zu 5 % der Gesamtmasse auf. Ein recht ähnliches Bild zeigte der Vergleich der Wägungen unter Wasser. Zwei Drittel aller untersuchten Proben büßten den Daten zufolge an Masse ein. Die Reduktion liegt bei knapp der Hälfte der Versuchsstücke bei bis zu 5 % der Gesamtmasse. Massenzunahmen sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Luft in Hohlräumen im Holz durch Wasser ersetzt wurde. Dies weist darauf hin, dass Nassholz auch nach langjähriger Wasserlagerung



Abb. 11 a V07-039. – b V07-044. – (Fotos W. Muskalla, RGZM).

nicht zwangsläufig völlig wassergesättigt ist¹⁷. Beim Volumenvergleich wurde bei 95 % aller Versuchskörper ein Schwund nachgewiesen, vier Fünftel davon verloren bis zu 5 % an Volumen.

Überblickt man die hier zusammengetragenen Ergebnisse, dann könnte man die vorsichtige Prognose wagen, dass bei einer vierjährigen Lagerungszeit von archäologischem Nassholz in deionisiertem Wasser

mit etwa 5 % Verlust an Masse bzw. Volumen gerechnet werden kann. Natürlich müssten für eine wirklich repräsentative Aussage deutlich mehr Hölzer untersucht werden.

In einigen Jahren sollen die hier vorgestellten Reststücke des KUR-Projektes erneut untersucht und mit den Daten aus den Jahren 2009 und 2013 verglichen werden. Man darf gespannt sein, wie sich die Studie weiterentwickelt.

Anmerkungen

- 1) z. B. Singh 2012; Gjelstrup Björdal 2012.
- 2) www.rgzm.de/kur/ (19. 5. 2015).
- 3) Die angestrebte Mindestgröße der Probekörper von 10 cm × 6 cm × 6 cm konnte nicht in allen Fällen eingehalten werden. Durchschnittliche Größenangaben der Probekörper der jeweiligen Versuchsreihen sind auf der Homepage des KUR-Projektes einsehbar (www.rgzm.de/kur/index.cfm?Layout=holz&Content=versuchsreihen_uebersicht [19. 5. 2015]).
- 4) Mazzola / Muskalla / Wittköpper 2009, 133-136.
- 5) Es konnte bei der Bestimmung nicht sicher geklärt werden, ob es sich um Fichte oder Lärche handelt. Alle Bestimmungen wurden von Niels Bleicher vom dendrochronologischen Labor des Amtes für Städtebau der Stadt Zürich durchgeführt.
- 6) Holz wird anhand seines U_{\max} -Wertes in drei verschiedene Abbaugrade unterteilt. Der U_{\max} -Wert gibt das maximale Wasseraufnahmevermögen von Holz wieder. Je stärker das Holz abgebaut ist, desto mehr Wasser kann in die entstandenen Hohlräume eindringen und desto höher ist der U_{\max} -Wert. Abbaugrad 1, die am stärksten abgebauten Hölzer, liegen bei über 400 %, Abbaugrad 2 bei 185-400 % und Abbaugrad 3, die nur schwach abgebauten Hölzer, bei unter 185 %. Der U_{\max} -Wert lässt sich u. a. folgendermaßen berechnen (de Jong 1977, 324. 338):

$$U_{\max} = \frac{\text{Nassgewicht} - \text{Trockengewicht}}{\text{Trockengewicht}} \times 100\%.$$
- 7) Im RGZM wird standardmäßig deionisiertes Wasser für die Lagerung der Nassholzfunde eingesetzt, da dieses die Auswaschung von Säuren aus dem Holz begünstigt. Säurereste im Holz können bei der Konservierung mit Kauramin 800 ansonsten zu einem ungewollten, verfrühten Aushärten des säurehärtenden Harzes führen (www.rgzm.de/kur/index.cfm?Layout=holz&Content=kauramin [19. 5. 2015]). Mögliche Massenveränderungen der Probekörper durch das Auswaschen von organischen und anorganischen Komponenten aus dem Holz wurden in der Studie nicht berücksichtigt, da bei den jährlichen Wasserwechseln keine Wasserproben entnommen wurden.
- 8) Für die Seminararbeit wurden zusätzlich die Werte der radialen, tangentialen und longitudinalen Richtung miteinbezogen.
- 9) www.rgzm.de/kur/index.cfm?Layout=holz&Content=abbau grad (19. 5. 2015).
- 10) Typ ATOS III der Firma GOM mit einem Messfeld von 50 cm × 50 cm × 50 cm.
- 11) Die Messungen mit dem Streifenlichtscanner wurden von Guido Heinz und Anja Cramer (beide RGZM/i3mainz) erstellt.
- 12) Cramer 2013, 1-3.
- 13) Bei der Wiederholung eines ähnlichen Experimentes ist darauf zu achten, die Proben vor dem Wiegen möglichst gleich zu behandeln, sie beispielweise abzutupfen. So könnte der Messfehler eventuell verkleinert werden.
- 14) Bei der Wägung unter Wasser konnten nur 42 der 45 Proben berücksichtigt werden, da drei der Proben im Vorzustand durch Auftrieb nicht zu wiegen waren (V03-013, V03-026, V03-047).
- 15) Die Wägungen wurden auf die gleiche Weise wie zu Beginn des KUR-Projektes durchgeführt. Die digitale Mettler Toledo-Waage wurde bei der Unterwasservägung im Modus »dynamisches Wägen« (für unruhiges Wägegut) betrieben. Dabei errechnet die Waage innerhalb von 3 Sekunden einen Durchschnittswert aus mehreren Messungen. In der Praxis weicht dieser Wert nicht mehr als wenige Zehntelogramm von der »normalen« Wägung ab.
- 16) Bei der Scannerauswertung wurden lediglich 42 Proben berücksichtigt, da zwei Hölzer aus zeitlichen Gründen nicht mehr erfasst werden konnten (V19-010, V24-029) und sich ein Vorzustandsdatensatz als nicht mehr lesbar herausstellte (V06-042).
- 17) Dies ist auch bei der zerstörungsfreien Ermittlung des Abbaugrades zu bedenken, da dieser auf der Annahme von vollständig wassergesättigten Hölzern beruht (vgl. Anm. 9).

Abgekürzt zitierte Literatur

Cramer 2013: A. Cramer, Dokumentation der geometrischen Veränderungen während der Konservierung mittels 3D-Scanning [unpublizierter Bericht im Rahmen des KUR-Projektes] (Mainz 2013).

Gjelstrup Björdal 2012: C. Gjelstrup Björdal, Microbial degradation of waterlogged archeological wood. *Journal of Cultural Heritage* 13, 2012, 118-122.

de Jong 1977: J. de Jong, Conservation Techniques for old archaeological wood from shipwrecks found in the Netherlands. In: A. H. Walters (Hrsg.), Biodeterioration Investigation Techniques (London 1977) 295-338.

Mazzola / Muskalla / Wittköpper 2009: C. Mazzola / W. Muskalla / M. Wittköpper, Das Kur-Projekt »Massenfunde in archäologischen

Sammlungen«. Restaurierung und Archäologie 2, 2009, 133-136.

Singh 2012: A. P. Singh, A review of microbial decay types found in wooden objects of cultural heritage recovered from buried and waterlogged environments. Journal of Cultural Heritage 13, 2012, 16-20.

Zusammenfassung / Summary

Studie über die Folgen der Langzeitlagerung von archäologischem Nassholz in deionisiertem Wasser

In dieser Studie wurden messbare Veränderungen untersucht, die während der Langzeitlagerung von archäologischem Nassholz auftreten. Als Untersuchungsmaterial dienten Nassholz-Restbestände des KUR-Projektes »Massenfunde in archäologischen Sammlungen«. Aus diesem Grund ist die Probenauswahl in Bezug auf die vertretenen Holzarten und Abbaugrade sehr unhomogen. Die Proben wurden im Abstand von vier Jahren gewogen und ihr Volumen mithilfe eines Streifenlichtscanners bestimmt. Trotz der ungleichartigen Proben ließen sich gleichartige Erscheinungen beobachten. Bei einem Großteil der Objekte wurde ein Verlust von bis zu 5 % sowohl an Masse als auch an Volumen festgestellt.

Study concerning the consequences of long-term storage of archaeological waterlogged wood in deionised water

In this study, measurable changes, which appeared during long-time storage of archaeological waterlogged wood, were investigated. The analysed objects were remainders from the KUR-Project »Mass finds in archaeological Collections«. For this reason, the selection of samples is quite inhomogeneous concerning the types of wood and the degree of degradation. The samples were weighed and scanned with a structured-light scanner at intervals of four years. In spite of the inhomogeneous samples, homogeneous observations could be made. The majority of the objects showed a loss of up to 5 % of mass as well as volume.

Schlagwörter

3D-Streifenlichtscanner / Abbaugrade / Massenveränderung / Volumenveränderung

Anhang

Gesamtübersicht aller Messungen



Versuchsreihe	Objekt-nummer	Holzart	Abbau-grad	Masse 2009 [g]	Masse 2013 [g]	Δ [g]	Δ [%]	Masse unter Wasser 2009 [g]	Masse unter Wasser 2013 [g]	Δ [g]	Δ [%]	Volumen 2009 [mm³]	Volumen 2013 [mm³]	Δ [mm³]	Δ [%]
V 03	013	Fichte	2	773,50	808,85	+35,35	+4,57	Auftrieb	53,10	k. D.	k. D.	754816,03	747294,07	-7521,96	-1,00
	026	Fichte	2	1139,80	1206,81	+67,01	+5,88	Auftrieb	63,38	k. D.	k. D.	1145574,29	1130118,49	-15455,80	-1,35
	047	Fichte	2	705,80	775,96	+70,16	+9,94	Auftrieb	51,28	k. D.	k. D.	725873,06	717038,14	-8834,92	-1,22
V 05	020	Eiche	3	1658,40	1642,30	-16,10	-0,97	278,40	265,24	-13,16	-4,73	1373432,4	1366590,35	-6842,05	-0,50
	025	Eiche	3	1669,10	1659,48	-9,62	-0,58	261,30	249,02	-12,28	-4,70	1407866,44	1403185,06	-4681,38	-0,33
	042	Eiche	3	1594,10	1580,65	-13,45	-0,84	251,20	237,95	-13,25	-5,27	1343499,33	1337104,62	-6394,71	-0,48
	052	Eiche	3	1319,20	1310,40	-8,80	-0,67	205,70	196,08	-9,62	-4,68	1112992,52	1108566,21	-4426,31	-0,40
	058	Eiche	3	854,20	846,04	-8,16	-0,96	143,50	137,06	-6,44	-4,49	706630,85	705100,13	-1530,72	-0,22
V 06	042	Erl	1	320,50	310,39	-10,11	-3,15	11,50	12,30	+0,80	+6,96	k. D.	k. D.	k. D.	k. D.
V 07	021	Buche	1	358,00	359,30	+1,30	+0,36	13,90	14,96	+1,06	+7,63	342160,94	339039,95	-3120,99	-0,91
	039	Buche	1	719,20	727,86	+8,66	+1,20	30,50	30,78	+0,28	+0,92	690976,4	694010,07	3033,67	0,44
	041	Buche	1	559,80	560,02	+0,22	+0,04	22,60	23,50	+0,90	+3,98	534812,07	532326,59	-2485,48	-0,46
	043	Buche	1	567,90	571,69	+3,79	+0,67	22,50	23,45	+0,95	+4,22	545001,08	543047,77	-1953,31	-0,36
	044	Buche	1	463,80	468,98	+5,18	+1,12	20,40	21,26	+0,86	+4,22	443578,89	445357,64	1778,75	0,40
V 14	009	Eiche	2	1617,40	1594,29	-23,11	-1,43	198,20	196,37	-1,83	-0,92	1407049,12	1391827,75	-15221,37	-1,08
	010	Eiche	2	1417,00	1391,89	-25,11	-1,77	198,20	190,23	-7,97	-4,02	1211138,15	1196413,13	-14725,02	-1,22
	027	Eiche	2	1381,20	1354,60	-26,60	-1,93	149,20	147,47	-1,73	-1,16	1224839,05	1205160,65	-19678,40	-1,61
	029	Eiche	2	1535,30	1501,71	-33,59	-2,19	217,60	211,00	-6,60	-3,03	1303511,42	1285066,92	-18444,50	-1,41
	043	Eiche	2	1358,20	1349,51	-8,69	-0,64	191,30	189,90	-1,40	-0,73	1164406,97	1155595,86	-8811,11	-0,76
V 18	002	Fichte/Lärche	2	1338,50	1330,45	-8,05	-0,60	105,70	102,04	-3,66	-3,46	1245715,75	1243580,54	-2135,21	-0,17
	022	Fichte/Lärche	2	2112,00	1956,01	-155,99	-7,39	189,70	156,37	-33,33	-17,57	1993088,92	1837909,57	-155179,35	-7,79
	035	Fichte/Lärche	2	1722,00	1714,81	-7,19	-0,42	124,90	111,79	-13,11	-10,50	1626422,79	1617634,63	-8788,16	-0,54
V 19	010	Eiche	3	8140,00	7900,00	-240,00	-2,95	714,80	639,17	-75,63	-10,58	k. D.	k. D.	k. D.	k. D.
V 20	004	Eiche	3	3850,00	3780,00	-70,00	-1,82	643,00	629,07	-13,93	-2,17	3209348,24	3147599,11	-61749,13	-1,92
	022	Eiche	3	2763,00	2715,50	-47,50	-1,72	427,40	416,19	-11,21	-2,62	2328560,75	2266807,48	-61753,27	-2,65
	027	Eiche	3	2074,00	2033,75	-40,25	-1,94	317,00	308,19	-8,81	-2,78	1754288,28	1709599,62	-44688,66	-2,55
	034	Eiche	3	3380,00	3320,00	-60,00	-1,78	554,80	543,80	-11,00	-1,98	2821211,35	2789112,4	-32098,95	-1,14
	038	Eiche	3	2647,00	2606,34	-40,66	-1,54	446,20	440,95	-5,25	-1,18	2184795,88	2150735,78	-34060,10	-1,56
V 23	003	Fichte/Lärche	2	900,00	889,43	-10,57	-1,17	67,10	62,77	-4,33	-6,45	835022,02	824183,43	-10838,59	-1,30
	026	Fichte/Lärche	2	970,50	973,65	+3,15	+0,32	66,40	61,42	-4,98	-7,50	913839,62	911234,7	-2604,92	-0,29
	042	Fichte/Lärche	2	885,80	886,23	+0,43	+0,05	77,00	68,63	-8,37	-10,87	828162,04	824260,73	-3901,31	-0,47
V 24	020	Erl	1	96,00	91,33	-4,67	-4,86	3,50	4,48	+0,98	28,00	91728,4	84223,73	-7504,67	-8,18
	029	Erl	1	117,10	111,21	-5,89	-5,03	4,4	5,54	+1,14	25,91	k. D.	k. D.	k. D.	k. D.
	043	Erl	1	71,30	70,24	-1,06	-1,49	3,40	4,97	+1,57	46,18	66983,98	64323,89	-2660,09	-3,97
	044	Erl	1	100,30	97,68	-2,62	-2,61	4,10	5,45	+1,35	32,93	94861,21	89672,36	-5188,85	-5,47
	047	Erl	1	92,60	89,87	-2,73	-2,95	3,00	4,79	+1,79	59,67	87993,68	83079,13	-4914,55	-5,59
V 25	013	Tanne	1	700,50	690,07	-10,43	-1,49	39,50	36,64	-2,86	-7,24	662388,68	649930,91	-12457,77	-1,88
V 27	014	Eiche	1	219,30	202,72	-16,58	-7,56	7,70	7,93	+0,23	2,99	211235,92	193254,7	-17981,22	-8,51
	026	Eiche	1	297,70	288,64	-9,06	-3,04	14,35	14,30	-0,05	-0,35	285750,66	274690,31	-11060,35	-3,87
	029	Eiche	1	303,30	300,18	-3,12	-1,03	15,40	15,76	+0,36	2,34	292383,55	286284,43	-6099,12	-2,09
	031	Eiche	1	251,20	227,61	-23,59	-9,39	9,10	8,91	-0,19	-2,09	240658,66	216391,02	-24267,64	-10,08
	033	Eiche	1	291,30	286,93	-4,37	-1,50	16,90	16,72	-0,18	-1,07	276552,71	268600,03	-7952,68	-2,88
V 27 A	013	Eiche	1	219,50	193,01	-26,49	-12,07	7,10	7,80	+0,70	9,86	210511,2	180435,09	-30076,11	-14,29
V 29	018	Buche	1	1245,06	1229,96	-15,10	-1,21	42,53	42,16	-0,37	-0,87	1195378,3	1183196,2	-12182,10	-1,02
	034	Buche	1	997,08	977,51	-19,57	-1,96	29,25	31,31	+2,06	7,04	961396,34	943756,95	-17639,39	-1,83