

NASS GELAGERTES PECHDEKOR – KONSERVIERUNGSKONZEPT FÜR EINE BRONZEZEITLICHE GÜRTELDOSE AUS DEM TOLLENSSETAL

Elise Malchow

Abstract

Theme of this Article is the creation of a conservation concept for a bronze age belt box from the Tollense Valley. The object has a well preserved ornament of pitch and is stored in water.

Scientific analysis of the materials were conducted (microscopy, x-ray, μ -CT, XRF, GC-MS).

The way pitch reacts to the drying process and long term storage is not scientifically explored to this point.

Several test series concerning the behaviour of pitch during the drying process as well as the reaction with solvents form the basis for the conservation concept.

SCHLAGWÖRTER

Bronzezeit, Birkenpech-Verzierung, Gürteldose

KEYWORDS

Bronze Age, birch pitch decoration, belt box

Im Tollensetal bei Weltzin, Mecklenburg-Vorpommern, bergen Taucher im Sommer 2016 eine sehr gut erhaltene bronzezeitliche Gürteldose. Die schwarze, erhabene Verzierung aus Pech auf der Schauseite ist fast vollständig erhalten und das Gefäß aus Bronze weist kaum Korrosionsprodukte auf (Abb. 1). Ein in diesem Erhaltungszustand vorliegendes Muster aus Pech ist eine Besonderheit, da bronzezeitliche Objekte selten vollständig erhaltene Verzierungen aufweisen. Im Rahmen einer Masterarbeit an der HTW Berlin wird ein Konservierungs- und Restaurierungskonzept für die Gürteldose erstellt. Hierfür werden mehrere Probereihen mit Probekörpern aus Birkenpech und Bronze durchgeführt. Das Birkenpech wird unter anderem von D. Todtenhaupt aus der Arbeitsgruppe Teerschwele des Museumsdorfes Düppel zur Verfügung gestellt.

Abb. 1: Perspektivische Betrachtung der Gürteldose im Eingangszustand an die HTW Berlin.
Foto: Elise Malchow, HTW Berlin
The „belt box“ after arriving at the HTW institute of restoration studies.



DIE GÜRTELDOSE

Die Gürteldose entstammt dem ältesten bekannten Schlachtfeld Mitteleuropas, dem bronzezeitlichen Schlachtfeld im Tollensetal. Datiert wird der Fundplatz auf ca. 1300 v. Chr. (Terberger, Heinemeier, 2014, 114). Das Objekt wird dem Typ Dabel der Periode III der nordischen Bronzezeit zugeordnet (Hundt 1944–1950, 199–202; schriftliche Fundmeldung LAKD M-V 2017). Während der Lagerung unter dem Grund der Tollense ist die Gürteldose vollständig von einer festen Torfschicht umgeben gewesen, sie befand sich etwa 5–7 cm unter einer Wassergrasschicht (J. Krüger, frdl. mündl. Mittlg. 2018). Das konstante kühle Klima sowie das anaerobe Milieu sind ausschlaggebend für den guten Erhaltungszustand. Seit der Bergung aus der Tollense wird das Gefäß in einer PP-Box in Wasser aufbewahrt, um die Verzierung aus Pech zu schützen.

Um die Materialien des Objektes zweifelsfrei zu identifizieren, werden instrumentelle Analysen durchgeführt. Zur Bestimmung der schwarzen Einlagen wird eine GC-MS (Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung) vorgenommen. Die schwarzen Einlagen erweisen sich als Birkenpech. Zusätzlich sind organische Verbindungen enthalten, die auf tierische Fette und pflanzliche Öle schließen lassen. Während bereits vor der Analyse vermutet wurde, dass es sich bei den schwarzen Verzierungen um Birkenpech handeln könnte, ist die Identifizierung von Fetten und Ölen unerwartet. Einige wissenschaftliche Untersuchungen belegen jedoch, dass Fette und/oder andere Zuschläge wie Asche für eine bessere Verarbeitbarkeit und zur Erzeugung spezifischer Eigenschaften des Pechs hinzugegeben wurden (Regert 2004; Van Gijn, Boon 2006; Kozowyk et al. 2017a). Zur Bestimmung des Metalls wird eine μ -RFA (Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse) durchgeführt. Da kaum Korrosionsprodukte vorhanden sind, kann anstelle der üblichen qualitativen Analyse eine quantitative Analyse vorgenommen werden. Es handelt sich um eine Bronzelegierung aus ca. 90% Kupfer und 10% Zinn sowie geringen natürlichen Verunreinigungen. Diese Zusammensetzung kann als eine recht ‚ideale‘ Bronzelegierung betrachtet werden (Jantzen 2008,

7). Um die Gürteldose im geschlossenen Zustand ganzheitlich zu erfassen, wird eine Röntgenuntersuchung sowie eine μ -CT (Mikro-Computertomographie) durchgeführt. Konzentrationen der herstellungsbedingten Blasen und Lunker, Nutzungsspuren und ausgedünnte Stellen im Metall zeigen sich deutlich, ebenso der Sitz des Deckels zum Gefäß. Kleine Fehlstellen im Metall sind erkennbar. Den Aufnahmen zufolge ist anzunehmen, dass keine anorganischen oder mineralisierten Bestandteile im Innern des Gefäßes vorhanden sind.

FRAGE- UND ZIELSTELLUNG

Die Gürteldose soll fachgerecht konserviert und restauriert werden. Bevor Maßnahmen an dem originalen Objekt vorgenommen werden können, müssen zur Erstellung des Konzeptes Fragen bezüglich des charakteristischen Verhaltens von Pech in Kombination mit Metall geklärt werden. Primär stellt sich die Frage, inwieweit die Haftung des Pechs auf dem Metall während der Trocknung und Lagerung gefährdet sein wird? Zudem soll geklärt werden, wie eine künstliche Alterung von Probekörpern umsetzbar ist? Darüber hinaus ist nicht klar, wie sehr sich das Verhalten rezent hergestellter Pecher unterscheidet. Kann jedes Pech für Probereihen verwendet werden?

Problematisch ist die schwache Publikationslage zum konservierungswissenschaftlichen Umgang mit Pech. Im Bereich der experimentellen Herstellung und der instrumentellen Analyse von Pech liegt eine Vielzahl an Publikationen vor (Sandermann 1965; Funke 1969; Czarnowski et al. 1991; Ruthenberg 1992; Sauter et al. 1997; Todtenhaupt et al. 2007, Arnold et al. 2015, Kozowyk et al. 2017b, Cnuts et al. 2018; Schmidt et al. 2019; und andere). Bezüglich der sachgemäßen Konservierung und Restaurierung von prähistorischem Pech ist kaum Literatur erschließbar. Eine unpublizierte Diplomarbeit beschäftigt sich mit Kiefernpech an mittelalterlichen Pechkränzen (Vogler 2007), ein publizierter Artikel berichtet 2014 erstmals über die Erfahrung im konservatorischen Umgang mit Pech. Allerdings handelt es sich mehr um Kiefernharz und nicht um durch Schwelprozess hergestelltes Pech (Odegaard et al. 2014). Jüngst beschäftigten sich A. Dittus und S. Bruhin mit Birkenpech (Dittus, Bruhin 2019).

Um die Gürteldose risikofrei zu konservieren und sich einer adäquaten Behandlungsmöglichkeit zu nähern, werden aufgrund der kargen Publikationslage Probekörper hergestellt und mittels Probereihen selbst Annäherungswerte geschaffen. Das Ziel ist es, für die Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahme ein sicheres Konzept für die Trocknung und Lagerung des Objektes zu erhalten. Rissbildung und Abplatzungen innerhalb des Pechs und zwischen der Pech-Bronze-Verbindung soll entgegengewirkt werden.

WERKSTOFF BIRKENPECH

Birkenpech ist ein biopolymeres Material (Lattermann 2013, 15) und wird durch pyrolytische Erzeugung aus der Rinde der Birke gewonnen (Kurzweil, Weiner 2013, 11). Die Substanz setzt sich aus zwei Grundkomponenten zusammen. Ein Teil ist eine unlösliche, unschmelzbare kohleähnliche Masse, entstanden durch die Verkohlung der Cellulose und der Ligninanteile des Birkenbastes. Die zweite Komponente verleiht dem Material Klebrigkeit und Plastizität und ist eine Mischung aus Phenolen und terpenoiden Substanzen (Wunderlich 1999, 215). Birkenpech ist ein komplexes Gemisch aus nieder- und hochmolekularen Estern von hauptsächlich triperpenoiden Diolen (z. B. Betulin) mit aliphatischen Säuren (Lattermann 2013, 15). Betulin ist einer der markantesten Biomarker im Birkenpech. Es zählt zu der Familie der Lupanverbindungen. Weitere Biomarker dieser Familie sind Lupenon, Lupeol, Betulon und Betulinsäure (Regert 2004, 247–248). Betulin besitzt die Summenformel $C_{30}H_{50}O_2$ und ist ein pentacyclischer Triterpenalkohol mit Lupan-Grundgerüst. Es ist einer

Abb. 2: Herstellung des ersten Probekörpers aus Pech und Bronze.
Foto: Elise Malchow, HTW Berlin
Production of the first sample.

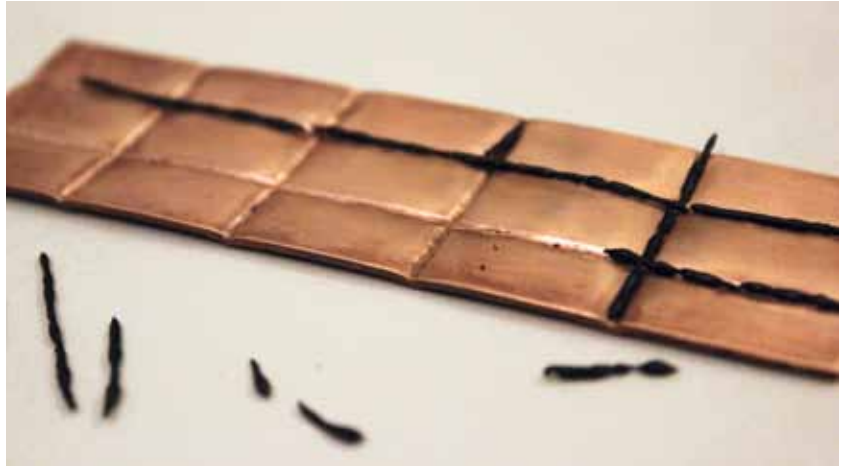
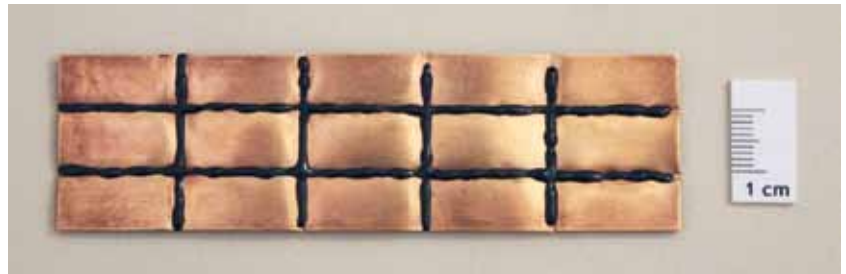


Abb. 3: Der erste Probekörper aus Pech und Bronze.
Foto: Elise Malchow, HTW Berlin
The first sample made from bronze and pitch.



der ersten untersuchten Naturstoffe. Die erste Erwähnung fand 1788 statt. Betulin befindet sich nur im weißen Bereich der Rinde, die eigentlich grün gefärbte Birkenrinde unterhalb des Korks enthält kein Betulin. Es ist für seine wundheilende, antioxidative, juckreizstillende, antivirale und entzündungshemmende Wirkung bekannt (Römpf 2019, Betulin).

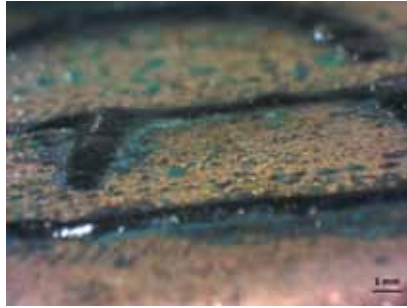
HERSTELLUNG DER PROBEKÖRPER UND DURCHFÜHRUNG DER PROBEREIHE

Um Probereihen durchführen zu können, die Alterungs-, Trocknungs- und Lösemittelversuche einschließen, müssen zuerst Probekörper aus Birkenpech und Bronze hergestellt werden. Schnell stellt sich heraus, dass es nicht leicht ist, ohne Übung Pech in den benötigten Mengen und der gewünschten Qualität herzustellen. Während der ersten eigenen Herstellung von Birkenpech können zwar geringe Mengen Pech produziert werden, diese sind jedoch sehr inhomogen. Es zeigt sich, dass es Übung erfordert, qualitativ hochwertiges Pech in größerer Menge zu erzeugen, welches gleichzeitig die gewünschte Konsistenz und Klebkraft besitzt. Aus diesem Grund wird Kontakt mit dem Museumsdorf Düppel aufgenommen. Beim ersten Treffen übergibt D. Todtenhaupt ein Stück festes Birkenpech. Später stellt J. Krüger, der Finder der Gürteldose, ebenfalls Birkenpech zur Verfügung. So war es möglich, mit der ersten Probereihe die Verlässlichkeit von verschiedenen Pechen für konservatorische Probereihen zu testen.

Abb. 4–5: Originales Pech (links) und rezentes Pech (rechts). Die Einlagen sind beim ersten Versuch noch ungleichmäßig, mit etwas Übung lassen sich gleichmäßige Einlagen herstellen.

Fotos: Elise Malchow, HTW Berlin

Prehistoric pitch (left) and modern pitch (right). The inlays are still irregular during the first trial. With more experience, a more even application of the inlay is possible.



Zuerst muss das Prinzip der Pecheinlagen nachgeahmt werden. Wie ist es möglich, eine feine und erhabene Verzierung, wie sie auf dieser Gürteldose vorkommt, herzustellen? Die Wölbung des Pechs soll erhalten bleiben und nicht abflachen. Um herauszufinden, wie dies zu erzeugen ist, werden in ein Bronzeblech Vertiefungen punziert. Aus Pech werden kleine Röllchen geformt, diese werden in die Vertiefungen des Metalls gelegt (Abb. 2) und anschließend über einer Flamme erwärmt. So kann das Pech in den

Vertiefungen schmelzen, sich mit dem Metall verbinden und bleibt gewölbt (Abb. 3–5). Das Muster auf dem ersten Probestück ist etwas ungleichmäßig (Abb. 3), mit stetiger Übung kann eine Gleichmäßigkeit allerdings erzeugt werden.



Nachdem der erste Versuch zeigt, dass ein erhabenes Muster mit Überkreuzungen aus Birkenpech auf Bronze hergestellt werden kann, werden weitere Probestücke hergestellt und mit diesen Probereihen durchgeführt. Im zweiten Versuch soll herausgefunden werden, wie verschiedene Pecher auf unterschiedliche Umgebungsparameter reagieren. Ziel ist es, eine Alterung

Abb. 6–7: Die sechs Probestücke vor (oben) und nach (unten) der Lagerung unter verschiedenen Bedingungen, Nummer 1 bis 6 von links nach rechts.

Pech C ist oben, B in der Mitte und A unten.

Fotos: Elise Malchow, HTW Berlin

The six samples before (top) and after (bottom) storing them under different conditions.

Number 1–6 from left to right. Pitch C is at the top, B in the centre and A at the bottom.

vorzunehmen, welche die ca. 3000 Jahre lange Lagerung des Objektes in nassem Milieu simuliert. Hierfür sind die drei verschiedenen Pecher von D. Todtenhaupt (Pech A), J. Krüger (Pech B) und aus eigener Herstellung (Pech C) von Bedeutung. Da keine publizierten, systematischen Alterungsversuche von Pech bekannt sind, werden selbst experimentell Werte erstellt. Sechs Probestücke mit Pech A bis C werden angefertigt und für acht Wochen unter verschiedenen Bedingungen, bei ~ 4°C, ~ 21°C und ~ 40°C, jeweils in Wasser und in Luft, gelagert (Abb. 6–7). Wichtig ist es, eine Alterung vorzunehmen, die möglichst nah an den originalen Bedingungen liegt. Eine nasse Lagerung und der Ausschluss von UV-Strahlung sind bedeutend, um die hydrolytischen Prozesse nachzuahmen. Höhere Temperaturen als 40°C würden das Pech schmelzen, Temperaturen unter 0°C sind während der Lagerung unter dem Grund des Flusses un-wahrscheinlich. Die Temperatur beträgt in Grund-

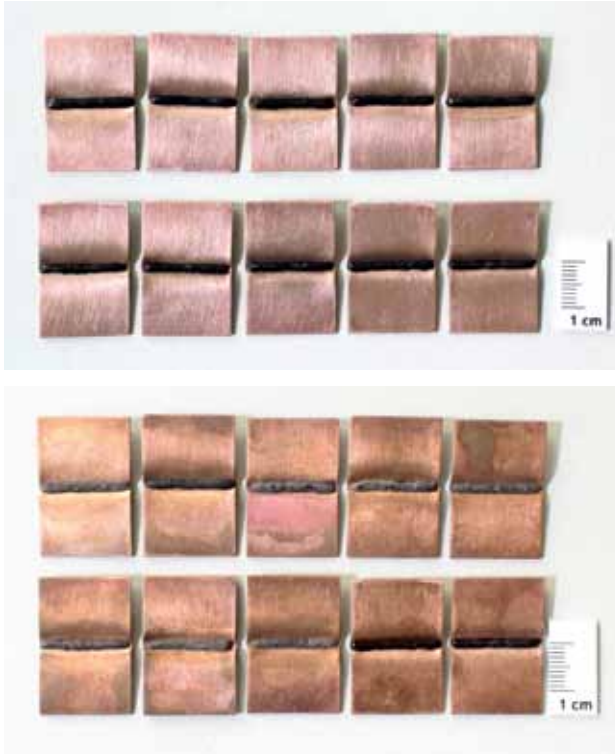


Abb. 8–9: Die zehn Probekörper vor (oben) und nach (unten) der Alterung und Trocknung. Probekörper 2 (2 v. o. l.) zeigt bei stufenweiser Trocknung deutlich die geringste Verfärbung. Probekörper 9 liegt nach der Alterung in Wasser und 10 wurde nicht gealtert, beide dienen als Referenzstücke.

Fotos: Elise Malchow, HTW Berlin

The ten samples before (top) and after (bottom) the ageing and drying process. Sample 2 (2nd top left) was dried in stages and shows the least discolouration. Sample 9 is still kept under water after ageing and sample 10 was not aged artificially, both were produced as reference samples.

ERGEBNISSE

Der erste Versuch zeigt, dass es mit ein wenig Übung möglich ist, erhabene Muster aus Birkenpech in Bronze zu erzeugen. Der zweite Versuch zeigt, dass das Alterungsverhalten verschiedener Peches stark variiert. Pech A war bereits vor der Anwendung sehr fest, sodass keine große Menge an organischen Verbindungen im Vergleich zu Pech B und C hätte austreten können. Pech B zeichnete sich durch Homogenität und kaum enthaltene Verunreinigungen aus. Die Konsistenz war relativ weich und optimal zum Verarbeiten. Pech C war weicher als Pech B, aber nicht flüssig. Zudem war es sehr inhomogen. In diesem Pech ist die größte Menge an organischen, flüchtigen Verbindungen enthalten gewesen. Eine Alterung unter Wasser und an der Luft bei 40°C ist angemessen durchführbar. Pech A lässt sich am stärksten verändern, wie FT-IR, Konsistenz und optische Beurteilung beweisen. Der dritte Versuch ist die eigentliche Probereihe, die ausschlaggebend für das Konservierungskonzept ist. Sie baut auf den vorangegangenen Versuchen auf. Gewünscht ist eine Simulierung einer ca. 3000 Jahre nass gelagerten Pech-Bronze-Verbindung. Die gealterten Probekörper werden unter verschiedenen Bedingungen getrocknet.

nähe ganzjährig ca. 4°C (NAGRA 1988, 70–71). In einem dritten Versuch werden die Kenntnisse aus der zweiten Probereihe (siehe im folgenden Abschnitt Ergebnisse) angewendet. Es werden 10 gleiche Probekörper mit Pech A, welches dem originalen Pech nach der Alterung am ähnlichsten ist, hergestellt. Diese zehn gealterten Probestücke dienen Trocknungs-, Löse- mittel- und Festigungsmittelreihen. In verschiedenen Zeitintervallen und mit verschiedenen Luftfeuchtigkeiten werden die Stücke getrocknet (Tab. 1, Abb. 8–9). Es soll getestet werden, wie strapazierfähig die Pech-Bronze-Verbindung ist. Hierbei wird bewusst eine Reaktion bei einem extremen Wechsel zu 15% rF provoziert. Ziel ist es, herauszufinden, wie sensibel oder strapazierfähig das Pech ist. Abschließend werden systematische Löse- mitteltests an den getrockneten Probestücken vorgenommen.

Probekörper	Dauer	Temperatur	Stufe 1 ~ 75%	Stufe 2 ~ 43%	Stufe 3 ~ 32%	Stufe 4 ~ 15%	Trocknung Luft	Trocknung unter Folie	Intervall
1	14 d	-4°C	→	→	→	→	-	-	
2	14 d	-21°C	→	→	→	→	-	-	stufenweise
3	10 d	-4°C	→	→	→	-	-	-	
4	4 d *	-4°C	-	-	-	→	-	-	
5	4 d *	-21°C	-	-	-	→	-	-	abrupt
6	4 d *	-4°C	-	-	→	-	-	-	
7	14 d	-21°C	-	-	-	-	→	-	unkontrolliert
8	14 d	-21°C	-	-	-	-	-	→	
9	Referenzprobe – Bleibt in Wasser (nach Alterung)								
10	Referenzprobe – Ausgenommen von Alterung, Bleibt in Luft								

Das Ergebnis der Probereihen bestätigt zwar, dass Pech ein recht strapazierfähiges Material ist, zugleich zeichnen sich jedoch sensible Materialeigenschaften ab. Die Probereihe zeigt deutlich, dass sich eine schonende, stufenweise Trocknung förderlich auf die Erhaltung auswirkt und daher immer durchgeführt werden sollte, denn das Pech von Probekörper 2 ist am besten erhalten (Abb. 9). Ein plötzlicher Milieuwechsel oder regelmäßig schwankende Temperaturen und Luftfeuchtigkeit wirken sich negativ auf den Erhaltungszustand aus. Im Pech kommt es folglich zur Rissbildung und einer grauen oberflächlichen Verfärbung. Bei einer stufenweisen Trocknung bleiben Rissbildung und eine graue Verfärbung aus. Wird Pech unvorsichtig behandelt, verzeiht das Material dies nicht. Die Probereihen finden in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraum statt. Es ist daher naheliegend, dass auf lange Sicht eine unachtsame Behandlung von originalem, prähistorischen Pech zu stärkerer Rissbildung und dem Abplatzen vom Objekt führt.

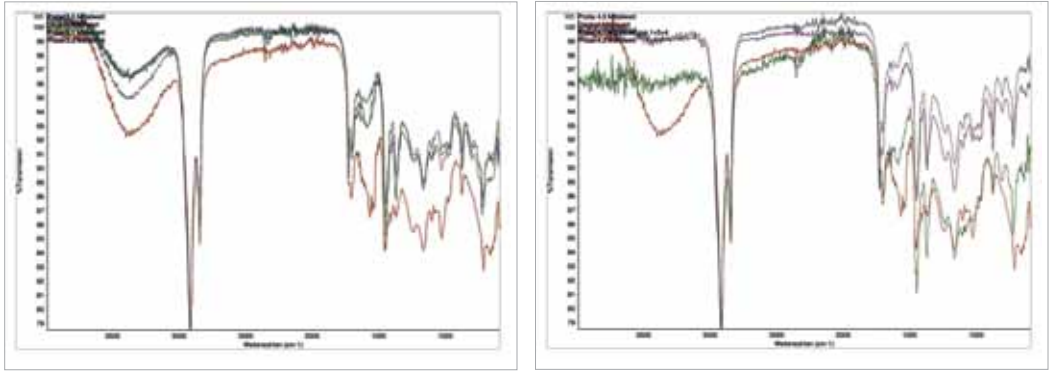


Abb. 10–11: FT-IR von Pech A, B und C auf Probekörper 3 (40°C Wasserlagerung) und 4 (40°C atmosphärisch), Pech A (hellgrün) hat sich deutlich im Fingerprintbereich verändert (Abb. 7), Pech B und C bleiben fast identisch; das Originalpech ist rot. Grafik: Caroline Petrahn, HTW Berlin

FT-IR of pitch A, B and C on sample 3 (kept in water at 40°C) and sample 4 (kept at 40°C out of water), Pitch A (light green) has clearly changed its chemical fingerprint (Fig. 7), Pitch B and C remain almost identical, the original pitch is red.

FAZIT

Ziel ist es, in Anbetracht der geringen konservierungswissenschaftlichen Publikationslage, Annäherungswerte an das charakteristische Verhalten von Pech zu erhalten. Die Probereihen bestätigen, dass ein sorgsamer Umgang mit Funden aus Pech essentiell für deren Erhaltungszustand ist. Es kann gezeigt werden, dass ein plötzlicher Milieuwechsel und schwankendes Klima in kurzem Zeitraum zu Riss- und grauer Schleierbildung im Pech führt. Aufgrund dieser Konzepterstellung kann die Konservierung der Gürteldose aus dem Tollensetal nun adäquat durchgeführt werden. Eine langfristige Beobachtung des Objektes sollte auch nach den Maßnahmen stattfinden, da systematische Beobachtungen von Pech unter konservierungswissenschaftlichem Aspekt bisher nicht bekannt sind.

DANKSAGUNG

Die Probereihen wären ohne die folgenden Personen nicht durchführbar gewesen. Mein Dank gilt D. Todtenhaupt und J. Krüger für die Bereitstellung des Birkenpechs. Ebenfalls bedanke ich mich bei A. Kurzweil und D. Todtenhaupt für die Diskussionen über Pech. J. Heeb vermittelte mich an die AG Teerschwele, auch ihr gilt mein Dank. Durch die AG Teerschwele wurde ich an U. Baumer ins Dörner Institut nach München vermittelt, welche die GC-MS des originalen Birkenpechs vornahm. Die μ -RFA wurde von C. Stadelmann, die Röntgenuntersuchung von S. Puille, die FT-IR von C. Petrahn (alle HTW Berlin) und die μ -CT von K. Mahlow aus dem Museum für Naturkunde Berlin vorgenommen. Für die Bereitstellung des Objektes zur Masterarbeit bedanke ich mich abschließend bei dem LAKD M-V.

LITERATUR

ARNOLD, B., BURGER, H., KURZWEIL, A., PIETSCH, T., WLOCH, C. 2015: Nachstellung von Holzteer-inkrustationen auf mittelalterlichen Grabplatten – Learning by Doing. In: T. Drachenberg (Hrsg.), Historische Techniken und Rezepte, Teil 2, Beiträge des 9. Konservierungs-wissenschaftlichen Kolloquiums in Berlin/Brandenburg am 20. November 2015 in Berlin-Dahlem, 2015, 149–158.

CNUTS, D., PERRAULT, K. A., STEFANUTO, P.-H., DUBOIS, L. M., FOCANT, J.-F., ROTS, V. 2018: Fingerprinting Glues Using HS-SPME GC x GC-HRTOFMS: a New Powerful Method Allows Tracking Glues Back in Time. In: *Archaeometry* 60, 2018, 1361–1376.

CZARNOWSKI, E., NEUBAUER, D., SCHWÖRER, P. 1991: Zur Herstellung von Birkenpech im Neolithikum. In: *Acta Praehistorica et Archaeologica* 22 (1990), 1991, 169–173.

DITTUS, A., BRUHIN, S. 2019: The conservation of wooden objects in combination with birch tar. In: 14th ICOM-CC WOAM Working Group Conference 20–24 May 2019 (Abstract Booklet p. 79 and Poster), Portsmouth, UK 2019.

FUNKE, H. 1969: Chemisch-analytische Untersuchung verschiedener archäologischer Funde, Diss. Hamburg 1969.

HUNDT, H. J. 1944–1950: Die Bronzedosen der älteren Bronzezeit Mecklenburgs. In: *Germania* 28, 197–209.

JANTZEN, D. 2008: Quellen zur Metallverarbeitung im Nordischen Kreis der Bronzezeit. *Prähistorische Bronzefunde* 19, Mainz 2008.

KOZOWYK, P. R. B., POULIS, J. A., LANGEJANS, G. H. J. 2017 a: Laboratory strength testing of pine wood and birch bark adhesives: A first study of the material properties of pitch. In: *Journal of Archaeological Science: Reports* 13, 2017, 49–59.

KOZOWYK, P. R. B., SORESSI, M., POMSTRA, D., LANGEJANS, G. H. J. 2017 b: Experimental methods for the Palaeolithic dry distillation of birch bark: implications for the origin and development of Neandertal adhesive technology. In: *Scientific Reports* 7, art.no. 8033, 2017.

KURZWEIL, A., WEINER, J. 2013: Wo sind die Retorten? – Gedanken zur allothermen Herstellung von Birkenpech. In: *Experimentelle Archäologie in Europa* 12, 10–19.

LATTERMANN, G. 2013: Vor- und frühgeschichtliche biopolymere (Werk-)Stoffe. In: *Gesellschaft Deutscher Chemiker, Mitteilungen der Fachgruppe Geschichte der Chemie* 23, 2013.

NAGRA 1988: Keine Autorenangabe, Konservierung von organischen Stoffen über mehrere tausend Jahre, Technischer Bericht 88–22, NAGRA – Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Auftraggeber).

[https://www.nagra.ch/data/documents/database/dokumente/\\$default/Default%20Folder/Publikationen/NTBs%201987-1988/d_ntb88-25%20Textband.pdf](https://www.nagra.ch/data/documents/database/dokumente/$default/Default%20Folder/Publikationen/NTBs%201987-1988/d_ntb88-25%20Textband.pdf), 22.05.2019.

ODEGAARD, N., POOL, M., BISULCA, C., SANTARELLI, B., NEIMAN, M., WATKINSON, G. 2014: Pine Pitch: New Treatment Protocols for a Brittle and Crumbly Conservation Problem. In: *AIC Objects Specialty Group Postprints* 21, 2014, 21–41.

REGERT, M. 2004: Investigating the history of prehistoric glues by gas chromatography – mass spectrometry. In: *Journal of Separation Science* 27, 2004, 244–254.

RÖMPP 2019: Enzyklopädie zur Chemie, <https://roempp.thieme.de/roempp4.o/do/Welcome.do>, 01.08.2019.

RUTHENBERG, K. 1992: Untersuchung von Teer und Pech: Archäologische Fragestellungen – archäometrische Möglichkeiten. In: Wilfried Menghin, Wolf-Dieter Dube (Hrsg.), *Acta praehistorica et archaeologica* 23 (1991), 1992, 97–102.

SANDERMANN, W. 1965: Untersuchung vorgeschichtlicher „Gräberharze“ und Kitte, in: Technische Beiträge zur Archäologie 2, 1965, 58–73.

SAUTER F., JORDIS, U., HAYEK, E. W. H. 1997: Eine Untersuchungsmethode für prähistorische Holzpeche zur Bestimmung der verwendeten Baumart, in: W. Brzezinski, W. Piotrowski (Hg.), Proceedings of the First International Symposium on Wood, Tar and Pitch 1th -4th Juli 1993 in Biskupin, 1997, 213–217.

SCHMIDT, P., BLESSING, M., RAGEOT, M., IOVITA, R., PFLEGING, J., NICKEL, K. G., RIGHETTI, L., TENNIE, C. 2019: Birch tar production does not prove Neanderthal behavioral complexity, PNAS 2019 116 (36), 17707–17711.

TERBERGER, T., HEINEMEIER, J. 2014: Die Fundstellen im Tollensetal und ihre absolute Datierung. In: D. Jantzen, J. Orschiedt, J. Piek, T. Terberger (Hrsg.), Tod im Tollensetal, Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mecklenburg-Vorpommerns 50. Schwerin 2014, 101–116.

TODTENHAUPT ET AL. 2007: D. Todtenhaupt; F. Elsweiler; U. Baumer; F. Both, Das Pech des Neandertalers – eine Möglichkeit der Herstellung, in: Experimentelle Archäologie in Europa 6, Bilanz 2007, 155–161.

VAN GIJN, A., BOON, J. 2006: Birch bark tar. In: *Analecta Praehistorica Leidensia* 37/38, 2006, 261–266.

VOGLER, K. 2007: Militärisches Feuerwerk aus dem Bestand der Kunstsammlungen der Veste Coburg. Untersuchung der Pechkränze, unpubl. Diplomarbeit HTW Berlin 2007.

WUNDERLICH, C.-H. 1999: Pech für den Toten: Die Untersuchung von „Urnharzen“ aus Ichstedt, Ldkr. Kyffhäuserkreis. In: *Jahresschrift für Mitteldeutsche Vorgeschichte* 82, 1999, 211–220.

AUTORENANSCHRIFT

lisemalchow@gmail.com